

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y TÉRMICA DE MATERIALES VERNÁCULOS DE LA REGIÓN SIERRA DEL ECUADOR**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECÁNICA**

**GUERRA SARCHE XAVIER ALEJANDRO**

xavier8mm@hotmail.com

**JARAMILLO VILLACÍS ANDRÉS ALEJANDRO**

ajv121@hotmail.com

**DIRECTOR: Ph D. CARLOS AVILA**

cavila67@caltech.edu

**CO-DIRECTOR: ING. ANGEL PORTILLA Msc.**

angel.portilla@epn.edu.ec

**Quito, Diciembre 2015**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Xavier Alejandro Guerra Sarche y Andrés Alejandro Jaramillo Villacís declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Xavier Alejandro Guerra S.**

---

**Andrés Alejandro Jaramillo V.**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Xavier Alejandro Guerra Sarche y Andrés Alejandro Jaramillo Villacís, bajo mi supervisión.

---

**Ph D. Carlos Ávila**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**Ing. Ángel Portilla Msc.**

**CO-DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo quiero agradecer a todas las personas que forman parte de mi vida y me impulsan a seguir adelante.

Primero a mi familia que con su amor y cariño han sido parte importante en el desarrollo de mi vida como estudiante. Sobre todo a mi padre Elvis, mi madre Jeannett y mi hermana Gabriela.

A mi Amor Gabriela Larreategui que todo este tiempo ha estado junto a mí en mis logros y fracasos.

A mis amigos por estar siempre pendientes y dándome sus palabras de aliento para seguir avanzando en mis estudios.

Al director del proyecto Ph D. Carlos Ávila y al co-director Ingeniero Ángel Portilla que con sus conocimientos impulsaron el avance de esta tesis.

Andrés

Agradezco principalmente a mi familia ya que sin su apoyo incondicional no habría sido posible la culminación de este importante proyecto. También quisiera expresar mis agradecimientos al director y co-director de este proyecto, Ph D Carlos Ávila e Ing. Ángel Portilla, respectivamente; quienes aportaron con su conocimiento técnico y experiencia profesional.

Sinceramente muchas gracias

Xavier

**DEDICATORIA**

Este proyecto lo dedico a mi familia, mi amor Gaby y a todos y cada uno de mis amigos.

Andrés

A toda mi familia. En especial a mi madre Lourdes, padre René y hermanas Andreita y Gaby.

Xavier

## ÍNDICE

RESUMEN .....	XIII
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. OBJETIVOS .....	1
1.1.1. OBJETIVO GENERAL .....	1
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	1
1.2. ALCANCES .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4. ESTADO DEL ARTE .....	3
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. MATERIALES VERNÁCULOS .....	7
2.1.1. ADOBE .....	7
2.1.2. TEJA .....	8
2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MATERIALES VERNÁCULOS .	9
2.3. MATERIALES VERNÁCULOS EN EL ECUADOR.....	9
2.4. ANÁLISIS SUCS .....	11
2.5. PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TÉRMICAS .....	13
2.5.1. PROPIEDADES FÍSICAS.....	14
2.5.2. PROPIEDADES MECÁNICAS .....	14
2.5.3. PROPIEDADES TÉRMICAS .....	15
2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	16
2.6.1. DISTRIBUCIÓN T – STUDENT.....	16
2.6.2. INTERVALO DE CONFIANZA .....	18
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS .....	20
3.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LOS ENSAYOS.....	20

3.2.	METODOLOGÍA PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS .....	20
3.2.1.	ENSAYO DE DENSIDAD .....	20
3.3.	METODOLOGÍA PARA LOS ENSAYOS MECÁNICOS .....	26
3.3.1.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	26
3.3.2.	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....	29
3.4.	METODOLOGÍA PARA LOS ENSAYOS TÉRMICOS.....	30
3.4.1.	ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	31
3.4.2.	ENSAYO DE CALOR ESPECÍFICO .....	38
CAPÍTULO 4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
4.1.	MÉTODO DE ANÁLISIS .....	54
4.2.	TEJA .....	54
4.2.1.	DENSIDAD.....	55
4.2.2.	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....	59
4.2.3.	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	61
4.2.4.	CALOR ESPECÍFICO .....	65
4.3.	ADOBE.....	69
4.3.1.	DENSIDAD.....	69
4.3.2.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	72
4.3.3.	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	75
4.3.4.	CALOR ESPECÍFICO .....	77
4.4.	COMPARACIÓN CON REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81
CAPÍTULO 5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
BIBLIOGRAFÍA	.....	87
ANEXOS	.....	89
ANEXO 1: NORMATIVAS	.....	90

ANEXO 2: ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS .....	99
ANEXO 3: ESTUDIO ESTADÍSTICO DE TEJA Y ADOBE EN ECUADOR.....	115
ANEXO 4: DENSIDAD DE LA PARAFINA .....	117
ANEXO 5 FABRICACIÓN DE ADOBE Y TEJA.....	120
ANEXO 6: DIMENSIONES DEL SOPORTE DE DURALÓN.....	126
ANEXO 7: CAPACITANCIA TÉRMICA DEL RECIPIENTE EN ENSAYO DE CP..	127
ANEXO 8: CLASIFICACIÓN SUCS .....	130
ANEXO 9: TABLA DE DISTRIBUCIÓN T – STUDENT.....	140

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Edificación elaborada con adobe, Iglesia de la Catedral de Quito .....	10
Figura 2.2 Casa de adobe y teja en Cayambe, Pichincha.....	10
Figura 2.3 Construcción de horno de adobe para ladrillos, Yaruquí, Pichincha. ....	11
Figura 2.4 Vivienda de adobe y teja en Conocoto, Pichincha .....	11
Figura 2.5 Esquema de Ensayo de Compresión .....	14
Figura 2.6 Esquema de ensayo de flexión .....	15
Figura 2.7 Distribución t – Student para distintos grados de libertad .....	17
Figura 2.8 Distribución t de dos colas .....	18
Figura 3.1 Esquema del ensayo de densidad .....	22
Figura 3.2 Diagrama de masas y de cuerpo libre del ensayo de densidad .....	23
Figura 3.3 Probetas de adobe para ensayos de densidad .....	25
Figura 3.4 Proceso de cubrir con parafina a las probetas .....	26
Figura 3.5 Ensayo de densidad a la teja artesanal.....	26
Figura 3.6 Capa de tierra para conseguir superficies planas y paralelas .....	28
Figura 3.7 Probeta de adobe en la máquina de ensayos .....	28
Figura 3.8 Acoplamiento de madera para aplicación de carga .....	30
Figura 3.9 Ensayo de flexión a la teja artesanal.....	30
Figura 3.10 Equipo de conducción lineal Armfield HT10X .....	31
Figura 3.11 Esquema de bloques para el ensayo de conductividad térmica.....	32
Figura 3.12 Diagrama esquemático del equipo de Conductividad Térmica .....	33
Figura 3.13 Gradiente teórico de temperaturas en el ensayo .....	33
Figura 3.14 Aislante térmico de Duralón para probetas de adobe y teja .....	36
Figura 3.15 Probeta cubierta parcialmente con pasta térmica .....	36
Figura 3.16 (a) Ensamble equipo de conductividad, (b) Vista en corte de equipo de conductividad. ....	37
Figura 3.17 Panel frontal de control del equipo Armfield HT10X.....	37
Figura 3.18 Esquema del ensayo de calor específico según ASTM D4611 .....	39

Figura 3.19 Probetas de teja dentro del desecador.....	41
Figura 3.20 Horno Vulcan para ensayo de calor específico .....	42
Figura 3.21 Recipiente Dewar sobre agitador magnético y probeta de teja. ....	43
Figura 3.22 Probeta de teja en el interior del horno y termocupla tipo K.....	43
Figura 3.23 Proceso de obtención de probetas esféricas mediante lijas.....	51
Figura 3.24 Probeta de adobe y termómetros para determinar $T_{\infty}$ y $T_s$ .....	52
Figura 3.25 Probeta de adobe y termocupla para determinar $T_{\infty}$ .....	52

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1 Extrapolación en base a $T_1$ , $T_2$ , $T_3$ para obtener $T_{sc}$ .....	34
Gráfica 3.2 Extrapolación en base a $T_4$ , $T_5$ , $T_6$ para obtener $T_{sf}$ .....	35
Gráfica 3.3 Determinación de la temperatura de equilibrio .....	39
Gráfica 3.4 Temperatura del aceite al ingresar la probeta al recipiente .....	45
Gráfica 4.1 Distribución t. Lote 1, 2, 3 .....	57
Gráfica 4.2 Distribución t. Lote 4 y 5 .....	57
Gráfica 4.3 Temperatura del agua antes de sumergir la probeta en el recipiente .....	66
Gráfica 4.4 Temperatura del agua después de sumergir la probeta .....	67
Gráfica 4.5 Distribución t. Lote 1, 2, 3, 4 y 5 de Adobe .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ventajas y Desventajas de Materiales Vernáculos.....	9
Tabla 2.2 Clasificación SUCS del Adobe y la Teja.....	13
Tabla 3.1 Resultados del ensayo de densidad para la parafina .....	21
Tabla 3.2 Propiedades del aceite a 28,8 °C. ....	46
Tabla 3.3 Capacitancia térmica del recipiente Dewar .....	46
Tabla 4.1 Análisis de densidad del lote 1 de la Teja .....	54
Tabla 4.2 Resultados del análisis a cada lote .....	55
Tabla 4.3 Datos obtenidos de Densidad .....	55
Tabla 4.4 Resultados Densidad .....	58
Tabla 4.5 Resultados del análisis a cada lote .....	59
Tabla 4.6 Valores de Resistencia a la Flexión.....	59
Tabla 4.7 Resultados Resistencia a la Flexión.....	61
Tabla 4.8 Datos Obtenidos Teja 2.1 Conductividad Térmica .....	62
Tabla 4.9 Determinación de Tsc y Tsf.....	63
Tabla 4.10 Desviación de los valores obtenidos. Lectura 9-14 .....	63
Tabla 4.11 Desviación de los valores obtenidos. Lectura 20-25 .....	64
Tabla 4.12 Resultados Conductividad Térmica .....	64
Tabla 4.13 Datos de Ta y Th antes de introducir la probeta.....	65
Tabla 4.14 Datos de Ta después de introducir la probeta.....	66
Tabla 4.15 Resultados Calor Específico .....	68
Tabla 4.16 Resultados del análisis a cada lote .....	69
Tabla 4.17 Valores de Densidad .....	70
Tabla 4.18 Resultados Densidad. ....	71
Tabla 4.19 Resultados del análisis a cada lote .....	73
Tabla 4.20 Datos obtenidos de Resistencia a la Compresión .....	73
Tabla 4.21 Resultados Resistencia a la Compresión .....	74
Tabla 4.22 Resultados Conductividad Térmica .....	76

Tabla 4.23 Propiedades para el Estado Transitorio .....	77
Tabla 4.24 Datos Obtenidos Calor Especifico Adobe .....	77
Tabla 4.25 Propiedades del Aire y Coeficientes de Cálculo.....	78
Tabla 4.26 Resultados Calor Especifico .....	79
Tabla 4.27 Resultados de las Propiedades Analizadas .....	81
Tabla 4.28 Cuadro comparativo Adobe.....	81
Tabla 4.29 Cuadro comparativo Teja .....	82

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo caracterizar física, mecánica y térmicamente a materiales vernáculos de la región Sierra del Ecuador. Se ha determinado las magnitudes densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, conductividad térmica y calor específico de tejas y adobes elaborados artesanalmente en las provincias de Pichincha, Imbabura y Cotopaxi.

El alarmante aumento de gases de efecto invernadero y las cada vez más escasas fuentes de combustibles fósiles obligan a la sociedad actual a emprender la búsqueda de nuevos suministros de energía y métodos para reducir el desperdicio energético y la contaminación medioambiental. Para ello, varios países han puesto en marcha planes para elevar la eficiencia energética en sistemas estructurales, automotrices, industriales, etc. En Ecuador, el diseño de edificaciones prioriza datos estructurales como resistencia a solicitaciones mecánicas, pero se omiten consideraciones térmicas y medio ambientales. Esto genera incremento en los consumos de energía, daño ecológico al planeta y pérdidas económicas. Una alternativa para solucionar estos hechos es fomentar la construcción de inmuebles con diseños autosustentables, por lo tanto, es necesario utilizar materiales constructivos que permitan crear ambientes estructural y energéticamente eficientes. Con lo expuesto, este proyecto de titulación busca cuantificar las propiedades físicas, térmicas y mecánicas de materiales vernáculos de la región Sierra, mediante técnicas experimentales y estadísticas.

Para alcanzar los objetivos planteados se presenta una revisión teórica, en donde se definen a los materiales vernáculos empleados en la construcción de la región Sierra como son la teja y el adobe. Además se muestra el concepto fundamental de las propiedades que son objeto en este proyecto y se explica el método estadístico de  $t$  – Student para el análisis de resultados.

Tomando como referencia a normativas y artículos científicos en el ámbito nacional e internacional, se estableció una metodología para el desarrollo de los experimentos, donde se puede destacar a la norma peruana para el adobe NTE E0.080, ASTM D7263, ASTM D4611, ASTM C518 y a la INEN 988.

Se analiza los resultados obtenidos mediante métodos estadísticos para determinar un intervalo de confianza del 98%, y de esa manera obtener el valor medio de cada propiedad del adobe y la teja.

Se detalla las conclusiones de este proyecto, en las que se menciona la importancia del carácter artesanal de los procesos de elaboración en los resultados obtenidos, razón que justifica la dispersión observada.

Finalmente, como recomendación se deja clara la necesidad de una normativa ecuatoriana que especifique procedimientos para la fabricación, control de calidad y caracterización de materiales vernáculos en el Ecuador, para de esta manera contribuir al diseño de viviendas eficientes desde el punto de vista energético.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

En este proyecto, a través de la utilización de métodos establecidos en normas se realiza la caracterización física, mecánica y térmica de materiales vernáculos de las provincias de Pichincha, Cotopaxi e Imbabura de la Región Sierra del Ecuador, con los que se busca evaluar las siguientes propiedades: calor específico, conductividad térmica, densidad, resistencia a la compresión del adobe y resistencia a la flexión de la teja.

En el presente capítulo se hace una justificación del proyecto, haciendo referencia a normas, libros, tesis y publicaciones que se han hecho respecto al tema.

### **1.1. OBJETIVOS**

#### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de materiales utilizados en la construcción de viviendas en las provincias de Pichincha, Cotopaxi e Imbabura de la Región Sierra del Ecuador

#### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Utilizar metodología experimental previamente establecida que permita la caracterización mecánica, térmica y física de materiales vernáculos utilizados en la construcción de edificaciones en las provincias de Pichincha, Cotopaxi e Imbabura de la Región Sierra del Ecuador.
- Aplicar métodos estadísticos para analizar resultados experimentales.
- En base a un estudio comparativo de materiales producidos en diversas localizaciones geográficas dentro de las provincias de Pichincha, Cotopaxi e Imbabura de la Región Sierra del Ecuador, encontrar las posibles causas de la dispersión obtenida.

## 1.2. ALCANCES

- Se utilizará una metodología experimental para la determinación de conductividad térmica, calor específico, resistencia a la compresión del adobe, resistencia a la flexión de la teja y densidad de ambos materiales.
- El estudio se realizará a partir de muestras de materiales de construcción de vivienda producidos artesanalmente en las provincias de Pichincha, Cotopaxi e Imbabura de la Región Sierra del Ecuador como el adobe y la teja.
- Mediante análisis estadístico se determinará el valor medio, la desviación estándar y el intervalo de confianza involucrados en la metodología utilizada.

## 1.3. JUSTIFICACIÓN

Con el fin de contribuir al desarrollo de la construcción de viviendas de nivel social; lo cual beneficiará directamente al sector de la población más necesitada del Ecuador, se desarrolla este proyecto en el que se propone utilizar metodologías experimentales con el fin de determinar propiedades físicas, mecánicas y térmicas en materiales vernáculos utilizados en las provincias de Pichincha, Cotopaxi e Imbabura de la Región Sierra del Ecuador en la construcción de viviendas. En base a la metodología empleada se busca obtener estadísticamente, valores de densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, calor específico y conductividad térmica de materiales como la teja y el adobe.

A conocimiento de los autores, en el país no hay una referencia relacionada que permita generar un antecedente para el desarrollo de este proyecto.

Partiendo de normas y estudios realizados a nivel nacional y mundial se definirá un procedimiento que tomará en cuenta tanto equipos disponibles como naturaleza de los materiales. Los resultados obtenidos se someterán a un análisis estadístico para determinar el valor medio, la desviación estándar y el intervalo de confianza de los ensayos.

#### **1.4. ESTADO DEL ARTE**

Para establecer la base teórica y metodológica de los ensayos que se realizan en este proyecto, se ha consultado libros, artículos científicos, proyectos de titulación y normas, tanto en el ámbito nacional como internacional. Primeramente se ha buscado información de referencia para definir las propiedades físicas, mecánicas y térmicas. Posteriormente se consultaron textos relacionados con el procedimiento que se debe seguir en los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, conductividad térmica y calor específico.

En el libro “Principio de transferencia de calor” de Incropera (2006) se definen propiedades como la conductividad térmica y el calor específico de diversos materiales. Adicionalmente, el libro “Termodinámica” de Cengel (2003) también contribuye al presente proyecto con conceptos de propiedades como la densidad, conductividad térmica y calor específico. Con respecto a la resistencia a la compresión y a la flexión, en el libro “Resistencia de materiales” de Pérez (1992) se muestra el concepto de dichas propiedades y aplicaciones con materiales como el acero y el concreto.

En el ámbito de proyectos de titulación a nivel internacional, se destaca el proyecto español del autor Carcedo (2012), “Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula”, donde se analiza la resistencia de probetas con diversos contenidos de sílice como estabilizante mediante la Norma Española y la Norma Europea (UNE-EN) 772-1. Otro proyecto de titulación importante de mencionar es el realizado en Chile por Chandía (2004), “Desarrollo de un ladrillo de trayectoria térmica máxima”, el cual determina la conductividad térmica de varios tipos de ensamblajes de ladrillos de arcilla mediante el método de cámara caliente guardada descrita en la norma de la Asociación Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) C236. Así mismo en Chile, Erazo (2007) en su proyecto de titulación “Variación de la conductividad térmica con la humedad en materiales de construcción” Se realizan ensayos en base a la Norma Chilena (NCH) 853.Of91 con el fin de determinar cómo varía la conductividad térmica

con respecto a la humedad empleando muestras de ladrillos hechos a mano, ladrillos hechos a máquina y morteros de cemento.

Con respecto a proyectos de titulación a nivel nacional, es importante mencionar al trabajo “Análisis de las características de edificaciones empleando materiales vernáculos en la región sierra del Ecuador” realizado por Yépez (2012), en donde se resume los materiales vernáculos más comúnmente empleados en viviendas de las regiones Sierra y Costa del Ecuador tales como adobe, tapial, bahareque y guadua. También se puede mencionar al proyecto “Propuesta de mejoramiento de las características técnicas del Adobe para la aplicación en viviendas unifamiliares emplazadas en el área periurbana de la ciudad de Cuenca” de Siavichay y Narváez (2010) donde se proponen diversas técnicas mecánicas y químicas para mejorar la respuesta del adobe ante las condiciones ambientales y ante las cargas a las que se encuentran sometidos. En este proyecto se menciona la falta de una normativa ecuatoriana con respecto a la construcción de viviendas, por lo que se recurre a fuentes peruanas como la Norma Técnica de Edificación (NTE) E0.80 para realizar los ensayos requeridos.

Con respecto a normativas en el contexto internacional relacionadas a las propiedades de densidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión, se pueden mencionar a las españolas como la UNE 772-13 (2001) donde se indica un procedimiento para calcular la densidad de piezas de albañilería. Cabe mencionar a la norma ASTM 7263 (2009) en donde se mencionan dos procedimientos para determinar la densidad aparente. En el primero se cubren las probetas en parafina y se determina el volumen desplazado al sumergirlas en un líquido. En el segundo se determina el volumen a través de mediciones a las probetas de forma cúbica o cilíndrica. La UNE-EN 772-1 (2011) que muestra una serie de pasos para determinar la resistencia a la compresión de bloques de tierra comprimidos. La UNE-EN 538 (1995) para tejas de arcilla cocida donde se indica un procedimiento de ensayo de resistencia a la flexión. Finalmente se encuentra la normativa peruana NTE E.080 (1999) donde se explica un procedimiento para la determinación de la resistencia a la compresión del adobe. Cabe destacar que esta última norma es de acceso libre vía

internet a diferencia de las UNE las cuales ninguna de las mencionadas en este párrafo son de libre acceso y tienen un costo mayor de 40 euros. En el contexto nacional, se encuentra la normativa de Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) 573 (1981) para materiales refractarios donde se indica un procedimiento que tiene como objetivo encontrar la porosidad, absorción de agua y densidad. También está la INEN 294 (1977) para la determinación de la resistencia a la compresión de ladrillos cerámicos. Adicionalmente se encuentra la INEN 988 (1984) la cual es referente para ensayos de determinación de la resistencia a la flexión de tejas cerámicas. Las normas ecuatorianas mencionadas son de libre acceso mediante acceso web a la página del INEN.

Con respecto a normativas relacionadas a las propiedades de conductividad térmica y calor específico. En el contexto internacional, se encuentra la ASTM C518 (2010) la cual se emplea para la determinación de propiedades de transmisión térmica y flujo de calor en estado estable por medio del aparato de medición de flujo. También esta la normativa chilena NCh 853.91 de acondicionamiento térmico, la cual explica un procedimiento para determinar la resistencia y transmitancia térmica de elementos constructivos. Adicionalmente se destaca la norma UNE-EN 12667 (2002) donde se indica un proceso para la determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor de materiales de construcción de alta y media resistencia térmica. Para el calor específico se encuentra la norma ASTM D4611 (2008) en donde se especifica el procedimiento para determinar el calor específico de roca y suelo. Cabe señalar que las normas UNE señaladas en este párrafo no son de libre acceso. En el ámbito nacional está la norma INEN 2506 (2009) referente a la eficiencia energética en edificios donde se muestran valores de conductividad térmica de varios materiales de construcción como el ladrillo, hormigón o baldosas, pero específicamente no se proporciona valores de teja o adobe.

Referenciando a artículos científicos internacionales se tiene como ejemplo al trabajo “Propiedades físicas y térmicas del adobe con contenido de bagazo para la construcción” realizado por Lertwattanakul y Choksiriwanna (2011) en Tailandia,

donde se determina el nivel de bagazo y cáscara de arroz para el cual el adobe presenta características ideales en resistencia a la compresión, absorción de humedad, contracción y conductividad térmica. También se puede mencionar al artículo “Mediciones experimentales de propiedades térmicas de materiales mexicanos de construcción para estimular un comportamiento térmico de ahorro de energía” elaborado por Chávez, Almanza y Rodríguez (2007), donde se realizan ensayos de conductividad térmica a ladrillos rojos, tepetates (piedra amarillenta empleada en la construcción), adobe y concreto. En el artículo “Paredes de tierra sustentables para satisfacer las normas de construcción” realizado por Goodhew y Griffiths (2004) en el Reino Unido, se determina la densidad, conductividad térmica, difusividad, capacitancia térmica volumétrica y calor específico de materiales como el ladrillo de arcilla sin cocer, ladrillos de arcilla con paja y empaquetaduras de paja.

Es claro el déficit de bibliografía o trabajos de investigación de acceso público respecto a caracterización de materiales vernáculos en el país. No existe normativa ecuatoriana que especifique claramente los procedimientos a seguir para determinar propiedades físicas, mecánicas y térmicas a materiales vernáculos, a excepción de la INEN 988 de resistencia a la flexión de la teja. Dichas propiedades son de gran importancia para el diseño de viviendas, por lo que este proyecto de titulación busca aportar con procedimientos experimentales y estadísticos para caracterizar materiales vernáculos en cuanto a densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, conductividad térmica y calor específico de materiales vernáculos.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se realiza una descripción del adobe y la teja, así como las propiedades que son objeto de estudio de este proyecto, las cuales son: densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, conductividad térmica y calor específico. Además se define el método estadístico utilizado para el análisis de los datos obtenidos.

#### **2.1. MATERIALES VERNÁCULOS**

Los materiales vernáculos son fabricados con recursos naturales de fácil acceso en el medio ambiente cercano, utilizados en la construcción de viviendas en su mayoría de nivel social. Algunos ejemplos son: adobe, teja, bahareque, caña guadúa, tapial, etc. Estos presentan ventajas como: bajo costo de elaboración, bajo impacto ambiental, buen aislamiento térmico y gran versatilidad para reformas en construcción. (Yepez, 2012).

A continuación se hace una breve descripción del adobe y de la teja, teniendo en cuenta

- Componentes.
- Método de fabricación.
- Método de construcción.

##### **2.1.1. ADOBE**

Es un material vernáculo en forma de bloque fabricado con tierra y paja. Utilizado para la construcción de muros de viviendas.

###### **2.1.1.1. Componentes**

Se compone de paja y tierra, constituida de un 65% de arena, 15% de limos y 20% de arcilla. (Yepez, 2012).

#### **2.1.1.2. Método de manufactura**

Primero se recoge la tierra y se mezcla con agua para obtener barro, se añade paja y se amasa con los pies desnudos hasta tener una masa homogénea. Después se coloca el barro en un molde para proceder a compactar el material, cuando esto está terminado se homogeniza la superficie del adobe con un poco de agua.

El último paso es retirar el molde y dejar secar el bloque al sol, lo cual puede tomar de 8 a 10 días dependiendo de condiciones ambientales como humedad y temperatura. (Jaguaco, 2007).

#### **2.1.1.3. Método de construcción con adobe**

Para la construcción con adobe el primer paso es la cimentación, esta es realizada con piedras de río y mortero, que se usa para juntar los cimientos. El mortero puede estar hecho de barro o de cal.

Con los bloques de adobe se construyen los muros de la estructura. Para evitar diferencia en el secado al ubicar los adobes se usa la misma mezcla con la que se fabricaron. (Yepez, 2012).

### **2.1.2. TEJA**

Es un material vernáculo compuesto de tierra cocida con forma curva, utilizado para la construcción de techos de viviendas.

#### **2.1.2.1. Componentes**

La teja está compuesta de tierra que contiene de un 70 a 80% de arcillas y de un 20 a 30% de arena. (Calvo, Perez, Carreto, & Percino, 1997).

#### **2.1.2.2. Método de manufactura**

Para la fabricación de la teja primero se selecciona la tierra, luego se reduce el tamaño de grano y se tamiza. Esta materia prima se mezcla con agua y se deja reposar por 1 día, para posteriormente ser amasada con los pies desnudos hasta obtener la consistencia deseada. La masa conseguida se traslada al banco de trabajo y se coloca sobre el molde de la teja, se quita la arcilla sobrante y se traslada al galápago dando la forma curva a la teja, para después dejar secar al sol durante 8

días. Una vez secas, se transportan al horno para la cocción de la materia prima. Finalmente se extraen y se almacenan. (Urdangarin & Izaga, 2011)

### 2.1.2.3. Método de construcción con teja

Las tejas generalmente se asientan sobre vigas de madera de tal manera que el techo forme un ángulo aproximado de 20°. Las tejas son traslapadas entre ellas y unidas con algún tipo de mortero que puede ser barro o cemento. (Crespo S. , 2010)

## 2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MATERIALES VERNÁCULOS

Desde un punto de vista general, se puede mencionar las siguientes ventajas y desventajas que tienen los materiales vernáculos.

**Tabla 2.1** Ventajas y Desventajas de Materiales Vernáculos

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Bajo impacto al medio ambiente.	El tiempo de manufactura se puede alargar si no se tiene un clima seco
Bajo costo de manufactura	Sensibles a la humedad.
Buen aislamiento térmico	Frágil y sensible a fracturas durante el traslado y manipulación.
Versatilidad para reformas en construcción.	Baja productividad
Rapidez constructiva a pequeña escala.	Las viviendas se limitan a 2 o 3 pisos máximo.
Posibilidad de habitar desde el momento de finalización de la construcción.	

**Fuente:** (Yepez, 2012)

### 2.3. MATERIALES VERNÁCULOS EN EL ECUADOR

La teja y el adobe como materiales vernáculos son y han sido empleados generalmente en los siguientes tipos de construcciones:

- En construcciones coloniales. Por ejemplo, es común ver en ciudades como Quito, Cuenca, Loja, Latacunga, Cayambe, Ibarra, etc., edificaciones que han sido elaboradas con adobe, bahareque y tapial, que se ubican principalmente

en la zona colonial de cada ciudad. Por supuesto no solo se observa viviendas tradicionales en las principales ciudades, sino que se encuentran distribuidas por toda la Región. La mayoría de estas edificaciones han sido restauradas o fusionadas con concreto o ladrillo para preservar su estructura.



**Figura 2.1** Edificación elaborada con adobe, Iglesia de la Catedral de Quito

**Fuente:** <http://www.cruisesingalapagos.com/pictures/cathedral-quito.htm>



**Figura 2.2** Casa de adobe y teja en Cayambe, Pichincha

**Fuente:** Propia

- En lugares recónditos donde es más fácil emplear tierra del propio terreno.
- En la construcción de hornos para cocina o fabricación de ladrillo y teja. Este material es empleado en este tipo de aplicaciones por su baja conductividad y alta capacitancia térmica.



