



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO  
POR ROCA VOLCÁNICA Y CONCRETO COMO MATERIAL  
ALTERNATIVO DE CONSTRUCCIÓN QUE PERMITA MEJORAR  
LOS NIVELES DE CONFORT INTERNO EN VIVIENDAS  
LOCALIZADAS EN CLIMAS FRÍOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGÍSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**Ing. Juan Neptalí Obando Velásquez**

[jobando.v@ups.edu.ec](mailto:jobando.v@ups.edu.ec)

**Fis. Ramón Edison Pachacama Morocho**

[epachacama@ups.edu.ec](mailto:epachacama@ups.edu.ec)

**DIRECTOR:**

**Ing. Carlos Wime Díaz Campoverde**

[carlos.diaz@epn.edu.ec](mailto:carlos.diaz@epn.edu.ec)

**Quito, Mayo, 2018**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores **Juan Neptalí Obando Velásquez** y **Ramón Edison Pachacama Morocho**, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Carlos Díaz Campoverde**  
**Director proyecto de investigación**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Juan Neptalí Obando Velásquez y Ramón Edison Pachacama Morocho**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado 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 correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**Ing. Juan Obando Velásquez**

---

**Fis. Ramón Pachacama Morocho**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi esposa e hijos que los quiero mucho.

Ramón Edison Pachacama Morocho

Amparito mi hermana querida que está en la eternidad, mi familia y a mis padres, quienes en todo momento me han brindado su apoyo y amor incondicional.

Juan Neptali Obando Velásquez

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por toda la formación profesional que me ha dado, y a toda mi familia por siempre estar pendientes de mí.

Ramón Edison Pachacama Morocho

Al Ing. Carlos Díaz por su valiosa ayuda como guía, apoyo y comprensión en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

Juan Neptali Obando Velásquez

# CONTENIDO

Certificación.....	i
Declaración.....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento.....	iv
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras .....	xi
Índice de fotos .....	xiii
Nomenclatura .....	xv
Abreviaturas .....	xvii
Resumen .....	xviii
Abstract .....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
Pregunta de Investigación .....	
Objetivo General.....	
Objetivos Específicos.....	
Hipótesis.....	3
1. MARCO TEÓRICO .....	
1.1. Bloque de Concreto .....	4
1.1.1. Clasificación .....	
1.1.2. Materiales para fabricación de bloques .....	5
1.1.3. Proceso de fabricación .....	6
1.2. Diseño de la Mezcla del Material Compuesto por Roca Volcánica, Piedra Pómez y Concreto .....	7
1.2.1. Método A.C.I. (American Concrete Institute) para el proporcionamiento de mezclas .....	
1.2.2. Dosificar y dosificación .....	8
1.2.3. Rendimiento de la mezcla .....	
1.2.4. Relación de componentes de la mezcla .....	9

1.2.5. Piedra pómez .....	10
1.2.6. Rocas volcánicas o ígneas extrusivas .....	11
1.3. Propiedades Térmicas de los Sólidos .....	
1.3.1. El calor y la temperatura.....	12
1.3.2. Calor (Q) .....	
1.3.3. Transferencia de calor .....	
1.3.4. La conducción del calor .....	13
1.3.5. El aislamiento térmico .....	14
1.3.6. El coeficiente de transmisión térmica .....	17
1.3.7. La inercia térmica .....	
1.3.8. Calor específico (Ce).....	21
1.3.9. Capacidad térmica (Qt) .....	23
1.3.10. Difusividad térmica ( $\alpha$ ):.....	24
1.3.11. El retardo térmico .....	25
1.4. Niveles de Confort térmico Aceptables para Climas Fríos.....	
1.4.1. Confort térmico.....	27
1.4.2. Metabolismo del cuerpo humano.....	28
1.4.3. Temperatura seca del aire.....	
1.4.4. Temperatura media radiante .....	30
2. MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR: CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN.....	
2.1. Transferencia por Conducción .....	
2.2. Transferencia por Convección .....	31
2.3. Transferencia por Radiación .....	
2.4. Determinación del Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección 'h' .....	33
3. METODOLOGÍA .....	
3.1. Enfoque de la Investigación .....	
3.2. Tipos de Investigación .....	38
3.3. Muestra.....	

3.4. Operacionalización de las variables de investigación.....	39
3.5. Definición de hipótesis o supuesto de partida .....	
3.6. Procedimientos empleados para la obtención y análisis de la información .....	41
3.7. Métodos Seleccionados para Medir la Conductividad Térmica del Material Propuesto .....	
3.7.1. Método de aguja térmica .....	42
3.7.2. Método basado en la placa caliente con guarda.....	43
3.7.3. Desarrollo matemático del método seleccionado.....	44
3.8. Modelo Matemático para la Transferencia de Calor en un Bloque Hueco de Hormigón .....	46
3.8.1. Solución numérica del modelo de transferencia de calor.....	48
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	
4.1. Resultados.....	
4.1.1. Estudio preliminar del agregado .....	53
4.1.2. Determinación experimental de la resistencia térmica del material compuesto, método del cilindro hueco.....	63
4.1.3. Medida de la Conductividad Térmica de los Bloques y de sus Agregados con el Dispositivo KD2-Pro, que Utiliza el Método de la Aguja Térmica .....	66
4.1.4. Medida de la conductividad y resistencia térmica de los agregados .....	68
4.1.5. Metodología utilizada en la medición de la conductividad y resistencia térmica del bloque hueco de hormigón. ....	69
4.1.6. La medida de k en los bloques con el dispositivo KD2 Pro .....	70
4.1.7. Resistencia a la Compresión .....	
4.1.8. Simulación de la transferencia de calor a través de un bloque hueco de concreto .....	74
4.1.9. Cálculo de la resistencia térmica total del bloque de dimensiones 15x20x40 elaborado con 20% de roca volcánica y 80% de cascajo .....	75
4.1.10. Análisis de costos.....	78
4.2. Discusión de Resultados.....	
4.2.3. Cálculo del error que se comete en la medida en general .....	79



4.2.3. Medida de la Conductividad Térmica en los Bloques con el Dispositivo kd2 Pro .....	81
4.2.4. Medida de la conductividad térmica de la muestra cilíndrica por el método de régimen constante y transitorio.....	
4.2.5. Análisis del diseño de la muestra .....	82
5. CONCLUSIONES .....	84
6. RECOMENDACIONES .....	87
7. BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS.....	i

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Clasificación de bloques de acuerdo a sus usos.....	
<b>Tabla 1.2.</b> Clasificación de los bloques de acuerdo a su densidad .....	5
<b>Tabla 1.3.</b> Clasificación de los agregados pétreos según su tamaño.....	6
<b>Tabla 1.4.</b> Análisis mineralógico. ....	11
<b>Tabla 1.5.</b> Acidez de las rocas ígneas. ....	12
<b>Tabla 1.6.</b> Resistencia térmica superficial de los cerramientos.....	
<b>Tabla 1.7.</b> Resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada (m <sup>2</sup> . K/w).....	16
<b>Tabla 1.8.</b> Resistencia térmica aproximada de algunos tipos de forjados (sin revestimiento ni pavimentos). ....	
<b>Tabla 1.9.</b> Coeficientes de transmisión térmica aproximada de algunas cubiertas inclinadas.....	18
<b>Tabla 1.10.</b> Coeficiente de transmisión térmica aproximada de algunas fachadas. ...	19
<b>Tabla 1.11.</b> Coeficiente de transmisión térmica aproximada de algunos huecos. ....	20
<b>Tabla 1.12.</b> Calor específico de algunos materiales.....	22
<b>Tabla 1.13.</b> Difusividad térmica ( $\alpha$ ). ....	25
<b>Tabla 1.14.</b> Producción de energía metabólica.....	29
<b>Tabla 3. 1.</b> Plan de recolección de la información.....	38
<b>Tabla 3. 2.</b> Cuadro de operacionalización de las variables de investigación.....	40
<b>Tabla 4. 1.</b> Análisis fluorescencia de Rayos X. ....	54
<b>Tabla 4. 2.</b> Granulometría agregado fino (polvo de roca volcánica). ....	54
<b>Tabla 4. 3.</b> Optimización del agregado fino (polvo de roca volcánica). ....	56
<b>Tabla 4. 4.</b> Optimización del agregado grueso (piedra pómez).....	57
<b>Tabla 4. 5.</b> Optimización de la mezcla de los dos agregados. ....	
<b>Tabla 4. 6.</b> Peso específico y absorción en el agregado fino (polvo de roca volcánica). ....	59
<b>Tabla 4. 7.</b> Densidad suelta del polvo de roca volcánica. ....	
<b>Tabla 4. 8.</b> Densidad compactada. ....	
<b>Tabla 4. 9.</b> Datos iniciales de los agregados.....	61
<b>Tabla 4. 10.</b> Cantidades de agregados de la mezcla de referencia.....	62
<b>Tabla 4. 11.</b> Cantidades de agregados resultantes de la mezcla de prueba. ....	63
<b>Tabla 4. 12.</b> Valores promedios de la conductividad y resistencia térmica de las muestras cilíndricas de 15 x 30 cm.....	67
<b>Tabla 4. 13.</b> Valores promedios de la conductividad y resistencia térmica de la muestra de roca volcánica. ....	69

<b>Tabla 4. 14.</b> Valores promedios de la conductividad y resistencia térmica de la muestra de cascajo.....	69
<b>Tabla 4. 15.</b> Tabla de valores de conductividad y resistencia térmica de la muestra 1. .	
<b>Tabla 4. 16.</b> Tabla de valores de conductividad y resistencia térmica de la muestra 2. ....	71
<b>Tabla 4. 17.</b> Valores de conductividad y resistencia térmica de un bloque común. ....	
<b>Tabla 4. 18.</b> Resistencia a la compresión, en bloques no soportantes.....	
<b>Tabla 4. 19.</b> Resistencia a la compresión, en bloques soportantes.....	73
<b>Tabla 4. 20.</b> Valores de conductividad y resistencia térmica promedios del bloque. .	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura. 1.1.</b> Diagrama de categorización de la teoría en función de las variables independientes (VI) y variable dependiente (VD). .....	4
<b>Figura. 1.2.</b> Estructura del material compuesto. ....	7
<b>Figura 1.3.</b> Tonalidades de la piedra pómez. ....	10
<b>Figura. 1.4.</b> Análisis de una resistencia total de una pared.....	17
<b>Figura 1.5.</b> Ganancia de calor en función de la conductividad y resistencia térmica..	21
<b>Figura. 1. 6.</b> Cantidad de calor requerido para aumentar una unidad de temperatura de una unidad de masa. ....	22
<b>Figura. 1.7.</b> Inercia térmica de un edificio. ....	24
<b>Figura 1. 8.</b> Cerramiento homogéneo.....	26
<b>Figura 1.9.</b> Temperatura media mensual (°C) del cantón Quito.....	27
<b>Figura 2.1.</b> Conducción de calor en estado estacionario. ....	31
<b>Figura 2.2.</b> Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección. 32	
<b>Figura 2.3.</b> Procesos de transferencia de calor por convección.....	33
<b>Figura 2.4.</b> Capa límite térmica. ....	
<b>Figura 2.5.</b> Volumen de control diferencial. ....	34
<b>Figura 2.6.</b> Volumen de control diferencial considerando la segunda ley de Newton.....	
<b>Figura 2. 7.</b> Volumen de control diferencial considerando la conservación de energía. ....	35
<b>Figura 2.8.</b> Capa límite para una placa horizontal. ....	
<b>Figura 2.9.</b> Capa límite para una placa vertical. ....	36
<b>Figura 2.10.</b> Flujos impulsados sobre placas horizontales fría ( $T_s < T_\infty$ ) y caliente fría ( $T_s > T_\infty$ ). ....	37
<b>Figura. 3. 1.</b> Arreglo cilíndrico para medición de la conductividad térmica.....	45
<b>Figura 3. 2.</b> Esquema de una sola unidad de un bloque hueco de hormigón. ....	46
<b>Figura 3. 3.</b> Aproximación por diferencias finitas. ....	48
<b>Figura 3. 4.</b> Nodo interno de un material continuo.....	
<b>Figura 3. 5.</b> . Frontera adiabática ( $Q=0$ ). ....	50
<b>Figura 3. 6.</b> Nodo en una interface bloque – aire.....	
<b>Figura 3. 7.</b> Transporte de calor a través de la cavidad del bloque.....	51
<b>Figura 4. 1.</b> Curvas granulométricas de agregados utilizado en la mezcla .....	55
<b>Figura 4.2.</b> Curva granulométrica del agregado fino.....	57
<b>Figura 4. 3.</b> Curva granulométrica agregado grueso. ....	
<b>Figura 4. 4.</b> Curva de optimización de la mezcla. ....	59

<b>Figura 4. 5.</b> Temperatura en función del tiempo.....	
<b>Figura 4. 6.</b> Curva de la conductividad en función del tiempo.....	
<b>Figura 4. 7.</b> Curva de resistencia térmica en función del tiempo.....	66
<b>Figura 4. 8.</b> Esquema del bloque con los cinco puntos donde se medirá la conductividad.....	70
<b>Figura 4. 9.</b> Transferencia de calor a través del bloque vista superior.....	
<b>Figura 4. 10.</b> Transferencia de calor a través del bloque vista inferior.....	74
<b>Figura 4. 11.</b> Resistencias térmicas distribuidas en el bloque vista superior e inferior. .....	75

## ÍNDICE DE FOTOS

<b>Foto 4. 1.</b> Muestra de roca volcánica (basalto) para análisis. ....	55
<b>Foto 4. 2.</b> Esquema completo del sistema de medida del gradiente de temperatura de la muestra del material compuesto. ....	64
<b>Foto 4. 3.</b> Muestras cilíndricas a las que se tomaron las medidas. ....	67
<b>Foto 4.4.</b> . Medición con el dispositivo KD2 Pro de conductividad y resistencia térmica de la roca volcánica. ....	
<b>Foto 4. 5.</b> Medición con el dispositivo KD2 Pro de conductividad y resistencia térmica del polvo de roca volcánica. ....	68
<b>Foto 4. 6.</b> Medida de conductividad y resistencia térmica del cascajo. ....	69
<b>Foto 4. 7.</b> Medida de la conductividad y resistencia térmica con el dispositivo KD 2 Pro del bloque en los cinco puntos seleccionados. ....	72

## ANEXOS

<b>Anexo A. Resultados de análisis de la roca volcánica.....</b>	<b>i</b>
<b>Anexo B. Análisis de hormigones y agregados .....</b>	<b>ii</b>
<b>Anexo C. Resistencia de materiales.....</b>	<b>vii</b>

## NOMENCLATURA

K	conductividad térmica
R	Resistividad térmica
SiO <sub>2</sub>	Sílice
AL <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Alúmina
°C	Grados centígrados
°k	Grados kelvin
°F	Grados Fahrenheit
Cal	Calorías
Kcal	Kilo calorías
J	Julio
W	Vatio
h	coeficiente superficial de transmisión de calor
h <sub>i</sub>	coeficiente superficial de transmisión de calor interior
h <sub>e</sub>	coeficiente superficial de transmisión de calor exterior
RT	Resistencia térmica total
KG	coeficiente de transmisión térmica global del edificio
Ki	los coeficientes de transmisión de calor y la superficie de cada cerramiento exterior del edificio
Ce	Calor específico
Qt	Capacidad térmica
Mt	Masa térmica
γ	Densidad del material
α	Difusividad térmica
Rt	Retardo térmico
t	Periodo de la onda térmica
L	Espesor del cerramiento
Ask	Superficie de la piel
M	Tasa de producción metabólica
met	unidades de metabolismo
Trad	Temperatura media radiante
q <sub>x</sub>	Flujo de calor en la dirección x



$A$	Área transversal normal en dirección de transferencia
$\frac{\partial T}{\partial x}$	Gradiente de temperatura
$\Delta T$	Incremento o decremento de temperatura
$\Delta x$	Incremento o decremento de espesor de pared
$T_s$	Temperatura de superficie
$T_\infty$	Temperatura del medio circundante
$h$	Coeficiente de transferencia de calor por convección
$\varepsilon$	Emesividad
$\sigma$	Constante de Stefan – Boltzmann = $5,68 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{k}^4$
$E$	Calor por unidad de área
$\overline{Nu}$	Nussel
$Gr_L$	Grashof
$g\beta$	Gravedad por coeficiente de expansión volumétrica
$Pr$	Prandtl
$v$	Velocidad
$Re$	Reynolds
$\alpha$	Velocidad de difusividad
$dR$	variación del radio del cilindro
$q$	Carga eléctrica
$L$	longitud del cilindro
$I$	intensidad eléctrica
$V$	voltaje
$h_c$	Coeficiente de transferencia de calor por convección
$T_c$	temperatura en la superficie caliente de la cavidad
$T_f$	temperatura en la superficie fría de la cavidad
$C$	Conductancia térmica
$e$	espesor
$R_t$	Retardo térmico

## ABREVIATURAS

Lts	Litros
VI	Variable independiente
VD	Variable dependiente
INEN	Instituto Ecuatoriano de normalización
Pm	Peso de la mezcla
Pc	Peso del cemento
Pcas	Peso del cascajo
Pmz	Peso de la roca volcánica pómez
Pa	Peso del agua
Vm	Volumen de la mezcla
Vc	Volumen del cemento
Vcas	Volumen del cascajo
Vmez	Volumen de la roca volcánica
Va	Volumen del agua
RP	Relación en peso
RV	Relación en volumen
Fcm	Resistencia media en probeta a los 28 días
Fck	Resistencia característica específica

## RESUMEN

A nivel local y especialmente en la zona urbana, el material de construcción más utilizado es el bloque de concreto, caracterizado por su bajo costo, tamaño y facilidad de fabricación, sin embargo, para las poblaciones rurales localizadas a más de 2800 msnm, este tipo de material de construcción es demasiado caro de adquirir y transportar, sin considerar la capacidad de aislamiento térmico que presenta este tipo de materiales. Considerando ésta problemática, se ha propuesto el presente estudio, que consiste en elaborar bloques para mampostería, compuestos de arena de roca volcánica (traquiandesita), cascajo (relación 20 - 80) y concreto, como material alternativo de bajo coste, alto aislamiento térmico y fácil de elaborar por parte de los pobladores nativos de estas zonas. Para el proyecto se elaboró la mezcla de concreto basada en la Norma A.C.I 211.1 (American Concrete Institute) y ASTM C33, en donde se establece el procedimiento para optimizar la granulometría en las mezclas de concreto. Las propiedades térmicas del material se determinaron: midiendo la conducción de calor a través de un cilindro macizo hueco en régimen estacionario y por el uso del equipo KD2 Pro, basado en el método de aguja térmica en régimen transitorio. Los resultados obtenidos experimentalmente por ensayos mecánicos de compresión, de conductividad térmica ( $k=0.1404 \text{ W/m.K}$ ) y resistencia térmica ( $9.09 \text{ m}^2.\text{K/W}$ ), comprueban que el bloque alternativo puede ser utilizado con fines de aislamiento térmico y mejora del confort domiciliario.

**Palabras Clave:** cascajo-ceniza, mampostería, aislamiento térmico, confort doméstico

## ABSTRACT

At local level and specially in the urban zone, the material of construction mostly used is the block of concrete, characterized for its low cost, size and easiness of manufacture. Nevertheless, for the rural populations located at more than 2800 meters above sea level, this type of material of construction is too expensive of acquiring and transporting, without considering the capacity of thermal isolation that presents this type of materials. Considering this problematic, we have proposed the present study, which consists of elaborating blocks for masonry, composed of sand of volcanic rock (traquiandesita), gravel (relation 20 - 80) and concrete, as alternative material of low cost, high thermal isolation and easy to elaborate for the native settlers of these zones. For the project the mixture was elaborated of concrete based on the standard ACI 211.1 and ASTM C33, where the procedure is established to optimize the granulometry in the mixtures of concrete. The thermal properties of the material were evaluated measuring the heat conduction across a massive hollow cylinder in stationary regime, and in transitory regime using the equipment KD2 Pro based on the method of thermal needle. The results obtained experimentally by mechanical tests of compression, of thermal conductivity ( $k=0.1404$  W/m. K) and thermal resistance (9.09 m<sup>2</sup>. K/W), verify that the alternative block can be used for sake of thermal isolation and improvement of the domiciliary comfort.

**Keywords:** Gravel - ash, masonry, thermal isolation, domestic comfort.

# **DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO POR ROCA VOLCÁNICA Y CONCRETO COMO MATERIAL ALTERNATIVO DE CONSTRUCCIÓN QUE PERMITA MEJORAR LOS NIVELES DE CONFORT INTERNO EN VIVIENDAS LOCALIZADAS EN CLIMAS FRÍOS**

## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente en el Ecuador se ha generalizado el uso del bloque hueco de hormigón en la construcción de las paredes de casas y edificios, principalmente en la región Sierra debido a su bajo costo de producción y durabilidad. Uno de los inconvenientes del uso del bloque hueco de hormigón es su alta conductividad térmica y baja capacidad de aislamiento térmico en comparación con otras opciones tales como madera, adobe y ladrillos (Gheni, ElGawady, & Myers, 2017). Motivados por las razones anteriores, se llevó a cabo una investigación experimental de diseño y caracterización de un material compuesto por roca volcánica y concreto como material alternativo de construcción que aumenten el aislamiento térmico y que mejoren las condiciones de confort interno en viviendas localizadas en climas fríos. El conocimiento y selección de los materiales de construcción se puede definir como uno de los principales problemas cuando se busca mantener condiciones de confort térmico por medios pasivos o naturales en el interior de las viviendas, por su gran impacto en la economía del hogar por el gasto de energía, teniendo como propósito reducir el consumo de energía dentro de las edificaciones calentadas por medios mecánicos (González Cruz, 2003).

La característica principal del hormigón compuesto por roca volcánica, cascajo y cemento es tener una conductividad térmica baja y una alta resistividad térmica, lo cual permitirá mantener las condiciones de habitabilidad intramuros (Pérez, Cabanillas, Hinojosa, & Borbón, 2011). Para analizar el material compuesto es necesario conocer las propiedades físicas, térmicas y concentraciones con las que se deben mezclar el agregado fino con el grueso que se utilizan en la fabricación del bloque hueco de concreto, la calidad de estos depende mucho de la mina de donde son extraídos.