**Figura 2.3** Construcción de horno de adobe para ladrillos, Yaruquí, Pichincha.

**Fuente:** Propia

- En las construcciones particulares que se utilizan como vivienda o cabañas turísticas.



**Figura 2.4** Vivienda de adobe y teja en Conocoto, Pichincha

**Fuente:** <http://ecuador.vive1.com/propiedad/36910/propiedad#.VCSDOPI5PVc>

## 2.4. ANÁLISIS SUCS

El Análisis SUCS consiste en realizar las siguientes pruebas: análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y contenido de humedad de una muestra de suelo para ser clasificado según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). (Crespo C. , 2004)

Es importante conocer ciertos términos antes de definir el Análisis SUCS.

**Lote:** Se define como un grupo de adobes o tejas de similar forma y tamaño, fabricados en condiciones similares y que se somete a inspección como conjunto unitario (INEN-987, 1982).

**Análisis Granulométrico:** Con el suelo seco se determina la distribución por tamaño de las partículas presentes en este, como un porcentaje del peso seco total. La metodología para determinar este parámetro se basa en las normas ASTM D 421 y D422. Se coloca la muestra de suelo seco en una serie de tamices y se determina el peso de material retenido en cada tamiz.

**Contenido de Humedad:** Es la relación entre el peso del agua contenida y el peso del suelo seco. Se determina en base a la norma ASTM D 2216 y la INEN 690, en donde se pesa una muestra de suelo antes y después de ser secada. (Crespo C. , 2004)

**Límite Líquido:** es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como una material plástico. Se lo realiza según la norma ASTM D423. La muestra de suelo húmedo se coloca en una cuchara de bronce. Se divide la muestra en dos mediante un divisor normalizado y se golpea la cuchara contra una base mediante una manivela. Las porciones de suelo húmedo tienden a unirse por cada golpe y si el surco comprendido entre las dos porciones es  $\frac{1}{2}$  pulg. después de 25 golpes, la humedad del suelo corresponde al límite líquido (Shuan, 2004).

**Límite Plástico:** es el contenido de humedad del suelo donde este se rompe o resquebraja. Por debajo de este límite se considera al suelo como un material no plástico. El procedimiento para determinar dicho porcentaje de humedad consta en la norma ASTM D424, el cual consiste en obtener moldes cilíndricos de 3 mm. de diámetro hasta que se formen fisuras que provoquen la ruptura del cilindro. (Shuan, 2004).

**Índice de Plasticidad:** Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

**CL:** Son arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas y arcillas pobres.

**CL-OL:** Son arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad con limos orgánicos.

**ML-CL:** Son limos inorgánicos con arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad.

En el Anexo 8 se adjuntan los resultados del Análisis SUCS realizado a los suelos utilizados en la fabricación de la teja y el adobe, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2** Clasificación SUCS del Adobe y la Teja

	LOTE	UBICACION	TIPO DE SUELO
<b>ADOBE</b>	1	TABABELA	CL
	2	TABABELA	CL
	3	TABABELA	CL
	4	CAYAMBE	CL
	5	YARUQUI	CL
<b>TEJA</b>	1	IBARRA	CL-OL
	2	IBARRA	CL
	3	IBARRA	CL
	4	YARUQUI	ML-CL
	5	LATACUNGA	CL

**Fuente:** Propia

Como se puede observar en la tabla 2.1 los suelos utilizados para el adobe son arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, mientras que para la teja se puede observar otras variaciones como arcillas inorgánicas con limos orgánicos o inorgánicos, pero en su mayoría son suelos CL.

## **2.5. PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TÉRMICAS**

Si bien hay un gran número de propiedades que se pueden determinar en un material, a continuación solo se muestran aquellas que se evalúan en esta tesis y que constan en el alcance de este proyecto.

## 2.5.1. PROPIEDADES FÍSICAS

### 2.5.1.1. Densidad

La densidad ( $\rho$ ) viene dada por la relación entre la masa y el volumen de una muestra de material. Esta propiedad varía ligeramente con los cambios de temperatura y presión en la mayoría de los sólidos. (Serway & Jerry., 2001)

La densidad se define matemáticamente como:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

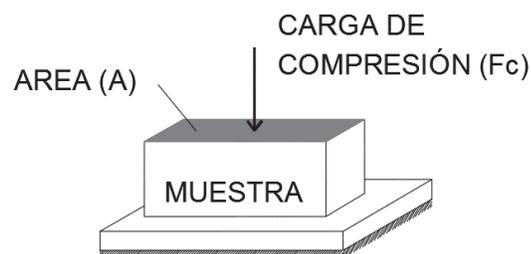
$m$ : Masa (kg)

$V$ : Volumen ( $\text{m}^3$ )

## 2.5.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

### 2.5.2.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión ( $R_c$ ) es el máximo esfuerzo que un material es capaz de desarrollar cuando se aplica una fuerza normal a determinada superficie de este, generando una deformación constituida por una contracción longitudinal y un ensanchamiento transversal. (Pérez, 1992)



**Figura 2.5** Esquema de Ensayo de Compresión

**Fuente:** Propia

La resistencia a la compresión se define matemáticamente como:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (2.2)$$

Donde:

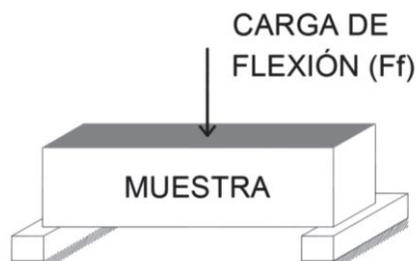
$R_c$ : Resistencia a la Compresión (Pa)

$F_c$ : Fuerza de Compresión (N)

$A$ : Área de Incidencia ( $m^2$ )

### 2.5.2.2. Resistencia a la flexión

Un material trabaja a flexión cuando existe deformación causada por la aplicación de una fuerza con dirección perpendicular al eje longitudinal, donde las fibras interiores con respecto al centro de curvatura trabajan a compresión, mientras que las fibras exteriores trabajan a tracción. (De la Rosa, 2012)



**Figura 2.6** Esquema de ensayo de flexión

**Fuente:** Propia

## 2.5.3. PROPIEDADES TÉRMICAS

### 2.5.3.1. Calor específico

El calor específico ( $C_p$ ) es una propiedad térmica que se define como la energía requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado. Las unidades de esta propiedad en el Sistema Internacional (S.I.) son  $\left(\frac{J}{kgK}\right)$ .

(Cengel, 2003)

### 2.5.3.2. Conductividad térmica

La conductividad térmica es una medida de la capacidad que tiene un material para conducir calor a través de una unidad de área debido a un gradiente de temperatura. Las unidades de esta propiedad en el Sistema Internacional (S.I.) son  $\left(\frac{W}{mK}\right)$ . Si un material tiene un valor de conductividad térmica alto se lo considera conductor, mientras que si este valor es bajo se considera a este material como un aislante. (Cengel, 2003)

## 2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de los datos obtenidos se desarrolla una distribución t, por medio de la cual se obtiene un intervalo de confianza con el que se puede estimar un valor medio para cada propiedad.

### 2.6.1. DISTRIBUCIÓN T – STUDENT

Es importante conocer ciertos términos antes de definir el método de distribución t-Student.

**Desviación típica de la muestra:** Es una medida de dispersión de los datos respecto a la media aritmética.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2.3)$$

Donde:

$\bar{x}$ : Media de muestra.

S: Desviación de la muestra.

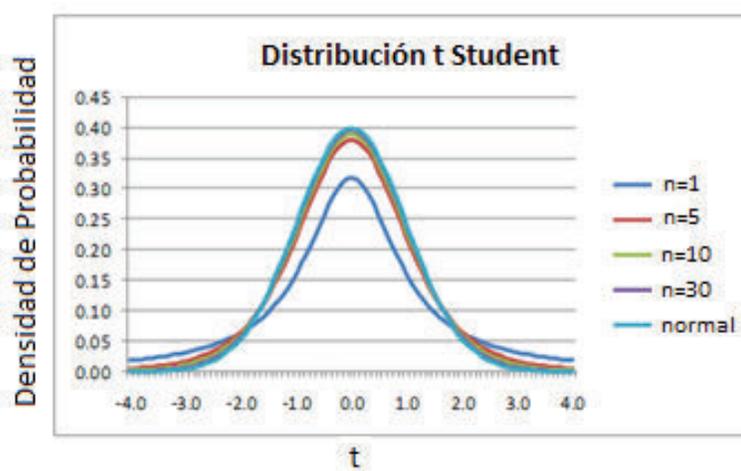
n: Tamaño de la muestra.

$X_i$ : Dato Obtenido

**Grados de libertad:** Se define como el número de datos menos uno.

**Nivel de confianza (NC):** Se define por el experimentador, teniendo valores típicos de 95, 98 y 99%. Es cuanto se confía que el valor de la propiedad está dentro del intervalo establecido.

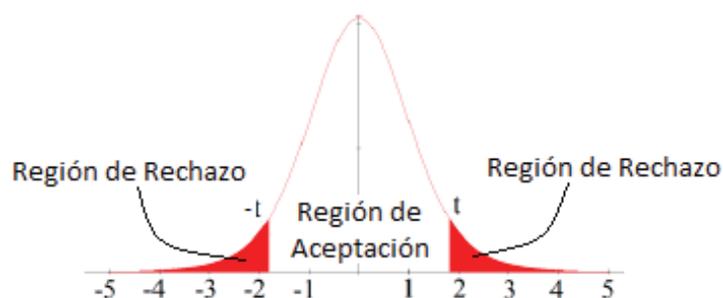
Entonces, la distribución t - Student sirve para la determinación de un intervalo de confianza cuando se desconoce la desviación típica de una población. Se representa gráficamente y muestra la probabilidad de encontrar el verdadero valor de un ensayo mediante la prueba t, la que consiste en encontrar t según la tabla de Distribución t - Student conociendo los grados de libertad y el nivel de confianza (Flor, 2013).



**Figura 2.7** Distribución t – Student para distintos grados de libertad

**Fuente:** <http://www.real-statistics.com/students-t-distribution/t-distribution-basic-concepts/>

Con el valor de  $\alpha$  que es  $1-NC$  y los grados de libertad se va a la tabla de la Distribución t - Student (Anexo 9) y se determina el valor de t con el que se delimita el área en la que es probable que se encuentre el valor medio de los datos analizados. Para un NC del 95% se tiene un  $\alpha$  del 5% y con 6 grados de libertad t es igual a 2,447. Se considera una distribución con dos regiones de rechazo porque se asume que el valor medio de la propiedad se encuentra dentro de un intervalo de aceptación determinado por estas dos regiones. El eje de las abscisas de la Figura 2.7 representa la propiedad analizada y su desviación, mientras que el eje de las ordenadas es la función de densidad de probabilidad.



**Figura 2.8** Distribución t de dos colas

**Fuente:** Propia

### 2.6.2. INTERVALO DE CONFIANZA

Es imposible conocer el valor de la media poblacional utilizando la información de una muestra. Sin embargo, es posible establecer un rango dentro del cual se encuentre la media poblacional con cierta probabilidad preestablecida. A este rango de valores se le conoce como intervalo de confianza, mientras que a la probabilidad preestablecida se la conoce como el nivel de confianza. A medida que el nivel de confianza aumenta el intervalo se hace más grande.

Para el cálculo del intervalo de confianza hay dos casos:

- a) Con desviación típica poblacional
- b) Sin desviación típica poblacional

Debido al número de datos el estudio se enfoca en el caso b ya que no se tiene una desviación que pueda representar a la desviación típica poblacional. En este caso la fórmula que se utiliza para calcular los extremos del intervalo es la siguiente (Suárez, 2007):

$$IC = \bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2.4)$$

Donde:

$\bar{x}$ : Media de muestra.

S: Desviación de la muestra.

$n$ : Tamaño de la muestra.

$t_{n-1,\alpha/2}$ : Valor de la  $t$  de la distribución  $t$  – Student que deja por arriba o por abajo una probabilidad igual a  $\frac{\alpha}{2}$  con un  $n-1$  grados de libertad.

Para calcular el valor de  $t_{n-1,\alpha/2}$  se puede utilizar la tabla de la distribución  $t$  de Student, o cualquier software de estadística.

El proceso para el cálculo del intervalo consiste en estimar la desviación típica de los datos ( $S$ ) y calcular el error estándar de la media ( $S_{\bar{x}}$ ):

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

Este valor se multiplica por la  $t$  obtenida y se obtienen los extremos del intervalo de confianza.

Este es el resultado obtenido de la prueba  $t$  de Student. (Suárez, 2007)

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS**

El presente capítulo muestra la metodología de los ensayos que forman parte de los objetivos de este proyecto de titulación, la cual es planteada por los autores de esta tesis en base a normas, proyectos de titulación, libros, o artículos científicos relevantes relacionados con materiales vernáculos en cuanto a densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, conductividad térmica y calor específico.

La información técnica de los equipos utilizados se encuentra en el Anexo 2.

#### **3.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LOS ENSAYOS**

A continuación se muestran las actividades necesarias para la preparación de las muestras.

Secar las muestras en el horno eléctrico (Horno eléctrico GCA Precision Scientific; potencia: 6000 W) a una temperatura de 105 a 110°C hasta que el peso sea relativamente constante (Balanza electrónica Santorius; apreciación: 0.1 g). Según la norma INEN 1319 se considera que la probeta tiene peso constante cuando la variación entre dos mediciones consecutivas tomadas con una diferencia no mayor a dos horas es menor o igual al 1%. Posteriormente las probetas son mantenidas en un desecador para evitar que ganen humedad nuevamente.

Se recomienda que las muestras estén libres de partículas sueltas en la superficie y cuidar la integridad de las aristas y los vértices de las probetas.

#### **3.2. METODOLOGÍA PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS**

A continuación se muestra el método empleado para el ensayo de densidad al adobe y la teja.

##### **3.2.1. ENSAYO DE DENSIDAD**

En el presente proyecto se determina la densidad aparente, la misma que es determinada en base a la norma ASTM D7263. Según la norma mencionada la

densidad aparente se determina introduciendo las probetas de adobe y teja en agua destilada, la cual reduce los efectos de tensión superficial. Para evitar que se filtre agua al momento de sumergir las probetas, se las cubre con parafina. La densidad de la parafina influye en los cálculos de la densidad del adobe y la teja, por lo que es determinada en el punto 3.2.1.1. También se debe tomar en consideración que el volumen varía con respecto a la temperatura, por lo que el agua del recipiente debe estar a una temperatura de aproximadamente 20°C. Finalmente la densidad se calcula mediante la relación entre la masa y el volumen incluido poros abiertos y cerrados.

En cuanto al muestreo, con referencia al trabajo realizado por Paredes y Caycho (2009) respecto al adobe, y a la norma INEN 987 para la teja, se realiza el ensayo de densidad a siete probetas de cada lote de adobe y teja.

#### 3.2.1.1. Determinación de la densidad de la parafina

Para la determinación de la densidad de materiales vernáculos mediante la norma ASTM D 7263 se hace necesario la determinación de la densidad de la parafina empleada para recubrir las probetas. Para ello se ensaya probetas cilíndricas de parafina cuyas medidas de altura y diámetro son determinadas mediante un calibrador (Calibrador Mituoyo; apreciación: 0.05 mm). La masa correspondiente a cada probeta se determina con una balanza electrónica. Finalmente, mediante la división de la masa (kg) con el volumen ( $m^3$ ) se obtiene la densidad de la parafina ( $kg/m^3$ ).

En el Anexo 4 se muestra fotografías acerca del procedimiento de este ensayo para la determinación de densidad de la parafina.

A continuación se muestra los datos obtenidos de densidad de la parafina.

**Tabla 3.1** Resultados del ensayo de densidad para la parafina

Probeta	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Volumen ( $cm^3$ )	Masa (g)	Densidad ( $g/cm^3$ )	Densidad ( $kg/m^3$ )
Q1	45,20	17,68	28,37	25,5	0,899	899
Q2	45,50	21,15	34,39	30,9	0,899	899
Q3	40,20	29,98	38,06	33,9	0,891	891

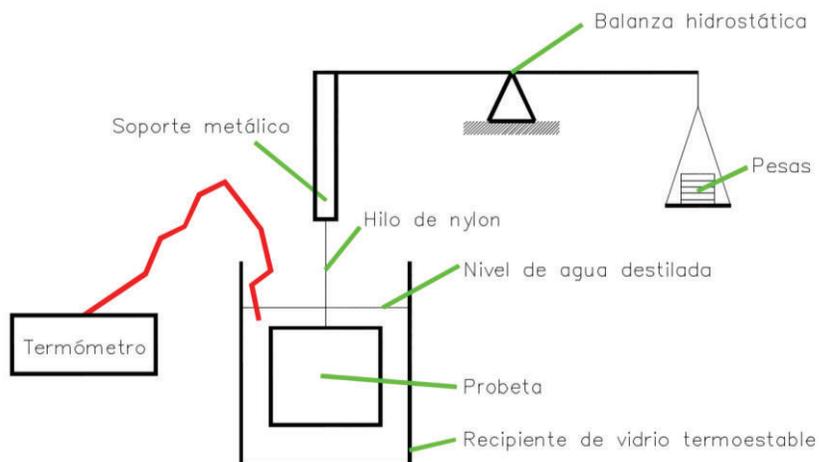
Q4	40,10	28,68	36,22	32,7	0,903	903
Q5	40,20	29,10	36,93	33,4	0,904	904
Q6	40,03	29,87	37,59	34	0,904	904
Q7	40,18	27,77	35,21	31,9	0,906	906
				<b>Promedio</b>	0,901	901

**Fuente:** Propia

Se concluye que el valor de densidad de la parafina empleada para el ensayo de densidad del adobe y la teja a temperatura ambiente es de 901 (kg/m<sup>3</sup>).

### 3.2.1.2. Cálculos para la determinación de la densidad

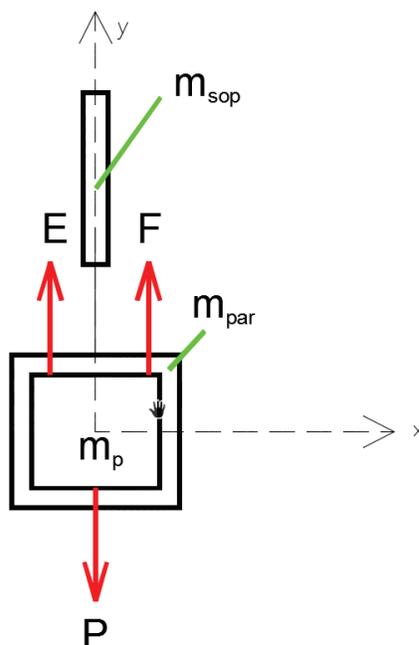
En base a la norma ASTM D 7263 a continuación se muestran una serie de ecuaciones que permiten llegar al cálculo de la densidad, la misma que es función de la masa y el volumen. El volumen se determina en base al principio de Arquímedes, el mismo que dice: “todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado”. (Ángel, 2010)



**Figura 3.1** Esquema del ensayo de densidad

**Fuente:** Propia

Para la determinación del modelo matemático, en primera instancia se emplea la ecuación de balance de fuerzas con su respectivo diagrama como se muestra a continuación



**Figura 3.2** Diagrama de masas y de cuerpo libre del ensayo de densidad

**Fuente:** Propia

En relación a la figura anterior se muestra la ecuación de equilibrio de fuerzas en el eje  $y$  (Burbano, 2003).

$$\sum F_y = 0 \quad (3.1)$$

$$E + F = P \quad (3.2)$$

Donde

E: Empuje del cuerpo definido como el peso de agua desalojada.

F: Fuerza ejercida por las pesas de la balanza hidrostática

P: Peso de la probeta cubierta con parafina y del soporte metálico

Considerando que el empuje es el peso del fluido desalojado y el peso es la masa multiplicada por la gravedad (Burbano, 2003), la ecuación 3.2 se puede expresar de la siguiente manera:

$$\rho_{H_2O} V_d g + m_2 g = (m_p + m_{par} + m_{sop}) g \quad (3.3)$$

Dónde:

$\rho_{H_2O}$ : Densidad del agua destilada a 20°C (kg/m<sup>3</sup>)

$V_d$ : Volumen desplazado por la probeta cubierta con parafina (m<sup>3</sup>)

$g$ : Gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>)

$m_2$ : Masa que se coloca en la balanza hidrostática para alcanzar el equilibrio (kg).

$m_p$ : Masa de la probeta (kg).

$m_{par}$ : Masa del recubrimiento de parafina (kg).

$m_{sop}$ : Masa del soporte metálico (kg).

A partir de la ecuación 3.3 se obtiene las siguientes expresiones:

$$\rho_{H_2O} (V_p + V_{par}) + m_2 = (m_p + m_{par} + m_{sop}) \quad (3.4)$$

$$\rho_{H_2O} \left( V_p + \frac{m_{par}}{\rho_{par}} \right) + m_2 = (m_p + m_{par} + m_{sop}) \quad (3.5)$$

$$V_p = \frac{m_p + m_{par} + m_{sop} - m_2}{\rho_{H_2O}} - \frac{m_{par}}{\rho_{par}} \quad (3.6)$$

Considerando que la densidad es igual a la masa dividida por el volumen, la ecuación que sirve como modelo matemático para el presente ensayo es:

$$\rho_p = \frac{m_p}{V_p} = \frac{m_p}{\frac{m_p + m_{par} + m_{sop} - m_2}{\rho_{H_2O}} - \frac{m_{par}}{\rho_{par}}} \quad (3.7)$$

Dónde:

$\rho_p$ : Densidad de la probeta de adobe o teja (kg/m<sup>3</sup>).

$V_p$ : Volumen de la probeta de adobe o teja (m<sup>3</sup>).

$V_{par}$ : Volumen de parafina (m<sup>3</sup>).

$\rho_{par}$ : Densidad de la parafina a 20°C (kg/m<sup>3</sup>).

### 3.2.1.3. Procedimiento para el ensayo de densidad

1. Cortar probetas (Ingleteadora Target Mansonry Saw; potencia: 2200 W). En el caso del adobe estas son en forma de paralelepípedo y varían en su longitud de arista entre 3 a 10 cm. En el caso de la teja las muestras tienen dimensiones de largo y ancho aproximado de 10 x 15 cm.



**Figura 3.3** Probetas de adobe para ensayos de densidad

**Fuente:** Propia

2. Determinar la masa del soporte o gancho metálico de la balanza hidrostática (Balanza hidrostática Murayama Seisakusho Ltd.; apreciación: 0.5 g) donde las probetas son suspendidas. Este valor es constante para todos los ensayos de densidad.
3. Determinar la masa de los adobes y las tejas secas en la balanza digital (Balanza electrónica Santorius; apreciación: 0.1 g).
4. Sumergir los especímenes rápidamente tres o cuatro veces en parafina para evitar que ingrese humedad dentro del material.
5. Determinar nuevamente la masa de las probetas de adobe y teja con parafina.
6. Colocar mediante un hilo fino de nylon la probeta en el soporte o gancho metálico de la balanza hidrostática.
7. Controlar la temperatura del líquido del recipiente a 20°C (Multímetro digital Fluke 179 con Termocupla Tipo K, apreciación: 0.1 °C). Bajo el recipiente de vidrio (Recipiente de vidrio termoestable Boeco; capacidad: 5 l) se encuentra un agitador magnético (Agitador magnético Ovan Micromix; capacidad: 8 l) para homogenizar la temperatura del líquido contenido.



**Figura 3.4** Proceso de cubrir con parafina a las probetas

**Fuente:** Propia

8. Determinar el peso en agua de la probeta mediante la balanza hidrostática.



**Figura 3.5** Ensayo de densidad a la teja artesanal

**Fuente:** Propia

9. Con los datos obtenidos se aplica la Ecuación 3.7 para determinar la densidad de las muestras.

### **3.3. METODOLOGÍA PARA LOS ENSAYOS MECÁNICOS**

A continuación se muestra la metodología aplicada en cuanto a ensayo de compresión y flexión.

#### **3.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

El ensayo de resistencia a la compresión constituye uno de los ensayos más comunes para determinar la calidad de elementos de mampostería en la

construcción (Crouch, Brogdon, Henderson, & Lanham, 1998), por lo que este ensayo es fundamental para caracterizar al adobe. Por otro lado, según la norma INEN 988 sobre tejas cerámicas, para caracterizar la teja mecánicamente no es necesario un ensayo de compresión, sino más bien uno de flexión. Por lo tanto el ensayo de compresión solo aplica al adobe.

En los registros ecuatorianos no hay una norma específica respecto al adobe, a pesar de haber documentos relacionados como la INEN 294 de ensayos de compresión a ladrillos cerámicos o el proyecto de titulación de Siavichay y Narváez (2010) acerca del adobe en Cuenca. Por lo tanto se decide que el procedimiento a seguir para caracterizar el adobe mecánicamente es el explicado en la normativa peruana NTE E.080.

Con respecto al muestreo ese realiza 6 ensayos a cada lote de adobe como se indica en la norma NTE E.080.

#### **3.3.1.1. Procedimiento para el ensayo de resistencia a la compresión**

A continuación se muestra la serie de pasos que se requiere para llegar a determinar el valor de resistencia a la compresión.

1. Cortar al paralelepípedo de adobe en cubos de arista aproximadamente igual a la menor medida del bloque, procurando el paralelismo entre caras opuestas (Ingleteadora Target Mansonry Saw; potencia: 2200 W).
2. Tomar medidas de ancho y largo de la cara donde se aplica la carga (Calibrador Mitutoyo; apreciación: 0.05 mm).
3. Aplicar una fina capa de mezcla con la misma tierra del espécimen analizado, procurando que las caras de aplicación de la carga sean planas y paralelas. De esta manera la carga aplicada es uniformemente distribuida y perpendicular a las superficies en contacto entre el adobe y la prensa de ensayos. Cabe recalcar la recomendación de este numeral no forma parte de la norma NTE E.080, pero se lo realiza para atenuar el efecto de la irregularidad de las caras de aplicación de la carga (Crouch et al., 1998).



**Figura 3.6** Capa de tierra para conseguir superficies planas y paralelas

**Fuente:** Propia

4. Secar las muestras en el horno eléctrico de 105 a 110°C (Horno GCA Precision Scientific; potencia: 6000 W) hasta alcanzar un peso constante, con el objetivo de no considerar el efecto de la humedad en la resistencia a la compresión, como indica la norma INEN 1319.
5. Colocar la probeta en la máquina de ensayos (Prensa de ensayos Enymacon; capacidad: 160 ton; apreciación: 1 kg) centrando el émbolo de la prensa con respecto al espécimen. Si el equipo disponible tiene un área de aplicación menor a la de la cara del espécimen es necesario incluir una placa adicional de área que sobrepase las dimensiones de las probetas.
6. Aplicar primeramente la mitad de la carga de rotura supuesta a cualquier velocidad de aplicación. Después se aplica la carga restante gradualmente en un intervalo de tiempo de 1 a 2 minutos.



**Figura 3.7** Probeta de adobe en la máquina de ensayos

**Fuente:** Propia

7. Se toman datos de carga máxima en la máquina de ensayos.
8. La medida de resistencia es el cociente entre la carga máxima y el área, expresada en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

### **3.3.2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

Para caracterizar mecánicamente a la teja con respecto a la flexión se emplea la norma INEN 988. En cuanto al adobe, en la norma NTE E.080 no se especifica como influyente el ensayo de flexión para caracterizar mecánicamente a este elemento constructivo. Por lo tanto se decide realizar el ensayo de flexión solamente a la teja artesanal.

Considerando que las probetas de teja analizadas no tienen dimensiones y formas constantes se implementa un soporte de acero de apoyos móviles para centrar y alinear la probeta con respecto al área de aplicación de carga. Posteriormente se aplica la carga mediante el procedimiento mostrado a continuación.

En cuanto al muestreo, la norma INEN 988 indica que se ensayen 5 probetas.

#### **3.3.2.1. Procedimiento para el ensayo de resistencia a la flexión**

1. Determina el centro de la teja, para ser tomado con referencia de aplicación de carga.
2. Colocar la teja en el soporte de apoyos móviles (Soporte de acero para alineación de la teja en Anexo 2) de tal manera que el espécimen quede alineado con respecto a la dirección de aplicación de la carga. Para verificar la alineación se emplea el medidor de nivel.
3. Colocar sobre el lomo de la teja la capa de fieltro y el acople de madera.
4. Aplica la carga a una velocidad de 40 a 50  $\text{kgf}/\text{min}$ . (Prensa de ensayos a flexión Suzpecar; capacidad: 1 Ton; apreciación: 0.1  $\text{kgf}$ ).
5. Tomar datos de carga máxima en  $\text{kgf}$ .
6. La resistencia a la flexión de cada muestra está dada por la carga de rotura que indique la máquina.