La minería se conoce como toda actividad productiva en la que se extraen y explotan minerales depositados en el suelo y en el subsuelo con fines comerciales (Banco Central del Ecuador, 2015). Por las características que comparten (propiedades físicas

y químicas uniformes), los minerales se pueden clasificar en: **metálicos, no metálicos y energéticos**. La actividad minera es una fuente de ingresos muy importante en regiones rurales del país, ocupa mano de obra calificada y no calificada, operarios de maquinaria como prensas manuales e hidráulicas, así como profesionales en diversas ramas.

Los minerales no metálicos se clasifican en **agregados pétreos** los cuales son los minerales de uso industrial tales como: **calizas, yeso, arcillas, feldespato, caolín, arena/grava, grafito, baritina, entre otros**.

La mayor parte de minerales no metálicos en el Ecuador son utilizados en el sector de la construcción. Uno de los sectores más importante por la influencia que tiene en la generación de empleo. Por ello es considerado como eje transversal de crecimiento económico de Ecuador.

En la actualidad en el Ecuador se emplean las mismas normas técnicas y métodos constructivos (materiales pétreos, cemento hidráulico y agua) para todas las regiones sin considerar las condiciones climáticas locales, afectando la habitabilidad de las viviendas. Las mayores ganancias de calor al interior de las viviendas son por la combinación de los efectos del clima con las características termo físicas de los materiales que componen las paredes (Borbón, Cabanillas, & Pérez, 2010). Esto obliga a que los habitantes utilicen equipos externos como aire acondicionado en las zonas cálidas y calefactores en las zonas frías, lo que implica costos elevados tanto en la adquisición de equipos y en el consumo energético para el funcionamiento de dichos aparatos.

El principal objetivo de este trabajo es elaborar un bloque hueco de hormigón compuesto por: roca volcánica, cascajo, agua y cemento con una dosificación adecuada entre sus componentes. El bloque resultante en comparación con el convencional, proporcionará mayor aislamiento térmico, así como menores propiedades de transferencia de calor, esto permitirá reducir y amortiguar el flujo de calor a través de las paredes de casas y edificios, mejorando las condiciones de confort en el interior de las habitaciones.

Con la utilización de nuevos materiales compuestos por roca volcánica y concreto en diferentes dosificaciones para la fabricación de bloques que serán empleados en la construcción de paredes para las viviendas ubicadas zonas climáticas frías, se

pretende con estas nuevas mezclas aumentar la resistencia térmica de los bloques hasta llegar a niveles adecuados de aislamiento térmico requeridos para mantener temperaturas interiores de las edificaciones confortables. Los prototipos obtenidos se elaborarán localmente y se analizará la factibilidad económica del uso de este material en beneficio de la ciudadanía que habita en zonas frías.

## **Pregunta de Investigación**

¿El material compuesto seleccionado responderá a las características físicas requeridas en la presente investigación?

## **Objetivo General**

Diseñar y caracterizar un material compuesto por roca volcánica y concreto como material alternativo de construcción que permita mejorar los niveles de confort interno en viviendas localizadas en zonas frías

## **Objetivos Específicos**

- Analizar térmicamente el modelo obtenido y el modelo de uso tradicional.
- Obtener un modelo matemático óptimo que me permita definir las propiedades térmicas del material convencional y del propuesto en la investigación.
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del modelo mediante ensayos de laboratorio y seleccionar la dosificación del material más óptima.
- Elaborar una propuesta técnica y económicamente factible para la producción en serie de los modelos obtenidos

## **Hipótesis**

Probar como varían ciertas propiedades físicas y mecánicas del material compuesto obtenido, frente a los materiales de concreto de uso tradicional.

# 1. MARCO TEÓRICO

Una forma de organizar y categorizar la teoría que sirve de base fundamental para la investigación anteriormente descrita se puede representar de acuerdo con la fig. 1.1.

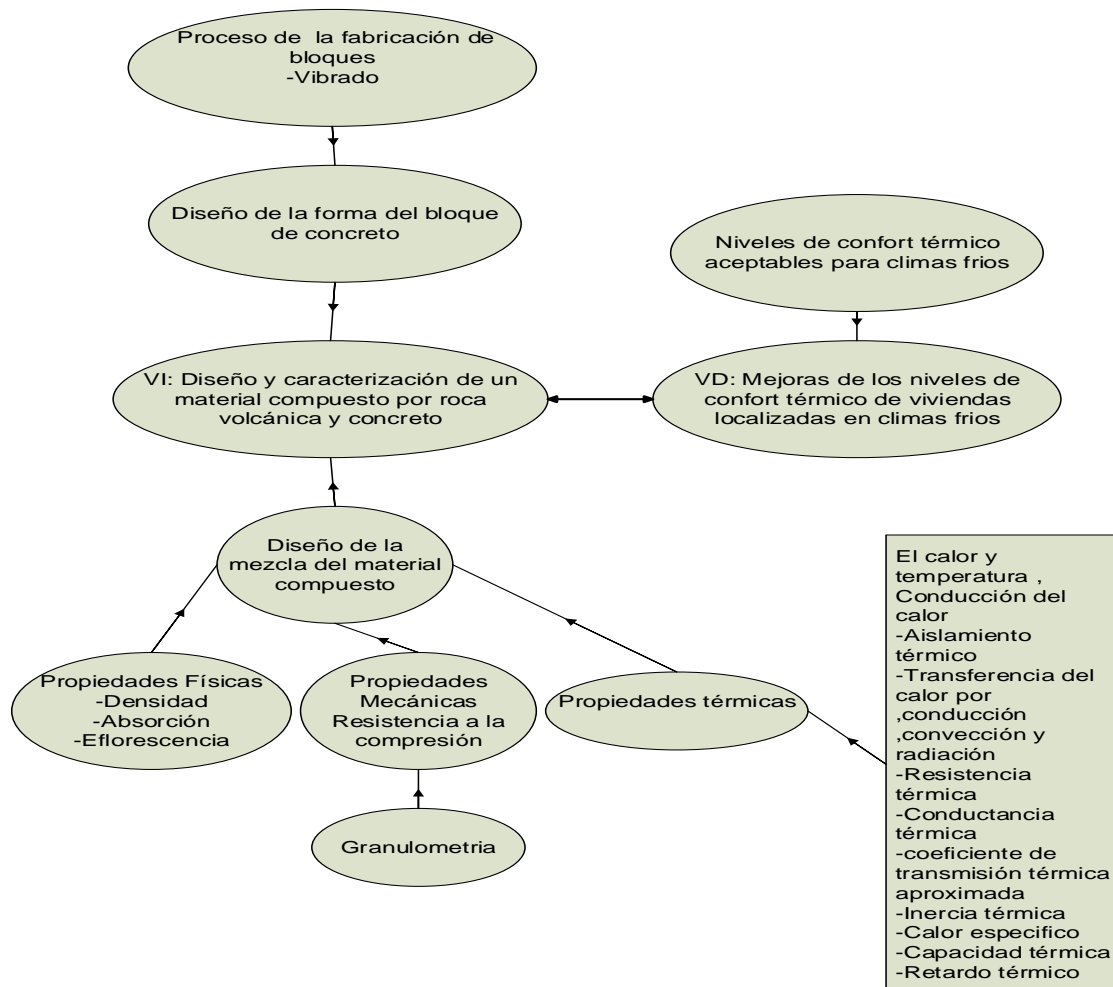


Figura. 1.1. Diagrama de categorización de la teoría en función de las variables independientes (VI) y variable dependiente (VD).

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

## 1.1. Bloque de Concreto

Los bloques de concreto son piezas prefabricadas a base de cemento, agua, áridos finos y gruesos que forman una mezcla relativamente seca. El material se moldea en forma de paralelepípedo con uno o más huecos transversales en su interior de modo que el volumen del material sólido sea del 50% al 75% del volumen total del elemento (INEN, 2014), se compacta y cura en condiciones controladas, que garantizan la obtención de propiedades y características físicas (ICPC, n.d.) requeridas en las normas



técnicas para ser considerados como aptos para su utilización en la construcción de las envolventes de las casas o edificios.

### 1.1.1. Clasificación

Los bloques huecos de concreto pueden clasificarse de acuerdo al uso que se le dé y a su densidad, como se indica en las siguientes tablas (Tabla 1.1 y Tabla 1.2.).

**Tabla 1.1.** Clasificación de bloques de acuerdo a sus usos.

Clase	Uso
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento
	Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento
	Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento
E	Losas alivianadas de hormigón armado

(Fuente: INEN, 2014)

**Tabla 1.2.** Clasificación de los bloques de acuerdo a su densidad

Tipo	Densidad del hormigón (kg/m <sup>3</sup> )
Liviano	<1680
Medio	1680 a 2000
Normal	>2000

(Fuente: INEN, 2014)

### 1.1.2. Materiales para fabricación de bloques

Los bloques se deben elaborar con cemento Portland, áridos (agregados) finos y gruesos, tales como: polvo de roca volcánica, piedra pómez y cascajo. El cemento debe cumplir con los requisitos dados por la norma NTE 152, los áridos con la norma NTE INEN 872 y el agua, limpia, de preferencia potable (INEN, 2014).

#### 1.1.2.1. Agregados

Los agregados son partículas pétreas que dan una resistencia mecánica y textura superficial al concreto, generalmente constituyen más del setenta por ciento del material

en 1 m<sup>3</sup>. La calidad depende del lugar de origen, de su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie (Romero & Hernández, 2014).

La clasificación más usada es por tamaño del agregado (granulometría).

**Tabla 1.3.** Clasificación de los agregados pétreos según su tamaño.

Tamaño de las partículas en mm (Tamiz)	Denominación corriente	Clasificación como agregado para concreto
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina
0,002 – 0,074 (No. 200)	Limo	
0,075 – 4,76 (No. 200)- (No. 4)	Arena	Agregado fino
4,76 – 19,1 (No. 4) – (3/4")	Gravilla	Agregado grueso
19,1 – 50,8 (3/4")- (2")	Grava	
50,8 – 152,4 (2")- (6")	Piedra	
> 152,4 (6")	Rajón Piedra bola	

(Fuente: Romero & Hernández, 2014)

### 1.1.3. Proceso de fabricación

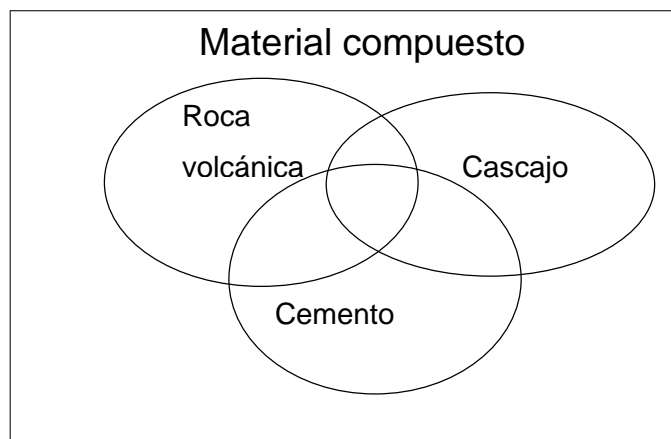
Las etapas básicas en el proceso de fabricación de los bloques son:

- a) **Selección y almacenamiento de materiales:** Buscar proveedores que aseguren el suministro constante y garanticen la calidad de los áridos.
- b) **Dosificación de la mezcla:** la dosificación debe asegurar que se pueda obtener un bloque con características de cohesión, compactación, resistencia y acabado dentro de la norma técnica.

- c) **Elaboración de la mezcla:** se utiliza una máquina mezcladora mix para concreto, donde se coloca el agrado grueso, el agregado fino y el cemento, se mezcla por unos tres a seis minutos para finalmente agregar el agua.
- d) **Elaboración del bloque:** se revisa que el molde este limpio y en buen estado, para luego colocar la tolva alimentadora y se llena. Se aplica la vibración al molde por un promedio de seis segundos para acomodar la mezcla, se vuelve a llenar el molde hasta el ras y se quita con la bandeja el exceso y se baja los martillos compactadores antes de aplicar la vibración para que la mezcla se compacte.
- e) **Fraguado de los bloques:** los bloques recién fabricados deben permanecer en lugares que les garantice la protección del sol y del viento, con la finalidad que puedan fraguar sin secarse (Gamboa de León Rëgil, 2005).
- f) **Curado de los bloques:** El curado consiste en mantener los bloques durante los primeros siete días como mínimo, en condiciones de humedad y temperatura de 17 grados centígrados; necesarios para que desarrolle la resistencia y otras propiedades deseadas (Gamboa de León Rëgil, 2005).

## 1.2. Diseño de la Mezcla del Material Compuesto por Roca Volcánica, Piedra Pómez y Concreto

Un material compuesto es un sistema integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro-constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí. El volumen representativo de la mezcla del bloque para la elaboración de paredes consta de cuatro elementos roca volcánica o pómez (p), Cascajo (ca) como refuerzo, cemento (ce) como matriz y vacíos (v) (Figura. 1.2.)



**Figura. 1.2.** Estructura del material compuesto.  
(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

### **1.2.1. Método A.C.I. (American Concrete Institute) para el proporcionamiento de mezclas**

El método se basa en tablas empíricas mediante las cuales se determina las condiciones de partida y la dosificación. Es usado cuando los agregados cumplen con las recomendaciones granulométricas ASTM C33 (Romero & Hernández, 2014), Se considera que para materiales y condiciones dadas la resistencia depende únicamente de la relación agua-cemento de la mezcla.

Las diferencias en resistencia para la relación agua- cemento se atribuye al tipo de cemento, tamaño máximo nominal del agregado, granulometría, textura, forma, resistencia y rigidez de las partículas de agregado, contenido de aire, tipo de aditivo, elaboración y cuidado de las muestras.

### **1.2.2. Dosificar y dosificación**

Dosificar un mortero para elaborar bloques de concreto es hallar la cantidad exacta de los distintos materiales que lo componen de acuerdo con las características y prestaciones que se precisan de él. El proceso de dosificación de mortero con un solo conglomerante y sin utilizar aditivo, orienta a conocer las cantidades exactas de los componentes básicos: cemento, cascajo, roca volcánica y agua, utilizados tradicionalmente para la elaboración de bloques para paredes. Las cantidades exactas de los componentes básicos de un mortero se pueden expresar en peso o volumen, por lo que en el problema planteado en la investigación se lo hará por ambos métodos de trabajo y su relación en función de las propiedades de cada uno de los materiales.

Las hipótesis básicas de trabajo utilizadas en la dosificación de mortero son las siguientes:

1. El peso del mortero es igual a la suma de los componentes de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P_m = P_c + P_{cas} + P_{mez} + P_a \quad [ 1 ]$$

Donde:

$P_m$  = Peso de la mezcla

$P_c$  = Peso del cemento

$P_{cas}$  = Peso del cascajo

Pmez = Peso de la roca volcánica pómez

Pa = Peso del agua

2. El volumen real del mortero fresco es igual a la suma de los volúmenes reales de sus componentes.

Esta segunda premisa, conocida como hipótesis de Shuman, se acepta como válida si prescindimos de la contracción que se produce en la pasta de cemento durante el proceso de hidratación.

3. El volumen aparente del mortero es menor que la suma de los volúmenes aparente de sus componentes, expresión que tiene que ver con el rendimiento de la mezcla.

### 1.2.3. Rendimiento de la mezcla

El rendimiento de la mezcla es la relación entre el volumen de mortero fresco y la suma de los volúmenes aparentes secos de los componentes que lo forman.

$$R = \frac{Vm}{Vc + Vcas + Vmez + Va} \quad [2]$$

Donde:

Vm = Volumen de la mezcla

Vc = Volumen del cemento

Vcas = Volumen del casajo

Vmez = Volumen de la roca volcánica

Va = Volumen del agua

Esta expresión nos indica la pérdida de volumen aparente seco que experimentan los componentes de un producto al mezclarlos. Su valor numérico es siempre menor de la unidad y se expresa de forma decimal.

### 1.2.4. Relación de componentes de la mezcla

La relación de componentes de la mezcla es la serie de valores que indican cómo están relacionados entre sí el cemento en estado seco, el casajo en estado seco, la roca volcánica pómez en estado seco y el agua de la mezcla.

La relación de componentes de la mezcla se expresa siempre con relación al valor del cemento, por lo que se lo representa por la unidad.

La relación de componentes también se puede referir tanto en peso como en volumen de la mezcla, tomando siempre como referencia las cantidades de cemento, cascajo y pómez en estado seco, y la cantidad de agua teórica resultante del cálculo.

En esta relación en peso (RP) y la relación en volumen (RV) de una misma mezcla tiene correspondencia en función de las densidades aparentes secas de los materiales que lo componen. Conocida una de las relaciones, la otra es posible hallar a partir de la densidad aparente seca del cemento, del cascajo, de la pómez y del agua.

Conocer las propiedades físicas de los agregados es de vital importancia en la fabricación de los bloques huecos de hormigón, ya que la calidad de los agregados son factores determinantes en las características que tendrá el producto final.

### **1.2.5. Piedra pómez**

Son rocas que pertenecen al grupo de las ígneas, generadas por el enfriamiento de roca fundida que procede del interior de la tierra cuya composición mineralógica promedio es: 59% feldespatos, 12% cuarzo, 17% anfíboles y piroxenas, 4% micas y 8% otros minerales (Duque Escobar, 2011).

#### **1.2.5.1. Análisis macroscópico**

En tonalidad presenta cierta variedad, que va desde gris claro a gris oscuro o de gris claro a rojizo (por la concentración de óxido de hierro), la matriz vítrea de la piedra pómez presenta una composición cristalina de minerales que la hace un material muy estable durante cientos, miles y hasta millones de años por su contenido de sílice (Figura 1.3.).



**Figura 1.3.** Tonalidades de la piedra pómez.

(Fuente:Sastre Sastre, R., 2010)

### 1.2.5.2. Análisis microscópico

La porosidad es la característica más importante de esta roca ya que influye en la densidad cuya forma vesicular permite que sea liviana con un peso que va entre 0,5-0,7 gr/cm<sup>3</sup>, como también en la capacidad de absorción acústica, se estimó que a menor densidad mayor absorción acústica, en la Tabla 1.4 se detallan las propiedades químicas que presenta la piedra pómez.

**Tabla 1.4.** Análisis mineralógico.

Detalle	Porcentaje
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	60,82 %
Alúmina (AL <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	16,71 %
Óxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7,04 %
Óxido de calcio (CaO)	4,44 %
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	0,14 %
Óxido de magnesio (MgO)	1,94 %
Óxido de sodio (Na <sub>2</sub> O)	5,42 %
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	2,25 %
Pérdida por ignición	1,52 %

(Fuente: Anwar Hossain, 2004)

### 1.2.6. Rocas volcánicas o ígneas extrusivas

Las rocas volcánicas conocidas también como rocas ígneas extrusivas son producto de la cristalización de los materiales expulsados por los volcanes. Las propiedades físicas y mecánicas dependen del grado de solidificación de la roca, obteniéndose una microestructura muy variada de acuerdo a su proceso de formación (Suárez Díaz, 1998).

#### 1.2.6.1. Clasificación

Las principales rocas volcánicas son:

##### a) Riolita

La riolita es el componente exclusivo de grano fino, del magma granítico que escapó de la superficie a través de una erupción volcánica y presenta características similares a un granito. Los megacristales de cuarzo o feldespatos le dan a las riolitas diferencias de carácter y comportamiento (Suárez Díaz, 1998).

#### b) Tobas

Son rocas volcánicas formadas por material suelto arrojado por un volcán en erupción, son muy porosos y ricos en vidrio (Suárez Díaz, 1998).

#### c) Andesita

Es una roca de grano fino volcánica de color marrón, constituida principalmente de plagioclasa, hornblenda y biotita con muy poco cuarzo.

#### d) Basalto

Roca ígnea básica de grano fino, compuesta aproximadamente de mitad de piroxeno y mitad de plagioclasa con un contenido de hasta 5% de óxido de hierro. Es de color negrozco o verde oscuro, en ocasiones puede ser de color rojizo o marrón, debido a la oxidación de los minerales que se convierten en óxidos de hierro (Suárez Díaz, 1998).

### 1.2.6.2. Acidez de las rocas ígneas

El contenido de cuarzo se conoce como acidez de las rocas ígneas. Las rocas ígneas ácidas son aquellas tienen un alto contenido de cuarzo y las básicas son las que contienen poco o ningún cuarzo.

**Tabla 1.5.** Acidez de las rocas ígneas.

Modo de ocurrencia	Acida > 66% SiO <sub>2</sub>	Intermedia 52 - 66% SiO <sub>2</sub>	Básica < 52% SiO <sub>2</sub>
Extrusiva Volcánica	Riolita	Andesita	Basalto
Diques e intrusiones menores	Cuarzo Porfirita	Porfirita	Dolerita
Intrusiones mayores Plutónicas	Granito	Diorita	Gabro

(Fuente: Suárez Díaz, 1998)

## 1.3. Propiedades Térmicas de los Sólidos

### 1.3.1. El calor y la temperatura

El calor es la manifestación de la energía interna de un cuerpo debido al movimiento de sus partículas moleculares. Estos tipos de energía que, como cualquier otra son capaces de transformarse de diversas maneras tienen una importancia capital en la



tecnología de la edificación, ya que afectan, por una parte, a los mismos edificios y, por otra, al confort de sus ocupantes (González Cruz, 2003).

La temperatura es una magnitud que sirve para poner en evidencia el calor, haciendo la comparación con otro cuerpo que nos sirve como referencia. La temperatura de un cuerpo, que puede ser medida, con un termómetro, puede tener un valor teórico mínimo de (-273°C), que corresponde a la inactividad total de sus moléculas, pero no tiene un valor máximo. De cualquier manera, las temperaturas que interesan en la tecnología de edificaciones están limitadas por unos valores muy ajustados, donde las unidades de medición son: °C(Celsius), °k(kelvin), °F(Fahrenheit).

### **1.3.2. Calor (Q)**

Energía que se manifiesta por un aumento de temperatura y procede de la transformación de otras energías; es originaria por los movimientos vibratorios de los átomos y las moléculas que forman los cuerpos, donde sus unidades de medición son: Cal, Kcal, J, W.

### **1.3.3. Transferencia de calor**

El calor se propaga desde un punto de temperatura más elevado a otro más bajo. Esta propagación se puede efectuar de tres maneras: por conducción, por convección y por radiación. Estas tres formas de transferencia de energía se presentan en un edificio, tanto entre sus partes: a través de la cubierta, del suelo, de sus particiones, de la chimenea, de la calefacción, del aire acondicionado, de la ventilación natural, etc., como entre los edificios y las personas; es lo que se denomina confort térmico.

El confort de las personas es más un confort higrotérmico (humedad y temperatura, conjuntamente) antes que un confort térmico (temperatura exclusivamente). Sin embargo, habría que reconocer que, aunque la humedad puede modificar el confort térmico, éste tiene un comportamiento mucho más complejo, ya que el campo de fluctuación de la temperatura es mucho más grande que el de la humedad. Además, si se quiere conseguir un confort completo, se ha de añadir, a la temperatura y la humedad, la velocidad o movimiento del aire.

### **1.3.4. La conducción del calor**

La transferencia de calor por conducción es un proceso de transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia, debido a la

interacción molecular directa o entre cuerpos a distintas temperaturas (Incropera Frank P., 2011). La transferencia de calor por conducción depende de las características geométricas y de las propiedades de los materiales que lo constituyen.

Existen dos formas de transferencia de calor por conducción: a) transmisión en régimen estacionario, cuando el flujo de calor y la temperatura en cada punto del mismo permanece constante y b) transmisión en régimen transitorio, se caracteriza por que la temperatura en cada punto de la sustancia varían en el tiempo.

### 1.3.5. El aislamiento térmico

Cuando se contemplan las propiedades térmicas de un edificio, se puede considerar como más importantes aquellas que hacen referencia a la capacidad de evitar que el calor se escape del edificio en épocas frías o que penetre en épocas cálidas. Si eso es así, se puede garantizar una continuidad del ambiente agradable en el interior, sin un gasto considerable en la calefacción o en la refrigeración. A eso se le denomina aislamiento térmico del edificio.

Considerando que lo que nos interesa es una relación interior-exterior, el aislamiento térmico pasa a ser una cualidad propia de los cerramientos exteriores de los edificios y, como tal, corresponde más a una propiedad del elemento empleado que a un determinado material de forma individual.

De forma muy simple se puede decir que el aislamiento que nos proporciona un manpuesto homogéneo (de un solo material) es función del coeficiente de resistividad térmica que tiene este material y de su espesor, y recibe el nombre de resistencia térmica (R).

$$R = \text{espesor}(e) * r = \text{espesor}(e) * \frac{1}{k} ; \text{ sus unidad es } \left[ \text{m}^2 \frac{\text{k}}{\text{w}} \right] \text{ o } \left[ \frac{\text{m}^2 * \text{ }^\circ\text{C} * \text{h}}{\text{kcal}} \right] \quad [3]$$

El antónimo de este valor se denomina conductancia térmica (C) del elemento, sus unidades son, obviamente, las inversas de la resistencia térmica (R). Cuando un cerramiento no es homogéneo, sino que está configurado por más de una capa, es decir, que se trata de un cerramiento multicapa, la resistencia térmica de éste es la suma de las resistencias térmicas de cada una de las capas que lo configuran:

$$R = \sum \frac{e}{k}; \text{su unidad es } \left[ \text{m}^2 \frac{\text{k}}{\text{w}} \right] \quad [4]$$

siendo “e” y “k” respectivamente el espesor y el coeficiente de conductividad térmica, de cada una de las capas que forman el cerramiento. Además, si lo que se quiere es establecer el flujo total del calor a través del cerramiento, se ha de tener en cuenta cómo se transfiere el calor entre el aire (de los dos lados del cerramiento) y las superficies interiores y exteriores de éste.

Estas facilidades de paso de calor entre la superficie de un cerramiento y el aire que lo envuelve se miden con el denominado coeficiente superficial de transmisión de calor (h). El inverso de este coeficiente recibe el nombre de resistencia térmica superficial (1/h) del cerramiento. Esta transferencia de calor en estas dos capas límites se hace siguiendo el conocido mecanismo de **radiación, conducción y convección**.

La radiación entre un cerramiento normal de un edificio y el aire que lo envuelve es prácticamente nulo comparado con los otros mecanismos.

En cambio, el mecanismo de convección depende de una serie de factores diversos, como los que se menciona a continuación:

- posición del cerramiento (horizontal, vertical, etc.)
- dirección del flujo de calor (ascendente, descendente)
- corrientes de aire (forzado, natural, el viento, etc.)
- la rugosidad de la superficie etc.

Con el fin de evitar las formulaciones complejas de estos valores, la normativa en España, para este caso la NRE.AT-87, la NBE-CT-79 y actualmente en vigor el CTE, fijan unos valores de h para los diferentes casos que pueden encontrarse en una edificación estándar. Llamando  $h_i$  al coeficiente superficial de transmisión de calor de la superficie interior de un cerramiento y  $h_e$  al de la superficie exterior (o la que proporciona un local abierto correctamente ventilado) del mismo cerramiento, tenemos:

**Tabla 1.6.** Resistencia térmica superficial de los cerramientos.

Posición del cerramiento y sentido de flujo de calor	1/h		1/h <sub>c</sub>	
	m <sup>2</sup> .K/w	m <sup>2</sup> .h.°C /kcal	m <sup>2</sup> .K/w	m <sup>2</sup> .h.°C /kcal
Vertical o pendiente mayor de 60°C flujo horizontal	0,11	0,13	0,06	0,07
Horizontal o pendiente inferior a 60°C :				
Flujo ascendente	0,09	0,11	0,05	0,06
Flujo descendente	0,17	0,20	0,05	0,06

(Fuente: Sastre Sastre, R., 2010)

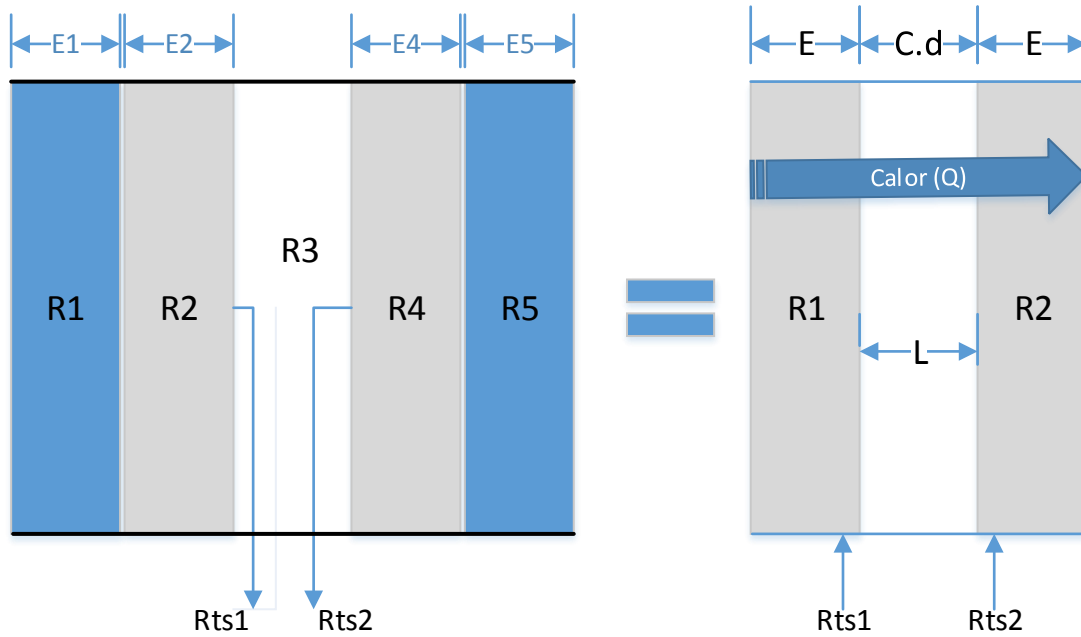
Una cámara de aire no ventilada es un caso particular de elemento constructivo ya que proporciona una resistencia térmica a través de las resistencias térmicas de las dos caras que la forman. El valor de esta resistencia depende de las dimensiones de la cámara, de su posición y del tipo de flujo de calor que se establezca.

**Tabla 1.7.** Resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada (m<sup>2</sup>. K/w).

Posición de la cámara y sentido del flujo	Espesor de la cámara, en mm				
	10	20	50	100	≥150
Vertical o pendiente mayor de 60°C, flujo horizontal	0,14	0,16	0,18	0,17	0,16
Horizontal o pendiente inferior a 60°C, Flujo ascendente	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16
Flujo descendente	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16

(Fuente: Sastre Sastre, R., 2010)

De esta manera, puede concluirse que la resistencia térmica total (RT) de un cerramiento es la suma de las resistencias térmicas (R) de los diferentes elementos que lo forman, más la resistencia térmica superficial, interior y exterior, del mismo cerramiento (Figura. 1.4.).



**Figura. 1.4.** Análisis de una resistencia total de una pared.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

### 1.3.6. El coeficiente de transmisión térmica

El inverso de  $R_T$  se denomina coeficiente de transmisión térmica de un cerramiento ( $K$ ) o también transmitancia de un cerramiento y es un valor que informa de la cantidad de calor que se pierde por metro cuadrado de cerramiento y por unidad de tiempo, suponiendo que exista una diferencia de temperaturas entre ambos lados del cerramiento igual a un grado.

$$k = \frac{1}{R} \text{ donde sus unidades son } \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad [5]$$

En las siguientes tablas se presenta  $R_T$  y  $K$  típicos de soluciones constructivas habituales, como las de estructuras superficiales que constituyen la base de pisos y algunos faldones de cubiertas (forjados).

**Tabla 1.8.** Resistencia térmica aproximada de algunos tipos de forjados (sin revestimiento ni pavimentos).

<b>Tipos de forjado</b>	<b>Rt (m<sup>2</sup>.K/W) Viguetas/ bovedilla</b>
Unidireccionales viguetas de hormigón, bovedilla cerámica simple. 11<h<15 cm.	0,08 / 0,16
Unidireccionales viguetas de hormigón, bovedilla cerámica doble. 15<h<30 cm	0,13 / 0,34
Unidireccionales viguetas de hormigón, bovedilla hormigón simple. 15<h<30 cm	0,11 / 0,19
Unidireccionales viguetas de hormigón, bovedilla hormigón doble. 25<h<30 cm	0,22 / 0,27

(Fuente: Sastre Sastre, R., 2010)

*“En el cuadro anterior se detallan valores de resistencia térmica y no de su transmisión térmica por tratarse de elementos incompletos a los cuales entre otras capas (aislamientos, pavimentos, enyesado, etc.) habría que añadirles la resistencia térmica superficial, que depende de diferentes factores tales como su inclinación, la ventilación de los espacios que lo limitan, etc.” (Sastre Sastre, R., 2010).*

**Tabla 1.9.** Coeficientes de trasmisión térmica aproximada de algunas cubiertas inclinadas.

<b>Tipos de cubiertas</b>	<b>K(W/m<sup>2</sup>.K)</b>
Teja árabe. Mortero (1), forjado (20+3), yeso (1,5), sin aislamiento	2,37
Teja árabe. Mortero (1), forjado (20+3), aislamiento (3/5/10), yeso (1,5)	0,78/0,53/0,30
Teja árabe. Machihembrado cerámico (5), viguetas de madera	1,48
Teja árabe. Placas de marés (5),viguetas de madera	1,67
Teja árabe. Mortero (1), aislamiento (3/5/10), machihembrado cerámico o Marés y vigueta de madera.	0,64/0,47/0,28
Azotea 2 capas de baldosa con su mortero, hormigón celular (10), forjado (20+3), yeso (1,5).	0,64
Azotea 2 capas de baldosas con mortero, hormigón celular (10), aislamiento (3/5/10), forjado (20+3), yeso (1,5).	0,38/0,33/0,21
Azotea 2 capas de baldosa con su mortero, doble machihembrado cerámico (10),cámara de aire no ventilada (10),forjado (20+3),yeso (1,5).	0,99
Terrado 2 capas de baldosas con su mortero ,doble machihembrado , cerámico (10) cámara de aire no ventilada (10) aislamiento (3/5/10),	0,53/0,41/0,26

forjado (20+3), Yeso (1,5)	
Teja árabe o placa de fibrocemento, machihembrado cerámico (5), cámara de aire no ventilada (10), forjado (20+3), yeso (1,5).	1,36
Teja árabe o placa de fibrocemento, machihembrado cerámico (5), cámara de aire no ventilada (10), aislamiento (3/5/10), forjado (20+3), yeso (1,5).	0,53/0,41/0,26
Nota: El aislamiento que se ha considerado tiene un $k = 0,035 \frac{W}{K \cdot m^2}$ (espesor en cm)	

(Fuente: Sastre Sastre, R., 2010)

**Tabla 1.10.** Coeficiente de transmisión térmica aproximada de algunas fachadas.

Tipos de cerramiento (espesor en cm.)	K(W/m <sup>2</sup> .K)
Ladrillo macizo (14) (con/sin) cámara de aire, ladrillo hueco	1,55/2,19
Ladrillo macizo (14), aislamiento (3/5/10), ladrillo hueco (5), yeso(1,5)	0,76/0,52/0,30
Ladrillo macizo (14),(con/sin/cámara de aire ,cartón yeso (1,5)	1,49/2,04
Ladrillo macizo (14),aislamiento (3/5/10),cartón yeso (1,5)	0,76/0,52/0,30
Revoco (1,5), ladrillo (14). cámara de aire (5), ladrillo hueco (5), yeso (1,5)	1,21
Revoco (1,5), ladrillo (14), ladrillo hueco (5), yeso (1,5)	0,66/0,48/0,28
Muro de piedra calcaría, densidad relativa entre 1,8 y 2,2 (40/60)	2,44/1,86
Muro de piedra granito, densidad relativa entre 2,5 y 3,0 (40/60)	3,49/2,91
Muro de piedra (40/60),aislamiento (3/5/10),ladrillo hueco (5),yeso(1,5)	0,77/0,53/0,30
Revoco (1,5), bloque arcilla expandida (20-25), cámara de aire (5), bloque del mismo material (5), yeso (1,5).	0,77
Revoco (1,5), bloque arcilla expandida (20-25), aislamiento (3/5/10), bloque del mismo material (5), yeso (1,5).	1,09
Revoco (1,5), bloque de mortero normal (20-25),aislamiento (3/5/10),bloque del mismo material (5),yeso (1,5)	0,62/0,45/0,28
Nota: El aislamiento que se ha considerado tiene un $k = 0,035 \frac{W}{K \cdot m^2}$ (espesor en cm)	

(Fuente: (Sastre Sastre, R., 2010)

Es interesante observar como los coeficientes de transmisión térmica K son prácticamente iguales en aquellos cerramientos donde el aislamiento térmico es muy alto, independientemente del tipo de cerramiento.

**Tabla 1.11.** Coeficiente de transmisión térmica aproximada de algunos huecos.

Tipos de huecos	K $\frac{W}{m^2K}$
Ventana con marco de madera, vidrio sencillo, vertical (>60°)	5,0
Ventana con marco de madera, vidrio sencillo, vertical (>60°)	5,5
Ventana con marco de madera, vidrio sencillo, vertical (<60°)	5,8
Ventana con marco de madera, vidrio sencillo, vertical (<60°)	6,5
Ventana con marco de madera, vidrio doble 6/12 mm, vertical (>60°)	3,3/2,9
Ventana con marco de madera, vidrio doble 6/12 mm, vertical (>60°)	3,5/3,1
Ventana con marco de madera, vidrio doble 6/12 mm, vertical (>60°)	4,0/3,7
Ventana con marco de madera, vidrio doble 6/12 mm, vertical (>60°)	4,3/4,0
Doble ventana con marco de madera, cámara >30 mm, vertical (> 60°)	2,6
Doble ventana con marco de madera, cámara >30 mm, horizontal (> 60°)	2,6
Doble ventana con marco de aluminio, cámara >30 mm, vertical (> 60°)	2,6
Doble ventana con marco de aluminio, cámara >30 mm, horizontal (> 60°)	2,6
Hormigón translucido (pavés), vertical (> 60°)	3,5
Hormigón translucido (pavés), horizontal (> 60°)	3,7
Puerta de madera opaca en el interior	3,5
Puerta de madera opaca en un local sin calefacción	2,0
Puerta de madera con vidrio simple <30% />30%	4,0/4,5
Puerta de madera con vidrio doble	3,3
Puerta metálica con vidrio doble (cámara de 6 mm) <30% />30%	5,5 /4,8
Puerta de vidrio, metálica o mixta, en el exterior	5,8
Puerta de vidrio simple, metálica o mixta, en un local con calefacción	4,5

(Fuente: Sastre Sastre, R., 2010)

Si se calcula la media ponderada de todas las k diferentes de los cerramientos que forman un edificio, se obtendría el llamado coeficiente de transmisión térmica global del edificio ( $K_G$ ).

$$K_G = \frac{\sum K_i S_i}{\sum S_i} \quad [6]$$

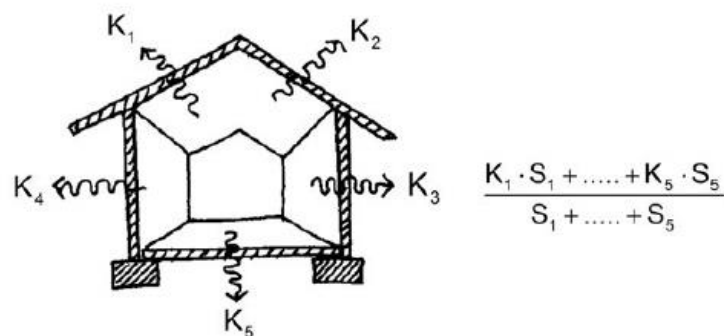


Siendo  $K_i$  y  $S_i$  los coeficientes de transmisión de calor y la superficie de cada cerramiento exterior del edificio, respectivamente.

### 1.3.7. La inercia térmica

En el estudio del confort térmico de los edificios existe un aspecto muy importante que hay que tener en cuenta (además del aislamiento térmico) y que hace referencia a la forma en que los edificios cambian su propia temperatura frente a los cambios de temperatura exteriores.

Cuando un cuerpo se sitúa en un ambiente (normalmente el aire que lo envuelve) con una temperatura diferente a la que se encuentra, tiende a igualar su temperatura con la del entorno, cediendo o ganando calor según se encuentre la temperatura ambiente, más fría o más cálida.



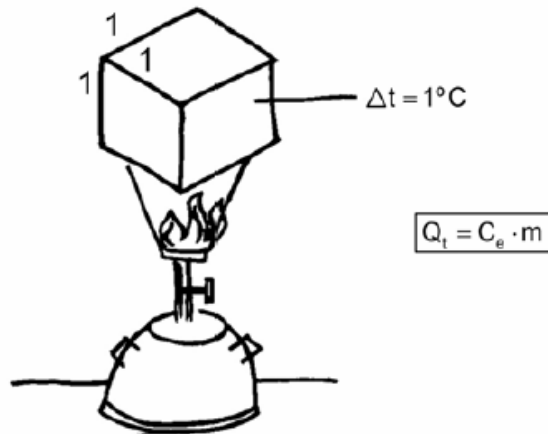
**Figura 1.5.** Ganancia de calor en función de la conductividad y resistencia térmica.

(Sastre Sastre, R., 2010).

Esta ganancia de calor se hace a través de la superficie de contacto del material y del entorno teniendo en cuenta los coeficientes de conductividad térmica y la resistencia térmica superficial de los dos materiales. Ahora bien, esta ganancia de calor no va ligada, proporcionalmente, a una ganancia de temperatura, sino que depende de cada material. La característica que define esta relación ganancia de calor/ganancia de temperatura se denomina calor específico ( $C_e$ ) del material.

### 1.3.8. Calor específico ( $C_e$ )

Cantidad de calor requerido para aumentar en una unidad de temperatura una unidad de masa. Las unidades de medición son:  $J/Kg \cdot K$ ,  $cal/g \cdot ^\circ C$ .



**Figura. 1. 6.** Cantidad de calor requerido para aumentar una unidad de temperatura de una unidad de masa.

(Sastre Sastre, R., 2010).

A continuación, se detalla una tabla con una serie de valores de calor específico de diversos materiales de construcción. Vale la pena observar que la mayoría de materiales sólidos se sitúan en la franja de 0,22/0,36. Es decir, se trata de un valor que no varía demasiado de un material a otro. Otro dato a tener en cuenta es el elevado valor correspondiente al agua.

**Tabla 1.12.** Calor específico de algunos materiales.

Material	Calor específico ( $C_e$ )	
	Kcal/kg.°C	J/kg.K
Agua	1,00	4.187
aire	0,24	1,000
Polietileno	0,55	2.300
Hielo	0,50	2.100
Vapor de agua	0,42	1.760
Madera	0,36/0,60	1.500/2.510
Lámina acrílica	0,35	1.460
Plafón de fibras aislantes	0,33	1.400
Plafón aglomerado denso	0,30	1.250
Poliestireno	0,30	1.250
PVC	0,25	1.040
Mortero de cemento	0,25	1.046
Mortero de cal, yeso	0,20	830

Hormigón	0,21/0,26	840/1.040
Cerámica	0,22/0,24	920/1.000
Granito	0,16	650
Rocas calcáreas	0,22	920
Vidrio, fibra de vidrio	0,20	840
Aluminio	0,20/0,215	830/950
Acero	0,11/0,12	450/512
Cobre, Zinc	0,092	386/390
Plomo	0,031	128/130
Estaño, plata	0,055	230/240

(Fuente: (Sastre Sastre, R., 2010))

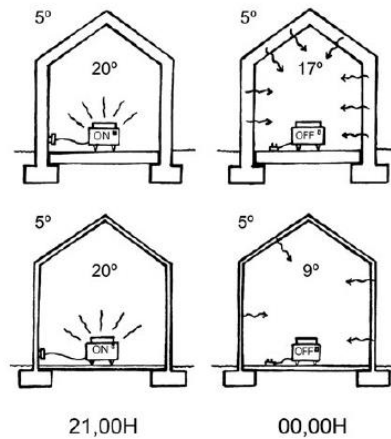
Tal y como queda reflejado en la definición, los valores de calor específico hacen referencia a la unidad de masa. Por tanto, si se desea saber la cantidad de calor necesario para variar la temperatura de un cuerpo o de un elemento constructivo, habría que aplicar este valor a toda la masa, obteniendo así una característica propia de los cuerpos (no de los materiales) que se denomina capacidad térmica ( $Q_t$ ). Evidentemente, el valor de esta magnitud se obtiene multiplicando la masa del cuerpo por su calor específico.