**Figura 3.8** Acoplamiento de madera para aplicación de carga

**Fuente:** Propia



**Figura 3.9** Ensayo de flexión a la teja artesanal

**Fuente:** Propia

### 3.4. METODOLOGÍA PARA LOS ENSAYOS TÉRMICOS

A continuación se muestra la metodología relacionada a los ensayos de conductividad térmica y calor específico para la caracterización del adobe y la teja.

En cuanto al muestreo se cuenta como referencia al trabajo de Lertwattanakruk y Choksiriwanna (2011), donde para los ensayos de propiedades térmicas se toman tres probetas de diferentes tipos de materiales vernáculos. Adicionalmente en la norma ASTM D 4611 se especifica que en el caso de no existir homogeneidad en el material analizado se tome más de una muestra del mismo bloque. Así es el caso del adobe, donde se tiene una diversidad de constituyentes como tierra, paja, tamo de cebada, piedras, etc.; a diferencia de la teja, que principalmente está constituida por tierra cocida. Tomando en cuenta las consideraciones expuestas en este párrafo se decide realizar los ensayos térmicos a 3 tejas y 3 bloques de adobe de cada lote, con

la diferencia que se analiza dos probetas de cada bloque de adobe debido a la heterogeneidad mencionada.

### 3.4.1. ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Para la determinación de la conductividad se procede a seguir la norma ASTM C518. Se emplea el equipo de conductividad térmica lineal Armfield HT10X del Laboratorio de instrumental de la Facultad de Química de la EPN. Este equipo cuenta con un aislamiento apropiado para garantizar un flujo de calor normal al espécimen. Se calcula la conductividad en base al principio de Fourier mediante el paso de un flujo térmico a través de la probeta con un foco de temperatura frío y otro caliente (Armfield, 2006).



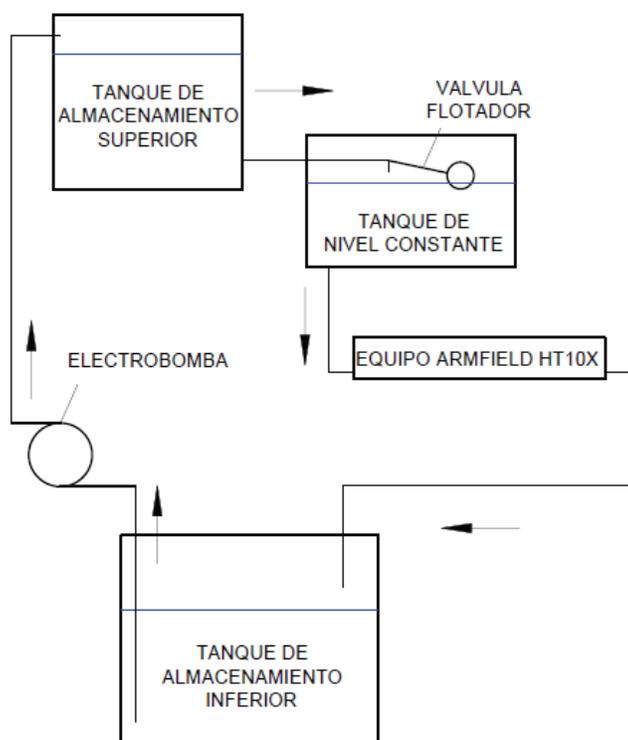
**Figura 3.10** Equipo de conducción lineal Armfield HT10X

**Fuente:** <http://discoverarmfield.com/en/products/view/ht10xc/computer-controlled-heat-transfer-teaching-equipment>

El equipo empleado sirve para determinar la conductividad térmica de diferentes materiales, tanto aislantes como conductores. En las prácticas habituales desarrolladas en el equipo se determina la conductividad de una muestra cilíndrica conductora de cobre y de otra aislante de tela. Dichas muestras se encuentran rodeadas por un aislante cilíndrico de duralón (Figura 3.13) para evitar flujos térmicos radiales. Al considerar a los materiales vernáculos como aislantes, se sustituye a la muestra de tela por una de adobe o teja, solo que con espesor mayor.

En cuanto al ajuste de parámetros como voltaje y flujo de agua, se siguen las recomendaciones presentadas en el manual del fabricante del equipo. Específicamente se establece para los ensayos de aislantes, 2,5 V y 1.5 l/min.

El equipo empleado para los ensayos presenta ciertos problemas relacionados con el suministro de agua del edificio del cual el foco frío se alimenta. El mencionado suministro es afectado por el consumo y las condiciones ambientales. Según la teoría de flujo interno la temperatura superficial de la tubería depende del caudal y de la temperatura del fluido que circula (Incropera, 2006). Por lo tanto el foco frío no permanecerá en condiciones de temperatura constantes lo que no permitirá alcanzar el estado de equilibrio. Por esta razón es necesario implementar un sistema de control de flujo y temperatura para el foco frío. El agua es suministrada a través de un sistema de tanques que mantiene el nivel constante. Así mismo la temperatura se mantiene constante por medio de un equipo de refrigeración (Dispensador de agua TCL). El circuito por el cual recircula el fluido es mostrado a continuación.

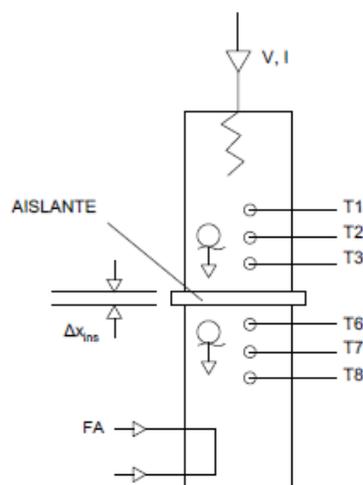


**Figura 3.11** Esquema de bloques para el ensayo de conductividad térmica

**Fuente:** Propia

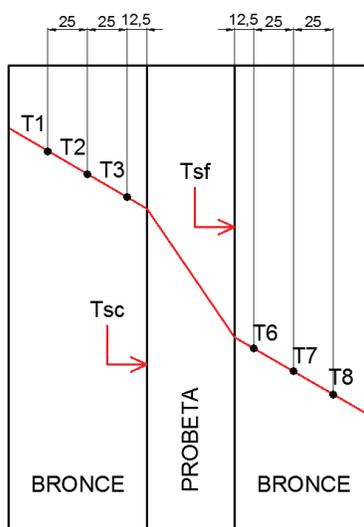
### 3.4.1.1. Cálculos para la determinación de la conductividad térmica

En este punto se presenta una serie de ecuaciones con las cuales es posible determinar la conductividad térmica en el adobe y teja artesanal. A continuación se muestra esquemáticamente la ubicación de los sensores de temperatura y del soporte de material aislante, dentro del cual se encuentra la probeta de espesor  $\Delta x$ .



**Figura 3.12** Diagrama esquemático del equipo de Conductividad Térmica

**Fuente:** Manual de laboratorio equipo Armfield HT10X



**Figura 3.13** Gradiente teórico de temperaturas en el ensayo

**Fuente:** Propia

La ecuación para determinar la conductividad lineal según la ley de Fourier para un espécimen que se encuentra entre un foco caliente y frío se expresa de esta manera (Armfield, 2006):

$$k_p = \frac{Q \Delta x}{A_p (T_{sc} - T_{sf})} \quad (3.8)$$

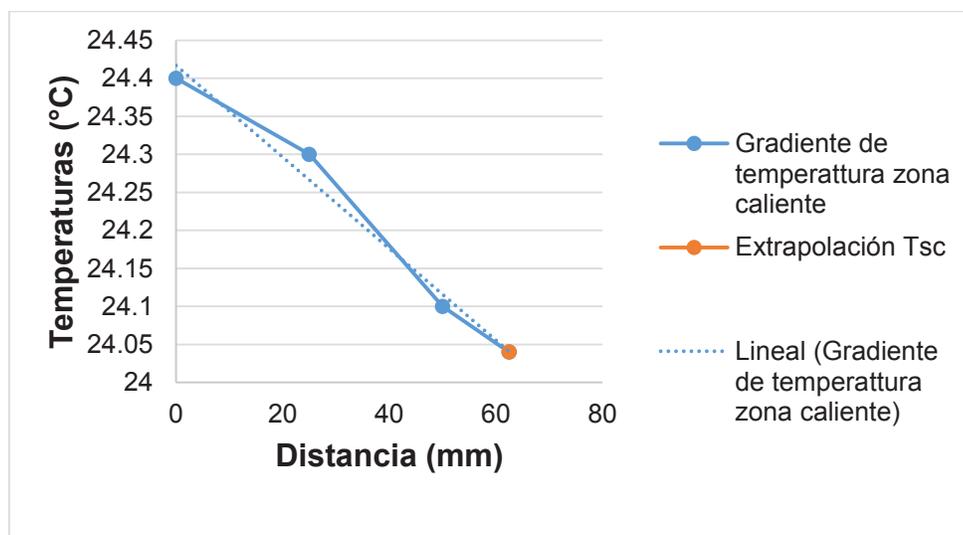
Donde:

$k_p$ : Conductividad térmica de la probeta de teja o adobe (W/m°C).

$Q$ : Es el flujo eléctrico proporcionado al equipo (W).

$A_p$ : Área normal al flujo térmico de la probeta (m).

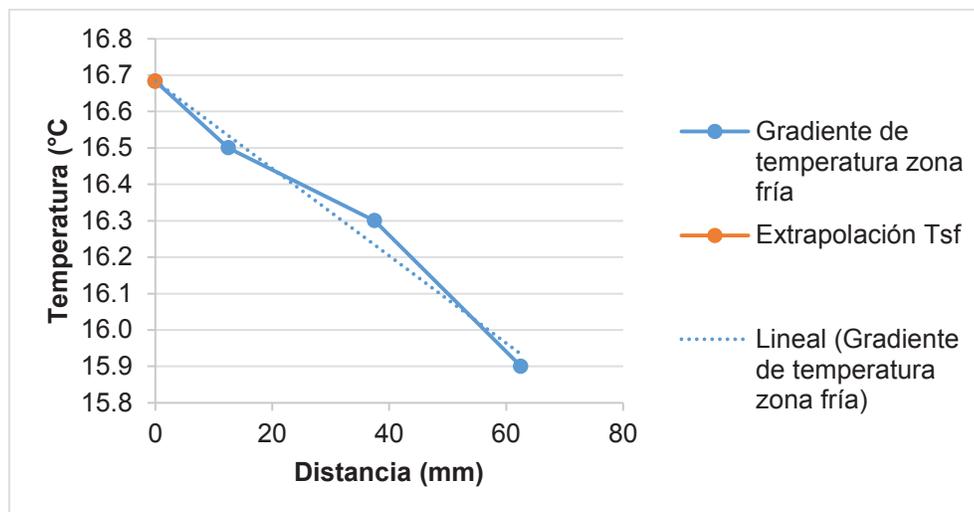
$T_{sc}$ : Temperatura de superficie caliente (°C). Se la determina mediante la obtención de una recta en base a  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  con el método de mínimos cuadrados. Con la ecuación de la recta obtenida se extrapola para obtener la temperatura superficial  $T_{sc}$ .



**Gráfica 3.1** Extrapolación en base a  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  para obtener  $T_{sc}$

**Fuente:** Propia

$T_{sf}$ : Temperatura de superficie fría (°C). El proceso para determinar  $T_{sf}$  es el mismo que para  $T_{sc}$ , solo que para la extrapolación se emplea  $T_4$ ,  $T_5$  y  $T_6$ .



**Gráfica 3.2** Extrapolación en base a  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$  para obtener  $T_{sf}$ .

**Fuente:** Propia

La ecuación 3.8 considera que la resistencia térmica de contacto es nula, para lo cual se establece dos condiciones; la primera es que las caras en contacto sean lo más lisas posibles y la segunda es agregar una pasta térmica entre las superficies para desprestigiar los saltos de temperaturas.

Considerando que el flujo térmico es igual al flujo eléctrico proporcionado (Intensidad de corriente por Voltaje) y la probeta es de forma cilíndrica, la ecuación 3.8 se establece como sigue:

$$k_p = \frac{4 V I \Delta x}{\pi * D_p^2 (T_{sc} - T_{sf})} \quad (3.9)$$

Donde:

$V$ : Voltaje suministrado al equipo (V).

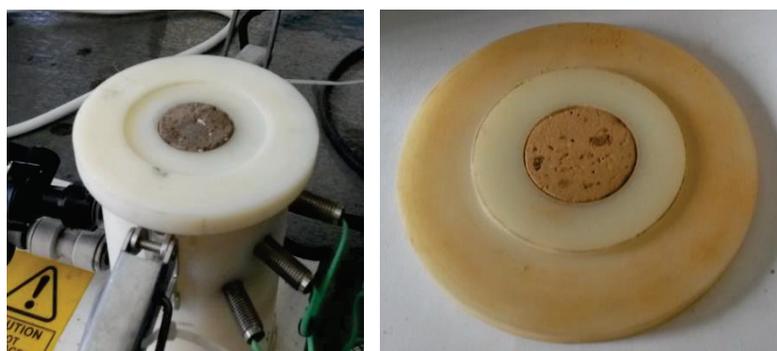
$I$ : Intensidad de corriente suministrada al equipo (A).

$D_p$ : Diámetro de la probeta (m).

#### 3.4.1.2. Procedimiento para el ensayo de conductividad térmica.

Mediante los siguientes pasos se encuentra la conductividad térmica de las muestras.

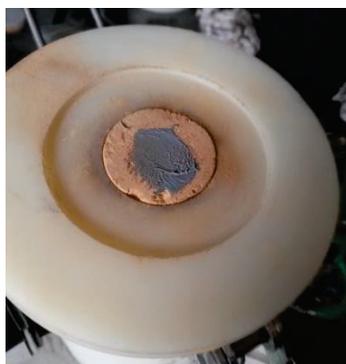
1. Cortar probetas de adobe y teja de forma cilíndrica con altura de 7.5 y 5 (mm) de altura respectivamente, con un diámetro de 26 mm. para lo cual se emplea la ingleteadora (Ingleteadora Target Mansonry Saw; potencia: 2200 W) y herramientas de corte apropiadas (Se recomienda cortar las probetas de teja mediante corte por chorro de agua o copas sierra con filo diamantado). Es muy importante que las superficies en contacto sean lo menos rugosas posibles para disminuir la resistencia de contacto.
2. Colocar la probeta respectiva en el disco aislante de duralón. En el caso de las tejas la altura del soporte es de 5mm, para el adobe es de 7.5 mm. (Las dimensiones de este soporte se encuentran en el Anexo 6)



**Figura 3.14** Aislante térmico de Duralón para probetas de adobe y teja

**Fuente:** Propia

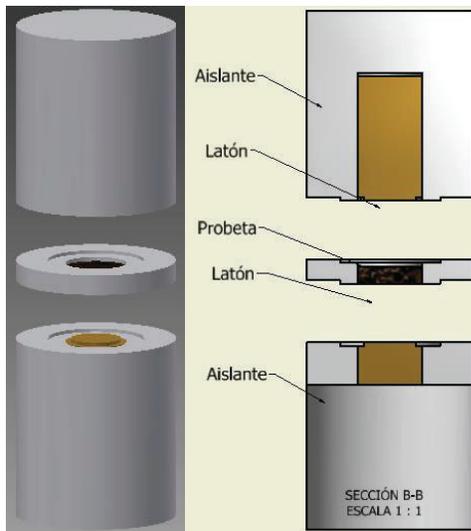
3. Cubrir las caras en contacto con pasta térmica (Pasta térmica Da Zhi Zhuang) para reducir la resistencia térmica de contacto.



**Figura 3.15** Probeta cubierta parcialmente con pasta térmica

**Fuente:** Propia

- Colocar la probeta con el soporte de duralón entre el foco frío y caliente del equipo procurando el mayor ajuste entre las superficies de bronce y de las probetas (Equipo de conducción lineal Armfield HT10X).



**Figura 3.16** (a) Ensamble equipo de conductividad, (b) Vista en corte de equipo de conductividad.

**Fuente:** Propia

- Encender la fuente de poder del equipo Armfield HT10X
- Abrir el flujo de agua hasta que alcance el valor de (1,5 l/min)..
- Ajustar el voltaje a 2.5 (V) en la fuente de poder para la teja y el adobe



**Figura 3.17** Panel frontal de control del equipo Armfield HT10X

**Fuente:** Propia

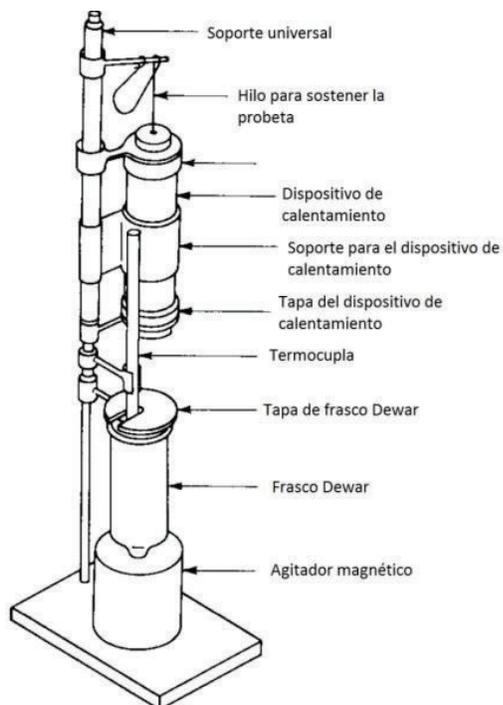
8. Tomar datos de amperaje
9. Tomar datos de temperatura T1 hasta T6 para la determinación del gradiente según la Gráfica 3.1 y 3.2.
10. Proceder al cálculo de la conductividad térmica de las probetas empleando la ecuación 3.9.
11. Permitir que el equipo llegue al equilibrio térmico. Para establecer el equilibrio térmico se toma seis valores calculados de conductividad y se determina la desviación media. Cuando ésta es menor a 0.01 (W/m°C) se considera que el experimento ha llegado a estabilizarse.
12. Cerrar el flujo agua.
13. Apagar la fuente de poder una vez terminado el ensayo.

### **3.4.2. ENSAYO DE CALOR ESPECÍFICO**

Para la determinación del calor específico ( $c_p$ ) del adobe y la teja artesanal se emplean dos métodos. El primero se basa en un análisis termodinámico y se lo aplica únicamente a tejas dado que en este ensayo el material entra en contacto con agua, lo cual no es posible con el adobe ya que las muestras sufrirían fragmentación. El segundo método se aplica a las probetas de adobe y se basa en el análisis de transferencia de calor en estado transitorio de probetas con resistencia térmica despreciable.

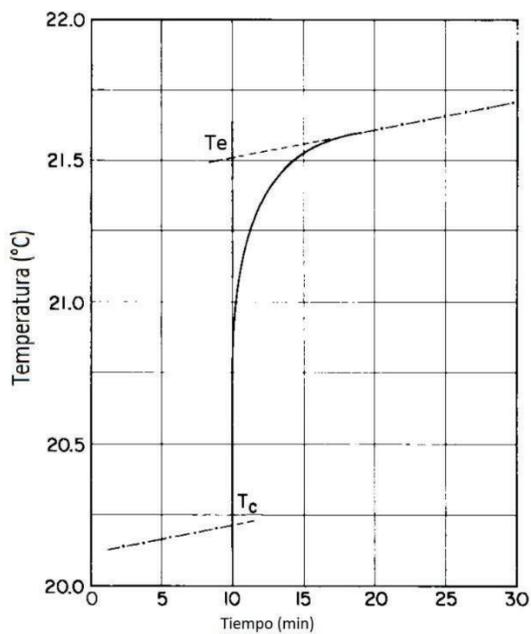
#### **3.4.2.1. Método termodinámico para el ensayo de calor específico**

Este análisis se realiza en base a la norma ASTM D4611, en donde se muestra un procedimiento para determinar el calor específico de muestras sólidas. Dicho procedimiento consiste básicamente en elevar la temperatura de una probeta a determinada temperatura dentro de un horno, para posteriormente dejarla caer rápidamente en un recipiente aislado y lleno de líquido calorimétrico, en este caso agua destilada a temperatura ambiente (aproximadamente 20°C). Se monitorea el cambio de temperatura en el agua, se determina la temperatura de equilibrio (Ver Gráfica 3.3) y se procede a los cálculos que llevan a la determinación del  $c_p$  en base al modelo matemático que se muestra a continuación.



**Figura 3.18** Esquema del ensayo de calor específico según ASTM D4611

**Fuente:** ASTM D4611



**Gráfica 3.3** Determinación de la temperatura de equilibrio

**Fuente:** ASTM D4611

3.4.2.1.1. *Cálculos para la determinación del calor específico mediante el método termodinámico.*

Para la determinación del modelo matemático se establece la ecuación de balance de energía desde el punto de vista termodinámico, en donde se supone que en el sistema toda la energía acumulada por la teja se transmite al recipiente y al fluido calorimétrico el momento en que la probeta se sumerge en agua (ASTM D4611).

$$E_t = E_r + E_a \quad (3.10)$$

Donde:

$E_t$ : Energía acumulada por la teja (J)

$E_r$ : Energía que gana el recipiente después de sumergir la probeta (J)

$E_a$ : Energía que gana el agua después de sumergir la probeta (J)

Posteriormente considerando que la energía es igual al producto de la variación de temperatura por el calor específico por la masa (Cengel, 2003), la ecuación de balance de energías se presenta de la siguiente manera:

$$m_t * cp_t * (Th - Te) = C_r(Te - Ta) + m_a * cp_a * (Te - Ta) \quad (3.11)$$

Dónde:

$C_r$ : Capacitancia térmica del recipiente Dewar (J/°C)

$m_a$ : Masa de agua dentro del recipiente (kg)

$cp_a$ : Calor específico del agua evaluada a la temperatura de equilibrio (J/kg °C)

$Te$ : Temperatura de equilibrio (°C)

$Ta$ : Temperatura ambiente (°C)

$Th$ : Temperatura a la que la probeta sale del horno (°C)

$m_t$ : Masa de la probeta de teja (kg)

Despejando el calor específico de la ecuación (3.11), el modelo matemático para determinar el cp de la teja sería:

$$cp_t = \frac{(C_r + m_a * cp_a) * (Te - Ta)}{m_t * (Th - Te)} \quad (3.12)$$

3.4.2.1.2. *Procedimiento para el ensayo de calor específico mediante el método termodinámico*

Mediante el siguiente procedimiento se determina el calor específico de la teja artesanal.

1. Se corta probetas de teja de 7cm x 7cm x el espesor de la teja (Ingleteadora Target Mansonry Saw; potencia: 2200 W). Las dimensiones de las probetas se seleccionan en función de las características del frasco Dewar (Diámetro 130 mm y altura 110 mm). Probetas demasiado grandes son propensas a chocar con las paredes del recipiente, lo que es razón suficiente para descartar el ensayo según se especifica en la norma ASTM D4611. Por otro lado, la norma también recomienda que las probetas tengan la suficiente capacitancia térmica para elevar la temperatura del fluido calorimétrico en 1 a 5 °C. En este caso, para 500 ml de agua se recomienda probetas de teja de 80 g aproximadamente.
2. Se seca las muestras por 24 horas a una temperatura de 105 a 110°C. (Horno GCA Precision Scientific; potencia: 6000 W).
3. Se pesa las probetas con balanza electrónica (Balanza Santorious).
4. Se mantiene las probetas en el desecador con sales que absorben la humedad para evitar que las muestras se humedezcan nuevamente.



**Figura 3.19** Probetas de teja dentro del desecador

**Fuente:** Propia

5. Se cuelga dentro del horno (Horno Vulcan; potencia: 1440 W) a la probeta que será objeto de ensayo. El régimen de calentamiento se establece de la siguiente manera: Velocidad de calentamiento 5 ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ), Temperatura  $T_h = 200^{\circ}\text{C}$ , Permanencia 2 horas.



**Figura 3.20** Horno Vulcan para ensayo de calor específico

**Fuente:** Propia

6. Se coloca en el recipiente aislado 500 ml de agua destilada (Recipiente Dewar Pope Scientific; capacidad: 850 ml), cuya temperatura es monitoreada cada 10 segundos por 10 minutos antes de que la probeta ingrese en el agua (Termómetro digital Fluke 179, apreciación:  $0.1^{\circ}\text{C}$ ). En cuanto al comportamiento típico de la temperatura con respecto al tiempo en este tipo de ensayos, la norma ASTM D461 recomienda que se determine linealmente la variación de temperatura con respecto al tiempo. Dicha variación está indicada como la pendiente de la recta de tendencia de la gráfica y no puede superar los  $0.05^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . La temperatura del horno ( $T_h$ ) y la del agua ( $T_a$ ) es considerada como un promedio de las

temperaturas tomadas 10 minutos antes de que la probeta ingrese al recipiente.



**Figura 3.21** Recipiente Dewar sobre agitador magnético y probeta de teja.

**Fuente:** Propia



**Figura 3.22** Probeta de teja en el interior del horno y termocupla tipo K.

**Fuente:** Propia

7. Se abre la puerta del horno y rápidamente se sumerge la probeta completamente en agua. Simultáneamente se coloca la tapa del recipiente con el líquido calorimétrico cuya temperatura es monitoreada cada 10 segundos y uniformizada a través de un agitador magnético (Agitador magnético Ovan Micromix; capacidad: 8 l) a 200 rpm.
8. Después de 20 minutos de estabilización se detiene el ensayo y se grafica nuevamente la temperatura del agua vs. el tiempo.
9. Con los valores de temperatura tomados a partir de que la probeta ha ingresado al fluido, se toman 60 valores de temperatura (Durante 10 minutos) cuya línea recta de tendencia tenga una pendiente menor que la obtenida con la temperatura del agua antes de sumergir la probeta.
10. Con referencia a la Gráfica 3.3, el valor de la temperatura de equilibrio ( $T_e$ ) se determina en el punto en que la línea de tendencia corta con el eje de las abscisas, es decir en el instante cero al que la probeta ingresó al agua.
11. Se aplica la ecuación (3.12) para determinar el calor específico de dicha probeta.

#### *3.4.2.1.3. Determinación de la capacitancia térmica del recipiente Dewar*

Para determinar la capacitancia térmica del recipiente se sigue el procedimiento señalado en la norma ASTM D 4611 y detallado en el punto 3.4.2.1.2 de este proyecto. Se emplean 3 probetas de vidrio cuyas propiedades térmicas son conocidas. El calor específico del vidrio a 20 °C es 800 J/kg K (Kreith, 2011). Las probetas se calientan aproximadamente a 200 °C para caer rápidamente en un frasco Dewar, el cual contiene 500 ml de aceite automotriz SAE 10W30. Se escoge aceite como fluido calorimétrico para evitar el choque térmico que se produciría al emplear agua. Las propiedades térmicas y físicas del fluido son tomadas a la temperatura de equilibrio.

En la ecuación (3.12) se despeja la capacitancia térmica del recipiente, teniendo como resultado la siguiente ecuación:

$$C_r = \frac{m_v * cp_v * (Th - Te)}{(Te - Ta)} - m_{ac} * cp_{ac} \quad (3.13)$$

Dónde:

$m_{ac}$ : Masa de aceite dentro del recipiente (kg)

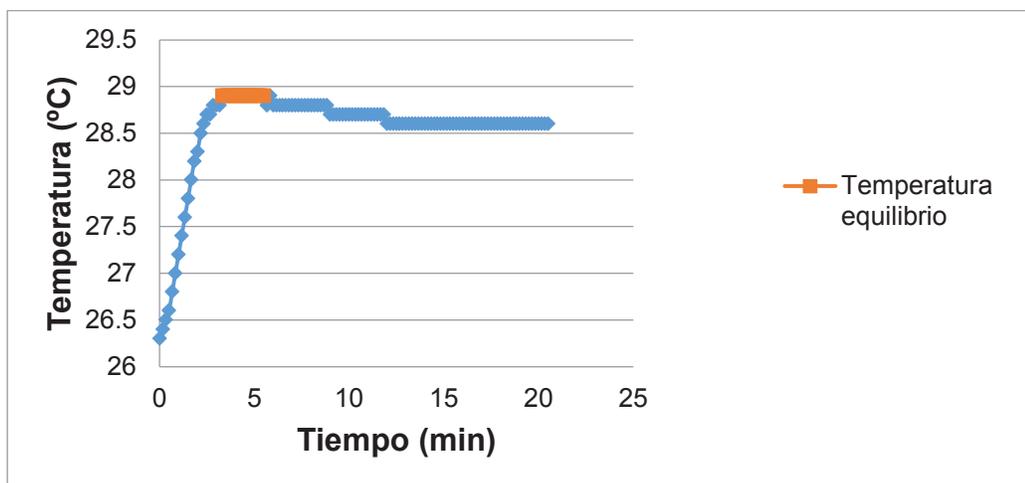
$cp_{ac}$ : Calor específico del aceite evaluada a la temperatura de equilibrio (J/kg °C)

$m_v$ : Masa de la probeta de vidrio (kg)

$cp_v$ : Calor específico del vidrio evaluada a la temperatura de equilibrio (J/kg °C)

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de los resultados obtenidos con una probeta esférica de vidrio de masa 0.02051 (g).

En el Gráfico 3.4 se aprecia una curva de la temperatura del fluido al transcurso del tiempo, donde se establece una temperatura de equilibrio de 28,8 °C. En el Anexo 7 se muestran tablas con los datos obtenidos de temperatura y tiempo de este ensayo.