### 1.3.9. Capacidad térmica ( $Q_t$ )

La capacidad térmica de un cuerpo es la energía necesaria para incrementar su temperatura en una unidad, indica la dificultad que presenta el cuerpo para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor.

La capacidad térmica se determina como el producto del calor específico ( $C_e$ ) por la masa térmica ( $M_t$ ), con unidades J/K o cal/°C.

En los materiales de construcción tiene una gran influencia en los procesos de transmisión de calor en régimen transitorio, porque determina la inercia térmica que está definida por el retardo y amortiguamiento de la onda de calor. Si consideramos un edificio (sobre todo su piel exterior: fachadas, soleras, cubiertas, etc.) como una unidad, podremos definir la capacidad térmica de los cerramientos como la suma de las capacidades térmicas de cada uno de los cerramientos exteriores.



**Figura. 1.7.** Inercia térmica de un edificio.

(Fuente:Sastre Sastre, R., 2010)

Este valor dará una idea del calor necesario para modificar la temperatura de la piel de un edificio y, relacionándolo con otras propiedades, se puede establecer el tiempo que tardará en realizarse esta modificación. Este concepto de retardo en la modificación de la temperatura de un edificio se denomina inercia térmica del edificio.

### 1.3.10. Difusividad térmica ( $\alpha$ ):

La difusividad térmica es una propiedad específica de cada material que mide la propagación de los cambios de temperatura a través de un sólido en condiciones no estacionarias. Equivale al cociente entre la conductividad térmica y la capacidad calorífica de una unidad de volumen del propio material, con unidades  $m^2/s$

$$\alpha = \frac{k}{\gamma \cdot C_e} \quad [7]$$

Es una propiedad que indica la facilidad con que los cambios de temperatura se propagan dentro de un cuerpo. Cuando más grande es el valor de  $\alpha$  más rápida es la propagación de los cambios de temperatura.

**Tabla 1.13.** Difusividad térmica ( $\alpha$ ).

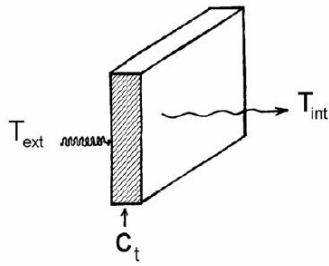
Material	$\alpha$ ( $10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ )
Cobre	112
Aluminio	84
Latón (70%Cu,30%Zn)	34,2
Aire (1 atm.)	22,5
Acero	18,8
Mercurio	4,4
Acero inoxidable.18-8	3,9
Fibra de vidrio	1,6
Hormigón	0,75
Vidrio Pirex <sup>R</sup>	0,51
Terreno arcilloso	0,5
Corcho	0,16
Agua	0,15
Neopreno	0,08
Madera de pino	0,7
PVC	0,05

(Fuente:Sastre Sastre, R., 2010)

### 1.3.11. El retardo térmico

En la construcción arquitectónica se trabaja siempre con temperaturas variables en el exterior al edificio. Las temperaturas cambian continuamente a lo largo del día y a lo largo del año. Estos cambios pueden ser suaves o muy bruscos, en función del asoleamiento, de la llegada de una perturbación meteorológica. No obstante, se puede aceptar que la fluctuación térmica del aire exterior en un edificio se puede representar mediante una gráfica sinusoidal, con un periodo de 24 horas.

Evidentemente, el calentamiento o enfriamiento de los cerramientos de un edificio, descrito en el apartado anterior, también sufrirá variaciones en el mismo sentido y, en consecuencia, el aire o el ambiente interior de un edificio también tendrá una variación de forma sinusoidal. Ahora bien, según la capacidad térmica de los cerramientos, existirá un desfase entre la onda que representa la temperatura exterior y la onda que representa la interior. En principio, cuanto más grande sea la capacidad térmica de los cerramientos, más grande será el desfase de las dos ondas. Este desfase de onda térmica recibe el nombre de retardo térmico ( $R_t$ ) de los cerramientos de un edificio.



**Figura 1. 8.** Cerramiento homogéneo

(Fuente: Sastre Sastre, R., 2010)

Si se tratase de unas variaciones perfectamente sinusoidales (ya se ha visto que la realidad es mucho más compleja) y los cerramientos fueran homogéneos, se podría calcular el valor exacto del retardo térmico con la siguiente ecuación.

$$R_t = \frac{t}{2} * L * \sqrt{\frac{\delta * C_e}{\pi * k * t}} \quad [8]$$

Donde:

R<sub>t</sub> = Retardo térmico.

t = Periodo de la onda térmica (24 horas).

L = Espesor del cerramiento.

k = Conductividad térmica del material (W/m<sup>2</sup>·K)

C<sub>e</sub> = Calor específico del material (W/m<sup>2</sup>·K)

δ = Densidad del material (kg/m<sup>3</sup>)

π = 3,1416

Por tanto, esta ecuación del retardo térmico, para un cerramiento de un edificio, se puede escribir de forma directa:

$$R_t = 1,382 L \sqrt{\frac{\gamma C_e}{\delta}}$$

O también en función de la difusividad térmica (α) del material.

## 1.4. Niveles de Confort térmico Aceptables para Climas Fríos

### 1.4.1. Confort térmico

El confort térmico según la norma ISO 7730 “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”(Pesántes Moyano, 2012), en el contexto bioclimático actual se trata de aprovechar el clima y las condiciones del entorno a fin de alcanzar condiciones de bienestar del individuo al interior de las edificaciones. En el Ecuador el tema de confort térmico no ha sido una preocupación que haya marcado una ruta de acción los 10 ó 20 últimos años, tal vez sea porque tanto la ciudad capital, Quito, como otras ciudades que le siguen en importancia, no sufren de climas muy extremos. No obstante, las temperaturas registradas en Quito tienen valores entre 2 y 23 °C (ver figura. 1.9), con una temperatura media mensual de 16 °C (IEE & SIGAGRO-MAGAP, 2013), en consecuencia las viviendas de la ciudad deberían ser calefaccionadas para alcanzar las temperaturas de confort.

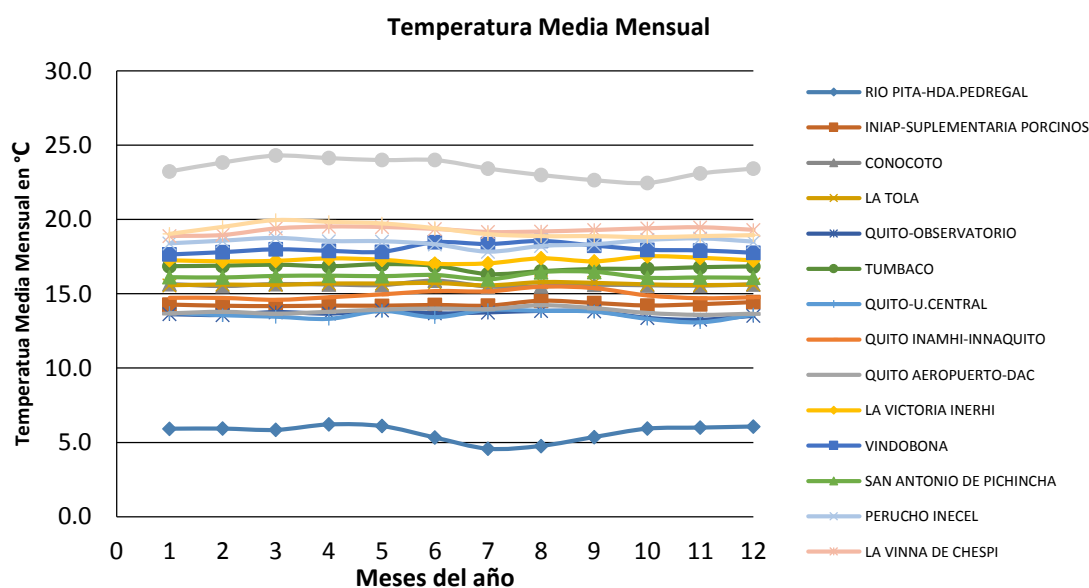


Figura 1.9. Temperatura media mensual (°C) del cantón Quito.

(Fuente: IEE-MAGAP, 2012)

El confort térmico depende de una serie de parámetros externos e internos modificables que influyen en la sensación de confort (Martínez García Ángel, 2005):

- Temperatura del aire.
- Temperatura de objetos y paredes.
- Humedad relativa.
- Velocidad del aire.

- Actividad física.
- Clase de vestido

Los profesionales en climatización necesitan condiciones de diseño objetivas que aseguren aceptabilidad por la mayoría de los ocupantes de las edificaciones, el conjunto de variables mencionadas anteriormente deben mantenerse dentro los siguientes rangos(MIDUVI, 2011):

- Temperatura del aire ambiente: entre 18 y 26 °C
- Temperatura radiante media de superficies del local: entre 18 y 26 ° C
- Velocidad del aire: entre 0,05 y 0,15 m/s.
- Humedad relativa: entre el 40 y el 65 %

Estas condiciones permitirán que la persona mantenga un balance de calor de su cuerpo con el medio ambiente, conservando una temperatura media corporal de 36,7 °C.

#### 1.4.2. Metabolismo del cuerpo humano

El calor producido debido al proceso químico del metabolismo y fisiológico de termorregulación del cuerpo humano debe ser disipado al ambiente, en respuesta a los elementos externos de clima (Gómez-Azpeitia, Morales, & Torres, 2007). Si la tasa de intercambio de calor es mayor que la tasa de producción de calor el cuerpo se enfría, si es menor el cuerpo se calienta.

La producción total de energía del cuerpo humano está representada por:

$$\text{Producción de energía} = M * A_{sk} \quad [93]$$

Dónde:

$A_{sk}$  = superficie de la piel.

$M$  = tasa de producción metabólica del cuerpo humano expresado por área en unidades de met, un **met = 58,2 w/m<sup>2</sup>**



**Tabla 1. 14.** Producción de energía metabólica.

Actividad	Valor		
	met	W/m <sup>2</sup>	Kcal/h.m <sup>2</sup>
Tendido en reposo	0,8	46,5	40
Sentado y en reposo	1,0	58,2	50
Actividad ligera, sentado (oficina, hogar, escuela, laboratorio)	1,2	69,8	60
Actividad ligera, de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	1,6	93	80
Actividad media, de pie (vendedor, tareas domésticas, trabajo con máquina)	2	116,3	100
Marcha en llano a 2 km/h	1,9	110,5	95
Marcha en llano a 3 km/h	2,4	139,6	120
Marcha en llano a 4 km/h	2,8	162,8	140
Marcha en llano a 5 km/h	3,4	197,7	170

(Fuente: Sastre Sastre, R., 2010)

### Ejemplo

---

Se asume una actividad ligera, sentado (hogar)

$$1\text{met}=1.2 = 69,8\text{w/m}^2$$

Superficie de piel promedio de una persona (M)=1.5m<sup>2</sup>

$$\text{Producción de energía por persona} = 69.8\text{w/m}^2 \cdot 1.5\text{m}^2 = 104.7 \text{ w}$$

Si se considera 3 habitantes por promedio se tiene 314.1 w

---

La mayoría de actividades interiores en edificios de oficina generan una producción de energía entre 90 y 120 W (por persona). Para simplificar cálculos se considera que toda la producción de energía se transfiere al ambiente. Temperatura del cuerpo se asume constante.

### 1.4.3. Temperatura seca del aire

Temperatura seca del aire es la temperatura a la que se encuentra el aire que rodea al individuo (Gómez-Azpeitia et al., 2007), que se mide en los lugares de ocupación. El gradiente de temperatura que se genera entre la temperatura seca del aire y la piel de la persona produce un intercambio de calor por convección.

#### 1.4.4. Temperatura media radiante

Es la temperatura resultante de la distribución homogénea de temperaturas entre las diferentes superficies que rodean a la persona debido al intercambio de calor por radiación entre ellas, la cual influye en un punto dado.

$$T_{rad} = \sum F_{sh} * T_{sup} \quad [10]$$

Humedad del aire: humedad relativa, temperatura bulbo húmedo Velocidad del aire: 0.2 m/s (espacios **sin ventilación natural**) Vestimenta: unidad de medida **clo**, desde 0.5 (verano) a 1 (invierno) Actividad: tasa metabólica.

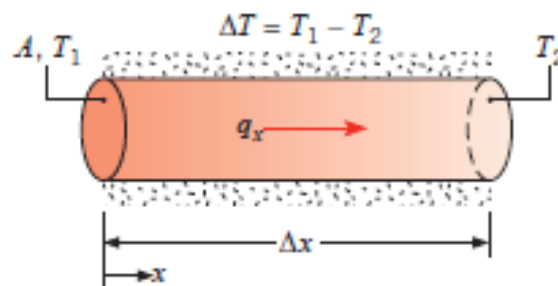
## 2. MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR: CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN

La transferencia de calor se produce por la existencia de una diferencia de temperatura entre los distintos medios, el flujo se da del medio que posee la mayor temperatura al de menor temperatura por tres mecanismos físicos: conducción, convección y radiación, se detiene cuando los medios alcanzan la misma temperatura.

### 2.1. Transferencia por Conducción

La conducción se considera como la transferencia de energía en un medio sólido, líquido o gaseoso mediante la interacción directa de las moléculas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas. La rapidez de la transferencia de calor por conducción depende de las características geométricas y de las propiedades de los materiales que lo constituyen, obedeciendo a la ley de Fourier.

$$q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad [11]$$



**Figura 2.1.** Conducción de calor en estado estacionario.

(Fuente: Incropera Frank P., 2011)

En donde: k es la conductividad térmica del material.

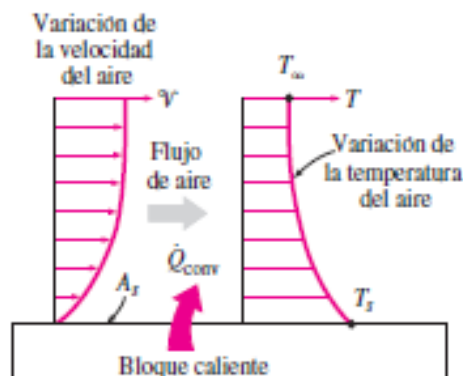
A es el área transversal normal a la dirección de transferencia.

### 2.2. Transferencia por Convección

Este modo de transferencia de calor se compone por dos mecanismos. Uno asociado al movimiento molecular aleatorio y el otro asociado al movimiento global o macroscópico del fluido. Este último indica que en cualquier instante grandes

números de moléculas se mueven de forma colectiva y, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuyendo a la transferencia de calor (Incropera Frank P., 2011).

El caso más general de la transferencia de calor por convección es aquel que ocurre entre un fluido en movimiento y una superficie limitante cuando estos tienen temperaturas distintas. Consecuencia de esta interacción fluido-superficie se desarrolla una región en el fluido en la que la velocidad varía de cero en la superficie a un valor finito 'v' asociado con el flujo. Esta región es la capa límite hidrodinámica (Incropera Frank P., 2011).



**Figura 2.2.** Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección.

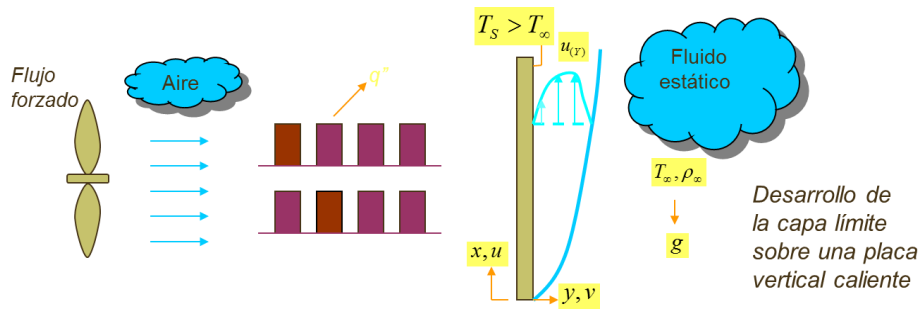
(Fuente: Incropera Frank P., 2011)

Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, el modelo apropiado es de la forma:

### Ley de enfriamiento de Newton

$$q'' = h \times (T_s - T_\infty) \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Dónde: h se denomina coeficiente de transferencia de calor por convección.



**Figura 2.3.** Procesos de transferencia de calor por convección.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

### 2.3. Transferencia por Radiación

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Este modo de transferencia de energía no requiere la presencia de un medio material. El flujo de calor emitido por una superficie real es menor que el de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dado por (Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine, 2007):

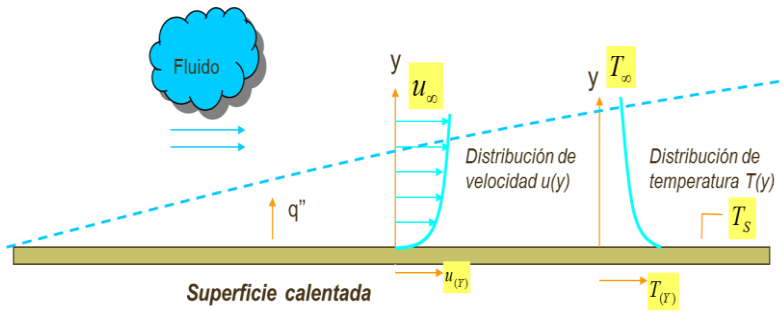
$$E = \varepsilon \times \sigma \times T_s^4$$

Donde 'ε' ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ) es una propiedad radiactiva de la superficie denominada emisividad, depende marcadamente del material de la superficie y del acabado.

### 2.4. Determinación del Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección 'h'

La dificultad principal en problemas de transferencia de calor por convección es determinar h. Para la determinación de este valor se hará un breve análisis de los mecanismos físicos que fundamentan la transferencia de calor por convección.

La transferencia de calor por convección puede ser de dos tipos, convección forzada o libre. En ambos casos si  $T_s \neq T_\infty$  se producirá una capa límite térmica. Además, las partículas del fluido que hacen contacto con la superficie adquieren una velocidad cero



**Figura 2.4.** Capa límite térmica.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

El flujo de calor local se obtiene a cualquier distancia desde la orilla mediante la aplicación de la ley de Fourier al fluido en  $y=0$ . Es decir,

$$q''_s = -k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0}$$

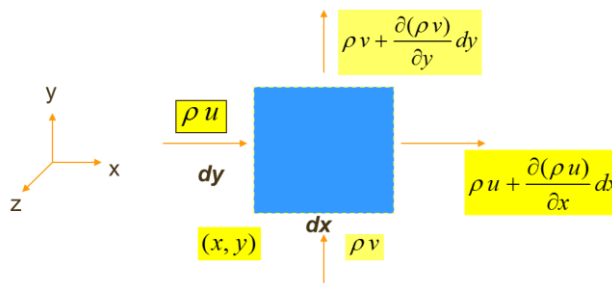
Esta expresión es apropiada pues, *en la superficie*, no hay movimiento del fluido y la transferencia de energía ocurre sólo por conducción. Al combinar con la ley de enfriamiento de Newton se obtiene el valor de  $h$  local.

$$h = \frac{-k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0}}{T_s - T_\infty}$$

Y calculando  $h$  promedio.

$$\bar{h} = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} h \times dA_s = \frac{1}{L} \int_0^L h \times dx$$

En este punto es notorio la necesidad de conocer la distribución de temperaturas  $T(x,y)$  en la capa límite, para ello se hace el siguiente análisis de un volumen de control diferencial ( $dx \cdot dy \cdot 1$ ).



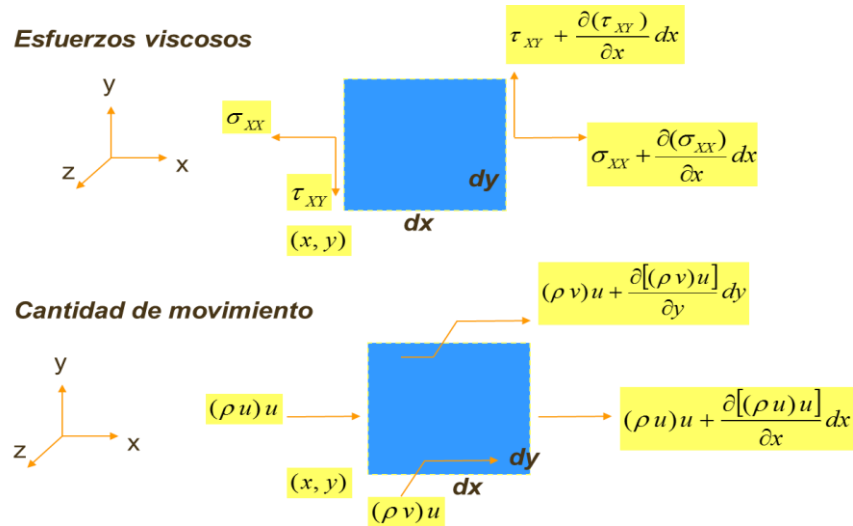
**Figura 2.5.** Volumen de control diferencial.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

Se plantea la conservación de la masa en la capa límite hidrodinámica bidimensional, se obtiene como resultado la siguiente ecuación diferencial, conocida como ecuación de continuidad.