**Gráfica 3.4** Temperatura del aceite al ingresar la probeta al recipiente

**Fuente:** Propia

A continuación se muestran las propiedades del fluido calorimétrico a temperatura ambiente.

**Tabla 3.2** Propiedades del aceite a 28,8 °C.

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	882,94
Calor específico (J/kg K)	1917

**Fuente:** Incropera (2006)

Se aplica la ecuación (3.13) para determinar la capacitancia térmica del recipiente

$$C_r = \frac{0.02051 (kg) * 800 \left(\frac{J}{kg^{\circ}C}\right) * (194 - 28.8)(^{\circ}C)}{(28.8 - 25.7)(^{\circ}C)} - 0.0005 (m^3) * 882.94 \left(\frac{kg}{m^3}\right) * 1917 \left(\frac{J}{kg^{\circ}C}\right) = 28.1 \left(\frac{J}{^{\circ}C}\right)$$

Considerando los otros dos ensayos se tiene los siguientes resultados.

**Tabla 3.3** Capacitancia térmica del recipiente Dewar

Cr 1 (J/°C)	28.1
Cr 2 (J/°C)	28.9
Cr 3 (J/°C)	30.8
Promedio (J/°C)	29.4

**Fuente:** Propia

Se concluye que la capacitancia térmica de recipiente utilizado es de 29.4 (J/°C).

### 3.4.2.2. Método de estado transitorio de transferencia de calor para el ensayo de calor específico

El análisis del calor específico a probetas de adobe se lo realiza mediante el método de resistencia térmica despreciable en estado térmico transitorio, es decir cuando las condiciones varían en el transcurso del tiempo. Dicho proceso transitorio de transferencia de calor es el enfriamiento al aire de probetas esféricas de adobe sin considerar los efectos de radiación. Las probetas son enfriadas mediante convección natural, la misma que se define como un mecanismo donde la transferencia de energía se da por diferencias en la densidad de las partículas con mayor y menor temperatura. Es decir las probetas están expuestas a una gran masa de aire y las

partículas más cercanas al cuerpo caliente aumentan su temperatura y tienden a subir y llevar consigo energía para enfriar paulatinamente a la probeta.

Este ensayo es válido siempre y cuando el número de Biot, el cual es adimensional y muestra “la razón de la resistencia térmica interna de un sólido a la resistencia térmica de la capa límite”, sea menor a 0.1. Cuando se tiene un  $Bi < 0.1$  el gradiente de temperatura dentro del sólido es despreciable, es decir la temperatura varía uniformemente en todo el cuerpo a medida que el tiempo transcurre. Este hecho se comprueba en el ejemplo de cálculo mostrado en el punto 4.3.4. (Incropera, 2006).

Matemáticamente el número de Biot se expresa de la siguiente manera:

$$Bi = \frac{hD}{6 k_p} < 0.1 \quad (3.14)$$

Donde:

$Bi$ : Número de Biot

$h$  : Coeficiente de transferencia de calor por convección natural ( $W/m^2/K$ ).

$D$ : Diámetro de la probeta esférica (m).

$k_p$  : Conductividad térmica de la probeta ( $W/m K$ ). Los valores asignados de esta propiedad son los determinados en el ensayo de conductividad térmica según el punto 3.4.1.

#### 3.4.2.2.1. *Cálculos para la determinación del calor específico mediante el método de estado transitorio de transferencia de calor*

Para la determinación matemática del modelo primeramente se plantea la ecuación de balance de flujos de energía (Incropera, 2006):

$$\dot{E}_e = \dot{E}_a + \dot{E}_s - \dot{E}_g \quad (3.15)$$

Donde:

$\dot{E}_e$  : Flujo de energía que entra en el volumen de control (J/s)

$\dot{E}_a$  : Flujo de energía que se almacena en el volumen de control (J/s)

$\dot{E}_s$  : Flujo de energía que sale en el volumen de control (J/s)

$\dot{E}_g$  : Flujo de energía que se genera en el volumen de control (J/s)

Tomando en cuenta que en el volumen de control del experimento la generación interna de energía y el flujo energético de entrada es nulo la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$0 = \dot{E}_a + \dot{E}_s \quad (3.16)$$

El flujo de energía almacenada en cierto instante se define como:

$$\dot{E}_a = \rho V c_p \frac{dT}{dt} \quad (3.17)$$

$$\dot{E}_a = m c_p \frac{dT}{dt} \quad (3.18)$$

Dónde:

$\rho$ : Densidad de la probeta (kg/m<sup>3</sup>)

$V$ : Volumen de la probeta (m<sup>3</sup>)

$c_p$  : Calor específico de la probeta (J/kg K)

$\frac{dT}{dt}$ : Diferencial de Temperatura con respecto a un diferencial de tiempo (K/s).

$m$  : Masa de la probeta (kg)

El flujo de calor que transfiere al exterior del volumen de control se establece como convección natural en aire, por lo que dicho flujo se define como:

$$\dot{E}_s = h A_s (T - T_\infty) \quad (3.19)$$

Dónde:

$h$  : Coeficiente de transferencia de calor por convección natural (W/m<sup>2</sup> K)

$A_s$  Área de transferencia de calor (m<sup>2</sup>).

$T$  : Temperatura del cuerpo (K).

$T_{\infty}$ : Temperatura del ambiente (K).

Si reemplazamos la ecuación (3.19) y (3.18) en (3.16) se tiene:

$$0 = m \, cp \, \frac{dT}{dt} + h \, A_s (T - T_{\infty}) \quad (3.20)$$

Tomando en cuenta que en la ecuación diferencial anterior el tiempo varía de 0 a una variable de tiempo "t", la ecuación que gobierna el modelo es (Incropera, 2006):

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{(T - T_{\infty})}{(T_i - T_{\infty})} = \exp\left(-\frac{h \, A_s}{m \, cp} t\right) \quad (3.21)$$

Dónde:

$\theta_i$  = Diferencia de temperatura inicial del cuerpo ( $T_i$ ) con la temperatura de los alrededores ( $T_{\infty}$ ) (K).

$\theta$  = Diferencia de temperatura al instante t ( $T$ ) con la temperatura de los alrededores ( $T_{\infty}$ ) (K).

Aplicando logaritmo natural a ambos lados de la ecuación anterior y despejando el cp se tiene:

$$cp = -\frac{h * A_s * t}{m \left[ \ln \frac{(T - T_{\infty})}{(T_i - T_{\infty})} \right]} \left( \frac{kJ}{kg \, K} \right) \quad (3.22)$$

Para la determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección natural (h), primeramente se define la temperatura de la película como la temperatura promedio entre la superficie del sólido y la del ambiente (Incropera, 2006).

$$T_p = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \quad (3.23)$$

Posteriormente se determina el número adimensional de Rayleigh, el cual se define como la multiplicación del número de Grashof por el de Prandtl (Incropera, 2006).

$$Ra_D = Gr_D * Pr \quad (3.24)$$

Dónde:

$Ra_D$ : Número de Rayleigh con respecto al diámetro.

$Gr_D$ : Número de Grashof con respecto al diámetro, el cual se define como “la razón de las fuerzas de empuje con respecto a las viscosas” (Incropera, 2006).

$$Gr_D = \frac{g * \beta * \Delta T * D^3}{\nu^2} \quad (3.25)$$

Pr: Número de Prandtl, el cual se define como “la razón entre las difusividades de momento y térmicas” (Incropera, 2006).

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (3.26)$$

$\mu$ : Viscosidad del aire evaluada a la temperatura de la película. (N s/m<sup>2</sup>)

$\nu$ : Viscosidad cinemática del aire evaluada a la temperatura de la película. (m<sup>2</sup>/s)

$\beta$ : Coeficiente térmico de expansión volumétrico. En el caso del aire  $\beta$  se define:

$$\beta = \frac{1}{T_p} (1/K) \quad (3.27)$$

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura de la superficie y del ambiente:

$$\Delta T = T_s - T_\infty (^\circ C) \quad (3.28)$$

Una vez determinado el número de Prandtl y Rayleigh, se aplica la correlación empírica de Churchill para esferas para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección natural ( $h$ ), siempre y cuando Pr y  $Ra_D$ , sean mayor o igual que 0.7 y menor o igual que  $10^{11}$ , respectivamente (Incropera, 2006).

$$Nu_D = 2 + \frac{0.589 Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad (3.29)$$

Donde:

$Nu_D$  = Número de Nussel con respecto al diámetro, el mismo que se define como “la razón de transferencia de calor por convección con respecto a la conducción pura” y matemáticamente también se expresa como sigue (Incropera, 2006).

$$Nu_D = \frac{h * D}{k_p} \quad (3.30)$$

Despejando  $h$  de la ecuación (3.30), se tiene

$$h = \frac{Nu_D * k_a}{D} \quad (3.31)$$

Donde:

$k_a$  = Conductividad térmica del aire a la temperatura de la película (W/m K).

3.4.2.2.2. *Procedimiento para el ensayo de calor específico mediante el método de estado transitorio de transferencia de calor.*

Antes de enumerar los pasos para la determinación del calor específico del adobe, es importante mencionar que el cuarto de ensayos debe estar libre de cambios bruscos de temperaturas y corrientes de aire que alteren las condiciones experimentales.

1. Con procesos de corte (Ingleteadora Target Masonry Saw; potencia: 2200 W, y lijas No.150), se obtienen esferas de adobe aproximadamente de 25mm de diámetro.



**Figura 3.23** Proceso de obtención de probetas esféricas mediante lijas

**Fuente:** Propia

2. Se coloca la probeta en el horno (Horno Vulcan; potencia: 1440 W) que será sometida al ensayo. El régimen de calentamiento se establece de la siguiente manera: Velocidad de calentamiento 5 (°C/min), Temperatura  $T_h = 300^\circ\text{C}$ , Permanencia 2 horas.
3. Una vez alcanzada la temperatura y tiempo en el horno, se retira la probeta del mismo y se las coloca en un soporte al aire libre.
4. Se toma datos de temperatura ambiental (Termómetro digital Fluke 179; apreciación: 0.1 °C) y temperatura superficial de la probeta (Termómetro

Infrarojo Fluke IR 63; apreciación: 0.1 °C) cada 2 minutos, hasta que la temperatura superficial iguale a la ambiental. La emisividad del adobe es 0.9 según catálogo del termómetro Fluke IR 63.



**Figura 3.24** Probeta de adobe y termómetros para determinar  $T_{\infty}$  y  $T_s$ .

**Fuente:** Propia

5. Posteriormente, con la temperatura ambiente ( $T_{\infty}$ ) y la superficial ( $T_s$ ) se determina los números de Rayleigh y Prandtl con las ecuaciones (3.24) y (3.26), respectivamente en cada instante de haber tomado datos.



**Figura 3.25** Probeta de adobe y termocupla para determinar  $T_{\infty}$

**Fuente:** Propia

6. Se determina el número de Nussel con la ecuación (3.29).
7. Se determina el coeficiente de transferencia de calor ( $h$ ) mediante la ecuación (3.29).
8. Cada dos minutos se determina el calor específico con la ecuación (3.22). Se considera los valores de  $c_p$  válidos únicamente si  $Pr \geq 0.7$  y  $Ra_D \leq 10^{11}$ . Además, el rango de temperaturas  $T_s$  donde el ensayo es válido se considera cuando la desviación media de valores de  $c_p$  es menor a  $50 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ , como se ve en ejemplo de cálculo del Capítulo 4.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis se basa en obtener un intervalo de confianza, el cual permite descartar valores extremos y obtener un promedio que representa el valor de esa medida.

#### 4.1. MÉTODO DE ANÁLISIS

Para el análisis se procede a establecer un intervalo de confianza dentro del que se encuentra el valor cada propiedad. El análisis se desarrolla para cada lote. Este inicia con el cálculo de la media y la desviación estándar de los datos analizados, luego se definen los grados de libertad (Tamaño) y con un nivel de confianza del 98 % se obtiene el valor de  $t$  y los límites superior e inferior que delimitaran el intervalo de confianza.

Una vez definidos los intervalos se descartan los valores que quedan fuera y se calcula la media de cada lote con los datos restantes. Finalmente se obtiene un promedio con las medias de cada lote, que representa el valor de la propiedad,

La Tabla 4.1 es un ejemplo del análisis desarrollado para cada lote y propiedad.

**Tabla 4.1** Análisis de densidad del lote 1 de la Teja

Media	1707
Desviación	200
Tamaño	8
Nivel de Confianza	98%
$t$	2.998
alfa	2%
Límite Inferior	1495
Limite Superior	1919
<b>IC de 98%</b>	<b>(1495; 1919)</b>

**Fuente:** Propia

#### 4.2. TEJA

A continuación se muestra el análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos de la teja.

#### 4.2.1. DENSIDAD

Para el cálculo de la densidad de la teja se tiene como referencia a la norma ASTM B962, con la que se calcula la densidad en base al principio de Arquímedes.

La Tabla 4.2 muestra los valores de media, desviación estándar e intervalo de confianza obtenidos del análisis a cada lote.

**Tabla 4.2** Resultados del análisis a cada lote

Lote	Ubicación	Media	Desviación Estándar	Intervalo de Confianza
1	IBARRA	1707	200	(1495; 1919)
2	IBARRA	1735	50	(1681; 1788)
3	IBARRA	1793	35	(1755; 1830)
4	YARUQUI	1781	23	(1754; 1808)
5	LATACUNGA	1731	19	(1709; 1754)

**Fuente:** Propia

En la Tabla 4.3 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de Densidad.

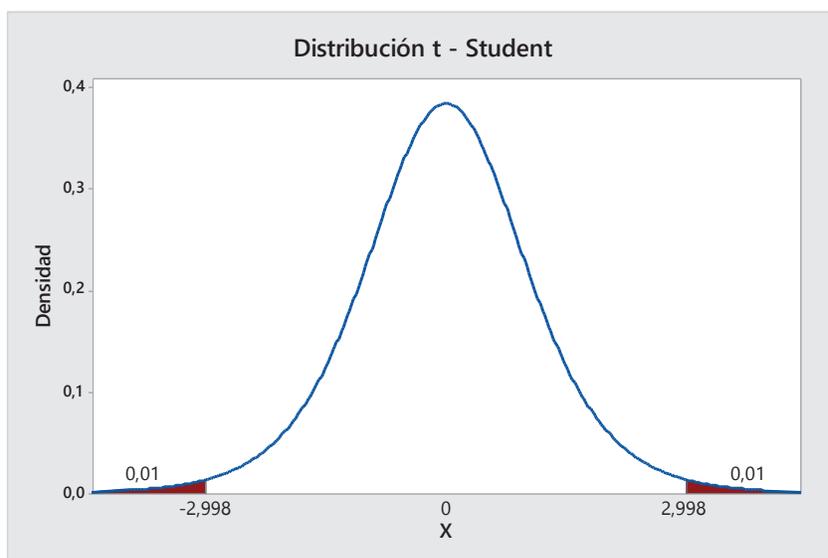
Los valores resaltados con naranja son los que se encuentran fuera de los intervalos de confianza definidos anteriormente para cada lote. Estos quedan descartados para el análisis posterior.

**Tabla 4.3** Datos obtenidos de Densidad

Probeta	Masa de Teja (g)	Masa con parafina (g)	Tagua (°C)	Masa Sumergida (g)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Lote 1</b>					
1.1	323.5	340.6	20	91	1217
1.5	212.2	223.4	20	129.5	1819
1.6	329	345	20	177.5	1779
1.7	298.8	314.2	20.1	168	1819
1.8	231.2	241.5	20.1	134.5	1768
1.13	299	313.3	20	163	1763
1.19	314.5	328.1	20	170	1765
1.20	329.9	342.8	20.1	172.5	1726

<b>Lote 2</b>					
2.8	246.5	257	20.1	136.5	1711
2.9	328.7	344.4	20.1	168.5	1697
2.10	289.8	304.3	20.1	152	1691
2.13	302.4	315.5	20.1	158.5	1702
2.14	240.8	252.8	20.1	135	1724
2.15	182.9	193.5	20.1	116.5	1821
2.16	319.9	334.1	20.1	176.5	1807
2.18	273	286.1	20.1	148.5	1725
<b>Lote 3</b>					
3.1	253.9	269	20.1	143.5	1764
3.2	241.1	255.8	20.2	138	1764
3.3	233.6	249.5	20.2	132.5	1736
3.4	307.9	328.8	20.2	171.5	1819
3.5	358.3	385.1	20.2	196	1842
3.6	241.1	258.3	20.1	141	1807
3.7	259.1	275	20.2	148	1792
3.8	289.9	307.9	20.1	163.5	1816
<b>Lote 4</b>					
4.1	310.2	322.6	20.1	169.1	1773
4.2	465.5	489.7	20.2	240	1804
4.3	354.3	367.2	20.2	188	1771
4.4	466.2	489.7	20.2	241.5	1812
4.5	246.1	257.9	20.2	143	1796
4.6	363	373	20.2	191	1761
4.7	418.8	436.6	20.2	213	1752
<b>Lote 5</b>					
5.1	337.4	353.3	20.2	177.5	1745
5.2	440.2	463.2	20.2	222	1755
5.3	365	381.2	20.2	187.5	1731
5.4	435.8	454.6	20.3	215	1716
5.5	284	298.2	20.2	155	1746
5.6	382	399.7	20.1	190.5	1700
5.7	284.5	298.4	20.2	153.5	1728

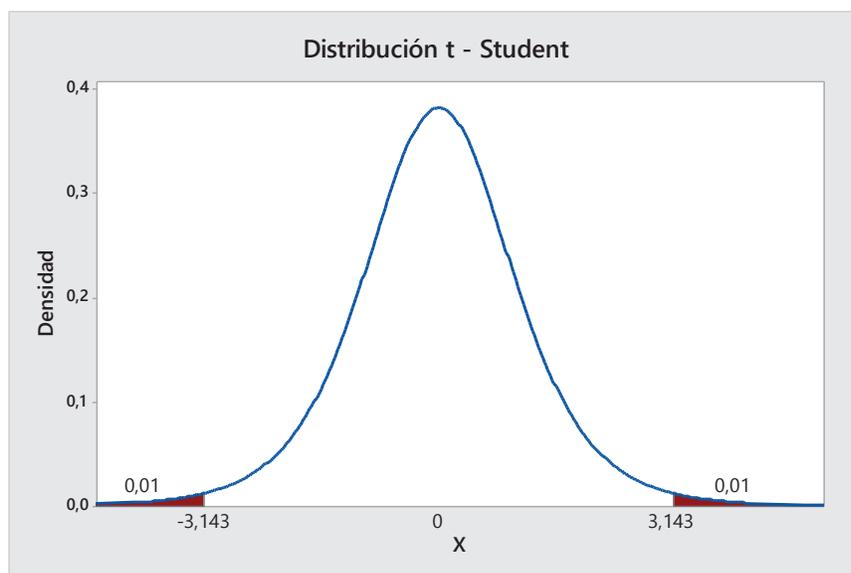
Fuente: Propia



**Gráfica 4.1** Distribución t. Lote 1, 2, 3

**Fuente:** Propia

La Gráfica 4.1 representa la Distribución t – Student del lote 1, 2 y 3 con 7 grados de libertad, esta depende del valor t obtenido en el análisis.



**Gráfica 4.2** Distribución t. Lote 4 y 5

**Fuente:** Propia

La Gráfica 4.2 representa la Distribución t, del lote 4 y 5 con 6 grados de libertad.

**Tabla 4.4** Resultados Densidad

Probeta	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio por Lote
1.5	1819	1777
1.6	1779	
1.7	1819	
1.8	1768	
1.13	1763	
1.19	1765	
1.20	1726	
2.8	1711	1708
2.9	1697	
2.10	1691	
2.13	1702	
2.14	1724	
2.18	1725	
3.1	1764	1794
3.2	1764	
3.4	1819	
3.6	1807	
3.7	1792	
3.8	1816	
4.1	1773	1781
4.2	1804	
4.3	1771	
4.5	1796	
4.6	1761	
5.1	1745	1733
5.3	1731	
5.4	1716	
5.5	1746	
5.7	1728	
	<b>Promedio</b>	<b>1759</b>

**Fuente:** Propia

Por lo tanto el valor promedio que representa la densidad de la teja es 1759 (kg/m<sup>3</sup>)

#### 4.2.2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

El ensayo de resistencia a la flexión se hace en base a la norma Ecuatoriana INEN 988. Según esta norma la resistencia de cada muestra está dada por la carga de rotura que indica la máquina.

Al igual que en el anterior ensayo se hace el análisis de cada lote con un nivel de confianza del 98%, con esto se define el intervalo y se descartan los valores que estén fuera de este.

**Tabla 4.5** Resultados del análisis a cada lote

Lote	Ubicación	Media	Desviación Estándar	Intervalo de Confianza
1	IBARRA	47,97	5,29	(42.360; 53.583)
2	IBARRA	41,48	7,96	(33.036; 49.918)
3	IBARRA	38,79	3,80	(34.8; 42.8)
4	YARUQUI	56,55	12,18	(42.080; 71.010)
5	LATACUNGA	44,75	10,42	(32.379; 57.125)

**Fuente:** Propia

En la Tabla 4.6 se muestran los valores obtenidos en el ensayo de flexión para cada lote. Los valores resaltados con naranja son los que están fuera de los intervalos definidos anteriormente, por lo tanto quedan descartados para el posterior análisis.

**Tabla 4.6** Valores de Resistencia a la Flexión

Probeta	Resistencia Flexión (kgf)
<b>Lote 1</b>	
1.1	52.167
1.5	54.519
1.6	37.415
1.7	51.098
1.8	48.746
1.13	48.960
1.19	45.326
1.20	45.539
<b>Lote 2</b>	
2.8	45.967

2.9	28.649
2.10	37.629
2.13	35.277
2.14	38.270
2.15	50.243
2.16	52.167
2.18	43.615
<b>Lote 3</b>	
3.1	43.4
3.2	42.3
3.3	42.5
3.4	38.7
3.5	39.6
3.6	34.8
3.7	34.2
3.8	34.8
<b>Lote 4</b>	
4.1	58.673
4.2	76.122
4.3	57.245
4.4	55.816
4.5	63.469
4.6	37.551
4.7	46.939
<b>Lote 5</b>	
5.1	58.776
5.2	36.735
5.3	32.449
5.4	53.980
5.5	38.163
5.6	39.388
5.7	53.776

**Fuente:** Propia

La Gráfica 4.1 del apartado de densidad representa también la distribución t del análisis realizado al lote 1, 2 y 3 de resistencia a la flexión, debido a que tiene el mismo nivel de confianza y los mismos grados de libertad. Lo mismo sucede con la Gráfica 4.2 que representa la distribución t del lote 4 y 5.

**Tabla 4.7** Resultados Resistencia a la Flexión

Probeta	Resistencia Flexión (kg)	Promedio por Lote
1.1	52.167	48.640
1.7	51.098	
1.8	48.746	
1.13	48.960	
1.19	45.326	
1.20	45.539	
2.8	45.967	40.152
2.10	37.629	
2.13	35.277	
2.14	38.270	
2.18	43.615	
3.2	42.3	38.783
3.3	42.5	
3.4	38.7	
3.5	39.6	
3.6	34.8	
3.8	34.8	
4.1	58.673	56.429
4.3	57.245	
4.4	55.816	
4.5	63.469	
4.7	46.939	
5.2	36.735	42.415
5.3	32.449	
5.4	53.980	
5.5	38.163	
5.6	39.388	
5.7	53.776	
	<b>Promedio</b>	<b>45.284</b>

**Fuente:** Propia

El valor que representa a la resistencia a la flexión de la Teja es 45.284 (kgf).

#### **4.2.3. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

El ensayo de conductividad térmica se realiza en base a la norma ASTM C518. A continuación se muestra cómo se manejan los datos obtenidos.

Con la probeta 2.1 de teja, los parámetros que se utilizan para el ensayo son 2.5 Voltios, 0.25 Amperios, y 1.5 litros/minuto de flujo de agua.

En el ensayo las termocuplas marcan inicialmente la temperatura ambiental. Gradualmente se forman los gradientes de temperatura en la zona fría y caliente.

**Tabla 4.8** Datos Obtenidos Teja 2.1 Conductividad Térmica

Lectura	Hora	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tsf	Tsc	K
1	10:20	22,6	22,5	22,4	18,1	17,9	17,6	22,35	18,24	1,43
2	10:25	23,2	23,1	23	18,2	18	17,7	22,95	18,34	1,27
3	10:30	23,4	23,3	23,2	18,3	18	17,7	23,15	18,45	1,2523
4	10:35	23,8	23,6	23,5	18,3	18,1	17,7	23,41	18,48	1,1951
5	10:40	23,9	23,8	23,7	18,3	18	17,7	23,65	18,45	1,1319
6	10:45	24,1	24	23,9	18,3	18	17,6	23,85	18,49	1,0985
7	10:50	24,3	24,1	24,1	18,4	18,1	17,7	24,02	18,59	1,085
8	10:55	24,5	24,3	24,2	18,4	18,1	17,8	24,11	18,55	1,0589
9	11:00	24,6	24,5	24,4	18,4	18,1	17,8	24,35	18,55	1,0148
10	11:05	24,8	24,7	24,5	18,4	18,1	17,8	24,44	18,55	0,999
11	11:10	24,9	24,7	24,6	18,4	18,2	17,8	24,51	18,58	0,9934
12	11:15	25	24,9	24,8	18,5	18,2	17,8	24,75	18,69	0,9715
13	11:20	25,1	25	24,9	18,5	18,2	17,8	24,85	18,69	0,9558
14	11:25	25,3	25	25	18,5	18,1	17,7	24,88	18,70	0,9532
15	11:30	25,3	25,2	25,1	18,6	18,2	17,8	25,05	18,80	0,9417
16	11:35	25,5	25,3	25,2	18,6	18,2	17,8	25,11	18,80	0,933
17	11:40	25,5	25,3	25,2	18,6	18,2	17,8	25,11	18,80	0,933
18	11:45	25,5	25,4	25,3	18,6	18,2	17,9	25,25	18,76	0,9067
19	11:50	25,6	25,4	25,3	18,6	18,3	17,9	25,21	18,79	0,9173
20	11:55	25,7	25,5	25,4	18,6	18,2	17,8	25,31	18,80	0,9044
21	12:00	25,7	25,5	25,4	18,6	18,2	17,8	25,31	18,80	0,9044
22	12:05	25,8	25,5	25,5	18,7	18,1	17,7	25,38	18,92	0,9114
23	12:10	25,8	25,5	25,5	18,7	18,1	17,7	25,38	18,92	0,9114
24	12:15	25,8	25,5	25,5	18,7	18	17,6	25,38	18,93	0,9125
25	12:20	25,8	25,5	25,5	18,7	18,1	17,7	25,38	18,92	0,9114

**Fuente:** Propia

En la Tabla 4.8 se muestran los datos de temperatura del foco caliente (T1-T3) y el foco frío (T4-T6), y los datos calculados de temperatura superficial fría (Tsf), caliente (Tsc) y conductividad térmica (k).

Para determinar la Tsc y la Tsf en el caso de la lectura 9, se considera la línea de tendencia obtenida con dichas temperaturas. Posteriormente, como se indica en la Gráfica 3.1 y 3.2, se obtienen la Tsc y la Tsf mediante extrapolación.

**Tabla 4.9** Determinación de Tsc y Tsf.

		Zona Caliente			Zona fría		
Lectura	Hora	T1	T2	T3	T4	T5	T6
9	11:00	24,6	24,5	24,4	18,4	18,1	17,8
<b>Temperaturas Superficiales</b>		Tsc=24.35			Tsf=18.55		

**Fuente:** Propia

Aplicando la fórmula (3.9) se determina la conductividad para ese instante:

$$k_p = \frac{4 * 2.5 (V) * 0.25 (A) * 0.005 (m)}{\pi * 0.026^2 (m^2)(24.35 - 18.55)(^{\circ}C)} = 1.014 \left[ \frac{W}{m^{\circ}C} \right]$$

Para establecer el estado de equilibrio térmico se toma por ejemplo los valores desde la lectura 9 hasta la 14, y se procede según el paso No. 11 del procedimiento indicado en el punto 3.5.1.

**Tabla 4.10** Desviación de los valores obtenidos. Lectura 9-14

Lectura	k (W/m K)	Desviación
9	1,015	0,0335
10	0,999	0,0177
11	0,993	0,0121
12	0,972	0,0097
13	0,956	0,0255
14	0,953	0,0281
<b>Promedio</b>	0,981	0,0210

**Fuente:** Propia

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el promedio de desviación es mayor que 0.01 (W/m K), por lo tanto aún no se ha llegado al equilibrio térmico.

Ahora se muestra un ejemplo con las lecturas desde la 20 hasta la 25.

**Tabla 4.11** Desviación de los valores obtenidos. Lectura 20-25

Lectura	k (W/m K)	Desviación
20	0,904	0,0049
21	0,904	0,0049
22	0,911	0,0021
23	0,911	0,0021
24	0,913	0,0033
25	0,911	0,0021
<b>Promedio</b>	<b>0,909</b>	<b>0,0032</b>

**Fuente:** Propia

Como se puede observar en la tabla anterior, el valor de desviación promedio es menor que 0.01, por lo tanto el valor de conductividad para este ensayo es 0.909 (W/m K).

De esta forma se obtienen los datos de conductividad térmica en cada ensayo.

Con los datos obtenidos se define la media de cada lote y con estos valores se obtiene un promedio que representa a la propiedad.

**Tabla 4.12** Resultados Conductividad Térmica

Ubicación	Probeta	Conductividad (W/mK)	Promedio por Lote
<b>Lote 1</b>			
IBARRA	1.13	0.805	0.821
	1.16	0.787	
	1.17	0.871	
<b>Lote 2</b>			
IBARRA	2.1	0.909	0.848
	2.2	0.829	
	2.6	0.807	
<b>Lote 3</b>			
IBARRA	3.1	0.812	0.829
	3.3	0.829	
	3.4	0.847	
<b>Lote 4</b>			
YARUQUI	4.1	0.881	0.827
	4.4	0.828	
	4.6	0.772	

Lote 5			
LATAACUNGA	5.1	0.753	0.792
	5.5	0.804	
	5.6	0.820	
Promedio			<b>0.824</b>

Fuente: Propia

El valor que representa a la conductividad térmica de la teja es 0.824 (W/m K).

#### 4.2.4. CALOR ESPECÍFICO

Para determinar el calor específico de cada probeta de teja por el método termodinámico se sigue el siguiente proceso.

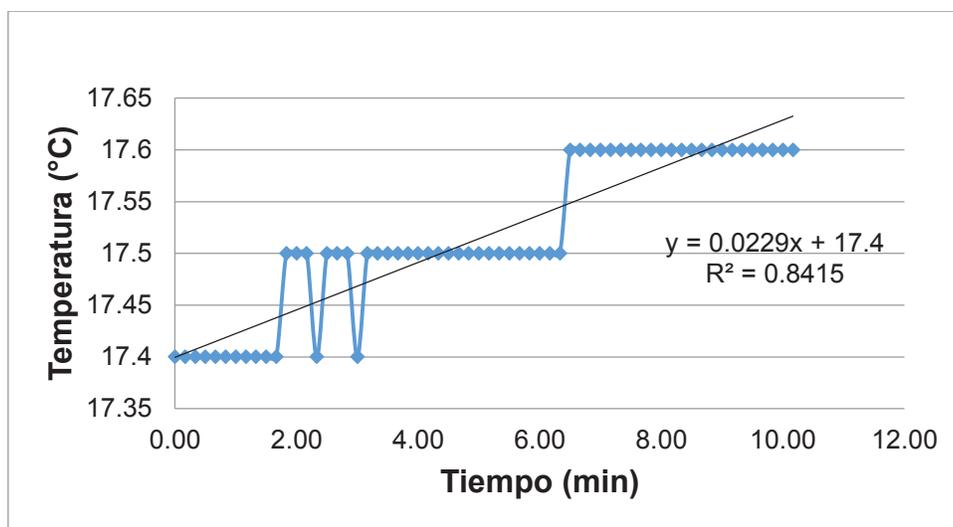
Con la probeta 5.1 se toman datos de temperatura del fluido y del horno antes de sumergir la muestra. En la Tabla 4.13 se pueden ver estos.

**Tabla 4.13** Datos de  $T_a$  y  $T_h$  antes de introducir la probeta

Tiempo (min)	$T_a$	$T_h$	t (min)	$T_a$	$T_h$	t (min)	$T_a$	$T_h$	t (min)	$T_a$	$T_h$
0.00	17.4	187.5	2.67	17.5	187.5	5.17	17.5	187.5	7.67	17.6	187.8
0.17	17.4	187.5	2.83	17.5	187.3	5.33	17.5	187.5	7.83	17.6	187.9
0.33	17.4	187.5	3.00	17.4	187.3	5.50	17.5	187.6	8.00	17.6	187.9
0.50	17.4	187.5	3.17	17.5	187.2	5.67	17.5	187.6	8.17	17.6	187.9
0.67	17.4	187.5	3.33	17.5	187.2	5.83	17.5	187.6	8.33	17.6	187.9
0.83	17.4	187.5	3.50	17.5	187.1	6.00	17.5	187.6	8.50	17.6	187.9
1.00	17.4	187.5	3.67	17.5	187.2	6.17	17.5	187.7	8.67	17.6	187.9
1.17	17.4	187.5	3.83	17.5	187.1	6.33	17.5	187.7	8.83	17.6	187.9
1.33	17.4	187.5	4.00	17.5	187.1	6.50	17.6	187.7	9.00	17.6	187.9
1.50	17.4	187.5	4.17	17.5	187.2	6.67	17.6	187.8	9.17	17.6	187.9
1.67	17.4	187.5	4.33	17.5	187.2	6.83	17.6	187.8	9.33	17.6	187.9
1.83	17.5	187.6	4.50	17.5	187.3	7.00	17.6	187.7	9.50	17.6	187.9
2.00	17.5	187.6	4.67	17.5	187.3	7.17	17.6	187.8	9.67	17.6	187.9
2.17	17.5	187.6	4.83	17.5	187.4	7.33	17.6	187.8	9.83	17.6	187.9
2.33	17.4	187.6	5.00	17.5	187.4	7.50	17.6	187.8	10.00	17.6	187.9
2.50	17.5	187.6							10.17	17.6	187.9

Fuente: Propia

Considerando la tabla anterior se determina los valores promedios de  $T_a$  y  $T_h$ , los cuales son: 17.51 y 187.59 °C respectivamente. En la Gráfica 4.3 se puede observar como varía la temperatura del líquido calorimétrico antes de que la probeta haya ingresado al frasco Dewar en relación al tiempo donde la línea de tendencia muestra una pendiente de 0.0229°C/min.



**Gráfica 4.3** Temperatura del agua antes de sumergir la probeta en el recipiente

**Fuente:** Propia

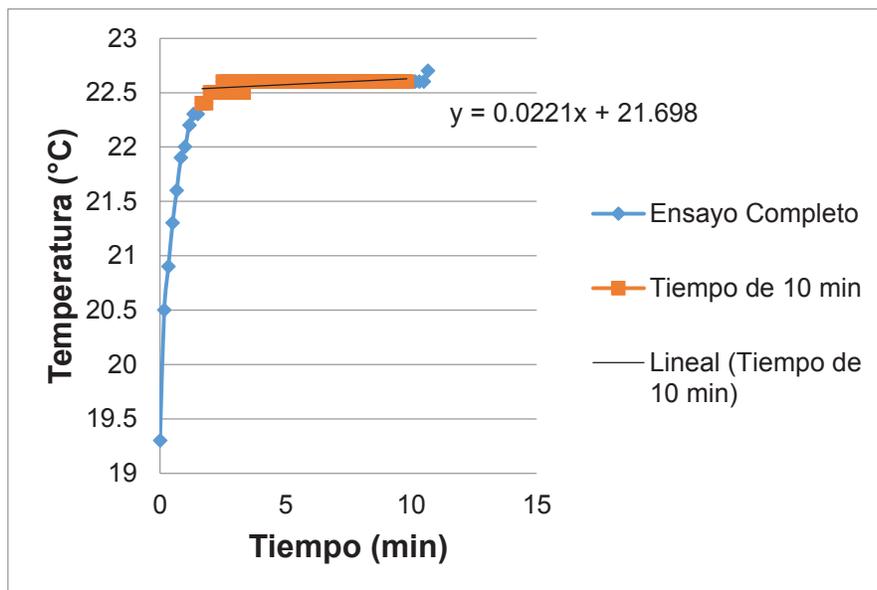
A continuación se muestra los valores de temperatura del fluido calorimétrico a partir de que la probeta ha ingresado al fluido.

**Tabla 4.14** Datos de  $T_a$  después de introducir la probeta.

Tiempo	$T_a$	t (min)	$T_a$	t (min)	$T_a$	t (min)	$T_a$
0	19.1	5.17	21.9	10.17	21.9	15.17	21.9
0.17	19.7	5.33	21.8	10.33	21.9	15.33	21.9
0.33	20.2	5.50	21.9	10.50	21.9	15.50	21.9
0.50	20.5	5.67	21.9	10.67	21.9	15.67	21.9
0.67	20.8	5.83	21.9	10.83	21.9	15.83	21.9
0.83	21	6.00	21.9	11.00	21.9	16.00	21.9
1.00	21.1	6.17	21.9	11.17	21.9	16.17	21.9
1.17	21.2	6.33	21.9	11.33	21.9	16.33	21.9
1.33	21.3	6.50	21.9	11.50	21.9	16.50	21.9
1.50	21.4	6.67	21.9	11.67	21.9	16.67	21.9

1.67	21.5	6.83	21.9	11.83	21.9	16.83	21.9
1.83	21.6	7.00	21.9	12.00	21.9	17.00	21.9
2.00	21.6	7.17	21.9	12.17	21.9	17.17	21.9
2.17	21.6	7.33	21.9	12.33	21.9	17.33	21.9
2.33	21.7	7.50	21.9	12.50	21.9	17.50	21.9
2.50	21.7	7.67	21.9	12.67	21.9	17.67	21.9
2.67	21.7	7.83	21.9	12.83	21.9	17.83	21.9
2.83	21.7	8.00	21.9	13.00	21.9	18.00	21.9
3.00	21.8	8.17	21.9	13.17	21.9	18.17	21.9
3.17	21.8	8.33	21.9	13.33	21.9	18.33	21.9
3.33	21.8	8.50	21.9	13.50	21.9	18.50	21.9
3.50	21.8	8.67	21.9	13.67	21.9	18.67	21.9
3.67	21.8	8.83	21.9	13.83	21.9		
3.83	21.8	9.00	21.9	14.00	21.9		
4.00	21.8	9.17	21.9	14.17	21.9		
4.17	21.8	9.33	21.9	14.33	21.9		
4.33	21.8	9.50	21.9	14.50	21.9		
4.50	21.8	9.67	21.9	14.67	21.9		
4.67	21.8	9.83	21.9	14.83	21.9		
4.83	21.8	10.00	21.9	15.00	21.9		
5.00	21.8						

Fuente: Propia



Gráfica 4.4 Temperatura del agua después de sumergir la probeta

Fuente: Propia

En la Gráfica 4.4 se pueden observar los datos de temperatura del agua cuando la probeta ingresa al frasco Dewar, una vez que la curva alcanza su punto máximo la temperatura empieza a ser estable, desde ese momento se toman datos por un periodo de 10 minutos, con lo que se obtiene una línea de tendencia con una pendiente de 0.0111 °C/min, la cual es menor a la obtenida en la Gráfica 4.3. Mediante esta línea de tendencia se establece la temperatura de equilibrio  $T_e=21.698$  °C. Con este valor se obtiene que la densidad y el calor específico del fluido es 998 kg/m<sup>3</sup> y 4181 J/kg °C.

Empleando la ecuación (3.12), se determina el calor específico de la probeta de teja.

$$c_{p_t} = \frac{\left[ 29.4 \left( \frac{J}{^\circ C} \right) + 0.0005 (m^3) * 998 \left( \frac{kg}{m^3} \right) * 4181 \left( \frac{J}{kg \ ^\circ C} \right) \right] * (21.698 - 17.51) (^\circ C)}{0.06687 (kg) * (187.59 - 21.698) (^\circ C)}$$

$$= 798.7 \left( \frac{J}{kg \ ^\circ C} \right)$$

Con esto se obtienen los valores de  $c_p$  que se utilizan para el análisis de esta propiedad. Luego se calcula la media de cada lote y con estos valores se obtiene un promedio que representa a la propiedad.

**Tabla 4.15** Resultados Calor Específico

Ubicación	Probeta	Calor Especifico (J/kg°C)	Promedio por Lote
<b>Lote 1</b>			
IBARRA	1.9	828.885	791.356
	1.10	757.233	
	1.12	787.951	
<b>Lote 2</b>			
IBARRA	2.17	808.446	815.154
	2.19	810.376	
	2.20	826.640	
<b>Lote 3</b>			
IBARRA	3.6	840.025	809.315
	3.7	812.318	
	3.9	775.602	
<b>Lote 4</b>			
YARUQUI	4.5	774.479	804.894

	4.6	835.240	
	4.7	804.963	
<b>Lote 5</b>			
LATACUNGA	5.1	797.558	810.227
	5.2	828.992	
	5.7	804.131	
		<b>Promedio</b>	<b>806.189</b>

**Fuente:** Propia

El valor promedio que representa el calor específico de la Teja es 806.189 (J/kgK).

### 4.3. ADOBE

En este apartado se muestra el análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos del adobe.

#### 4.3.1. DENSIDAD

Al igual que con la teja, se tiene como referencia a la norma ASTM B962.

La Tabla 4.16 muestra los valores de media, desviación estándar e intervalo de confianza obtenidos del análisis a cada lote.

**Tabla 4.16** Resultados del análisis a cada lote

Lote	Ubicación	Media	Desviación Estándar	Intervalo de Confianza
1	TABABELA	1645	129	(1492; 1798)
2	TABABELA	1588	23	(1560; 1616)
3	TABABELA	1614	10	(1602; 1627)
4	CAYAMBE	1542	48	(1485; 1599)
5	YARUQUI	1606	54	(1541; 1670)

**Fuente:** Propia

En la Tabla 4.17 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de densidad del adobe.

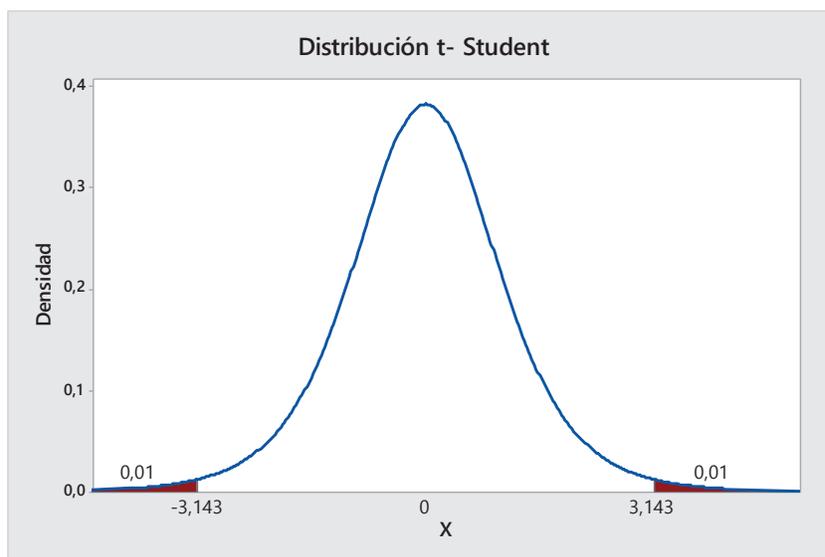
Los valores resaltados con color naranja son los que están fuera de los intervalos de confianza definidos anteriormente para cada lote, estos quedan descartados.

Tabla 4.17 Valores de Densidad

Probeta	Masa de Adobe (g)	Masa con Parafina (g)	Tagua (°C)	Masa Sumergida (g)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Lote 1</b>					
1.1	1183.7	1198.4	19.8	476	1597
1.2	1203.9	1239.3	20.5	485.5	1606
1.3	1411.2	1453.7	20.5	571	1621
1.4	1130.3	1135.3	19.8	436.5	1552
1.5	432.7	447.6	19.5	197	1607
1.6	1067.1	1079.1	20.5	433	1598
1.7	848.5	872.3	20.5	442	1932
<b>Lote 2</b>					
2.1	1580.4	1625.9	20.6	628	1608
2.2	1698.5	1729.7	20.5	650	1572
2.3	1125	1165.5	20.5	456	1608
2.4	595.7	608.6	20.5	257	1599
2.6	890.1	906.3	20.5	352	1557
2.7	670.1	681.2	20.5	275	1562
2.8	1198.1	1232.5	20.2	485	1609
<b>Lote 3</b>					
3.1	572	590.5	19.9	253	1624
3.2	539.2	557.5	20	237	1608
3.3	625.5	644.1	20.1	267	1597
3.4	909.4	927.4	20.4	379.5	1615
3.5	785.5	811.6	19.9	334	1624
3.6	758.4	779	19.9	320	1609
3.7	1477.4	1530.9	20	597	1624
<b>Lote 4</b>					
4.1	601.4	624.2	19.5	253.5	1580
4.2	545.7	565.5	20.4	217	1509
4.3	646.8	666.8	20	245	1488
4.4	461	477.1	20.3	189.5	1512
4.5	920.5	959.9	20.3	352.5	1537
4.6	1016.1	1040.8	20.4	424	1627
4.7	435.4	475	19.8	184	1543
<b>Lote 5</b>					
5.1	1671	1716.4	20.4	585	1497
5.2	578.6	589	19.8	257	1627
5.3	1523.5	1568.4	20.3	607	1609

5.4	1520.5	1549.9	20.3	617.5	1626
5.5	1751.2	1787.2	20	684	1594
5.6	1708.8	1751.4	19.9	719	1675
5.7	1587.8	1616	20.4	634	1611

Fuente: Propia



Gráfica 4.5 Distribución t. Lote 1, 2, 3, 4 y 5 de Adobe

Fuente: Propia

La Gráfica 4.5 representa la distribución t del lote 1, 2, 3, 4 y 5 con un NC del 98% y 6 grados de libertad.

Tabla 4.18 Resultados Densidad.

Probeta	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio por Lote
1.1	1597	1597
1.2	1606	
1.3	1621	
1.4	1552	
1.5	1607	
1.6	1598	
2.1	1608	1593
2.2	1572	
2.3	1608	

2.4	1599	
2.7	1562	
2.8	1609	
3.1	1624	1617
3.2	1608	
3.4	1615	
3.5	1624	
3.6	1609	
3.7	1624	
4.1	1580	1528
4.2	1509	
4.3	1488	
4.4	1512	
4.5	1537	
4.7	1543	
5.2	1627	1613
5.3	1609	
5.4	1626	
5.5	1594	
5.7	1611	
<b>Promedio</b>		<b>1590</b>

**Fuente:** Propia

Según la tabla 4.18, el valor promedio que representa la densidad del adobe es 1590 (kg/m<sup>3</sup>)

#### **4.3.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Para el ensayo de resistencia a la compresión del adobe se usa la norma de edificación peruana NTE E.080. En la que se pide un mínimo de 6 ensayos como se menciona en el punto 3.3.

El análisis se desarrolla para cada lote con un nivel de confianza del 98%, descartando los valores que se encuentren fuera del intervalo obtenido.

La Tabla 4.19 muestra los valores de media, desviación estándar e intervalo de confianza obtenidos del análisis a cada lote.

**Tabla 4.19** Resultados del análisis a cada lote

Lote	Ubicación	Media	Desviación Estándar	Intervalo de Confianza
1	TABABELA	21.91	4.10	(17.039; 26.773)
2	TABABELA	21.19	3.60	(16.910; 25.464)
3	TABABELA	20.33	2.03	(17.925; 22.743)
4	CAYAMBE	19.09	2.10	(16.591; 21.586)
5	YARUQUI	20.19	3.62	(15.892; 24.490)

**Fuente:** Propia

En la Tabla 4.20 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión.

Los valores resaltados con naranja son los que se encuentran fuera de los intervalos de confianza definidos anteriormente para cada lote.

**Tabla 4.20** Datos obtenidos de Resistencia a la Compresión

Probeta	Área de Incidencia (cm <sup>2</sup> )	Fuerza Aplicada (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Lote 1</b>			
1.1	81.84	1760	21.505
1.2	85.5	1852	21.661
1.3	84.55	1300	15.376
1.4	83.6	1588	18.995
1.5	82.8	2302	27.802
1.6	85.56	2200	25.713
1.7	86.45	1927	22.290
<b>Lote 2</b>			
2.1	83.72	2210	26.398
2.3	87.3	1660	19.015
2.4	89.24	1400	15.688
2.5	85.5	1608	18.807
2.6	90.21	1972	21.860
2.7	79.2	1790	22.601
2.8	81	1939	23.938

<b>Lote 3</b>			
3.1	81.88	1771	21.629
3.2	80.04	1633	20.402
3.3	84.64	2010	23.748
3.4	79.2	1400	17.677
3.5	73.15	1368	18.701
3.6	86.4	1661	19.225
3.7	79.17	1659	20.955
<b>Lote 4</b>			
4.1	179.55	3706	20.640
4.2	180.9	3748	20.719
4.3	166.4	3248	19.519
4.4	175.5	3771	21.487
4.5	179.4	2792	15.563
4.6	179.56	3213	17.894
4.7	178.1	3170	17.799
<b>Lote 5</b>			
5.1	94.08	2149	22.842
5.2	99	2115	21.364
5.3	98.94	1680	16.980
5.4	104	2355	22.644
5.5	99.75	2473	24.792
5.6	107.12	1615	15.077
5.7	102.96	1816	17.638

**Fuente:** Propia

Debido a que en este ensayo se tienen los mismos valores de NC y GL que el ensayo de densidad del adobe, la Gráfica 4.5 representa la distribución t del presente análisis desarrollado al lote 1, 2, 3, 4 y 5 de resistencia a la compresión con un nivel de confianza (NC) del 98% y 6 grados de libertad (GL).

**Tabla 4.21** Resultados Resistencia a la Compresión

Probeta	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio por lote
1.1	21.505	22.033
1.2	21.661	
1.4	18.995	

1.6	25.713	
1.7	22.290	
2.3	19.015	21.244
2.5	18.807	
2.6	21.860	
2.7	22.601	
2.8	23.938	
3.1	21.629	20.182
3.2	20.402	
3.5	18.701	
3.6	19.225	
3.7	20.955	
4.1	20.640	19.676
4.2	20.719	
4.3	19.519	
4.4	21.487	
4.6	17.894	
4.7	17.799	
5.1	22.842	20.294
5.2	21.364	
5.3	16.980	
5.4	22.644	
5.7	17.638	
	<b>Promedio</b>	20.686

**Fuente:** Propia

De acuerdo a la Tabla 4.12, el valor que representa a la resistencia a la compresión es 20.686 (kg/cm<sup>2</sup>).

#### **4.3.3. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

Con el ejemplo de cálculo del apartado 4.2.3 se obtienen los valores de esta sección.

Debido a la heterogeneidad del adobe se hizo dos ensayos de conductividad térmica por cada bloque. El valor promedio de estos datos se utiliza para el desarrollo del análisis.

**Tabla 4.22** Resultados Conductividad Térmica

Ubicación	Probeta	Conductividad (W/m K)	Promedio por Adobe	Promedio por Lote
<b>Lote 1</b>				
TABABELA	1.4 (1)	1.247	1.262	1.301
	1.4 (2)	1.276		
	1.10 (1)	1.218	1.257	
	1.10 (2)	1.296		
	1.18 (1)	1.354	1.383	
	1.18 (2)	1.412		
<b>Lote 2</b>				
TABABELA	2.5 (1)	1.295	1.180	1.186
	2.5 (2)	1.065		
	2.7 (1)	1.168	1.154	
	2.7 (2)	1.139		
	2.8 (1)	1.187	1.226	
	2.8 (2)	1.264		
<b>Lote 3</b>				
TABABELA	3.1 (1)	1.285	1.310	1.211
	3.1 (2)	1.334		
	3.3 (1)	1.248	1.167	
	3.3 (2)	1.086		
	3.4 (1)	1.119	1.157	
	3.4 (2)	1.195		
<b>Lote 4</b>				
CAYAMBE	4.2 (1)	1.208	1.238	1.167
	4.2 (2)	1.267		
	4.3 (1)	1.168	1.160	
	4.3 (2)	1.151		
	4.5 (1)	1.075	1.105	
	4.5 (2)	1.135		
<b>Lote 5</b>				
YARUQUI	5.1 (1)	1.312	1.328	1.229
	5.1 (2)	1.343		
	5.3 (1)	1.184	1.197	
	5.3 (2)	1.209		
	5.7 (1)	1.204	1.163	
	5.7 (2)	1.122		
			<b>Promedio</b>	<b>1.219</b>

Fuente: Propia

El valor promedio que representa la conductividad térmica del adobe es 1.219 (W/mK)

#### 4.3.4. CALOR ESPECÍFICO

Para determinar el calor específico de cada probeta de adobe por el método de estado transitorio, se sigue el siguiente proceso.

Con la muestra de adobe 1.10 (1) que tiene las siguientes propiedades:

**Tabla 4.23** Propiedades para el Estado Transitorio

Propiedad	Valor
Diámetro	0.0265 (m)
Conductividad térmica promedio del Lote 1	1.3 (W/mK)
Masa	0.01564 (kg)

**Fuente:** Propia

Se obtienen los datos de temperatura y tiempo mostrados en la tabla 4.24, donde las filas marcadas sirven como ejemplo de cálculo.

**Tabla 4.24** Datos Obtenidos Calor Específico Adobe

Lectura	Tiempo	Temperatura Superficial (Ts)	Temperatura ambiente	Calor específico
	Seg	°C	°C	W/m K
1	0	228,6	24,7	
2	120	162,6	25	505,6
3	240	122,7	24,8	541,8
4	360	95	24,8	522,2
5	480	78,3	24,6	609,3
6	600	67,4	24,6	696,4
7	720	58,6	24,6	657,1
8	840	50,7	24,6	544,2
9	960	45,3	24,6	594,5
10	1080	41,3	24,4	624,9
11	1200	38,3	24,3	660,5
12	1320	36,2	24,2	773,2
13	1440	34,4	24,3	737,0
14	1560	32,8	24,1	697,2

15	1680	31,8	24,2	929,6
16	1800	30,8	24	821,3
17	1920	30,2	23,9	1222,2
18	2040	29,6	23,7	1134,9

Fuente: Propia

Tomando en cuenta como ejemplo la lectura 2 y 15 se procede a calcular la temperatura de la película con la ecuación (3.22):

$$T_p@Lectura2 = \left( \frac{162.6 + 25}{2} \right) + 273.15 = 366.95 \text{ (K)}$$

$$T_p@Lectura15 = \left( \frac{31.8 + 24.2}{2} \right) + 273.15 = 301.15 \text{ (K)}$$

Con la temperatura de la película y ecuaciones señaladas se determina las propiedades del aire y coeficientes mostrados a continuación:

**Tabla 4.25** Propiedades del Aire y Coeficientes de Cálculo.

Propiedad (Símbolo)	Unidad	Valores		Ecuación
		Lectura 2	Lectura 15	
Temperatura de la película (Tp)	K	366.95	301.15	
Viscosidad Dinámica ( $\mu$ )	N s/m <sup>2</sup>	2,156E-05	1,851E-05	
Viscosidad Cinemática ( $\nu$ )	m <sup>2</sup> /s	2,278E-05	1,601E-05	
Conductividad térmica ( $k$ )	W/m K	0,03129	0,02638	
Difusividad ( $\alpha$ )	m <sup>2</sup> /s	3,2748E-05	2,267E-05	
Número de Prandtl (Pr)		0,69661	0,7068	
Coeficiente de expansión ( $\beta$ )	1/K	0,002725	0,003321	(3.26)
Número de Grashof (Gr)		131777.5	17958	(3.24)
Número de Rayleigh (Ra)		91669	12684	(3.23)
Número de Nussel(Nu)		9.892	6.821	(3.28)

Fuente: Incropera (2006)

Posteriormente mediante la ecuación (3.30), se determina el coeficiente de transferencia de calor por convección natural (h).

$$h@366.95K = \frac{9.894 * 0.03129}{0.0265} = 11.67 \left( \frac{W}{m^2 * K} \right)$$

$$h@301.15K = \frac{6.821 * 0.02638}{0.0265} = 6.79 \left( \frac{W}{m^2 * K} \right)$$

Se determina el área de transferencia de calor  $A_s$ .

$$A_s = 4 \pi * \left( \frac{0.0265}{2} \right)^2 = 2.206 * 10^{-3} (m^2)$$

Luego se aplica la ecuación (3.21), para la determinación del  $cp$ ,

$$cp@Lectura2 = - \frac{11.67 \left( \frac{W}{m^2 * K} \right) * 2.206 * 10^{-3} (m^2) * 120 (s)}{0.01564 (kg) * \left[ \ln \frac{(162.6-25)(^{\circ}C)}{(228.6-25)(^{\circ}C)} \right]} = 505.6 \left( \frac{J}{kg K} \right)$$

$$cp@Lectura15 = - \frac{6.79 \left( \frac{W}{m^2 * K} \right) * 2.206 * 10^{-3} (m^2) * 120 (s)}{0.01564 (kg) * \left[ \ln \frac{(31.8-24.2)(^{\circ}C)}{(32.8-24.2)(^{\circ}C)} \right]} = 929.6 \left( \frac{J}{kg K} \right)$$

Con los datos obtenidos de  $cp$  se define un intervalo de confianza, luego se descarta los valores que se encuentran fuera y se calcula un promedio con los datos restantes, así se obtienen los valores de  $cp$  presentados en esta sección.

De manera similar al ensayo de conductividad térmica del adobe se presentan dos valores de calor específico por cada bloque de adobe. El promedio de estos valores servirán para el análisis realizado.