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0$$

Considerando la segunda ley de Newton:



**Figura 2.6.** Volumen de control diferencial considerando la segunda ley de Newton.

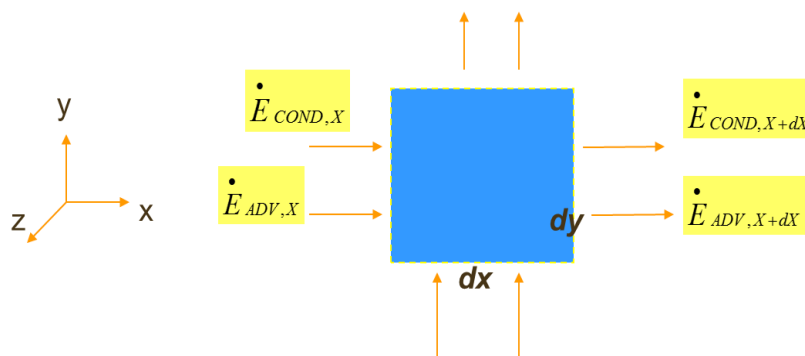
(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

De acuerdo al análisis anterior se llega a la siguiente ecuación diferencial:

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \frac{\partial(\sigma_{xx} - p)}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + X$$

**Para la componente x**

De forma análoga, considerando la conservación de la energía en la capa límite térmica, se obtiene la siguiente ecuación diferencial:

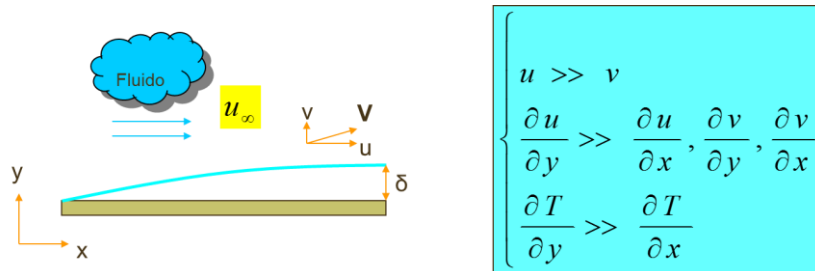


**Figura 2.7.** Volumen de control diferencial considerando la conservación de energía.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

$$\rho c_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \mu \Phi + \dot{q}$$

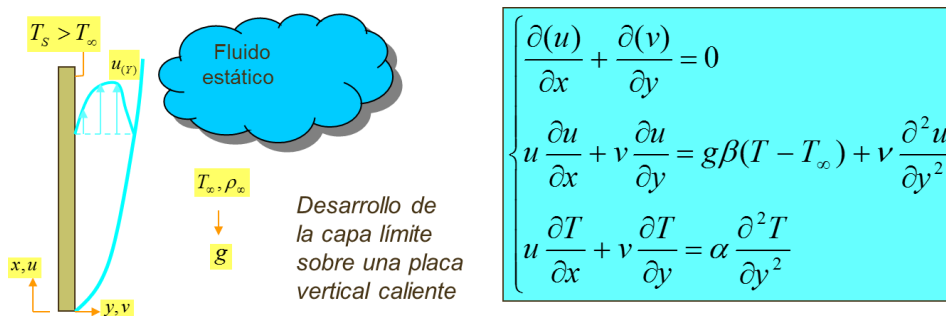
La situación usual es aquella en que la capa límite se caracteriza con propiedades constantes  $k$ ,  $\mu$ , etc. y sin generación de energía. Teniendo en cuenta las aproximaciones de capa límite, debido a que las dimensiones de esta son muy pequeños, se aplica lo siguiente:



**Figura 2.8.** Capa límite para una placa horizontal.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

Para el caso de convección libre, el conjunto de ecuaciones que gobiernan este proceso es:



**Figura 2.9.** Capa límite para una placa vertical.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

Resolviendo este sistema de ecuaciones diferenciales, se obtiene  $T(x,y)$  y finalmente  $h$ .

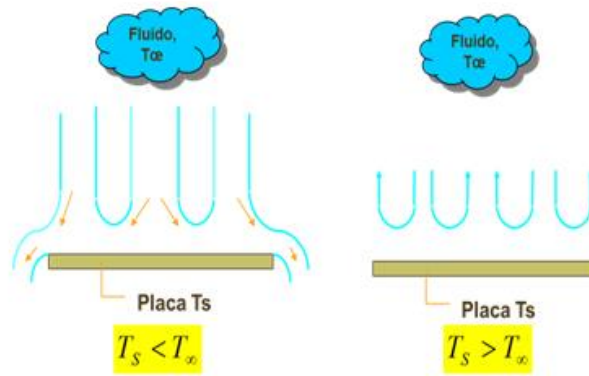
$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h}L}{k} = \frac{4}{3} \left( \frac{Gr_L}{4} \right)^{1/4} \times f(Pr)$$

Siendo 'Gr' el número de Grashof y 'Pr' el número de Prandtl

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$





**Figura 2.10.** Flujos impulsados sobre placas horizontales fría ( $T_s < T_\infty$ ) y caliente fría ( $T_s > T_\infty$ ).

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

Y la relación empírica para determinar el coeficiente pelicular para convección natural en superficies planas verticales dado por Churchill y Chues:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \times Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

Donde  $Nu_L$  = es el número de Nusselt tal que

$$\overline{Nu}_L = \frac{h \times L}{k}$$

$Ra_L$  = es el número de Rayleigh, tal que

$$Ra_L = Gr \times Pr = \frac{g \beta \rho (T_s - T_a) L^3}{\mu \alpha}$$

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Enfoque de la Investigación

El problema y las variables seleccionadas son de carácter cualitativo y cuantitativo, para demostración de la hipótesis planteada el estudio fue predominante cuantitativo.

#### 3.2. Tipos de Investigación

Se encuentro dentro de los siguientes niveles de investigación:

**a) Exploratorio**

Por la reconstrucción del problema vivido en el contexto analizado (Introducción), la recolección de información sobre otros contextos (Marco teórico)

**b) Comparativo**

Se comparó semejanzas y diferencias con materiales tradicionales utilizados en la construcción de paredes y se señaló características más relevantes

**c) Experimental**

Diseñar y caracterizar un material compuesto por roca volcánica y concreto como material alternativo para la elaboración del bloque hueco de hormigón que permita mejorar los niveles de confort interno en viviendas localizadas en zonas frías.

**d) Técnicas de recolección de información**

**Tabla 3.1.** Plan de recolección de la información.

Preguntas básicas	Explicación
1.- ¿Para qué?	Para alcanzar los objetivos de investigación
2.- ¿De qué persona u objeto?	Internet Google Scholar, artículos relacionados con el objeto de estudio
3.- ¿Sobre qué aspectos?	Análisis térmico de los materiales empleados para la construcción
4.- ¿Quién? ¿Quiénes?	Ing. Juan Obando Velásquez Fis. Ramón Pachacama Morocho
5.- ¿Cuándo?	Enero 2016

6.- ¿Dónde?	En la ciudad de Quito, Barrio de San Martin de Porres
7.- ¿Cuántas veces?	Dos ensayos de laboratorio, de acuerdo a la norma INEN 639
8.- ¿Qué técnicas de recolección?	Observación
9.- ¿Con que?	Prensa hidráulica para realizar ensayos de compresión Análizador de espectro para determinar la composición del material compuesto Equipo electrónico (fuente de calor y medidor) para medir temperatura y humedad Balanza electrónica para la dosificación de los materiales
10.- ¿En qué situación?	En la elaboración de bloque y finalización del curado

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

### 3.3. Muestra

El muestreo se realizará en la fábrica a la cual se tiene acceso para nuestra investigación, el número de muestras a tomarse será de acuerdo a la norma INEN 639. Del total de muestras elaboradas se ensayarán 3 con un tiempo de secado de 28 días, este número de muestras serán para cada dosificación de las cuales se realizarán los ensayos de resistencia, porcentaje de absorción y densidad.

La muestra es un bloque prefabricado de hormigón hecho a base de cemento, agua, agregado fino (polvo de roca volcánica) y agregado grueso (piedra pómez) en forma de paralelepípedo, con tres huecos transversales en su interior, de modo que el volumen del material sólido sea del 50% al 70% del volumen total del elemento (INEN, 2014).

### 3.4. Operacionalización de las variables de investigación

Las operacionalización de las variables consiste en determinar el método a través del cual las variables serán medidas o analizadas.

**Objetivo general:** Diseñar y caracterizar un material compuesto por roca volcánica y concreto como material alternativo de construcción que permita mejorar los niveles de confort interno en viviendas localizadas en zonas frías

**Tabla 3.2.** Cuadro de operacionalización de las variables de investigación.

Objetivos específicos	Variable	Dimensiones	Indicadores	Herramienta
Análisis térmico del modelo obtenido y del modelo de uso tradicional	Gradiente de temperatura	Analítica	Conductividad Y Resistencia térmica	Sistema KD2 Pro, analizador de propiedades térmicas
Obtener un modelo matemático óptimo que permita definir las propiedades térmicas del material convencional y del propuesto en la investigación.	Transferencia de calor por materiales porosos analizados por diferencias finitas	Analítica	Conductividad Y Resistencia térmica	Módulo de transferencia de calor Excel
Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del modelo mediante ensayos de laboratorio y seleccionar la dosificación del material más óptima.	Prototipo de bloque hecho de roca volcánica y piedra pómez	Analítica, física y procedimental	Curvas granulométrica de los agregados  Caracterización de la piedra pómez	Laboratorio de ensayos de materiales EPN y UPS
Elaborar una propuesta técnica y económicamente factible para la producción en serie de los modelos obtenidos.	Costos	Financiera	Materiales, equipos, mano de obra	Computadora

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

### 3.5. Definición de hipótesis o supuesto de partida

Probar como varían ciertas propiedades físicas y mecánicas del material compuesto obtenido, frente a los materiales de concreto de uso tradicional.

### 3.6. Procedimientos empleados para la obtención y análisis de la información

Los datos extraídos fueron procesados de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Revisión crítica de la información recolectada (Es decir refinamiento depuración de la información)
- Se completó la información, si es necesario aplicar la técnica de investigación de nuevo.
- Tabulación de acuerdo a las variables de hipótesis, el registrar los datos obtenidos ayudará en la elaboración de cuadros estadísticos para una mejor interpretación de los resultados, y desde luego para determinar la validez de la hipótesis por medio del estadístico escogido.
- Elaboración de tablas de cotejos y cuadros estadísticos aquí se expresan los aspectos observados y registrados en forma de resumen, resumen los datos de las variables en estudio para no causar confusión al lector con un exceso de datos en el texto.
- Elaboración de gráficos estadísticos se la realizará de acuerdo al número de ensayos
- Verificación estadística de hipótesis, mediante la ji cuadrado donde el nivel de confianza se establecerá como mínimo del 95%, como es lógico por las dos variables en análisis, los grados de libertad dependen directamente del número de filas y columnas, para esta investigación será:

$$(f - 1)(c - 1) \quad [12]$$

Donde:

f = fila

c= columna

- El estimador dependerá de la fórmula:

$$X^2 = \sum \left[ \frac{(O - E)^2}{E} \right] \quad [43]$$

Donde:

$X^2$  = estimador estadístico

O = frecuencia observada

E = frecuencia esperada

### 3.7. Métodos Seleccionados para Medir la Conductividad Térmica del Material Propuesto

Durante este trabajo experimental, las características térmicas de las muestras se determinaron utilizando dos enfoques diferentes: la sonda de aguja térmica y el de la placa caliente con guarda rediseñado.

#### 3.7.1. Método de aguja térmica

Las mediciones fueron realizadas con el dispositivo **KD2 Pro**, desarrollado por la empresa estadounidense Decagon Devices. Es un instrumento portátil con tres tipos de sondas (o sensores) con forma de aguja (Mosquera Arancibia, 2011), que permite obtener medidas de la Conductividad Térmica, Resistividad Térmica, Calor específico y Difusividad Térmica de sólidos porosos y líquidos entre dos y diez minutos cuyos valores se pueden ver directamente en la pantalla del equipo y descargar los registros para su análisis, cumple con las especificaciones del standard IEEE 442-1981 y del ASTM D5334-08 (Devices, 2016).

Se basa en el método de la fuente de calor transitorio con una sonda metálica en forma de aguja que se calienta en intervalos de un segundo durante un ciclo de calentamiento y enfriamiento de noventa segundos por medio de la aplicación de una corriente eléctrica durante un intervalo de tiempo determinado (Mosquera Arancibia, 2011). La medición se realiza introduciendo la sonda metálica (TR-1) en el interior del material que mide la conductividad y resistencia térmica (de 100 mm de longitud y 2,4 mm de diámetro). Tiene un rango de medida entre 0,1 y  $4 \frac{W}{mK}$  para la conductividad térmica, con una incertidumbre en la medida de  $\pm 10\%$  para  $0,02 \frac{W}{mK}$  a  $4 \frac{W}{mK}$ , y  $\pm 0,02 \frac{W}{mK}$  para 0,1 a  $0,02 \frac{W}{mK}$ , con un cable 0,8 m (Devices, 2016).



**Foto 3. 1.** Dispositivo KD2 Pro, con sus tres sensores.  
(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)



**Foto 3. 2.** Dispositivo portátil KD2 Pro.  
(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

### **3.7.2. Método basado en la placa caliente con guarda**

El método fue propuesto en 1897 por Caltendar y Nicolson y usado por primera vez en el año 1905 por Niven para muestras de arena, madera y aserrín. Se emplean dos cilindros concéntricos, alojando el material a medir entre ellos. En el interior del cilindro de menor diámetro se coloca la resistencia calefactora, la cual está cubierta con otro cilindro para uniformizar la temperatura superficial.

La medición de temperatura se efectúa sobre los cilindros exterior e interior, empleando termocuplas para ello. El método se emplea para medir conductividad en materiales tales como sólidos, aislantes, refractarios y para construcción, para líquidos, gases y metales a altas temperaturas.

A diferencia del método anterior, en este caso se tienen pérdidas de calor por los extremos de los cilindros. Una forma de solucionar esto es construyendo cilindros tan largos como sea posible, calefaccionarlos en toda su longitud y efectuar la medición en la zona central.

Si la longitud del cilindro a emplear es relativamente pequeña, se dispone un termopar en el sentido del eje axial del cilindro, de modo de determinar las pérdidas en los extremos, conocida la conductividad térmica del material del tubo. Otro método de solucionar el inconveniente consiste en colocar calefactores auxiliares en el extremo para compensar la pérdida.

### **3.7.3. Desarrollo matemático del método seleccionado**

$$q = \frac{-kAdT}{dx} \quad [14]$$

Donde:

q = flujo de calor por conducción.

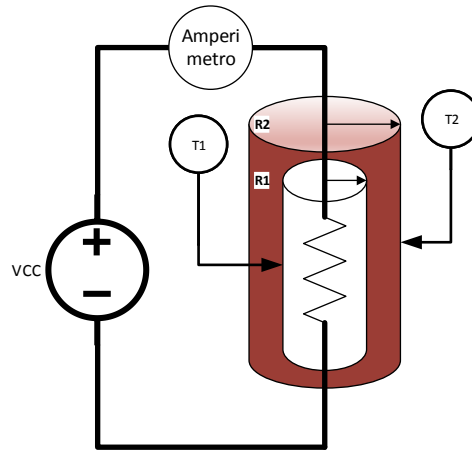
k = conductividad térmica.

A = área de transferencia de calor.

dT/dx = gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor.

La muestra seleccionada se tiene que acondicionar en forma de cilindro hueco como se indica en la figura 3.1.





**Figura. 3. 1.** Arreglo cilíndrico para medición de la conductividad térmica.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

Donde el área del cilindro desdoblado es  $A = 2 * \pi * R * L$ ,  $x = R$ ,  $\Delta x = \Delta R$ , por ser muy pequeño  $dx = dR$  reemplazando en la ecuación 15 se tiene:

$$q = \frac{-k * 2\pi * R * L * dT}{dR} = \frac{q * dR}{k * 2\pi * R * L} = -dT$$

Donde  $q = \text{Voltaje} * \text{Intensidad eléctrica}$ ,  $2 * \pi$ ,  $L$  son constantes e integrando con respecto a  $R$  lado izquierdo y con respecto a  $T$  lado derecho se obtiene:

$$\int_{R1}^{R2} \frac{q * dR}{k * 2\pi * L * R} = - \int_{T1}^{T2} dT$$

$$\frac{q}{k * 2\pi * L} \int_{R1}^{R2} \frac{dR}{R} = -(T2 - T1)$$

$$\frac{q}{k * 2\pi * L} [\ln(R2) - \ln(R1)] = -(T2 - T1)$$

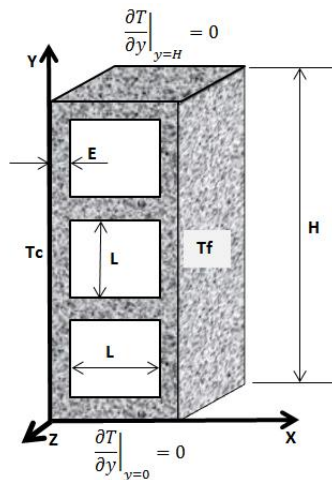
$$\frac{q}{k * 2\pi * L} \ln \left[ \frac{R2}{R1} \right] = T1 - T2$$

$$k = \frac{q * \ln \left[ \frac{R2}{R1} \right]}{2 * \pi * L [T1 - T2]} ; \text{su unidad es: } \frac{J}{s * m * ^\circ C} = \frac{\text{watt}}{m^\circ C}$$

[ 55]

### 3.8. Modelo Matemático para la Transferencia de Calor en un Bloque Hueco de Hormigón

Se analiza la transferencia de calor a través de un bloque hueco de hormigón de 15x20x40 cm, cuya geometría se muestra en la figura 3.2. con tres cavidades llena de aire separadas por particiones sólidas idénticas. La transferencia de calor desde la superficie caliente en  $X=0$  hasta la cara fría en  $X= L +2*E$  a través del sólido y las cavidades llenas de aire se da por conducción convección y radiación, respectivamente (Al-hazmy, 2006).



**Figura 3. 2.** Esquema de una sola unidad de un bloque hueco de hormigón.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

Se considera las siguientes hipótesis para la solución numérica del problema:

1. La transferencia de calor a través del bloque hueco de hormigón es en estado permanente.
2. Las fronteras fría y caliente son isotérmicas y todas las demás adiabáticas.
3. La transferencia de calor se resuelve de forma bidimensional en el caso de la conducción y la convección y unidimensional en el caso de la radiación.
4. La conductividad térmica del concreto es uniforme y constante (medio isotrópico)(Pérez et al., 2011).

La ecuación que gobierna la conducción de calor en la pared sólida sin fuentes de calor es:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad [ 66]$$

Si la temperatura del material no es función del tiempo es decir; está en régimen estacionario, se anula el segundo término de la igualdad, obteniendo la ecuación de Laplace (Monroy, 1995).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad [ 77]$$

La transferencia de calor por convección natural en la cavidad del bloque se determina con la ley de enfriamiento de Newton (Yunus A. Cengel, 2007), se considera un espacio cerrado de forma rectangular vertical y el aire como fluido térmico.

$$Q_c = -h_c A (T_c - T_f) \quad [ 88]$$

Donde:

$h_c$  = coeficiente de transferencia de calor por convección

A = área superficial de transferencia de calor

$T_c$  = temperatura en la superficie caliente de la cavidad

$T_f$  = temperatura en la superficie fría de la cavidad

El coeficiente de transferencia de calor por convección se calcula con la ecuación:

$$h_c = \frac{k Nu}{L_c}$$

Donde:

$Nu$  = número de Nusselt

K = conductividad térmica del fluido

$L_c$  = Longitud característica de la cavidad

Entre mayor sea el número de Nusselt, más eficaz es la convección (Yunus A. Cengel, 2007).

El transporte de calor por radiación en las cavidades, se resuelve considerando el intercambio radiactivo entre dos superficies planas (Incropera Frank P., 2011):

$$Q_r = h_r A (T_c - T_f)$$

[ 99]

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_c + T_f)(T_c^2 + T_f^2)$$

Donde:

$h_r$  = coeficiente radiactivo

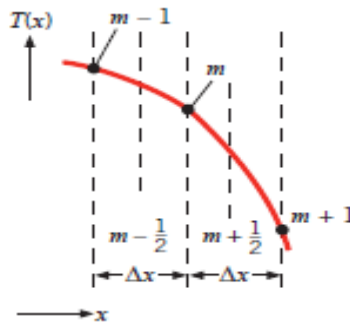
A= área perpendicular al flujo de calor

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann

$\varepsilon$  = emisividad efectiva entre las placas

### 3.8.1. Solución numérica del modelo de transferencia de calor

A continuación se discretizan las ecuaciones diferenciales para la conducción de calor a través del bloque hueco de concreto por el método de diferencias finitas, donde se reemplazan las derivadas de las ecuaciones diferenciales por diferencias apropiadas con pasos constantes tanto en el largo como en la altura para cada nodo interno de la red nodal, obteniéndose un sistema de ecuaciones algebraicas lineales ; también se desarrollan ecuaciones especiales según las condiciones de frontera y de interface (Pérez et al., 2011).



**Figura 3. 3.** Aproximación por diferencias finitas.

(Fuente: Incropera Frank P., 2011)

$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right|_{i,j} \approx \frac{\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{i+\frac{1}{2},j} - \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{i-\frac{1}{2},j}}{\Delta x}$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{i+\frac{1}{2},j} \approx \frac{T_{i+1,j} - T_{i,j}}{\Delta x}$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{i-\frac{1}{2},j} \approx \frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta x}$$

$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right|_{i,j} \approx \frac{T_{i+1,j} + T_{i-1,j} - 2T_{i,j}}{(\Delta x)^2} \quad [100]$$

Se procede de manera similar con la componente y.

$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right|_{i,j} \approx \frac{T_{i,j+1} + T_{i,j-1} - 2T_{i,j}}{(\Delta y)^2} \quad [111]$$

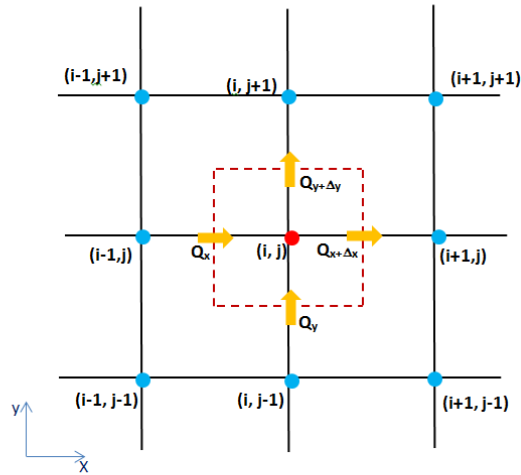
La aproximación de la ecuación (18) por diferencias finitas centras resulta:

$$\frac{T_{i+1,j} + T_{i-1,j} - 2T_{i,j}}{(\Delta x)^2} + \frac{T_{i,j+1} + T_{i,j-1} - 2T_{i,j}}{(\Delta y)^2} = 0$$

Suponiendo que  $\Delta x = \Delta y$ , obtenemos:

$$T_{i+1,j} + T_{i-1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1} - 4T_{i,j} = 0 \quad [122]$$

Considerando la conductividad térmica como constante, los flujos de calor pueden expresarse totalmente en términos de la temperatura (Holman, 1999). De ahí que para el nodo  $i, j$  la ecuación de calor, se reduce a una ecuación lineal algebraica aproximada que se aplica a cualquier nodo interior que sea equidistante de sus cuatro nodos vecinos (ver figura 3.4.).

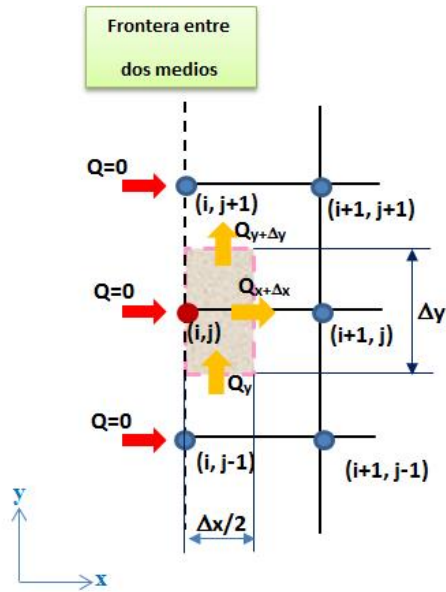


**Figura 3. 4.** Nodo interno de un material continuo.

(Pérez et al., 2011)

$$T_{m,n} = \frac{T_{i+1,j} + T_{i-1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1}}{4} \quad [133]$$

Para un nodo en una superficie plana con frontera adiabática.



**Figura 3. 5.** . Frontera adiabática (Q=0).

(Pérez et al., 2011)

$$T_{m,n} = \frac{2T_{i+1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1}}{4} \quad [144]$$

Interface bloque – aire

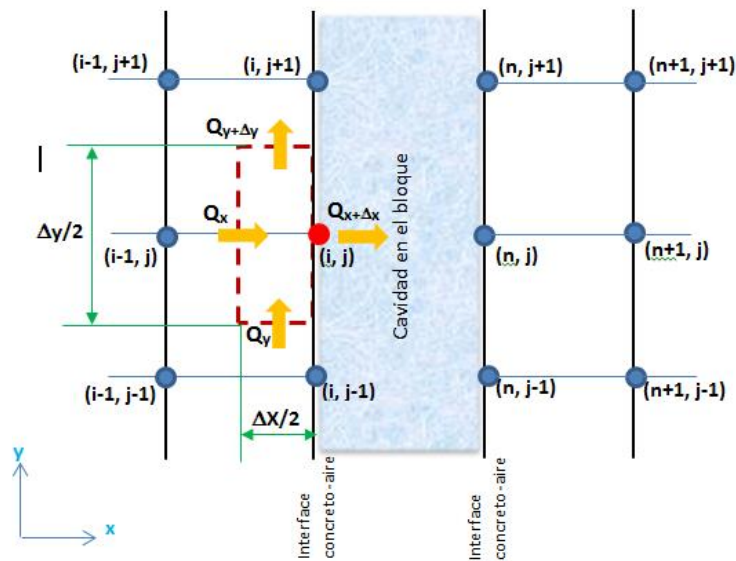


Figura 3. 6. Nodo en una interface bloque – aire.

(Pérez et al., 2011)

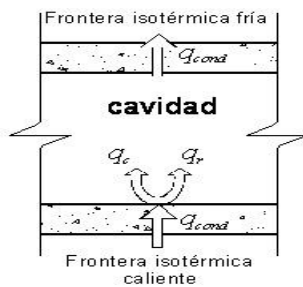


Figura 3. 7. Transporte de calor a través de la cavidad del bloque.

(Pérez et al., 2011).

$$T_{i,j} = \frac{kT_{i,j-1} + RT_{n,j} (h_c + h_r)}{1 + R (h_c + h_r)} \quad [155]$$

Donde:

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad \text{y} \quad Q_{x+\Delta x} = Q_c + Q_r$$

Las ecuaciones nodales pueden ser escritas como:

$$\begin{aligned} a_{11}T_1 + a_{12}T_2 + a_{13}T_3 + \dots + a_{1n}T_n &= C_1 \\ a_{21}T_1 + a_{22}T_2 + a_{23}T_3 + \dots + a_{2n}T_n &= C_2 \end{aligned}$$

$$a_{31}T_1 + a_{32}T_2 + a_{33}T_3 + \dots + a_{3n}T_n = C_3$$

.....

$$a_{n1}T_1 + a_{n2}T_2 + a_{n3}T_3 + \dots + a_{nn}T_n = C_n$$

Donde  $T_1, T_2, \dots, T_n$  son las temperaturas nodales desconocidas. Utilizando la notación matricial tenemos:

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad [T] = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} \quad [C] = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix}$$

Que se puede expresar como:

$$[A][T] = [C]$$

El vector solución es:

$$[T] = [A]^{-1}[C] \quad [168]$$

Y el problema se reduce a determinar  $[A]^{-1}$ .



## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Resultados**

#### **4.1.1. Estudio preliminar del agregado**

Los agregados son los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento hidratada para formar la estructura resistente, forman alrededor de las tres cuartas partes del volumen total por lo cual es muy importante conocer las propiedades física de cada uno de ellos ya que determinarán las propiedades del producto final (Arrieta Freyre Javier, 2001).

Para la elaboración del material compuesto se ha utilizado una cantera de agregado fino y una cantera de agregado grueso.

Los análisis realizados a los agregados son:

- Análisis químico de la roca volcánica
- Análisis granulométrico
- Peso específico y absorción agregado fino
- Peso específico y absorción agregado grueso
- Peso unitario

##### **4.1.1.1. Análisis químico de la roca volcánica (traquiandesitas)**

El análisis químico de la muestra se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S (Tiger, con el programa Spectra Pluss, en el departamento de Metalurgia Extractiva Demex de la Escuela Politécnica Nacional. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis.

**Tabla 4. 1.** Análisis fluorescencia de rayos X.

Elemento	Muestra 1	Óxido	Muestra 1	
	Contenido %		Valor Calculado	*(%)
Si	26,93	SiO <sub>2</sub>	57,62	
Al	8,79	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,61	
Fe	5,14	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,35	
Ca	4,82	CaO	6,74	
Na	2,90	Na <sub>2</sub> O	3,91	
Mg	2,64	MgO	4,37	
K	1,44	K <sub>2</sub> O	1,73	
Ti	0,54	TiO <sub>2</sub>	0,90	
Mn	0,12	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	
P	0,11	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25	
S	0,04			

(Fuente: Departamento de metalurgia extractiva Demex, Escuela Politécnica Nacional.)

#### 4.1.1.2. Análisis granulométrico de los agregados fino (roca volcánica triturada) y grueso (piedra pómez) (Norma: ASTM C 33)

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas del agregado. La curva granulométrica muestra la granulometría de los agregados individuales y combinados (Arrieta Freyre Javier, 2001).

##### a. Resultado del ensayo granulométrico

**Tabla 4. 2.** Granulometría agregado fino (polvo de roca volcánica).

TAMIZ N°	3/4 "	1/2 "	3/8 "	N°4	8	16	30	50	100	200
Peso Reten. Parcial Gr	18	148	249	501	790	1002	1117	1243	1402	1481
% Retenido	1	10	17	33	53	67	74	83	93	99
%Que pasa	99	90	83	67	47	33	26	17	7	1

(Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales Universidad Politécnica Salesiana)

Curvas granulometricas Traquiandesita, ceniza volcánica y polvo de piedra

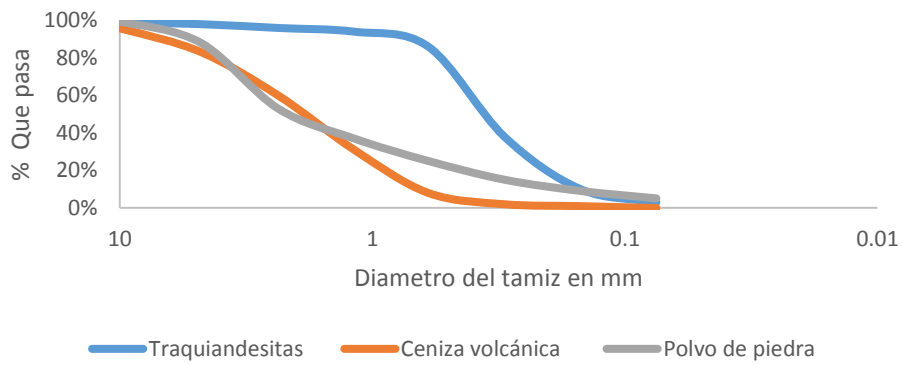


Figura 4. 1. Curvas granulométricas de agregados utilizado en la mezcla.

(Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales Universidad Politécnica Salesiana)



Foto 4. 1. Muestra de roca volcánica (basalto) para análisis.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

### 4.1.1.3. Optimización de granulométrica

El análisis métrico del sedimento es conocido comúnmente como análisis granulométrico (Román-Sierra, Navarro-Pons, Gómez-Pina, & Muñoz-Perez, 2006). La distribución de los tamaños de las partículas que conforman los agregados se obtiene haciendo pasar una muestra de material por una serie de tamices normalizados y representando estos resultados en la curva granulométrica.

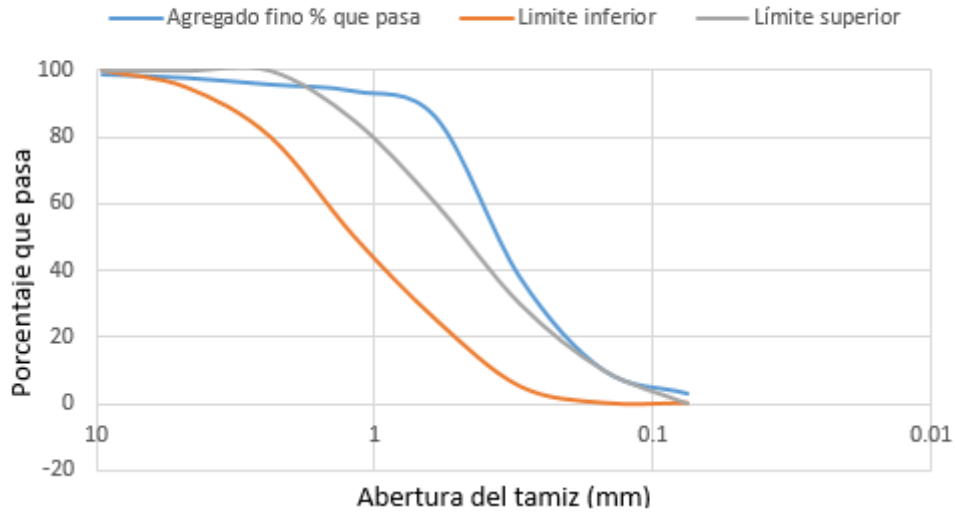
Para la fabricación de bloque huecos de hormigón se deben utilizar agregados con granulometrías continuas, para poder obtener una mayor densidad en la mezcla y obtener piezas con superficies cerradas, de textura fina (ICPC, n.d.). En la tabla 4.3, en la primera columna se presenta una clasificación del tipo de arena en función del tamaño de grano, las columnas 2 y 3 representan los diferentes diámetros de los tamices, la columna 4 muestra el peso retenido en cada tamiz en gramos, la columna 5 especifica el peso acumulado, en las columnas 6 y 7 se detalla el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa por cada uno de los tamices, y como último las columnas 8 y 9 especifican el ancho de banda (límites inferior y superior) fijada por la normativa ASTM 33, donde cualquier granulometría dentro de esta banda es aceptada.

**Tabla 4.3.** Optimización del agregado fino (polvo de roca volcánica).

Clases de arena	Diámetro del tamiz en (mm)	Diámetro del tamiz en (plg)	Peso en (gr) retenido	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	%Que pasa	Especificación ASTM 33	
							Lim_inf	Lim_sup
Arena gruesa	19	3/4"						
	13.2	1/2"					Lim_inf	Lim_sup
	9.5	3/8"	13	13	1	99	100	100
	4.75	No.4	7	20	2	98	95	100
Arena media	2.36	8	21	41	4	96	80	100
	1.18	16	20	61	6	94	50	85
	0.6	30	79	140	14	86	25	60
Arena Fina	0.3	50	476	616	62	38	5	30
	0.15	100	286	902	90	10	0	10
	0.075	200	68	970	97	3	0	0
		Fondo	30	1000				
Suma (% retenidos)					276			
Módulo de finesa					2.76	Muestra 1000gr		

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

## CURVA DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO



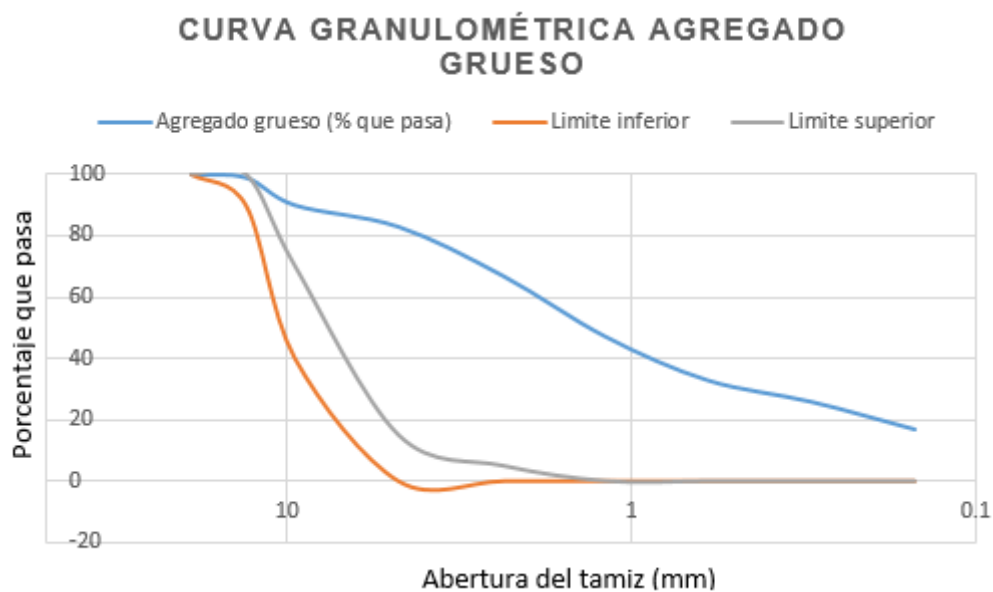
**Figura 4.2.** Curva granulométrica del agregado fino.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

**Tabla 4. 4.** Optimización del agregado grueso (piedra pómez).

Clases de arena	Diámetro del tamiz (mm)	Tamiz	Peso retenido	Peso Retenido Acumulado	% Rete nido	%Que pasa	Especificaci ón ASTM	
	25	1"			0	100		
Arena gruesa	19	3/4"	18	18	1	99	100	100
	13.2	1/2"	130	148	10	90	90	100
	9.5	3/8"	101	249	17	83	40	70
	4.75	No.4	252	501	33	67	0	15
Arena media	2.36	8	289	790	53	47	0	5
	1.18	16	212	1002	67	33	0	0
	0.6	30	115	1117	74	26	0	0
Arena Fina	0.3	50	126	1243	83	17	0	0
	0.15	100	159	1402	93	7	0	0
	0.075	200	79	1481	99	1		
		Fondo	19	1500	100			
Suma (% retenidos)					421			
Módulo de finesa					4.21			
TM					3/4"			
TMN					1/2"			

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)



**Figura 4. 3.** Curva granulométrica agregado grueso.

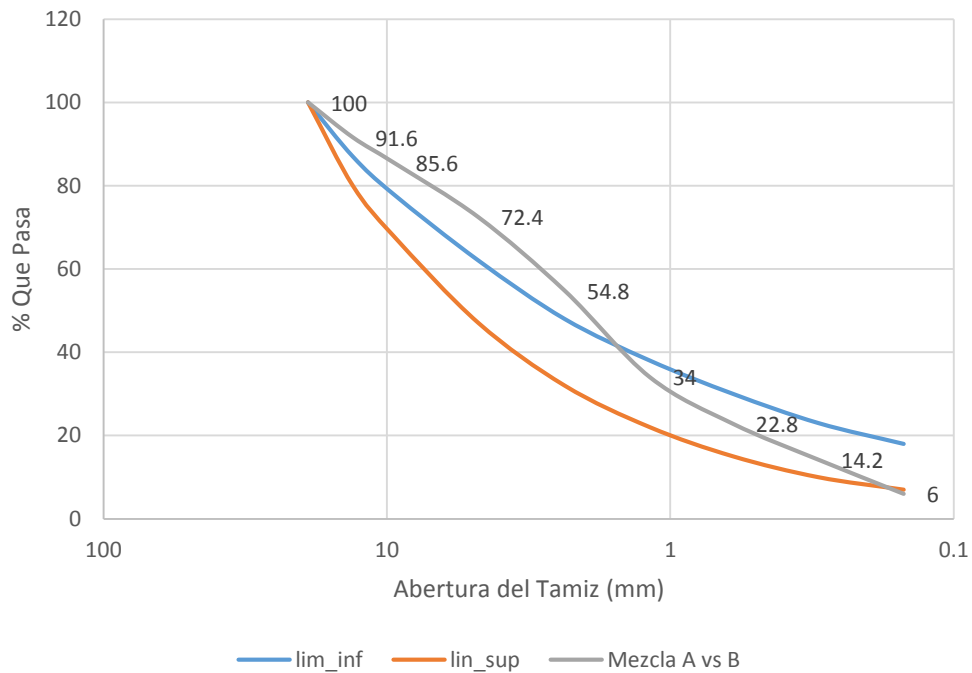
(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

**Tabla 4. 5.** Optimización de la mezcla de los dos agregados.

Porcentaje	%										
Grueso(Cascajo)	80										
Fino (roca volcánica )	20										
	Mezcla del material A y B de (Fuller y Thonpson)										
Diámetro del tamiz (mm)	25	19	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	
Lim-Inf		100	80	68	47	32	22	15	10	7	
Lim-sup		100	87	78	62	48	38	30	23	18	

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

### Optimización de granulometrías



**Figura 4. 4.** Curva de optimización de la mezcla.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

#### 4.1.1.4. Peso específico y absorción (Norma: ASTM C-129)

**Tabla 4. 6.** Peso específico y absorción en el agregado fino (polvo de roca volcánica).

Datos	
<b>Peso muestra S. S. S.</b>	500,00 g
<b>Peso P I Cnometro:</b>	147,88 g
<b>Volumen P I Cnometro:</b>	499,49 g
<b>Peso P I C+agua+Muestra:</b>	897,17 g
<b>Peso muestra seca:</b>	439,81 g
<b>Peso específico masivo</b>	1,758 g/cm <sup>3</sup>
<b>Peso específico masivo SSS</b>	1,998 g/cm <sup>3</sup>
<b>Peso específico sólidos</b>	2,315 g/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción</b>	13,69 %

(Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales, Universidad Politécnica Salesiana)

#### 4.1.1.5. Peso unitario (Norma: ASTM C-129)

Tabla 4. 7. Densidad suelta del polvo de roca volcánica.

PUNTO N°	PESO NETO	VOLUMEN MOLDE	PESO UNITARIO
	g	cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
1	2,028	2,129	0,953
2	2,008	2,129	0,943
3	2,108	2,129	0,990
Valor Medio			0,962

(Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales, Universidad Politécnica Salesiana)

Tabla 4. 8. Densidad compactada.

PUNTO N°	PESO NETO	VOLUMEN MOLDE	PESO UNITARIO
	g	cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
1	2,298	2,129	1,079
2	2,278	2,129	1,070
3	2,328	2,129	1,093
Valor Medio			1,081

(Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales, Universidad Politécnica salesiana)

#### 4.1.1.6. Diseño de la mezcla

El punto de partida de la investigación es realizar una mezcla de referencia utilizando como agregados (cemento, polvo de piedra, cascajo y agua) y como mezcla de prueba con la introducción del material traquiandesitas que remplace al polvo de piedra como agregado fino y la nueva mezcla es (cemento, traquiandesitas, cascajo y agua)

Tabla 4. 9. Datos iniciales de los agregados.