**Tabla 4.26** Resultados Calor Específico

Ubicación	Probeta	Calor Especifico (J/kgK)	Promedio por Adobe	Promedio por Lote
<b>Lote 1</b>				
TABABELA	1.10 (1)	687.14	668.575	653.780
	1.10 (2)	650.01		
	1.14 (1)	606.641	678.462	
	1.14 (2)	750.282		
	1.17 (1)	637.577	614.304	
	1.17 (2)	591.031		

<b>Lote 2</b>				
TABABELA	2.2 (1)	661.29	655.547	659.639
	2.2 (2)	649.803		
	2.5 (1)	642.306	658.809	
	2.5 (2)	675.312		
	2.6 (1)	641.003	664.560	
	2.6 (2)	688.117		
<b>Lote 3</b>				
TABABELA	3.3 (1)	703.951	691.973	672.838
	3.3 (2)	679.994		
	3.17 (1)	629.842	684.719	
	3.17 (2)	739.595		
	3.18 (1)	638.544	641.824	
	3.18 (2)	645.104		
<b>Lote 4</b>				
CAYAMBE	4.2 (1)	601.129	594.988	622.714
	4.2 (2)	588.846		
	4.5 (1)	662.325	638.392	
	4.5 (2)	614.458		
	4.7 (1)	667.024	634.764	
	4.7 (2)	602.504		
<b>Lote 5</b>				
YARUQUI	5.1 (1)	638.325	610.973	677.990
	5.1 (2)	583.621		
	5.4 (1)	731.745	726.525	
	5.4 (2)	721.305		
	5.5 (1)	747.325	696.473	
	5.5 (2)	645.620		
			<b>Promedio</b>	<b>657.392</b>

**Fuente:** Propia

El valor promedio que representa el calor específico del adobe es 657.392 (J/kgK)

La Tabla 4.27 presenta los resultados obtenidos de cada prueba realizada.

**Tabla 4.27** Resultados de las Propiedades Analizadas

	Adobe	Teja
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1590	1759
Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	20.686	--
Resistencia Flexión (kg)	--	45.284
Conductividad (W/mK)	1.219	0.824
Calor Especifico (J/kgK)	657.392	806.189

**Fuente:** Propia

#### 4.4. COMPARACIÓN CON REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En la tabla 4.28 y 4.29 se pueden observar los valores obtenidos en los ensayos realizados en comparación con los conseguidos de referencias bibliográficas.

**Tabla 4.28** Cuadro comparativo Adobe

Propiedad	Valor obtenido	Valor referencial	Error (%)	Notas y Referencia Bibliográfica
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1590	1600	0.62	Norma básica de la edificación sobre condiciones térmicas de los edificios. NBE-CT-79
		1600	0.62	(Bardou, 1979)
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	20.68	23	10.08	El estudio de Lertwattanakul, 2011, se refiere a adobes reforzados con cascarilla de arroz en Tailandia.
		17	21.64	(Bestraten, 2011)
Conductividad térmica (W/m K)	1.22	1.1	10.9	(Lertwattanakul, 2011)
		0.95	28.42	NBE-CT-79
Calor específico (J/kg K)	657	550	19.45	(Lertwattanakul, 2011)
		920	28.58	NBE-CT-79

**Fuente:** Propia

**Tabla 4.29** Cuadro comparativo Teja

Propiedad	Valor obtenido	Valor referencial	Error (%)	Referencia Bibliográfica
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1759	1650	6.61	Norma Argentina para aislamiento térmico de edificios IRAM 11601
		2000	12.05	Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación (CTE), España.
Resistencia a la flexión (kgf)	45.28	61	25.77	Norma EN 14411 “Tejas Cerámicas. Definiciones, clasificación, características y marcado”.
		102	55.61	Norma UNE EN 538 “Tejas de arcilla cocida. Ensayo de resistencia a la flexión”.
Conductividad térmica (W/m K)	0.82	0.69	18.84	(Incropera, 2006)
		0.76	7.89	IRAM 11601
Calor específico (J/kg K)	806	800	0.75	Catalogo CTE
		850	5.18	(Grenfell, 2004)

**Fuente:** Propia

El error presentado con respecto a los valores de propiedades según las referencias mostradas se deben principalmente a la variación de componentes de la materia prima que se emplea para la elaboración de adobes y tejas en cada lugar.

El error obtenido también está relacionado al método de fabricación. Las tejas y adobes objetos de análisis en este proyecto fueron elaboradas artesanalmente, sin seguir ningún proceso estandarizado. Por otro lado, a nivel internacional, estos materiales son elaborados bajo normas y métodos industrializados.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con los procedimientos experimentales mencionados en este estudio para encontrar las propiedades térmicas, mecánicas y físicas, en base a normativas y trabajos de investigación previamente realizados, se obtuvo resultados que responden a los objetivos planteados en el inicio de este proyecto de titulación. Posteriormente los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente, teniendo como resultado las siguientes conclusiones y recomendaciones.

#### **CONCLUSIONES**

1. En base a las referencias consultadas por los autores de este proyecto es innegable la falta de una normativa nacional relacionada a materiales vernáculos que especifique métodos de elaboración y ensayos experimentales para la caracterización de estos materiales.
2. En el caso de las probetas de Adobe, tomadas de Tababela, Cayambe y Yaruquí, provincia de Pichincha, cuyo material base de elaboración es un suelo que contiene arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, se tiene las siguientes propiedades: densidad de  $1590 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ , resistencia a la compresión de  $20.69 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ , conductividad térmica de  $1.22 \text{ (W/m K)}$  y calor específico de  $657 \text{ (J/kg K)}$ ; con un nivel de confianza (NC) del 98 %.
3. Para el caso de tejas, cuyas probetas son tomadas de Ibarra, Latacunga y Yaruquí, provincias de Imbabura, Cotopaxi y Pichincha respectivamente, cuyo material de elaboración es un suelo que contiene arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad con variaciones de limos orgánicos o inorgánicos, se tiene las siguientes propiedades: densidad de  $1759 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ , resistencia a la flexión de  $45.28 \text{ (kgf)}$ , conductividad térmica de  $0.82 \text{ (W/m K)}$  y calor específico de  $806 \text{ (J/kg K)}$ ; con un NC del 98%.
4. Una importante razón que justifica la dispersión observada en los resultados obtenidos de los ensayos realizados es el carácter artesanal que los procesos

de elaboración conllevan; donde los métodos para obtener materiales vernáculos varían según el productor.

5. Considerando los resultados obtenidos en los ensayos y los valores referenciales consultados de la bibliografía en el ámbito internacional, existe una discrepancia que varía de un 0.6 a un 55%, lo cual se debe a dos razones fundamentales. La primera es la variabilidad entre la materia prima de una zona a otra, y la segunda es la diferencia en el método de elaboración.
6. Para obtener los valores tabulados de caracterización de materiales a nivel internacional se emplean probetas elaboradas bajo parámetros normalizados, las probetas analizadas fueron elaboradas artesanalmente, lo que explica la discrepancia en los valores obtenidos y referenciales.
7. Después de que se descartan los valores de cada lote que están fuera de los intervalos de confianza, se hace un análisis general con los datos restantes en el que se puede ver que la desviación de la densidad de la teja y el adobe es aproximadamente la misma; lo que nos indica que la dispersión es similar una vez que se han eliminado los valores extremos.
8. En cuanto a los lotes analizados de adobe, el valor de resistencia a la compresión promedio de 20.67 kg/cm<sup>2</sup> supera al valor mínimo establecido en la norma peruana NTE E.080 en un 75% aproximadamente.
9. Una vez realizado el análisis estadístico con un NC de 98% se puede observar que las tejas de Yaruquí son las que tienen mayor resistencia a la flexión promedio con 56.43 (kgf), posteriormente se encuentra el lote 1 de Ibarra con 48.64 (kgf), el lote 5 de Latacunga con 42.42 (kgf), el lote 2 de Ibarra con 40.15 (kgf) y finalmente con el menor valor el lote 3 de Ibarra con 38.78 (kgf). Se puede notar en el lote 1, 2 y 3, que a pesar de provenir de la misma locación no tienen una resistencia similar, demostrando la influencia de la elaboración artesanal en las propiedades mecánicas de la teja.
10. Con respecto a las propiedades térmicas se observa que el adobe tiene una conductividad de 1.22 (W/m K), y un calor específico de 657 (J/kg K). En el caso de la teja la conductividad es de 0.82 (W/m K), y el calor específico es de 806 (J/kg K). Por lo tanto el adobe con respecto a la teja tiene mayor

conductividad térmica pero menor calor específico. Lo que quiere decir que el adobe conduce mejor el calor y necesita menos energía para elevar la temperatura de determinada masa; y al contrario, considerando la misma masa, la teja conduce en menor medida el calor y necesita más energía para elevar la temperatura.

## RECOMENDACIONES

1. Desarrollar una normativa a nivel nacional en la que se especifique un método de caracterización de los materiales vernáculos en cuanto a propiedades físicas, mecánicas y térmicas.
2. Una alternativa para reducir la dispersión en los resultados obtenidos con los métodos experimentales establecidos, puede ser el implantar un proceso estandarizado de elaboración del adobe y la teja, lo que nos permitiría tener un material más homogéneo.
3. De acuerdo a lo observado durante el proceso de corte de las probetas se pudo identificar la presencia de materiales extraños como piedras, metales, plásticos o maderas, los que afectan a los resultados obtenidos, por lo que es necesario filtrar estos materiales en el proceso de elaboración.
4. Para calcular la densidad de la teja y el adobe, el método de sumergir las probetas en agua para determinar el volumen desplazado es válido, pero para conocer la densidad de la parafina que recubre las muestras este procedimiento no aplica ya que la densidad de la parafina es menor a la del agua y las probetas tienden a flotar. Por lo que es necesario tomar mediciones de probetas cilíndricas de parafina en base a la norma ASTM D 7263 para determinar su volumen, que conjuntamente con la masa son datos necesarios para el cálculo de la densidad.
5. En el ensayo de flexión, se requiere que la fuerza aplicada se distribuya uniformemente y sea normal al centro del lomo de la teja. Este hecho no se da en tejas artesanales, por lo que el implementar un soporte con puntos de apoyo de altura variable suple la aleatoriedad en las dimensiones del material.

6. Para analizar la conductividad de las probetas según la ASTM C518 y el principio de Fourier se necesita un foco caliente y otro frío para establecer un flujo de calor a través del espécimen. Cuando se tiene un foco frío por el cual circula un líquido como el agua, las variaciones de caudal y temperatura del fluido causarían que el estado de equilibrio no se alcance.
7. Para ensayos de calor específico mediante el método de estado transitorio es importante el hecho de tener probetas de forma esférica con un número de Biot menor que 0.1 ya que de esta manera el enfriamiento al aire es uniforme por tener el mismo coeficiente de transferencia de calor por convección natural en toda la superficie.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ángel, F. G. (Diciembre de 2010). *Física con ordenador*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/arquimedes/arquimedes.htm>
- Armfield. (2006). *Manual Equipo HT10X*. Clarksburg: Clarksburg.
- Bardou, P. (1979). *Arquitecturas de adobe*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Bestraten. (2011). *Construcción con tierra en el siglo XXI*.
- Burbano, S. (2003). *Física General*. Madrid: Tebar.
- Calvo, F., Perez, J., Carreto, M., & Percino, M. J. (1997). Construcción del Prototipo de una Prensa Hidráulica para la Fabricación de Tejas de Barro. *CIT INFORMACIÓN TECNOLÓGICA*, 25.
- Cengel, Y. (2003). *Transferencia de Calor*. McGraw-Hill.
- Chandía, A. (2004). *Desarrollo de un ladrillo de trayectoria térmica máxima*. Chile: Universidad del Bio Bio.
- Crespo, C. (2004). *MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES*. Limusa.
- Crespo, S. (9 de Marzo de 2010). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. Club Universitario. Obtenido de <http://www.elcomercio.com.ec/tendencias/construir/colocacion-de-tejas-de-arcilla.html>
- Crouch, L. K., Brogdon, J., Henderson, C., & Lanham, D. (1998). Effect of Capping Technique on Observed Compressive Strength of Facing Brick . 1.
- De la Rosa, A. (14 de Noviembre de 2012). *Prezi*. Obtenido de [https://prezi.com/u\\_4mijxgqscm/resistencia-a-la-flexion/](https://prezi.com/u_4mijxgqscm/resistencia-a-la-flexion/)
- Erazo, R. (2007). *Variación de la conductividad térmica con la humedad en materiales de construcción*. Chile: Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.

- Flor, P. (2013). Apunte de Estadística. En P. Flor. Quito: EPN.
- Grenfell, M. (2004). *Building Heat Transfer*. Wiley.
- Incropera, F. (2006). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Sexta ed.). John Willey & Sons.
- INEN-987. (1982). *Tejas cerámicas, muestreo, inspección y recepción*. Quito: INEN.
- Jaguaco, S. (2007). *Uso del Adobe como Material de Construcción*. 9. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Kreith, F. (2011). *Principios de transferencia de calor*. Stamford: Cengage.
- Lertwattanaruk, P. (2011). Propiedades físicas y térmicas de adobe con contenido de bagaso para la construcción con tierra. *Thammasat University*, 10.
- Paredes, J., & Caycho, D. (2009). *Control de trituración de ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica*. Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Pérez, T. (1992). *resistencia de materiales*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Serway, R., & Jerry., F. (2001). *Física*. México D.F.: Pearson.
- Shuan, L. (2004). *TALLER BÁSICO DE MECÁNICA DE SUELOS*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Suárez, M. (2007). *monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos93/distribucion-t-student-empleando-excel-y-graph/distribucion-t-student-empleando-excel-y-graph.shtml>
- Urdangarin, C., & Izaga, J. M. (2011). *Oficios Tradicionales*. Obtenido de <http://www.oficiostradicionales.net/es/industriales/tejeros/>
- Yepez, D. (2012). Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable. 15-22. Universidad Politécnica de Cataluña.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: NORMATIVAS**

### **A.1 Norma Española: UNE 41410; 2008: Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo**

En la norma se define al bloque de tierra comprimida como una pieza de albañilería en forma de paralelepípedo regular, obtenido por compresión estática o dinámica y que adicionalmente puede tener estabilizantes o aditivos para mejorar el rendimiento en determinadas aplicaciones.

### **A.2 Norma Peruana: NTE.080 Adobe**

Referente a las Normas Técnicas de Edificación. Plantea recomendaciones constructivas para el uso de adobe. También se describe un procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de adobe, en donde se emplea 6 adobes para determinar esta propiedad y donde se da un valor mínimo aceptable de resistencia a la compresión (12 kg/cm<sup>2</sup>).

### **A.3 Norma IS 3495: Métodos de ensayo para ladrillos de arcilla para la construcción; Parte 1: Determinación de la resistencia a la compresión.**

Tanto para muestras secas como para húmedas, un procedimiento es definido para la determinación de la resistencia a la compresión. Para el estudio de muestreo se hace referencia a la norma IS 5454: Métodos de muestreo para ladrillos de arena para construcción.

### **A.4 Norma INEN 987: Tejas cerámicas, muestreo, inspección y recepción.**

Establece los parámetros de un muestreo doble enfocado a tejas moldeadas con arcilla o cocidas en horno. El muestreo doble se refiere a un análisis a dos grupos de un lote. En este documento también se muestra ciertas definiciones muy útiles como: lote, muestra, plan de muestreo, etc.

### **A.5 Norma INEN 988: Tejas, Determinación de la Resistencia a la Flexión**

En este documento se establece un proceso de determinación de la resistencia a la flexión de tejas moldeadas con arcilla o cocidas en horno. Con respecto al muestreo la norma recomienda que se repita el ensayo 5 veces.

#### **A.6 Norma INEN 573 Materiales refractarios: determinación de la porosidad, absorción de agua y densidad aparente.**

**Generalidades y alcance:** En esta norma se define a la densidad aparente como la relación entre la masa el volumen incluido poros abiertas y cerrados para materiales refractarios.

**Metodología:** Se recomienda que las muestras estén libres de partículas sueltas en la superficie y que sean previamente secadas de 105 a 110°C hasta que el peso sea relativamente constante. La densidad se calcula con la relación masa sobre volumen, donde se indica que el volumen sea determinado con el método más apropiado.

#### **A.7 Norma UNE 103-301 Determinación de la densidad de un suelo. Método de la balanza hidrostática.**

**Generalidades y alcance:** Se muestra un método para la determinación de la densidad aparente para roca o suelo. La práctica se la puede realizar a partir de fragmentos sobrantes del ensayo de compresión simple.

**Metodología:** De igual manera que en la norma INEN 573, se recomienda que las muestras queden secas y libres de partículas sueltas. Cada muestra es pesada antes y después de ser cubierta con parafina. Posteriormente se sumergen en agua para determinar el volumen y mediante la relación masa sobre volumen se determina la densidad aparente.

#### **A.8 Norma INEN 1319; 1983: Láminas de Asbesto Cemento: Determinación de la densidad**

**Generalidades y alcance:** Se establece un procedimiento para determinar la densidad de láminas de asbesto cemento.

**Metodología:** En la norma se especifica que las muestras deben ser previamente secadas a una temperatura entre los 100 y 110 °C hasta que dos mediciones de peso consecutivas difieran en menos del 1% en un periodo de secado no menor a 2 horas. También se indica que el volumen de la muestra se determina en base a una

porción de material de 40x60 mm. La densidad se calcula con la relación masa sobre volumen, donde el volumen es determinado con el método más apropiado.

#### **A.9 Norma INEN 294: Ladrillos Cerámicos, Determinación de la resistencia a la compresión.**

**Generalidades y alcance:** Se especifica una metodología para la determinación de la resistencia a la compresión de muestras de ladrillo cerámicos para albañilería fabricados en base a arcilla moldeada y cocida. En la norma no se toma en cuenta a los materiales sílico-calcáreos.

**Metodología:** El ensayo de compresión se lo realiza con 5 especímenes según el estudio de muestreo de INEN 292. Solamente se emplea la mitad del ladrillo y se procura realizar el experimento en condiciones de posición similares a las que reciben cuando están ensamblados en una vivienda. Entonces las probetas se asientan en la máquina de ensayos sobre la cara de mayor superficie. Se procura mantener la integridad de aristas y vértices durante la manipulación de las probetas.

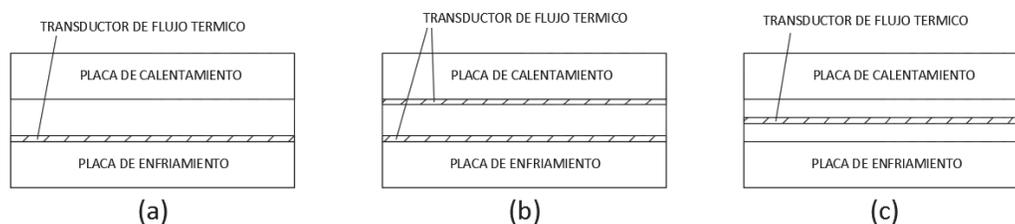
Se coloca la probeta con ayuda de soportes de acero en la máquina de ensayos, bien centrada con respecto al embolo donde se aplicará la compresión. En primera instancia se aplica la mitad de la carga de rotura supuesta a cualquier velocidad de aplicación. Después se aplica la carga restante gradualmente en un intervalo de tiempo de 1 a 2 minutos. Se toman valores de Fuerza de Compresión ( $F_c$ ) y el Área de incidencia ( $A$ ) en Newtons (N) y en milímetros cuadrados ( $\text{mm}^2$ ) respectivamente. Con los datos obtenidos se aplica la relación fuerza sobre volumen teniendo como resultado la Resistencia a la compresión en Mega Pascales [MPa].

#### **A.10 Norma ASTM C518 determinación de propiedades de transmisión térmica y flujo de calor en estado estable por medio del aparato de medición de flujo**

**Alcance y generalidades:** En este método se establece un procedimiento por el cual se puede determinar la conductividad térmica de un espécimen de caras planas. El presente procedimiento es considerado secundario o comparativo, ya que es necesario calibrar el equipo con una muestra de propiedades de transmisión térmica conocida.

Se recomienda aplicar la normativa en casos donde la temperatura de trabajo del espécimen esté entre 10 a 40°C. Con respecto a la muestra se recomienda que el espesor máximo sea de 250 (mm) y la resistencia térmica mínima en todas las direcciones sea de 0.1 (K.m<sup>2</sup>/W).

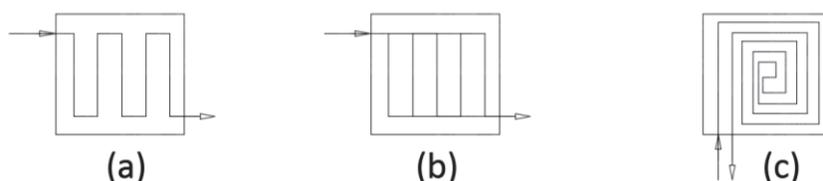
En el método se provee de un flujo de calor constante en estado estable a un espécimen en dirección unidimensional, producido por un foco caliente y uno frío a lados opuestos de la probeta. De esta manera la probeta está en contacto con una superficie isotérmica fría y otra caliente. Para determinar el flujo de calor se instala un transductor de flujo térmico el cual consta de termocuplas o termopilas que transforman una señal de temperatura a una eléctrica. Este dispositivo puede ser instalado en varias disposiciones como se muestra a continuación.



**Figura A. 1** Diferentes disposiciones para el aparato de medición de flujo térmico a) Transductor simple en una cara b) Dos transductores en ambas caras c) Transductor simple en plano medio.

**Fuente:** Norma ASTM C518

Por otra parte también se recomienda varias configuraciones para las placas de calentamiento y enfriamiento, como a continuación se muestra.



**Figura A. 2** Configuraciones de paso de líquido para el diseño de los platos de calentamiento y enfriamiento

**Fuente:** Norma ASTM C518

El ensayo se realiza con muestras secas libres de humedad.

El ensamblaje para el ensayo debe ser capaz de mantener el flujo de calor constante el tiempo que dure la prueba, con una diferencia de temperatura mínima de 10°C,

Las superficies que tengan contacto con el espécimen se sugiere que tengan una emitancia no mayor a 0.84 a la temperatura de operación, con el fin de evitar pérdidas de energía por radiación de difícil determinación.

Las placas que constituyen el foco frío y caliente, generalmente se construyen con materiales de alta conductividad. El transductor de flujo ocupa determina el área medible y el resto de superficie del plato constituye la guarda. De igual manera se debe dar gran importancia al paralelismo entre las placas fría y caliente para mantener una diferencia de temperaturas y flujo de calor lo más uniforme y constante posible.

Las pérdidas de energía desde el aparato de medición de flujo hasta el medio ambiente deben ser controladas por un apropiado aislamiento térmico y control de las condiciones ambientales del laboratorio.

### Cálculos

Se emplea la ley de Fourier para el cálculo de la conductividad térmica, la misma que viene dada por la siguiente fórmula:

$$k_S = \frac{S E L_S}{T_h - T_c} \quad (\text{A.1})$$

Dónde:

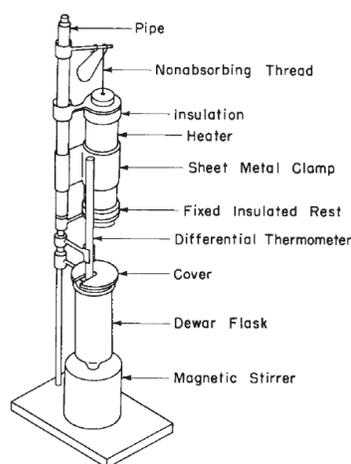
$S$ : Sensibilidad del transductor de flujo térmico ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{V}$ )

### **A.11 Norma ASTM d 4611 ensayo para la determinación del calor específico para roca y suelo.**

**Alcance y Generalidades:** Esta prueba consiste en calentar uniformemente una cápsula de cobre llena de material de muestra. Posteriormente la cápsula es depositada dentro de un recipiente aislado lleno de líquido calorimétrico (LC) como

agua o sustancias en base a silicona. La energía de la cápsula se transmite al líquido y el sistema llega al equilibrio. Planteando la ecuación de equilibrio térmico se determina el calor específico ( $c_p$ ).

El equipo consta de un calorímetro donde entra la cápsula, un sensor de temperatura del flujo calorimétrico y de un calentador generalmente elaborado en base a resistencias eléctricas. En la siguiente figura se muestra un diagrama del aparato.



**Figura A. 3** Aparato para determinación de calor específico

**Fuente:** ASTM D4611

Preliminarmente en una balanza se determina la masa de la cápsula de cobre y de la probeta. Se realiza el mismo procedimiento para el recipiente o frasco aislado térmicamente con y sin LC cuyo volumen es de aproximadamente  $500 \text{ cm}^3$ .

La probeta es insertada en una cápsula de cobre, para posteriormente ser uniformemente calentada a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  aproximadamente. La cápsula está sujeta a un soporte universal mediante una fina cuerda. La cápsula es liberada y por efectos de gravedad cae en el frasco aislado térmicamente. Se procede a tomar medidas de temperatura en el LC hasta que el sistema haya llegado al equilibrio térmico. Se realiza un gráfico Temperatura VS. Tiempo, el cual facilita la determinación de la temperatura de equilibrio.

## Terminología

Calor específico instantáneo: Es la variación de entalpía por unidad de masa sobre el cambio de temperatura a presión constante.

$$c_p = \left( \frac{dh}{dT} \right)_p \quad (\text{A.2})$$

Calor específico promedio: Es la energía necesaria para elevar un grado de temperatura a determinada masa de material. Las unidades de medida son (J/kg/K). Se designa con el símbolo  $\bar{c}_p$

Capacidad calorífica: Es el producto de la masa por el calor específico. Las unidades en el sistema internacional (S.I.) son (J/K).

Difusividad térmica: Se define como el cociente entre la conductividad térmica y el producto de la densidad por el calor específico. Las unidades en el S.I. son ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\Delta H$ : Cambio de entalpía (J/kg)

$\Delta T$ : Cambio de temperatura (J/kg)

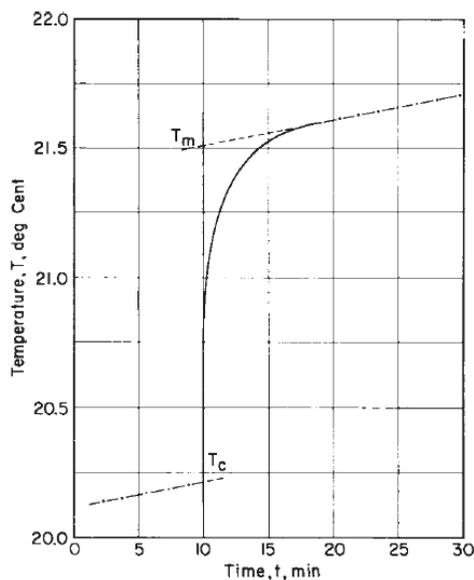
$C$ : Capacitancia térmica (J/K)

$T_m$ : Temperatura de equilibrio en el LC (K)

$T_c$ : Temperatura medida justo antes de liberar la probeta en el LC (K)

## Cálculos

Se determina la variación de temperatura en el recipiente ( $\Delta T_{rec}$ ), la cual viene dada por la variación de temperatura en el LC. Se determina  $T_m$  y  $T_c$  por extrapolación empleando el gráfico Temperatura VS. Tiempo del LC, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura A. 4** Temperatura VS. Tiempo del líquido calorimétrico

**Fuente:** ASTM D4611

$$\Delta T_{rec} = T_m - T_c \quad (\text{A.3})$$

Se calcula la capacitancia térmica del recipiente ( $C_{rec}$ ). El calor específico es evaluado a  $T_m$ .

$$C_{rec} = (m cp)_{rec} \quad (\text{A.4})$$

Se calcula la capacitancia térmica del LC ( $C_{LC}$ ). El calor específico es evaluado a  $T_m$ .

$$C_{LC} = (m cp)_{liq} \quad (\text{A.5})$$

Se determina el cambio de entalpía del recipiente y del líquido ( $\Delta H_{rec,liq}$ ).

$$\Delta H_{rec,liq} = [(m cp)_{liq} + (m cp)_{rec}](T_m - T_c) \quad (\text{A.6})$$

Se calcula la capacitancia térmica de la cápsula de cobre ( $C_{Cu}$ ).

$$C_{Cu} = (m cp)_{Cu} \quad (\text{A.7})$$

En este método se considera que toda la energía acumulada en la cápsula con la probeta se transfiere al recipiente y al LC hasta llegar al equilibrio térmico. De esa manera se establece la ecuación de balance de energía.

$$[C_{liq} + C_{rec}](Tm - Tc) = [C_{Cu} + (m cp)_p](Th - Tm) \quad (A.8)$$

Se determina el calor específico de la probeta de adobe o teja ( $cp_p$ ) mediante la siguiente ecuación:

$$cp_p = \frac{[C_{liq} + C_{rec}](Tm - Tc) - C_{Cu}(Th - Tm)}{m_p(Th - Tm)} \quad (A.9)$$

## ANEXO 2: ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

### Ingleteadora

Marca: Target Mansonry Saw

Potencia: 3 hp

RPM: 3510

Voltaje: 115/208 – 230 V

Fases: 1

Frecuencia: 60 Hz

Facto de servicio 1

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 1** Ingleteadora Target Mansonry Saw

**Fuente:** Propia

### Horno eléctrico para secado

Marca. GCA Precision Scientific

Modelo: 645 – A

Voltaje: 120/240 V

Potencia: 6000 W

Frecuencia: 60 Hz

Fases: 1-3 W

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 2** Horno eléctrico para secado GCA Precision Scientific

**Fuente:** Propia

### **Balanza electrónica**

Marca: Santorius 6MBH Gottingen 3804 MP.