Detalle	Datos	Detalle	Unidades	Observación
Cemento		sol/tipo I		
Peso específico (Pe)		3100	kg/m <sup>3</sup>	
Peso de agua		1000	kg/m <sup>3</sup>	
Resistencia a la compresión	Fcm	100,6	Kg/cm <sup>2</sup>	Fck =30,6 kg/cm <sup>2</sup>



asentamiento	slump	1	cm	
<b>Descripción de las abreviaturas</b>	<b>Agregado</b>	<b>Fino</b>	<b>Grueso</b>	<b>Unidades</b>
	Perfil			
	Densidad aparente saturado (kg/m <sup>3</sup> )	2447	1998	kg/m <sup>3</sup>
	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2544	1758	kg/m <sup>3</sup>
	Densidad nominal (kg/m <sup>3</sup> )	2710	2315	kg/m <sup>3</sup>
	Módulo de fineza	2.7	4.21	mm
Tamaño máximo nominal	TMN	9.5	13.2	mm
Porcentaje de absorción	% abs	3.98	13.69	%
porcentaje de humedad	% w	3%	12	%

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

**Tabla 4. 10.** Cantidades para un metro cúbico de mezcla de referencia (sin ajuste).

Detalle	Volumen en m <sup>3</sup>	Cnt (kg)	Relación	Para una funda de cemento de (50 kg)	Para una funda de cemento (m <sup>3</sup> )
Agua	0,19	190	0,88	44,00	0,044
Cemento	0,07	215,9	1,00	50,00	0,016
Ceniza volcánica	0,59	1385,7	6,42	320,89	0,161
Polvo de piedra	0,15	346,4	1,60	80,22	0,033
<b>Suma</b>	1,00	2138,0		495,12	0,254
Volumen por unidad					0,006
Peso por unidad		12,5		12,5	
# bloques (15x20x40)		171		40	40

(Con ajuste por absorción y humedad)

Detalle	Volumen en m <sup>3</sup>	Cnt (kg)	Relación	Para una funda de cemento de (50 kg)	Para una funda de cemento (m <sup>3</sup> )
Agua	0,16	155,01	0,88	44,00	0,044
Cemento	0,06	176,1	1,00	50,00	0,016
Ceniza volcánica	0,63	1552,0	8,81	440,52	0,220
Polvo de piedra	0,16	358,1	2,03	101,65	0,042
1 metro cúbico	1,00	2241,2		636,18	0,322
Volumen por unidad					0,006
Peso por unidad		12,5		12,5	
# bloques (15x20x40)		179		51	51

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

**Tabla 4. 11.** Cantidades de agregados resultantes de la mezcla de prueba (sin ajuste por humedad y absorción).

Detalle	Volumen en m <sup>3</sup>	Cnt (kg)	Relación	Para una funda de cemento de (50 kg)	Para una funda de cemento (m <sup>3</sup> )
Agua	0,19	190	0,88	44,00	0,044
Cemento	0,07	215,9	1,00	50,00	0,016
Ceniza volcánica	0,59	1428,7	6,62	330,85	0,166
Traquiandesita	0,15	357,2	1,65	82,71	0,033
<b>Suma</b>	1,00	2191,8		507,57	0,258
Volumen por unidad					0,006
Peso por unidad		12,5		12,5	
# bloques (15x20x40)		175		41	41

(Con ajuste por humedad y absorción).

Detalle	Volumen en m <sup>3</sup>	Cnt (kg)	Relación	Para una funda de cemento de (50 kg)	Para una funda de cemento (m <sup>3</sup> )
Agua	0,16	162,36	0,88	44,00	0,044
Cemento	0,06	184,5	1,00	50,00	0,016
Ceniza volcánica	0,62	1600,1	8,67	433,65	0,217
Roca Traquiandesita	0,16	367,9	1,99	99,70	0,039
1 metro cúbico	1,00	2314,9		627,35	0,316
Volumen por unidad					0,006
Peso por unidad		12,5		12,5	
# bloques (15x20x40)		185		50	50

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

La relación de la mezcla resultante es: 1:8,67:1,99 (Cemento: agregado grueso: agregado fino), con 44 lts. de agua por saco de cemento.

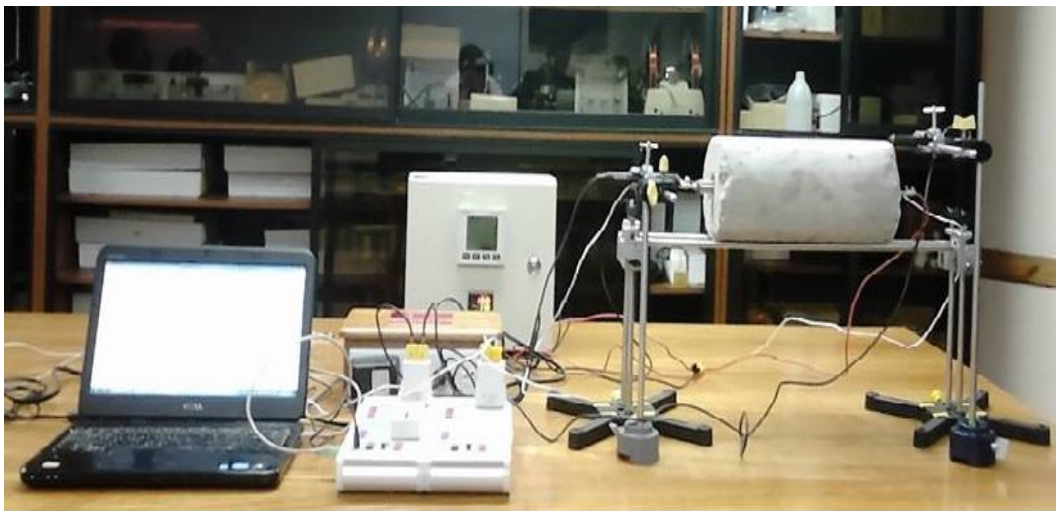
#### 4.1.2. Determinación experimental de la resistencia térmica del material compuesto, método del cilindro hueco

Para determinar la conductividad y resistencia térmica de la mezcla compuesta por arena de roca volcánica y cascajo, se consideró la conducción de calor en régimen estacionario que pasa a través de un cilindro hueco de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto, con un agujero de media pulgada en el centro, cuya superficie interna está expuesta a una fuente de calor a temperatura constante mientras la superficie exterior se encuentra al medio ambiente sin corrientes convectivas, sin flujo de energía en la dirección longitudinal y asumiendo una conductividad térmica constante (Romero & Hernández, 2014). Se ha medido la diferencia de temperatura cuando la muestra ha alcanzado el equilibrio.

La medición de la temperatura se realizó con una sonda de temperatura NiCr-Ni (marca Leybold, serie 52406739) instalado entre la superficie interna y la fuente de calor, una sonda de temperatura NiCr-Ni en la superficie externa del material y un termopar tipo "k" que mida la temperatura ambiental, conectados a un adaptador NiCr-Ni (marca

Leybold, serie 5240673) y este a un sistema de adquisición de datos CASSY 2 (marca Leybold, serie 524013) con una salida a una computadora que tiene el software (CASSY 2) adecuado para este tipo de sistema.

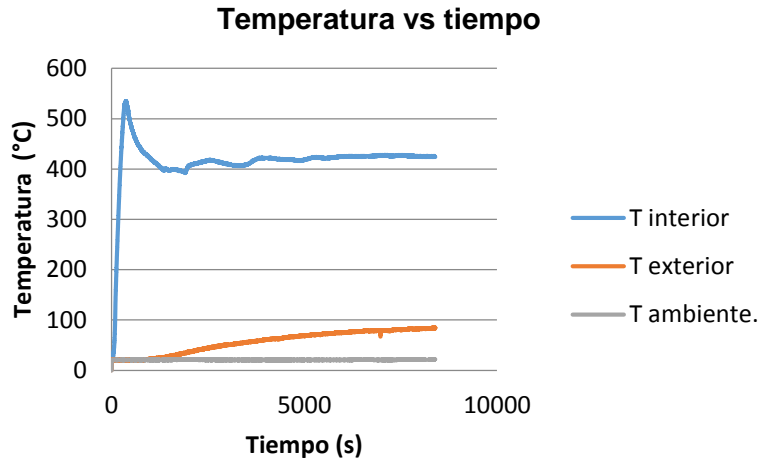
La fuente de calor consta de una resistencia tubular de  $17,5 \Omega$  conectado a un controlador de temperatura (marca Brain Child, BTC 9300) para mantenerla constante dentro de un intervalo de  $\pm 4^\circ\text{C}$  y un panel de control (Panasonic, KW9M Eco-POWER METER) que da los datos de potencia, corriente y voltaje en la resistencia, el esquema completo del sistema de medida se puede ver en la foto 4.2.



**Foto 4. 2.** Esquema completo del sistema de medida del gradiente de temperatura de la muestra del material compuesto.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

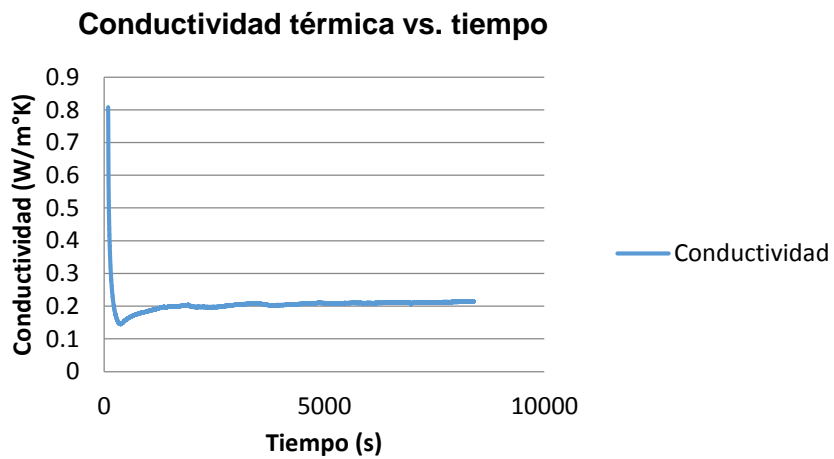
Los datos de temperatura fueron tomados cada segundo en un periodo de 8396 segundos, obteniendo las siguientes curvas de temperatura (ver figura 4.5). Para estabilizar el valor de temperatura se conectó al elemento calefactor, que es una resistencia tubular de 34 cm de longitud con dos centímetros de espacio frío a cada lado y un diámetro de media pulgada a un controlador de temperatura el cual mantenía un valor constante  $200 \pm 4^\circ\text{C}$ .



**Figura 4. 5.** Temperatura en función del tiempo.

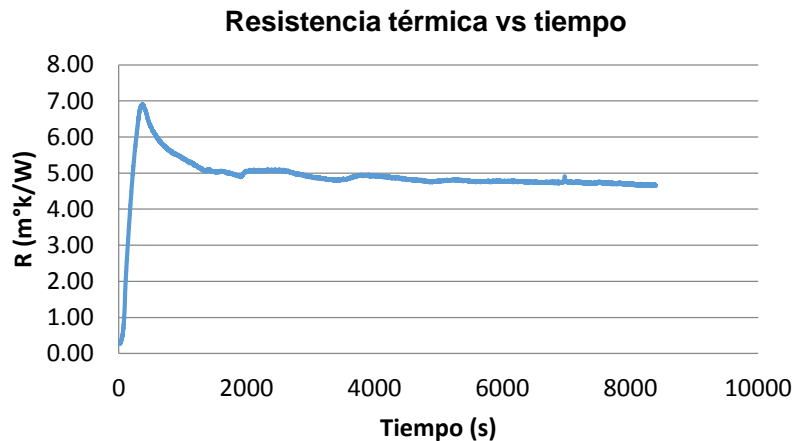
(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

El cálculo de la conductividad térmica fue realizado con los datos del tramo de la curva donde se estabilizan la temperatura, dando como resultado un valor de conductividad térmica de  $K= 0,209 \text{ W/m}^\circ\text{K}$  y obteniéndose una resistencia térmica promedio del material compuesto de  $R= 4,89 \text{ m}^\circ\text{K/W}$ .



**Figura 4. 6.** Curva de la conductividad en función del tiempo.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)



**Figura 4. 7.** Curva de resistencia térmica en función del tiempo.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

#### **4.1.3. Medida de la Conductividad Térmica de los Bloques y de sus Agregados con el Dispositivo KD2-Pro, que Utiliza el Método de la Aguja Térmica**

Se utilizó un analizador térmico portátil (KD2 Pro) que tiene una sonda de metal que sirve para medir la conductividad térmica de varios tipos de materiales según ASTM D5334 -14. Para las mediciones en materiales rígidos se debe hacer perforaciones de 4mm en la muestra para poder insertar la sonda de 3,9 mm de diámetro. Para asegurar un contacto completo se rellenó el espacio de holgura con polvo del mismo material y así eliminar cualquier aire atrapado que conduzca a resultados inexactos (Gheni et al., 2017).

##### **4.1.3.1. Medida de la conductividad y resistencia térmica de las probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura**

La medición de la conductividad y resistencia térmica de las probetas se la realizó con el sensor TR-1 en un intervalo de tiempo de 5 minutos en cada medida. Las probetas fueron perforadas con una broca de 4 mm y una longitud de 11 cm y el espacio sobrante

fue rellenado con el polvo del mismo material para evitar errores en las medidas. Se realizó como mínimo cinco medidas para cada muestra.



**Foto 4. 3.** Muestras cilíndricas a las que se tomaron las medidas.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

**Tabla 4. 12.** Valores promedios de la conductividad y resistencia térmica de las muestras cilíndricas de 15 x 30 cm.

Muestra	K W/(m.K)	R= rho °C.Cm/W	Error	T °C	Tiempo Min
1	0,214	467,5	0,0327	23,03	5
2	0,231	432,2	0,0301	20,58	5
4	0,305	328,2	0,0410	23,82	5
5	0,428	233,7	0,0283	19,95	5
6	0,218	458,9	0,0386	22,88	5
7	0,219	457,4	0,0388	23,5	5

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

#### 4.1.4. Medida de la conductividad y resistencia térmica de los agregados

##### 4.1.4.1. Medidas de k y R del basalto



**Foto 4.4.** . Medición con el dispositivo KD2 Pro de conductividad y resistencia térmica de la roca volcánica.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)



**Foto 4.5.** Medición con el dispositivo KD2 Pro de conductividad y resistencia térmica del polvo de roca volcánica.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)



**Tabla 4. 13.** Valores promedios de la conductividad y resistencia térmica de la muestra de roca volcánica.

Basalto	K W/(m.K)	R= rho °C.Cm/W	Error	T °C	Tiempo Min
Roca	0,139	718,7	0,0158	22,60	5
polvo	0,185	541,3	0,0057	20,08	5

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

#### 4.1.4.2. Medidas de la conductividad y resistencia térmica de la piedra pómez



**Foto 4. 6.** Medida de conductividad y resistencia térmica del cascajo.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

**Tabla 4. 14.** Valores promedios de la conductividad y resistencia térmica de la muestra de cascajo.

Cascajo	K W/(m.K)	R= rho °C.Cm/W	Error	T °C	Tiempo Min
1	0,085	1179,1	0,0130	22,46	5

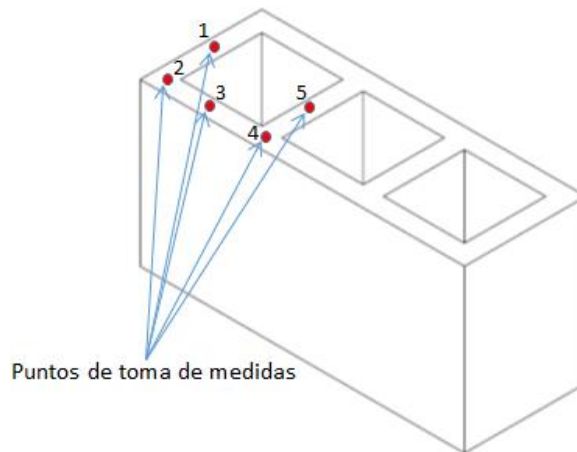
(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

#### 4.1.5. Metodología utilizada en la medición de la conductividad y resistencia térmica del bloque hueco de hormigón.

- a) Se han medido 2 bloques huecos de hormigón escogidos aleatoriamente dentro de un mismo pale (correspondiente a una misma preparación), que han estado en un proceso de secado a la intemperie en los patios de la fábrica de bloques a lo largo de siete días. Las primeras medias se realizaron a los siete días de

secado en el interior del laboratorio instalado en la fábrica en condiciones controladas de humedad y temperatura, para las posteriores medidas el tiempo de secado fue de 15 días y la última medida un día más tarde.

- b) La sonda de medida se ha introducido en cinco puntos diferentes dentro del bloque como se muestra en la figura 4.9., y entre medidas se ha comprobado el correcto funcionamiento del instrumento de acuerdo con los patrones enviados por el fabricante. Los bloques se han medido con humedad natural.



**Figura 4. 8.** Esquema del bloque con los cinco puntos donde se medirá la conductividad.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

- c) Se han realizado series de medidas con el dispositivo KD2 Pro para garantizar la repetitividad de las medidas, introduciendo la aguja térmica directamente en el bloque.
- d) Para introducir la sonda de medida en los cinco puntos de prueba fue necesario realizar perforaciones previas con el mismo diámetro de la sonda y la misma longitud.
- e) Las medidas se realizaron con humedad natural higroscópica.

#### 4.1.6. La medida de k en los bloques con el dispositivo KD2 Pro

El material a medir es un medio poroso y tiene cierto grado de humedad, por tanto, la conductividad térmica que se tiene es la efectiva que engloba la influencia de cada una de las conductividades de las fases que conforma el material. Incluye los efectos de radiación y convección en el interior del sólido pero en el rango de diámetros de poros (Mosquera Arancibia, 2011), considerando estas contribuciones como despreciables. Dada la variabilidad de los resultados se ha realizado previamente la constatación de que el dispositivo KD2 Pro este dentro de los estándares enviados por el fabricante para asegurarnos una repetibilidad aceptable (en torno al  $\pm 8,4 \%$ ).

En las tablas 4.15 y 4.16 se recogen los resultados de las medidas realizadas en los bloques huecos de concreto de la conductividad y resistencia térmica con un tiempo de medida de 5 minutos, durante el periodo de ensayo el laboratorio mantuvo una temperatura entre 18 °C y 22 °C y una humedad relativa de 26 %.

**Tabla 4. 15.** Tabla de valores de conductividad y resistencia térmica de la muestra 1.

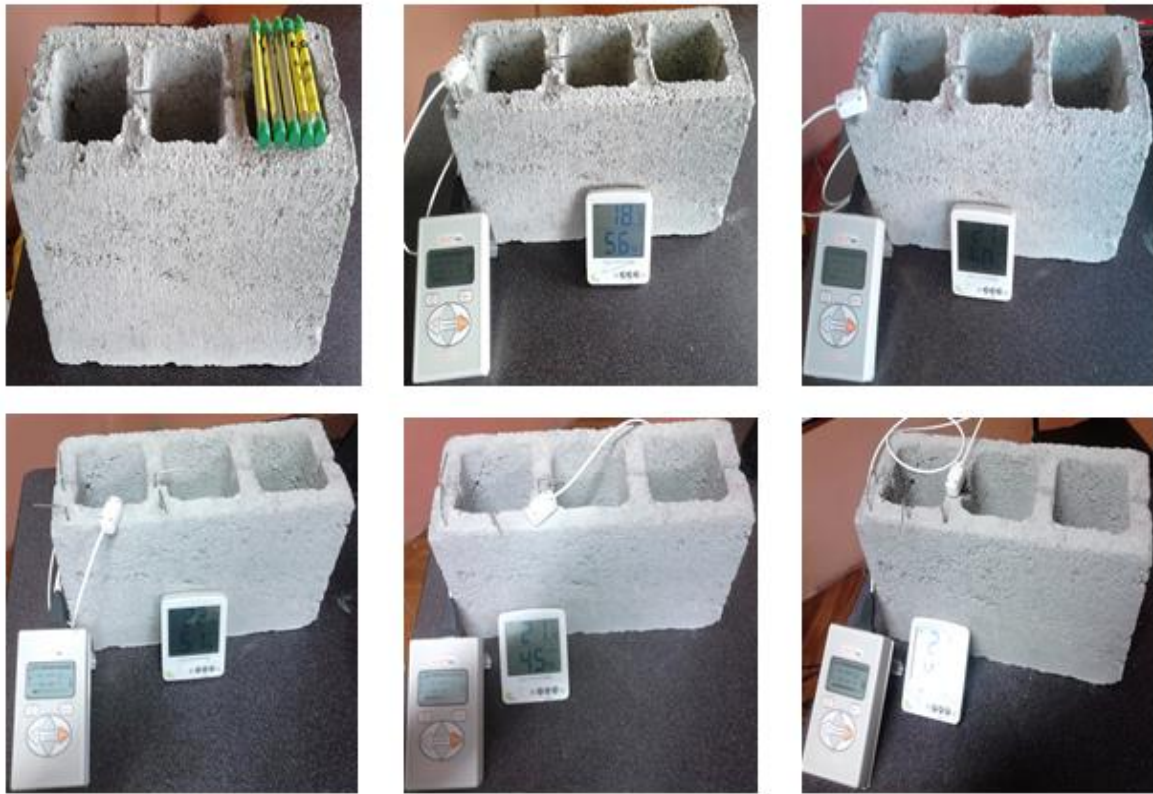
Tiempo secado Puntos	K W/(m. K)			R= rho °C. Cm/W			Error			T °C		
	Día 7	Día 23	Día 24	Día 7	Día 23	Día 24	Día 7	Día 23	Día 24	Día 7	Día 23	Día 24
<b>1</b>	0,274	0,1422	0,1438	365,6	704,4	695,8	0,0138	0,0165	0,0147	17,77	22,73	20,06
<b>2</b>	0,204	0,106	0,1126	490,1	947,5	889,1	0,0251	0,0202	0,0196	17,74	23,25	21,20
<b>3</b>	0,256	0,1474	0,1488	391,5	678,3	672,5	0,0225	0,0204	0,0210	18,41	23,43	22,06
<b>4</b>	0,177	0,157	0,1448	564,7	638,0	681,2	0,0307	0,0188	0,0222	18,16	23,23	22,30
<b>5</b>	0,195	0,1544	0,144	511,7	647,9	694,8	0,0325	0,0200	0,0224	18,12	22,68	22,33
<b>Promedio</b>	0,221	0,1413	0,1388	464,7	723,22	726,7	0,0249	0,0192	0,0202	18,04	23,06	21,59

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

**Tabla 4. 16.** Tabla de valores de conductividad y resistencia térmica de la muestra 2.

Tiempo secado Puntos	K W/(m. K)			R= rho °C. Cm/W			Error			T °C		
	Día 7	Día 23	Día 24	Día 7	Día 23	Día 24	Día 7	Día 23	Día 24	Día 7	Día 23	Día 24
<b>1</b>	0,239	0,113	0,111	418,8	884,6	902,1	0,0189	0,0218	0,0218	18,80	21,49	18,1
<b>2</b>	0,184	0,190	0,172	544,7	529,8	582,4	0,0228	0,0177	0,0165	18,62	23,64	19,0
<b>3</b>	0,207	0,149	0,126	481,9	673,0	796,9	0,0189	0,0180	0,0216	18,57	22,59	19,2
<b>4</b>	0,176	0,169	0,178	569,1	591,9	561,3	0,0337	0,0212	0,0202	18,25	22,21	19,1
<b>5</b>	0,202	0,117	0,122	495,8	851,6	816,4	0,0276	0,0226	0,0200	18,10	22,25	19,4
<b>Promedio</b>	0,208	0,148	0,142	484,6	706,2	731,8	0,022	0,0203	0,0200	18,60	22,44	18,9

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)



**Foto 4. 7.** Medida de la conductividad y resistencia térmica con el dispositivo KD 2 Pro del bloque en los cinco puntos seleccionados.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

#### **4.1.6.1. Medida de la conductividad térmica de un bloque hueco de hormigón tradicional**

EL bloque hueco de hormigón tradicional es una pieza prefabricada simple hecha a base de cemento, agua y áridos finos y gruesos, en forma de paralelepípedo, con tres huecos transversales en su interior, de modo que el volumen del material sólido sea del 50% al 75% del volumen total del elemento (INEN, 2014).