Voltaje: 110 V

Frecuencia: 60 Hz

Potencia: 10W

Capacidad: 16 kg.

Apreciación: 0.1 g

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 3** Balanza electrónica Santorius 6MBH Gottingen 3804 MP.

**Fuente:** Propia

**Balanza electrónica**

Marca: Adam equipment PGL 6001.

Voltaje: 110 V

Frecuencia: 60 Hz

Capacidad: 6 kg.

Apreciación: 0.1 g

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 4** Balanza electrónica Adam PGL 6001

**Fuente:** Propia

**Balanza hidrostática analógica Murayama Seisakusho Ltd.**

Capacidad: 14 kg.

Apreciación: 0.5 g

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 5** Balanza hidrostática analógica Murayama Seisakusho Ltd.

**Fuente:** Propia

**Recipiente de vidrio termoestable.**

Marca: Boeco

Material: Vidrio Boro 3.3

Capacidad: 5 litros

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 6** Recipiente de Vidrio

**Fuente:** Propia

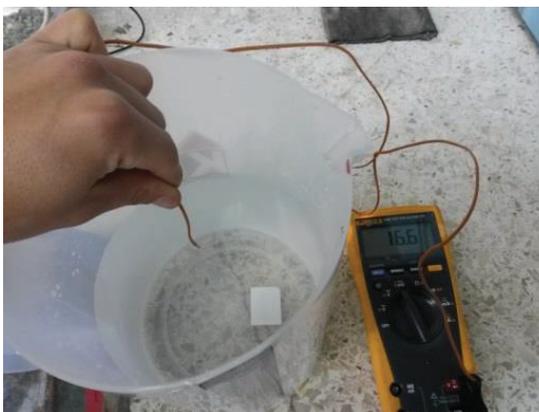
**Termómetro digital Fluke 179**

Acoplamiento: Termocupla Tipo K

Rango de temperatura: -40 hasta 400 °C

Apreciación: 0.1 °C

**Fuente:** Datos de catálogo del artefacto



**Figura B. 7** Multímetro digital para medir temperatura Fluke 179

**Fuente:** Propia

### **Agitador magnético**

Marca: Ovan Micromix

Capacidad: 8 litros

Velocidad angular: De 200 a 1500 rpm en pasos de 20 rpm

Voltaje: 110 V

Potencia: 15 W

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 8** Multímetro digital para medir temperatura Fluke 179

**Fuente:** Propia

### **Prensa de ensayos a compresión**

Marca: Enymacon

Capacidad: 160 ton

Apreciación: 1 kg

Recorrido del pistón: 45 cm

Voltaje: 220/380 V

Fases: 3

Frecuencia: 60 Hz

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 9** Prensa de ensayos Enymacon

**Fuente:** Propia

### **Soporte de acero para alineación de la teja.**



**Figura B. 10** Soporte de acero para alineación de la teja.

**Fuente:** Propia

### **Prensa de ensayos a flexión Suzpecar**

Capacidad: 1 Ton

Apreciación: 0.1 kg

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 11** Prensa de ensayos a flexión

**Fuente:** Propia

### **Calibrador Mitutoyo**

Capacidad: 150 mm

Apreciación: 0.05 mm

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 12** Calibrador Mitutoyo

**Fuente:** Propia

**Equipo de conducción lineal Armfield HT10X**

Voltaje de alimentación: 120 V

Potencia: 60 W

Flujo de agua requerido: 1.5 l/min

8 conexiones para termocupla tipo K

**Fuente:** Datos de placa y catálogo del artefacto



**Figura B. 13** Equipo de conducción lineal Armfield HT10X

**Fuente:** <http://discoverarmfield.com/en/products/view/ht10xc/computer-controlled-heat-transfer-teaching-equipment>

**Fuente:** Propia

## REQUIREMENTS

**Cold water supply:** 1.5 litres/min @ 1 Barg

All electrical requirements are obtained from the service unit.

## OVERALL DIMENSIONS

<b>HT11:</b>		<b>HT11C:</b>	
Height:	0.29m	Height:	0.29m
Width:	0.43m	Width:	0.43m
Depth:	0.21m	Depth:	0.21m

## SHIPPING SPECIFICATION

<b>HT11:</b>		<b>HT11C:</b>	
Volume:	0.04m <sup>3</sup>	Volume:	0.4m <sup>3</sup>
Gross weight:	5kg	Gross Weight:	6kg

## ORDERING SPECIFICATION

HT11 - LINEAR HEAT CONDUCTION / HT11C - COMPUTER CONTROLLED LINEAR HEAT CONDUCTION

- A small scale accessory to introduce students to the principles of linear heat conduction, and to enable the conductivity of various solid conductors and insulators to be measured.
- Comprises a heating section, a cooling section, plus four intermediate section conductor samples and two insulator samples.

**Figura B. 14** Especificaciones Equipo de conducción lineal Armfield HT11

**Fuente:** <http://discoverarmfield.com/media/transfer/doc/ht10xc.pdf>

## Dispensador de agua

Marca: TCL

Modelo: TY-LYR30W

Suministro: 110 – 120 V – 60 Hz

Potencia de refrigeración: 150 W

**Fuente:** Datos de placa y catálogo del artefacto



**Figura B. 15** Dispensador TCL conectado al equipo Armfield HT10x

**Fuente:** Propia

## Electrobomba

Marca: Sotrapo

Tipo AMC 40/10 A Monofásica

Caudal 10/42 l/min

Suministro: 220 V 60 Hz

Amperaje: 3.5 A

Potencia: 0.6 HP

Velocidad del eje: 2850 rpm

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 16** Placa de electrobomba Sotrapo

**Fuente:** Propia

## Pasta térmica Da Zhi Zhuang

Color: Gris

Conductividad térmica: 1W/mK

Gravedad específico: 2.2

Compuestos de silicona: 50%, Compuestos de carbono: 30%, Compuestos de óxido de metal: 20%

**Fuente:** Datos de etiqueta del artículo



**Figura B. 17** Pasta térmica Da Zhi Zhuang

**Fuente:** Propia

### **Horno eléctrico Vulcan 3550**

Voltaje nominal: 110V

Frecuencia: 50/60 Hz

Corriente nominal: 12 A

Potencia Máxima Nominal: 1440 W

Temperatura Máxima: 1100 °C

**Fuente:** Datos de placa del artefacto



**Figura B. 18** Horno Vulcan para ensayo de calor específico

**Fuente:** Propia

## Recipiente aislado Dewar

Marca: Pope Scientific

Modelo: 8335

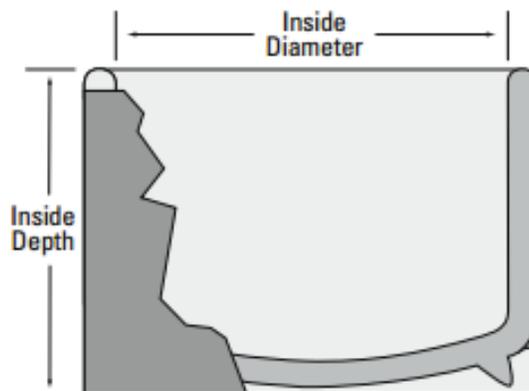
Tipo: Frasco Dewar Cilíndrico

Volumen: 850 ml

Material: Aluminio

Diámetro interno: 130 mm, Profundidad interna: 75 mm, Diámetro exterior: 160 mm, Altura interior: 110 mm

**Fuente:** [http://www.popeinc.com/uploads/files/pope\\_dewars.pdf](http://www.popeinc.com/uploads/files/pope_dewars.pdf)



**Figura B. 19** Recipiente Dewar Pope Scientific 850 ml

**Fuente:** [http://www.popeinc.com/uploads/files/pope\\_dewars.pdf](http://www.popeinc.com/uploads/files/pope_dewars.pdf)

## Termómetro infrarrojo Fluke 63

### **Especificaciones**

#### **Rango de temperatura**

Supone una temperatura ambiente de funcionamiento de 23 °C (73 °F) a 25 °C (77 °F)

63:	- 32 °C a 535 °C (- 25 °F a 999 °F)
66:	- 32 °C a 600 °C (- 25 °F a 1100 °F)
68:	- 32 °C a 760 °C (- 25 °F a 1400 °F)

#### **Exactitud**

Temperatura del objetivo:

Por encima de 510 °C (63)	± 1,5 % de la lectura
Por encima de 510 °C (66/68)	± 1 % de la lectura o ± 1 °C (± 2 °F), el que sea mayor
23 °C a 510 °C	± 1% de la lectura o ± 1 °C (± 2 °F), el que sea mayor
- 18 °C a 23 °C	± 2 °C (± 3 °F)
- 26 °C a -18 °C	± 2,5 °C (± 4 °F)
- 32 °C a -26 °C	± 3 °C. (± 5 °F)

#### **Resolución**

63:	0,2 °C (0,5 °F)
66/68:	0,1 °C (0,1 °F)

**Relación distancia a punto de exploración**

63:	12:1
66:	30:1
68:	50:1

**Emisividad**

(Ajuste según superficie medida)

63:	Preestablecida a 0,95
66/68:	Ajustable digitalmente de 0,10 a 1,0

**Tiempo de respuesta**

500 milisegundos

**Repetibilidad** $\pm 0,5$  % de la lectura o  $\pm 1$  °C ( $\pm 2$  °F), el que sea mayor**Respuesta espectral**8  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$ **Enfoque láser**

El láser se enciende por encima de una temperatura ambiente de 40 °C (104 °F)

**Humedad relativa**

10 % a 90 % humedad relativa sin condensación a &lt; 30 °C (86 °F)

**Montaje en trípode**

Rosca UNC 20 de ¼ pulg.

**Temperatura de operación**

0 °C a 50 °C (32 °F a 120 °F)

**Temperatura de almacenamiento**

-20 °C a 60 °C (-4 °F a 140 °F)

**Peso**

320 g (0,7 libras)

**Dimensiones**

200 mm x 160 mm x 55 mm (7,8 pulg. x 6,30 pulg. x 2,17 pulg.)

**Tipo de batería**

Alcalina o de NiCD de 9 V

**Vida útil de la batería**

63:	10 horas con láser y luz de fondo encendidos
	40 horas con láser y luz de fondo apagados
66/68:	20 horas con láser y luz de fondo encendidos
	40 horas con láser y luz de fondo apagados

**Figura B. 20 Especificaciones** termómetro Fluke IR 63

Fuente: Catálogo termómetro Fluke IR 63

63/66/68

Funcionamiento del termómetro

Tabla 2. Emisividad de las superficies (continuación)

Superficie medida	Emisividad	Superficie medida	Emisividad
<b>Acero</b>		<b>Arcilla</b>	0,95
Laminado en frío	0,7 - 0,9	<b>Concreto (hormigón armado)</b>	0,95
Lámina esmerilada	0,4 - 0,6	<b>Tela</b>	0,95
Lámina pulida	0,1	<b>Vidrio</b>	
<b>Zinc</b>		Placa	0,85
Oxidado	0,1	<b>Grava</b>	0,95
<b>NO METALES</b>		<b>Yeso</b>	0,8 - 0,95
<b>Asbesto</b>	0,95	<b>Hielo</b>	0,98
<b>Asfalto</b>	0,95	<b>Piedra caliza</b>	0,98
<b>Basalto</b>	0,7	<b>Papel (cualquier color)</b>	0,95
<b>Carbón</b>		<b>Plástico</b>	
No oxidado	0,8 - 0,9	Opaco	0,95
<b>Grafito</b>	0,7 - 0,8	<b>Tierra</b>	0,9 - 0,98
<b>Carburo de silicio</b>	0,9	<b>Agua</b>	0,93
<b>Cerámica</b>	0,95	<b>Madera (natural)</b>	0,9 - 0,95

Figura B. 21 Tabla de emisividades termómetro Fluke IR 63

Fuente: Catálogo termómetro Fluke IR 63

## ANEXO 3: ESTUDIO ESTADÍSTICO DE TEJA Y ADOBE EN ECUADOR

En el Censo de Población y Vivienda del 2010 se determinó los siguientes datos que se toman como referencia para explicar la importancia de los materiales vernáculos en el Ecuador, específicamente en la región Sierra.

A continuación se muestra las estadísticas con respecto a los materiales empleados en techo o cubierta en viviendas y construcciones.

**Tabla C. 1** Materiales empleados para techo o cubierta en la región Sierra del Ecuador en zonas urbanas y rurales

Material techo o cubierta	Casos	% Con respecto al total región Sierra	Urbano	% Con respecto al total urbano	Rural	% Con respecto al total rural
Hormigón (losa, cemento)	773895	44.78	578780	58.46	195115	26.61
Asbesto (eternit, eurolit)	344436	19.93	165161	16.68	179275	24.45
Zinc	298502	17.27	134362	13.57	164140	22.39
Teja	298502	17.27	110082	11.12	183600	25.04
Palma, paja u hoja	10118	0.59	401	0.04	9717	1.33
Otros materiales	2697	0.16	1297	0.13	1400	0.19
TOTAL	1728150	100	990083	100	733247	

**Fuente:** Censo de Población y Vivienda del 2010, INEC

En la tabla anterior se observa como el techo de teja representa un 17% del total de viviendas en la región. En el sector urbano se tiene un 11% y en el sector rural un 25% del total respectivo de cada zona. Por lo tanto la mayor densidad de viviendas construidas con teja está en la zona rural.

A continuación se muestra las estadísticas con respecto a los materiales de paredes exteriores de la región.

**Tabla C. 2** Materiales empleados para paredes exteriores en la región Sierra del Ecuador en zonas urbanas y rurales

Material de paredes exteriores	Casos	% Con respecto al total región Sierra	Urbano	% Con respecto al total urbano	Rural	% Con respecto al total rural
Hormigón	151531	8.79	119903	12.11	31628	4.31
Ladrillo o bloque	1287657	74.72	787442	79.53	500215	68.22
Adobe o tapia	204402	11.86	65271	6.59	139131	18.97
Madera	57654	3.35	11714	1.18	45940	6.27
Caña revestida o bahareque	15073	0.87	3604	0.36	11469	1.56
Caña no revestida	3238	0.19	858	0.09	2380	0.32
Otros materiales	3775	0.22	1291	0.13	2484	0.34
TOTAL	1723330	100	990083	100	733247	100

**Fuente:** Censo de Población y Vivienda del 2010, INEC

A pesar de que en el censo no se haya diferenciado entre el adobe y el tapial, se toma como referencia válida los datos por tener una estrecha relación en las técnicas constructivas.

Al igual que la teja, la presencia de adobe se vuelve menos numerosa en las zonas urbanas con respecto a otros materiales que se emplean en paredes exteriores de las viviendas. Se observa que un 12 % de las viviendas analizadas en el censo tienen paredes de adobe o tapial.

Mediante los cuadros mostrados en este Anexo se muestra la importancia de tomar en cuenta al adobe y la teja para un estudio de caracterización de materiales, en cuanto a sus propiedades térmicas, físicas y mecánicas. Dicho estudio beneficiará al modelamiento de viviendas de nivel social en la región Sierra del Ecuador.

## ANEXO 4: DENSIDAD DE LA PARAFINA

Para determinar el valor de la densidad de la parafina se ensaya 6 probetas cilíndricas cuyas medidas de altura y diámetro son determinadas mediante un calibrador. La masa correspondiente a cada probeta se determina con una balanza electrónica, para finalmente, mediante la fórmula mostrada a continuación, calcular la densidad.

La densidad se define matemáticamente como:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{D.1})$$

Donde:

$\rho$ : Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$ : Masa (kg)

$V$ : Volumen ( $\text{m}^3$ )

### Procedimiento

1. Calentar la muestra hasta que llegue al estado líquido.



**Figura D. 1** Parafina en estado líquido

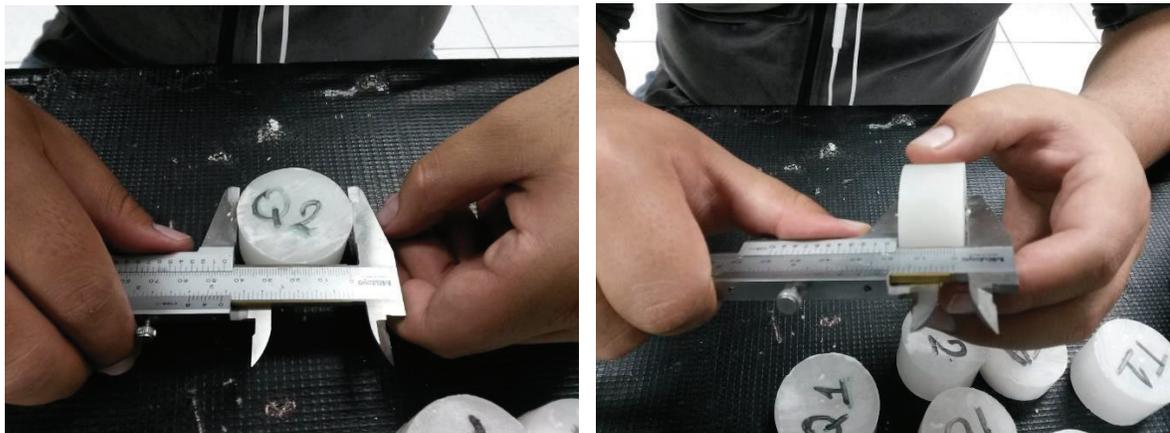
2. Cubrir de vaselina la superficie sobre la que se van a asentar las probetas y los pedazos de tubería en los que se va a poner la parafina.

3. Verter el material liquido en la tubería, para el momento del secado obtener probetas de sección constante.



**Figura D. 2** Moldes de tubo PVC

4. Cuando la parafina este seca, sacar de la tubería y eliminar los rechupes.
5. Tomar medidas de diámetro y altura (Calibrador Mitutoyo), para calcular el volumen.



**Figura D. 3** Medición de probetas a) Diámetro, b) Altura

6. Pesar cada una de las probetas (Balanza electrónica Adam PGL 6001)



**Figura D. 4** Balanza Adam para la determinación de masa de las probetas

7. Con los valores obtenidos de masa y volumen se calcula los valores de densidad, los cuales son mostrados a continuación:

**Tabla D. 1** Resultados del ensayo de densidad para la parafina

Probeta	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Q1	45,20	17,68	28,37	25,5	0,899
Q2	45,50	21,15	34,39	30,9	0,899
Q3	40,20	29,98	38,06	33,9	0,891
Q4	40,10	28,68	36,22	32,7	0,903
Q5	40,20	29,10	36,93	33,4	0,904
Q6	40,03	29,87	37,59	34	0,904
Q7	40,18	27,77	35,21	31,9	0,906
				<b>Promedio</b>	0,901

En base a este análisis se determina que el valor de densidad de la parafina a temperatura ambiente es de 0,901 (g/cm<sup>3</sup>)

## ANEXO 5 FABRICACIÓN DE ADOBE Y TEJA

### 1. Teja

Para la fabricación de la teja se debe extraer dos tipos de tierra el chocoto (tierra negra) y la cangagua (tierra amarilla), se deben mezclar en una proporción del 80% y 20% respectivamente.

#### Procedimiento

1. Extraer la tierra y golpear con un palo para disminuir su tamaño de grano.



**Figura E. 1** a) Extracción de la tierra, b) Reducción del tamaño de grano

**Fuente:** Propia

2. Pasar la mezcla por un tamiz, para sacar rocas y granos de gran tamaño



**Figura E. 2** Tamizado

**Fuente:** Propia

3. Poner la mezcla sobre un plástico, mezclar con agua y pisar hasta obtener una composición homogénea.



**Figura E. 3** a) Mezcla con agua, b) Apisonado

**Fuente:** Propia

4. Envolver la mezcla y dejar reposar de 2 a 3 días.



**Figura E. 4** Envolver la mezcla

**Fuente:** Propia

5. Coger una parte de la mezcla y poner sobre el molde de la teja



**Figura E. 5** a) Porción de la mezcla, b) Poner sobre el molde

**Fuente:** Propia

6. Alisar la materia prima sobre el molde y pasar a la galápago para darle la forma curva a la teja



**Figura E. 6** a) Alisar la mezcla, b) Poner sobre el galápago.

**Fuente:** Propia

7. Remojar la teja y retirar de la galápago



**Figura E. 7** a) Remojar la teja, b) Retirar del galápago

**Fuente:** Propia

8. Dejar secar al sol y finalmente cocinar en el horno de leña.



**Figura E. 8** a) Secado, b) Cocción

**Fuente:** Propia

## 2. Adobe

Para la fabricación del adobe se extrae el chocoto (tierra negra) y se mezcla con algún tipo de fibra como el tamo o la paja.

### Procedimiento

1. Se corta la paja en tramos de 15 cm y se distribuye la tierra



**Figura E. 9** a) Cortar paja, b) Distribuir la tierra

**Fuente:** Propia

2. Se mezcla la paja con la tierra



**Figura E. 10** Mezcla de paja y tierra

**Fuente:** Propia

3. Se mojan los moldes de adobe



**Figura E. 11** Remojar los moldes

**Fuente:** Propia

4. Se limpia el terreno donde se va a dejar secar los adobes



**Figura E. 12** Limpiar el área

**Fuente:** Propia

5. Se ubica el molde y se pone encima la mezcla de paja y tierra



**Figura E. 13** Poner la mezcla en el molde

**Fuente:** Propia

6. Se presiona bien para que quede compactada la mezcla dentro del molde, y se quita el exceso.



**Figura E. 14** Compactar la mezcla

**Fuente:** Propia

7. Se alisa el adobe para obtener superficies regulares



**Figura E. 15** Alisar el adobe

**Fuente:** Propia

8. Se retira el molde y se deja secar al sol

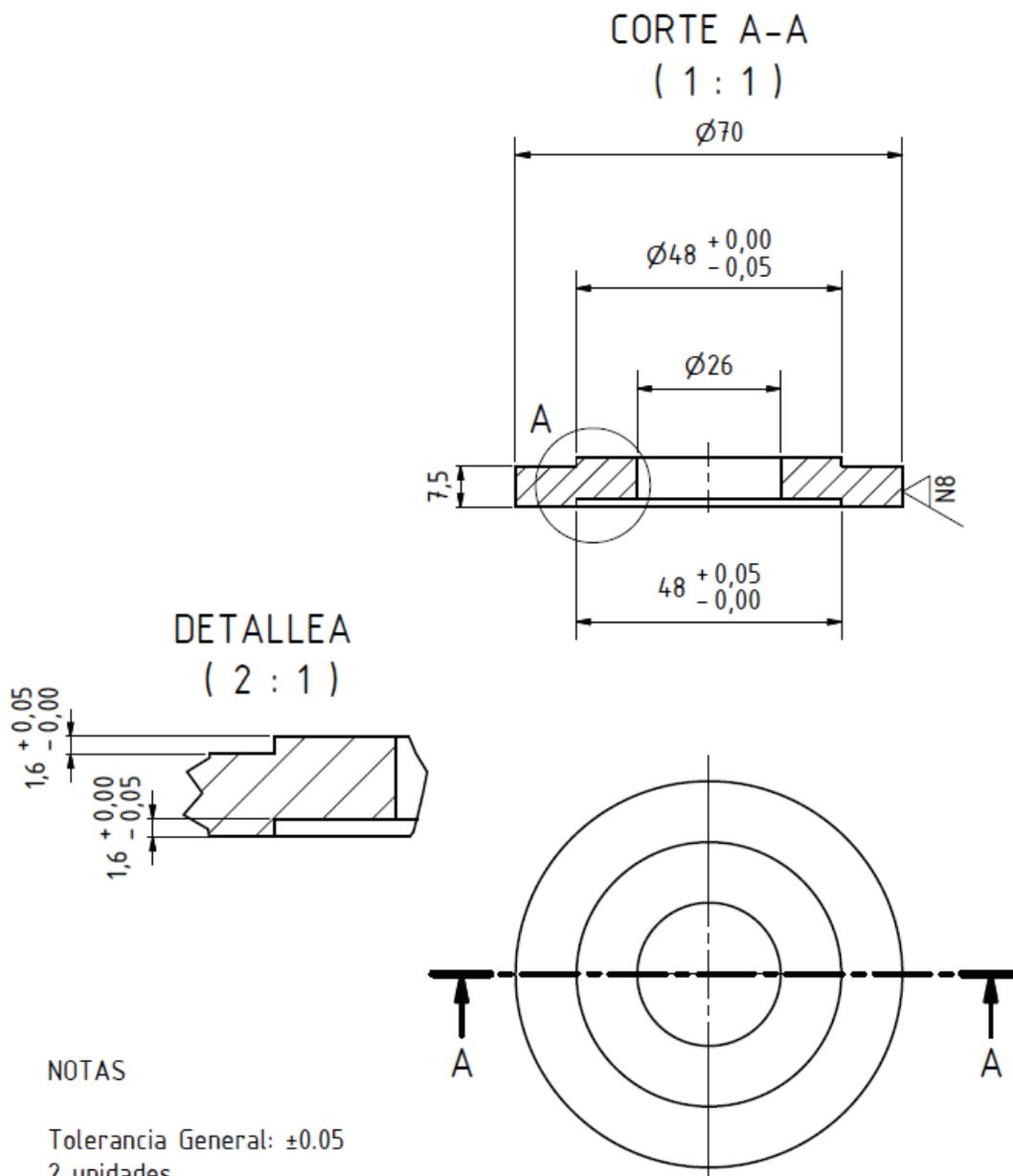


**Figura E. 16** Secado al sol

**Fuente:** Propia

## ANEXO 6: DIMENSIONES DEL SOPORTE DE DURALÓN

A continuación se muestra esquemas sin escala con las dimensiones del soporte de duralón para el ensayo de conductividad térmica. Para el adobe la altura del soporte es de 7.5 mm, para la teja ésta es de 5mm; las dimensiones restantes son idénticas.



**Figura F. 1** Dimensiones Soporte Duralón

**Fuente:** Propia

## ANEXO 7: CAPACITANCIA TÉRMICA DEL RECIPIENTE EN ENSAYO DE CP.

Para determinar la capacitancia térmica del recipiente se sigue el procedimiento señalado en la norma ASTM D 4611. Se emplean 3 probetas de vidrio cuyas propiedades térmicas son conocidas. Según Incropera, 2006 el calor específico del vidrio a 300 K es 750 W/m/K. Las probetas se calientan aproximadamente a 200 °C para caer rápidamente en un frasco Dewar, el cual contiene 500 ml de aceite automotriz SAE 10W30, cuyas propiedades térmicas y físicas también son conocidas según Incropera, 2006 y se determinan a la temperatura de equilibrio.

A continuación se muestra la temperatura del horno donde las probetas de vidrio se encuentran y la temperatura del fluido dentro del recipiente.

**Tabla G. 1** Temperatura del horno y del fluido antes de que la probeta ingrese al recipiente Dewar

Tiempo (min)	Tfluido	Tc	Tiempo (min)	Tf	Tc	Tiempo (min)	Tf	Tc	Tiempo (min)	Tf	Tc
0.00	25.7	193.7	2.67	25.7	193.6	5.17	25.7	193.6	7.67	25.7	193.6
0.17	25.7	193.7	2.83	25.7	193.6	5.33	25.7	193.6	7.83	25.7	193.7
0.33	25.7	193.6	3.00	25.7	193.6	5.50	25.7	193.6	8.00	25.7	193.7
0.50	25.7	193.6	3.17	25.7	193.6	5.67	25.7	193.6	8.17	25.7	193.7
0.67	25.7	193.6	3.33	25.7	193.6	5.83	25.7	193.6	8.33	25.7	193.7
0.83	25.7	193.6	3.50	25.7	193.6	6.00	25.7	193.6	8.50	25.7	193.7
1.00	25.7	193.6	3.67	25.7	193.6	6.17	25.7	193.6	8.67	25.7	193.7
1.17	25.7	193.6	3.83	25.7	193.6	6.33	25.7	193.7	8.83	25.7	193.7
1.33	25.7	193.6	4.00	25.7	193.7	6.50	25.7	193.7	9.00	25.7	193.8
1.50	25.7	193.6	4.17	25.7	193.7	6.67	25.7	193.7	9.17	25.7	193.7
1.67	25.7	193.7	4.33	25.7	193.8	6.83	25.7	193.7	9.33	25.7	193.7

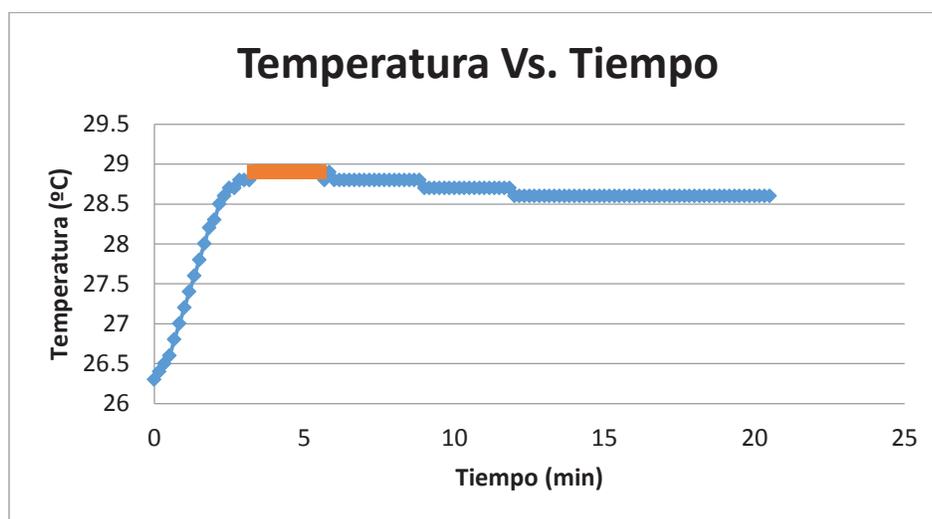
1.83	25.7	193.6	4.50	25. 7	193. 7	7.00	25. 7	193. 7	9.50	25.7	193.7
2.00	25.7	193.7	4.67	25. 8	193. 7	7.17	25. 7	193. 7	9.67	25.7	193.7
2.17	25.7	193.6	4.83	25. 7	193. 7	7.33	25. 7	193. 6	9.83	25.7	193.6
2.33	25.7	193.6	5.00	25. 7	193. 6	7.50	25. 7	193. 7	10.00	25.7	193.7
2.50	25.7	193.6									
										<b>Tf</b>	<b>Tc</b>
									<b>Promedi o</b>	<b>25.7 0</b>	<b>193.6 5</b>

A continuación se muestra los datos de temperaturas vs. tiempos tomados durante el ensayo después de que la probeta ha ingresado al recipiente Dewar.

**Tabla G. 2** Temperatura del fluido después de que la probeta ha ingresado al recipiente Dewar

Lectura	Tiempo (min)	Temp. (°C)	Lec.	t (min)	T (°C)	Lec.	t (min)	T (°C)	Lec.	t (min)	T (°C)
1	0.00	26.3	32	5.17	28.9	62	10.17	28.7	92	15.17	28.6
2	0.17	26.4	33	5.33	28.9	63	10.33	28.7	93	15.33	28.6
3	0.33	26.5	34	5.50	28.9	64	10.50	28.7	94	15.50	28.6
4	0.50	26.6	35	5.67	28.8	65	10.67	28.7	95	15.67	28.6
5	0.67	26.8	36	5.83	28.9	66	10.83	28.7	96	15.83	28.6
6	0.83	27	37	6.00	28.8	67	11.00	28.7	97	16.00	28.6
7	1.00	27.2	38	6.17	28.8	68	11.17	28.7	98	16.17	28.6
8	1.17	27.4	39	6.33	28.8	69	11.33	28.7	99	16.33	28.6
9	1.33	27.6	40	6.50	28.8	70	11.50	28.7	100	16.50	28.6
10	1.50	27.8	41	6.67	28.8	71	11.67	28.7	101	16.67	28.6
11	1.67	28	42	6.83	28.8	72	11.83	28.7	102	16.83	28.6
12	1.83	28.2	43	7.00	28.8	73	12.00	28.6	103	17.00	28.6
13	2.00	28.3	44	7.17	28.8	74	12.17	28.6	104	17.17	28.6
14	2.17	28.5	45	7.33	28.8	75	12.33	28.6	105	17.33	28.6
15	2.33	28.6	46	7.50	28.8	76	12.50	28.6	106	17.50	28.6
16	2.50	28.7	47	7.67	28.8	77	12.67	28.6	107	17.67	28.6
17	2.67	28.7	48	7.83	28.8	78	12.83	28.6	108	17.83	28.6
18	2.83	28.8	49	8.00	28.8	79	13.00	28.6	109	18.00	28.6
19	3.00	28.8	50	8.17	28.8	80	13.17	28.6	110	18.17	28.6
20	3.17	28.8	51	8.33	28.8	81	13.33	28.6	111	18.33	28.6
21	3.33	28.9	52	8.50	28.8	82	13.50	28.6	112	18.50	28.6
22	3.50	28.9	53	8.67	28.8	83	13.67	28.6	113	18.67	28.6

23	3.67	28.9	54	8.83	28.8	84	13.83	28.6	114	18.83	28.6
24	3.83	28.9	55	9.00	28.7	85	14.00	28.6	115	19.00	28.6
25	4.00	28.9	56	9.17	28.7	86	14.17	28.6	116	19.17	28.6
26	4.17	28.9	57	9.33	28.7	87	14.33	28.6	117	19.33	28.6
27	4.33	28.9	58	9.50	28.7	88	14.50	28.6	118	19.50	28.6
28	4.50	28.9	59	9.67	28.7	89	14.67	28.6	119	19.67	28.6
29	4.67	28.9	60	9.83	28.7	90	14.83	28.6	120	19.83	28.6
30	4.83	28.9	61	10.00	28.7	91	15.00	28.6	121	20.00	28.6
31	5.00	28.9									



**Gráfica G. 1** Temperatura del fluido durante el experimento a partir de que la probeta ha ingresado al recipiente aislado.

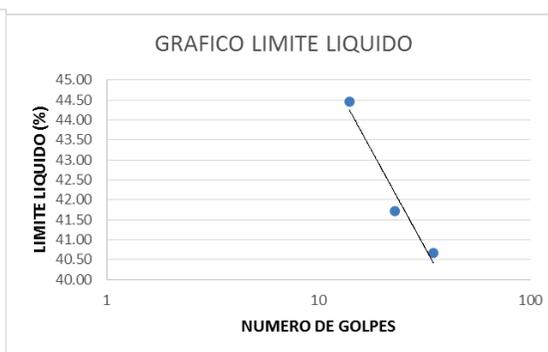
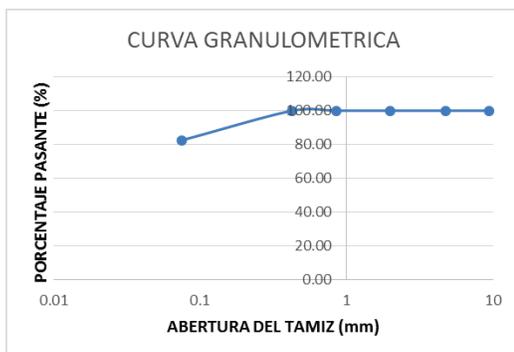
En el gráfico se aprecia la temperatura del fluido al transcurso del tiempo, donde se establece una temperatura de equilibrio de 28,8 °C.

Se aplica la ecuación (3.13) para determinar la capacitancia térmica del recipiente

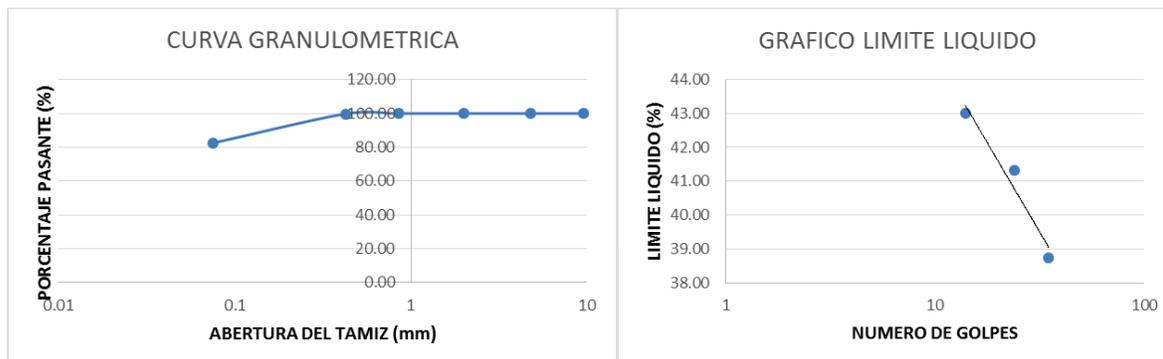
$$C_r = \frac{0.02051 (kg) * 800 \left(\frac{J}{kg^{\circ}C}\right) * (194 - 28.8)(^{\circ}C)}{(28.8 - 25.7)(^{\circ}C)} - 0.0005 (m^3) * 882.94 \left(\frac{kg}{m^3}\right) * 1917 \left(\frac{J}{kg^{\circ}C}\right) = 28.1 \left(\frac{J}{^{\circ}C}\right)$$



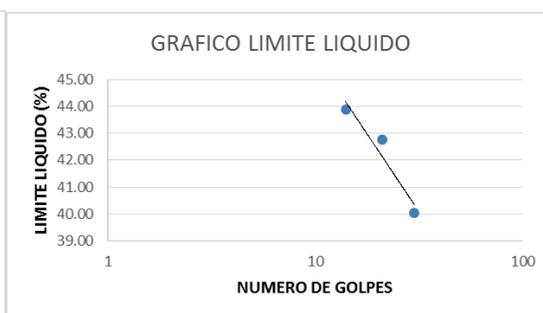
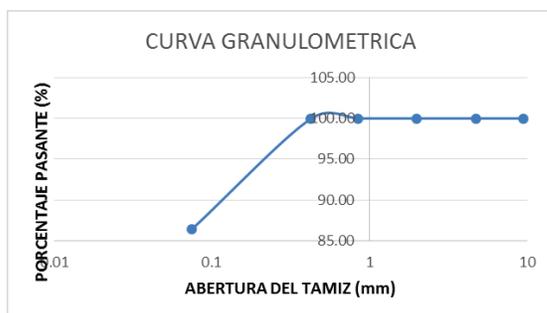
TEJA IBARRA LOTE 1					
GRANULOMETRÍA					
NORMA:	ASTM D421	ASTM D422		PESO INICIAL:	185.221
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9.5	0	0	0.00	100.00
4	4.75	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0.00	0.00	100.00
20	0.85	0	0.00	0.00	100.00
40	0.425	0.126	0.07	0.07	99.93
200	0.075	30.765	17.44	17.51	82.49
PASA 200		145.49	82.49	100.00	0.00
	<b>TOTAL</b>	176.38			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA:	ASTM D423	ASHTO T89	ASHTO T90		
CÁPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
1	14	21.126	17.688	9.956	44.46
2	23	19.547	16.722	9.951	41.72
3	35	20.641	17.549	9.944	40.66
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA:	ASTM D424	ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO
1	6	8.665	7.976	5.329	26.03
2	55	9.683	8.955	6.179	26.22
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA:	INEN 690	ASTM D2216			
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL
1	BJ1	222.998	217.825	114.912	5.03
2	C25	238.795	233.016	117.319	4.99
RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	5.0	%	LP =	26	%
LL =	42	%	IP =	16	%
CLASIFICACION SUCS:		CL-OL			



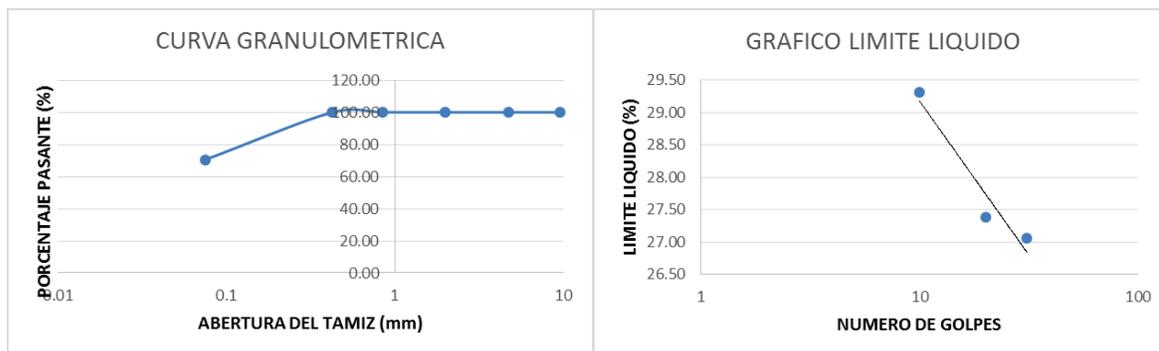
TEJA IBARRA LOTE 2					
GRANULOMETRÍA					
NORMA:	ASTM D421	ASTM D422		PESO INICIAL:	191.469
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9.5	0	0	0.00	100.00
4	4.75	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0.00	0.00	100.00
20	0.85	0.018	0.01	0.01	99.99
40	0.425	0.361	0.20	0.21	99.79
200	0.075	31.474	17.26	17.47	82.53
PASA 200		150.50	82.53	100.00	0.00
	<b>TOTAL</b>	182.35			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA:	ASTM D423	ASHTO T89	ASHTO T90		
CÁPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
1	14	18.846	16.175	9.964	43.00
2	24	21.447	18.082	9.939	41.32
3	35	19.187	16.615	9.974	38.73
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA:	ASTM D424	ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO
1	221	13.464	12.599	9.336	26.51
2	6	9.072	8.351	5.343	23.97
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA:	INEN 690	ASTM D2216			
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL
1	38S	127.521	122.497	23.655	5.08
2	VJ1	226.253	221.03	114.865	4.92
RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	5.0	%	LP =	25	%
LL =	41	%	IP =	16	%
<b>CLASIFICACION SUCS:</b>		<b>CL</b>			



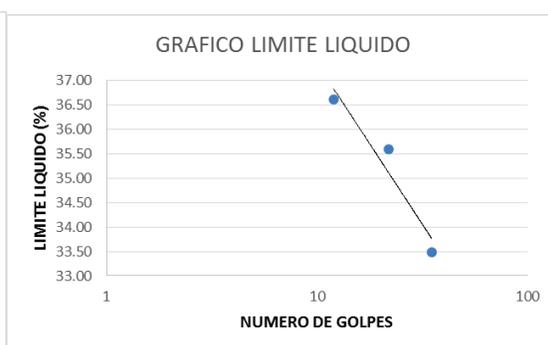
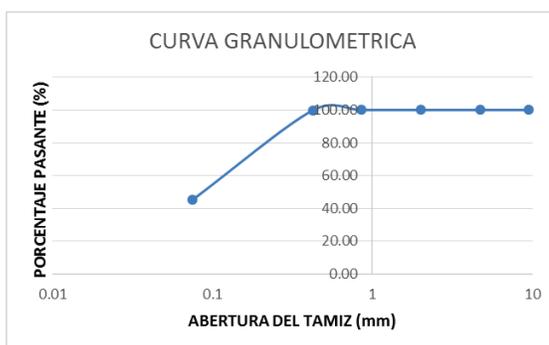
TEJA IBARRA LOTE 3					
GRANULOMETRÍA					
NORMA:	ASTM D421	ASTM D422		PESO INICIAL:	195.752
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9.5	0	0	0.00	100.00
4	4.75	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0.00	0.00	100.00
20	0.85	0	0.00	0.00	100.00
40	0.425	0.078	0.04	0.04	99.96
200	0.075	25.198	13.47	13.52	86.48
PASA 200		161.73	86.48	100.00	0.00
	<b>TOTAL</b>	187.01			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA:	ASTM D423	ASHTO T89	ASHTO T90		
CÁPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
1	14	22.846	19.015	10.288	43.90
2	21	23.614	19.517	9.936	42.76
3	30	20.921	17.849	10.173	40.02
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA:	ASTM D424	ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO
1	55	9.759	8.989	6.176	27.37
2	63	9.351	8.739	6.194	24.05
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA:	INEN 690	ASTM D2216			
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL
1	I	223.183	218.536	118.188	4.63
2	57A	115.455	110.809	12.403	4.72
RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	4.7	%	LP =	26	%
LL =	42	%	IP =	17	%
CLASIFICACION SUCS:		CL			



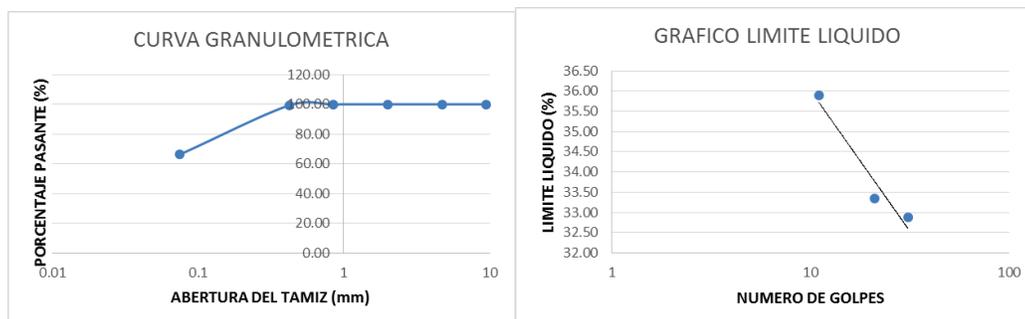
TEJA YARUQUI LOTE 4					
GRANULOMETRÍA					
NORMA:	ASTM D421	ASTM D422		PESO INICIAL:	191.466
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9.5	0	0	0.00	100.00
4	4.75	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0.00	0.00	100.00
20	0.85	0.021	0.01	0.01	99.99
40	0.425	0.158	0.09	0.10	99.90
200	0.075	50.431	29.43	29.53	70.47
PASA 200		120.75	70.47	100.00	0.00
	<b>TOTAL</b>	171.36			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA:	ASTM D423	ASHTO T89	ASHTO T90		
CÁPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
1	10	23.057	20.017	9.648	29.32
2	20	23.128	20.234	9.666	27.38
3	31	19.659	17.339	8.766	27.06
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA:	ASTM D424	ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO
1	89	8.273	7.901	6.083	20.46
2	19	10.068	9.404	6.213	20.81
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA:	INEN 690	ASTM D2216			
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL
1	G51	215.022	204.657	116.295	11.73
2	LET21	221.145	210.244	117.316	11.73
RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	11.7	%	LP =	21	%
LL =	28	%	IP =	7	%
<b>CLASIFICACION SUCS:</b>		<b>ML-CL</b>			



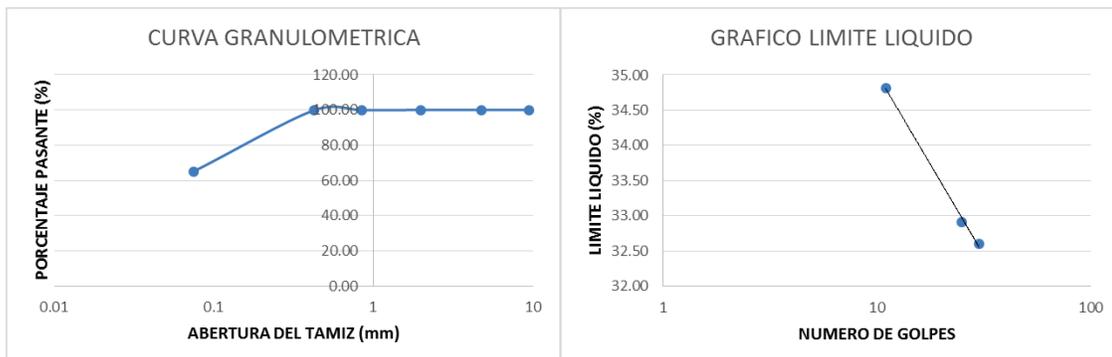
ADOBE TABABELA LOTE 1					
GRANULOMETRÍA					
NORMA:	ASTM D421	ASTM D422		PESO INICIAL:	117.359
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9.5	0	0	0.00	100.00
4	4.75	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0.00	0.00	100.00
20	0.85	0.03	0.03	0.03	99.97
40	0.425	0.06	0.06	0.09	99.91
200	0.075	55.48	54.56	54.65	45.35
PASA 200		46.12	45.35	100.00	0.00
	<b>TOTAL</b>	101.69			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA:	ASTM D423	ASHTO T89	ASHTO T90		
CÁPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
1	12	18.817	16.361	9.653	36.61
2	22	27.12	22.621	9.982	35.60
3	35	21.377	18.494	9.885	33.49
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA:	ASTM D424	ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO
1	68	9.761	9.086	6.081	22.46
2	61	12.484	11.321	6.213	22.77
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA:	INEN 690	ASTM D2216			
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL
1	33	114.295	101.006	9.319	14.49
2	11	126.381	112.104	24.624	16.32
RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	15.4	%	LP =	23	%
LL =	35	%	IP =	13	%
<b>CLASIFICACION SUCS:</b>		<b>CL</b>			



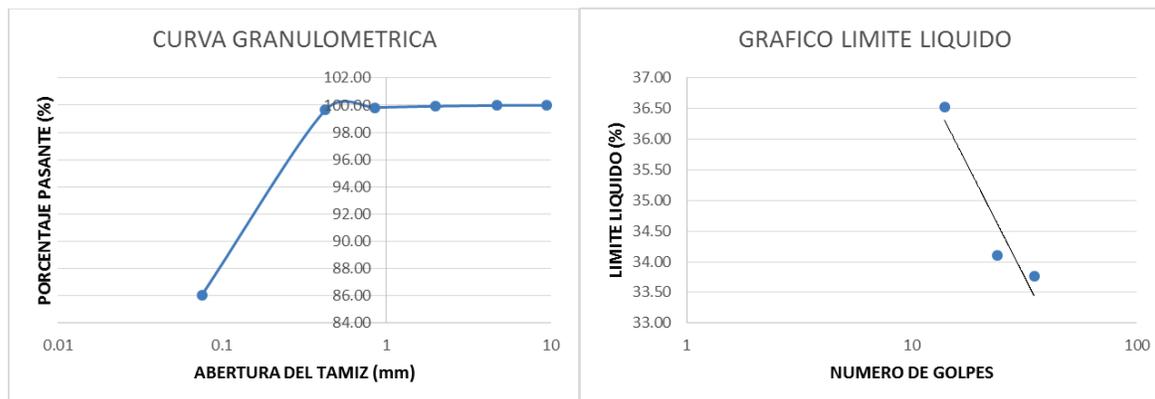
ADOBE TABABELA LOTE 2					
GRANULOMETRÍA					
NORMA:	ASTM D421	ASTM D422		PESO INICIAL:	187.835
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9.5	0	0	0.00	100.00
4	4.75	0.02	0.011108312	0.01	99.99
10	2	0.03	0.02	0.03	99.97
20	0.85	0.15	0.08	0.11	99.89
40	0.425	1.02	0.57	0.68	99.32
200	0.075	59.56	33.08	33.76	66.24
PASA 200		119.27	66.24	100.00	0.00
	<b>TOTAL</b>	180.05			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA:	ASTM D423	ASHTO T89	ASHTO T90		
CÁPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
1	11	29.9	24.32	8.773	35.89
2	21	34.756	28.553	9.946	33.34
3	31	32.376	26.831	9.962	32.87
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA:	ASTM D424	ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO
1	5S	8.093	7.786	6.175	19.06
2	63	8.212	7.883	6.2	19.55
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA:	INEN 690	ASTM D2216			
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL
1	69	133.861	128.801	12.243	4.34
2	70	120.908	116.407	12.019	4.31
RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	4.3	%	LP =	19	%
LL =	34	%	IP =	15	%
CLASIFICACION SUCS:		CL			



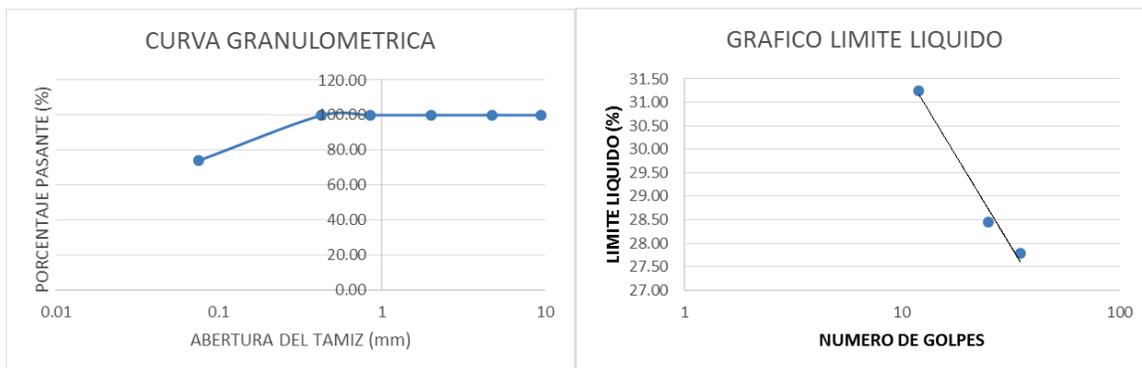
ADOBE TABABELA LOTE 3					
GRANULOMETRÍA					
NORMA:	ASTM D421	ASTM D422		PESO INICIAL:	195.582
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9.5	0	0	0.00	100.00
4	4.75	0	0	0.00	100.00
10	2	0.03	0.02	0.02	99.98
20	0.85	0.14	0.07	0.09	99.91
40	0.425	0.24	0.13	0.22	99.78
200	0.075	65.12	34.66	34.88	65.12
PASA 200		122.35	65.12	100.00	0.00
	<b>TOTAL</b>	187.88			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA:	ASTM D423	ASHTO T89	ASHTO T90		
CÁPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
1	11	25.1213	21.202	9.945	34.82
2	25	21.96	18.985	9.945	32.91
3	30	18.344	16.075	9.116	32.61
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA:	ASTM D424	ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO
1	385	25.958	25.513	23.63	23.63
2	9	14.485	13.627	9.661	21.63
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA:	INEN 690	ASTM D2216			
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL
1	I	219.386	215.464	118.207	4.03
2	C25	220.556	216.43	117.287	4.16
RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	4.1	%	LP =	23	%
LL =	33	%	IP =	11	%
<b>CLASIFICACION SUCS:</b>		<b>CL</b>			



ADOBE CAYAMBE LOTE 4					
GRANULOMETRÍA					
NORMA:	ASTM D421	ASTM D422		PESO INICIAL:	184.018
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9.5	0	0	0.00	100.00
4	4.75	0.03	0.016927826	0.02	99.98
10	2	0.102	0.06	0.07	99.93
20	0.85	0.18	0.10	0.18	99.82
40	0.425	0.309	0.17	0.35	99.65
200	0.075	24.101	13.60	13.95	86.05
PASA 200		152.50	86.05	100.00	0.00
	<b>TOTAL</b>	177.22			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA:	ASTM D423	ASHTO T89	ASHTO T90		
CÁPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
1	14	18.76	16.404	9.954	36.53
2	24	22.937	19.393	9.001	34.10
3	35	17.512	15.389	9.1	33.76
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA:	ASTM D424	ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO
1	67	8.616	8.194	6.233	21.52
2	49	11.217	10.255	6.214	23.81
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA:	INEN 690	ASTM D2216			
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL
1	VMJ1	270.273	266.305	161.808	3.80
2	LET21	218.971	215.184	117.356	3.87
RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	3.8	%	LP =	23	%
LL =	35	%	IP =	12	%
<b>CLASIFICACION SUCS:</b>		<b>CL</b>			



ADOBE YARUQUI LOTE 5					
GRANULOMETRÍA					
NORMA:	ASTM D421	ASTM D422		PESO INICIAL:	205.9
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9.5	0	0	0.00	100.00
4	4.75	0	0	0.00	100.00
10	2	0.028	0.01	0.01	99.99
20	0.85	0.04	0.02	0.03	99.97
40	0.425	0.365	0.18	0.22	99.78
200	0.075	51.874	25.90	26.12	73.88
PASA 200		147.95	73.88	100.00	0.00
	<b>TOTAL</b>	200.25			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA:	ASTM D423	ASHTO T89	ASHTO T90		
CÁPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
1	12	18.661	16.727	10.537	31.24
2	25	23.563	20.563	10.021	28.46
3	35	38.253	35.27	24.537	27.79
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA:	ASTM D424	ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO
1	M	13.07	12.457	9.53	20.94
2	T	7.415	7.06	5.325	20.46
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA:	INEN 690	ASTM D2216			
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL
1		247.656	243.997	116.345	2.87
2	I	236.033	232.855	118.233	2.77
RESUMEN DE RESULTADOS					
<b>W =</b>	2.8	%	<b>LP =</b>	21	%
<b>LL =</b>	29	%	<b>IP =</b>	8	%
<b>CLASIFICACION SUCS:</b>		<b>CL</b>			



## ANEXO 9: TABLA DE DISTRIBUCIÓN T – STUDENT

En esta tabla con el nivel de confianza y los grados de libertad se puede determinar el valor de t utilizado para definir el intervalo de confianza del análisis de las propiedades.

gl	ÁREA DE DOS COLAS						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001	0,0001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619	6366,198
2	1,886	2,920	4,303	6,695	9,925	31,598	99,992
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924	28,000
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610	15,544
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869	11,178
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959	9,082
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408	7,885
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041	7,120
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781	6,594
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587	6,211
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437	5,921
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318	5,694
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883	4,897
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850	4,837
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819	4,784
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792	4,736
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767	4,693
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745	4,654
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725	4,619
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707	4,587
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690	4,558
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674	4,530
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659	4,506
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646	4,482
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551	4,321
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460	4,169
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,390	4,053
140	1,288	1,656	1,977	2,353	2,611	3,361	4,006
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291	3,891

Figura I. 1 Distribución t de dos colas

Fuente: Dpt. Estadística e Inv. Operativa Universidad de Valencia