Debe cumplir con las normas:

NTE INEN 152 Cemento Portland.

NTE INEN 872 Áridos para hormigón.

**Tabla 4. 17.** Valores de conductividad y resistencia térmica de un bloque común.

	<b>K</b> W/(m. K)	<b>R= rho</b> °C. Cm/W	<b>Error</b>	<b>T</b> °C
<b>Tiempo secado Puntos</b>	< 28 días	< 28 días	< 28 días	< 28 días
<b>1</b>	0,163	613,54	0,02832	25,8
<b>2</b>	0,1482	674,8	0,02704	23,7
<b>3</b>	0,1980	505,3	0,02138	23,5
<b>4</b>	0,1434	699,42	0,02149	21,6
<b>5</b>	0,1625	625,23	0,02149	21,5
<b>Promedio</b>	0,1630	623,65	0,02549	23,230

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

#### 4.1.7. Resistencia a la Compresión

Al momento de su entrega en obra, los bloques deben cumplir con los requisitos físicos establecidos en las Tablas 3.1 y 3.2, determinados según el ensayo establecido en la norma NTE INEN 639.

**Tabla 4. 18.** . Resistencia a la compresión, en bloques no soportantes.

<b>Descripción</b>	<b>Resistencia a la compresión</b> (MPa)*
Promedio de 3 bloques	4,00
Bloque individual	3,50
*1MPa=10,2Kgf/cm <sup>2</sup>	

(Fuente: Norma NTE INEN 639.)

**Tabla 4. 19.** Resistencia a la compresión, en bloques soportantes.

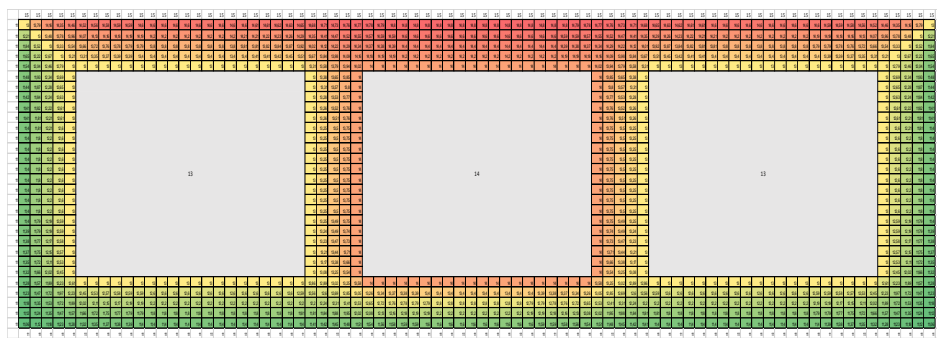
<b>Descripción</b>	<b>Resistencia a la compresión (MPa)*</b>
Promedio de 3 bloques	6,00
Bloque individual	5,00
*1 MPa = 10,2 Kg/cm <sup>2</sup>	

(Fuente: Norma NTE INEN 639.)

#### 4.1.8. Simulación de la transferencia de calor a través de un bloque hueco de concreto

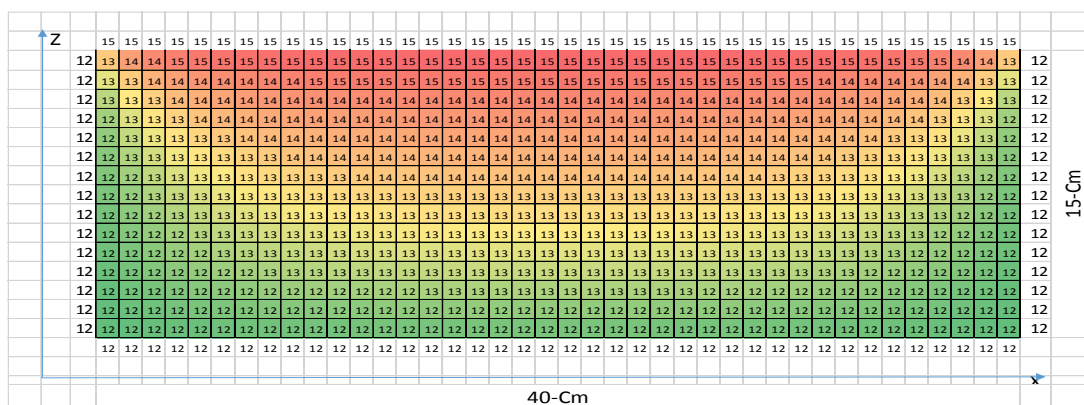
Para la solución numérica de la ecuación de transferencia de calor de Fourier en plano, se discretizó utilizando diferencias finitas, donde se remplazan las derivadas parciales de la ecuación por diferenciales apropiados con pasos constantes a lo largo de eje X y de Y.

Las fronteras frías y calientes son isotérmicas y todas las demás adiabáticas, la transferencia de calor se da en forma bidimensional en caso de la conducción, convección y unidimensional en caso de la radiación, también se consideró la conductividad térmica de material compuesto uniforme y constante (medio isotrópico). Obteniéndose los siguientes resultados:



**Figura 4. 9.** Transferencia de calor a través del bloque vista superior

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

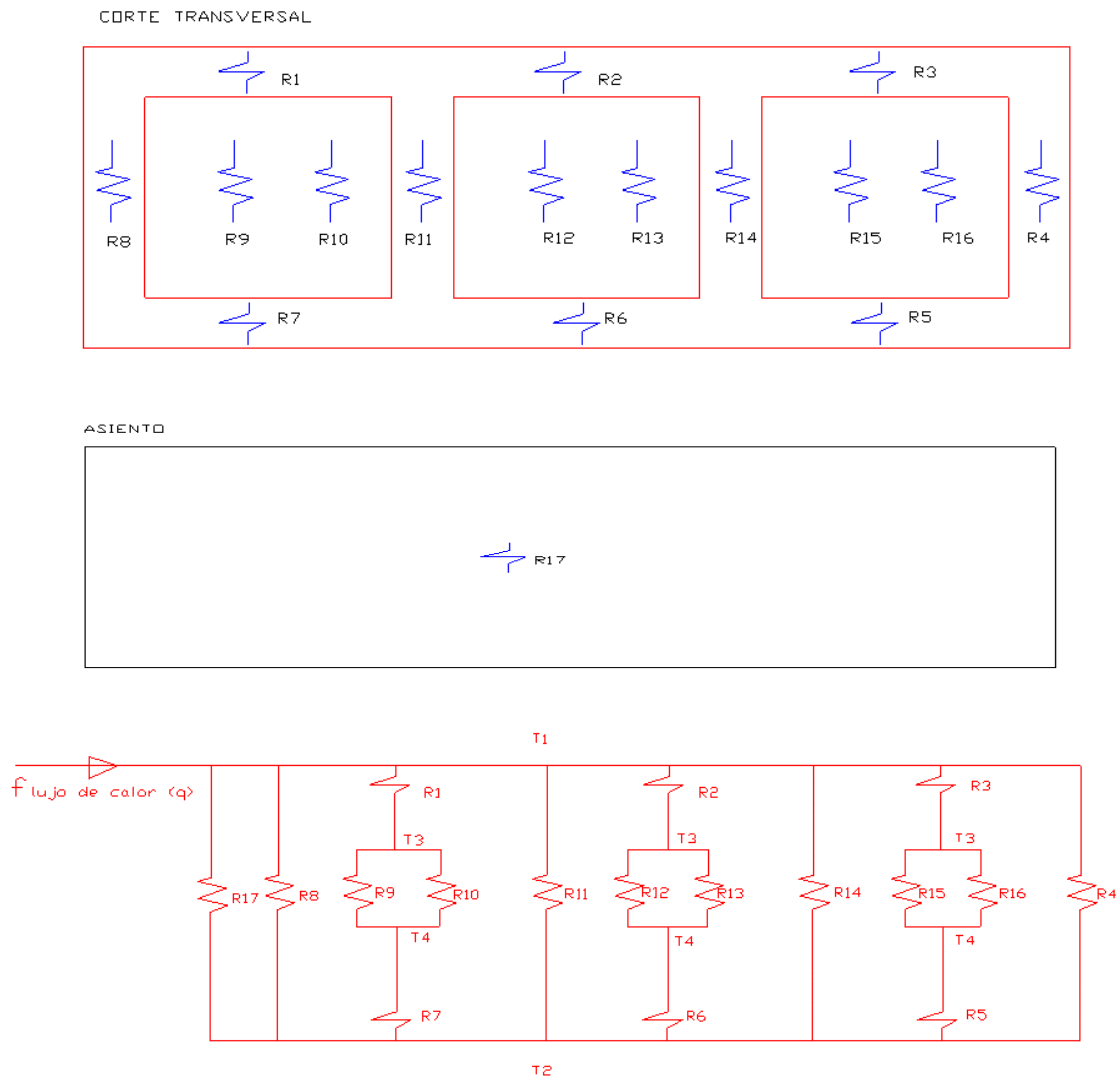


**Figura 4. 10.** Transferencia de calor a través del bloque vista inferior.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

#### 4.1.9. Cálculo de la resistencia térmica total del bloque de dimensiones 15x20x40 elaborado con 20% de roca volcánica y 80% de cascajo

Se ha calculado la resistencia térmica total de un bloque de dimensiones 15x20x40 con flujo de calor unidireccional, donde se incluye la transferencia de calor por conducción, convección y radiación, en un arreglo de resistencias térmicas en serie y paralelo y gradiente de temperatura en la cavidad interna de dimensiones (10cmx10cmx17,5cm) del mampuesto ver figura 4.12.



**Figura 4. 11.** Resistencias térmicas distribuidas en el bloque vista superior e inferior.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

Dónde:

R8, R11, R14, R1, R2, R3, R4, R5, R6 y R7 resistencias por conducción

R9, R12, R15 resistencias por radiación

R10, R13, R16 resistencias por convección

Para el cálculo de las resistencias térmicas por conducción se empleó el promedio de conductividad térmica de muestras 1 y 2 (tabla 4.15 y tabla 4.16) dando como resultado un  $K=0,1404 \text{ w/m}^2\text{K}$

Además, para encontrar el coeficiente radiactivo (hr) se asumió valores de emisividad de las caras internas de las cavidades de 0,45 para la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y  $\text{SiO}_2$  rugoso (SRI), el coeficiente convectivo (hc) depende de los números adimensionales de Rayleigh y Prandtl

### Cálculo de resistencias térmicas por radiación y convección

**Tabla 4.20.** Cálculo del coeficiente hr radiactivo.

Nomenclatura	Valor	Unidad	Ecuaciones
$\sigma$	5,68E-08	$\text{w/m}^2\text{K}^4$	$R_{\text{tot}} = \left[ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_3''} \right)^{-1} + R_4} \right]^{-1}$ $\varepsilon_{\text{efectiva}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$ $h_r = \varepsilon_{\text{efectiva}} \sigma (T_2 + T_3)(T_2^2 + T_3^2)$
e_1	0,45	( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )+ $\text{SiO}_2$	
e_2	0,45	( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )+ $\text{SiO}_2$	
e_efectiva	0,30		
hr	1,7	$\text{w/m}^2\text{K}$	

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

**Tabla 4.21.** Cálculo del coeficiente hc para convección natural.

Cálculo del coeficiente hc convectivo para convección natural			
Nomenclatura	Valor	Unidad	Ecuaciones
Temperaturas	292-291	$^{\circ}\text{K}$	$Pr = \frac{Cp * u}{ka}$ $Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) \cdot L^3}{\nu^2}$
Viscosidad cinemática (V)	1,841E-05	$\text{m}^2/\text{s}$	
Conductividad térmica del aire Ka	0,02815	$\text{w/m}^2\text{k}$	
Viscosidad dinámica del aire (u)	1,846E-05	$\text{Ns/m}^2$	
Coficiente de expansión volumétrico (B)	0,003		



Gravedad	9,78	m/s <sup>2</sup>	$Nu = 0.68 + \frac{0.670 \cdot Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$ $Ra_L = \frac{g\beta(T_2 - T_3)L^3}{\nu^2} \cdot Pr$ $h_c = \frac{k_a}{L_c} Nu$
L	0,175	m	
Calor específico	1012,00	Ws/kgK	
Grashof	5407286,62		
Prandtl	0,662		
Rayleigh	3578782,397		
Nusselt	22,86941127		
hc	3,7	w/m <sup>2</sup> k	

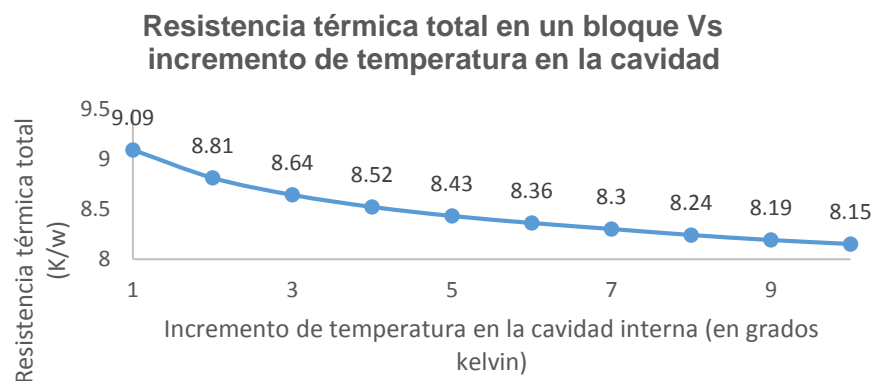
(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

**Tabla 4.22.** Cálculo de la resistencia térmica por conducción.

Nomenclatura	Valor de resistencia en K/W
R1=R2=R3=R5=R6=R7	10,18
R8=R11=R14=R4	244,2
R17 (asiento)	106,8
R9=R12=R15 (Radiación)	35
R10=R13=R16 (convección natural)	27
<b>Resistencia térmica total</b>	<b>9,09</b>

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

En la figura 4.13 se puede observar la variación de la resistencia total en el bloque para gradientes de temperatura de un grado kelvin.



**Figura 4.13.** Resistencia térmica de bloques elaborado con material alternativo 20% roca volcánica y 80% de cascajo de dimensiones 15x20x40.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

#### 4.1.10. Análisis de costos

El costo unitario está desglosado y valuado en el proceso por metro cúbico, y en base al rendimiento del saco de cemento (50 bloques por saco), como se especifica en la tabla 4.20.

**Tabla 4.20.** Análisis de costo unitario, desglosado y valuado por metro cúbico.

Materiales	Densidad de los materiales (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad en (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen para un 1m <sup>3</sup> de concreto	Costo /m <sup>3</sup> en \$	Volumen para una funda de cemento	Total (\$)
Cemento	3,1	3100	0,06	513,45	0,016	8,2152
Cascajo (ceniza )	0,801	801	0,62	16	0,217	3,472
Roca volcánica	1,14	1140	0,16	30	0,039	1,17
Agua	1	1000	0,16	0,33	0,044	0,03
<b>Costo materia prima</b>						12,8872
Mano de obra						4
<b>Costos primo</b>						16,8872
Energía eléctrica						0,6
<b>Costos fabril</b>						17,4872
Rendimiento (# de bloques )						50
<b>Costo fabril por bloque</b>			0,35			

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

Costo por unidad de mampuesto es de 0,35 ctv de dólares

## 4.2. Discusión de Resultados

### 4.2.3. Cálculo del error que se comete en la medida en general

Nos centraremos en las correcciones de las fuentes de error que se tiene en el momento de las mediciones.

#### 4.2.3.1. Errores propios del material utilizado para la elaboración de los bloques huecos de concreto

Los factores que pueden hacer variar los resultados de las medidas de la conductividad térmica del material compuesto que se utiliza para fabricar los bloques huecos de concreto que dependen del material son:

- a) **Heterogeneidad:** por ser un material compuesto está formado por elementos de diferente naturaleza, si la mezcla tiene diferentes densidades, materiales, temperaturas y contenidos de humedad, la conductividad térmica dependerá del punto de medida (Mosquera Arancibia, 2011).
- b) **Discontinuidades y defectos:** Por ser un material heterogéneo suele tener defectos internos, que afectan la transferencia de calor.
- c) **Porosidad:** es un parámetro característico de cada mezcla que afecta a la densidad del material. El error se produce por el contacto entre la aguja y el material, la menor superficie de contacto evita la disipación del calor que emite la sonda.
- d) **Tamaño de la probeta:** Mientras mayor sea el tamaño de la muestra aumenta la confiabilidad de la medida, si las caras de la probeta están muy próximas a la aguja, la onda térmica que emite la sonda se puede ver reflejada y alterar el resultado de la medida (Mosquera Arancibia, 2011).
- e) **Humedad:** La conductividad térmica depende de la humedad, si hay mayor humedad en la muestra la transferencia de calor aumenta.
- f) **Temperatura:** la conductividad térmica es directamente proporcional a la temperatura. Variaciones en la temperatura producirán cambios en la conductividad térmica, para evitar estas variaciones de temperatura las mediciones se hicieron a temperatura ambiente del laboratorio con pequeñas variaciones de  $\pm 2$  °C, manteniéndose la temperatura de la aguja en torno a los 22 °C.

Los errores que se obtiene de las características de material son aditivas y de acuerdo a la bibliografía especializada pueden sumar máximo un 2%, que se puede considerar como despreciable (Mosquera Arancibia, 2013).

#### 4.2.3.2. Inexactitud en la medida

De acuerdo a especificaciones técnicas del fabricante, el aparato no requiere calibración, pero es necesario corroborar su incertidumbre de medida con un patrón que incluye el kit de medida. Se ha realizado la comprobación con el patrón de referencia que suministra el fabricante cuyo resumen de resultados están dadas en la tabla 5.1. encontrándose un rango de error máximo de 8,4% en la medida de la conductividad térmica y de 13,1% en la medida de la temperatura, el fabricante indica una incertidumbre de  $\pm 10\%$  para valores de conductividad térmica que van desde 0,2 a 4  $\frac{W}{m.k}$ . Por tanto, se considera la comprobación como válida.

Dada la naturaleza heterogénea y porosa de los bloques es aconsejable utilizar un tiempo de medida de 5 min. con el dispositivo KD2 Pro, el cual se encuentra distribuido de la siguiente manera: entre 150 s de calentamiento y 150 s de enfriamiento, la conductividad térmica en la fase de enfriamiento es más estable que en la fase de calentamiento, si se aumenta el tiempo de medida hay una mayor tendencia a sobreestimar la conductividad térmica. La sonda obedece a la ley del enfriamiento de Newton, pero en la fase de calentamiento no se comporta igual debido a la diferencia de masas entre la sonda y la muestra, en la fase de calentamiento se debe vencer la gran inercia del material que rodea a la sonda (Mosquera Arancibia, 2011), a medida que aumenta la temperatura en la sonda, la conductividad térmica va aumentando porque el material incrementa su temperatura por el aumento del tiempo de calentamiento.

**Tabla 5. 1.** Valores de desviación típica y máxima respecto al patrón que incluye el kit de medida.

	Valor de referencia	Promedio	Desviación estándar	Valor máximo (%/ ref.)	Valor mínimo (%/ ref.)
<b>K</b> $\left(\frac{W}{m.k}\right)$	0,371	0,367	0,0092	0,4020 (+8,4%)	0,3410 (-8,1%)
<b>T</b> ( $^{\circ}C$ )	23,26	21,71	1,2512	24,07 (+3,5%)	20,22 (-13,1%)

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

### 4.2.3. Medida de la Conductividad Térmica en los Bloques con el Dispositivo kd2 Pro

Antes de la medición se realizó la constatación de que el dispositivo KD2 Pro este dentro de los parámetros especificados por el fabricante para una medida aceptable, encontrándose un error máximo aproximado del 8,4 % siendo menor al especificado de  $\pm 10$ . Lo cual asegura una repetibilidad de las medidas aceptable.

En las tablas 4.15 y 4.16 se recogen los resultados promedios de las medidas realizadas en los bloques huecos de concreto de la K y R para un tiempo de medida de 5 minutos, los valores medidos fueron en bloques con un tiempo de secado de siete, veintitrés y veinticuatro días. Obteniéndose los siguientes valores (ver Tabla 4.20).

**Tabla 4. 21.** Valores de conductividad y resistencia térmica promedios del bloque.

Tiempo secado Muestra	K W/(m. K)			R= rho °C. Cm/W			Error			T °C		
	Día 7	Día 23	Día 24	Día 7	Día 23	Día 24	Día 7	Día 23	Día 24	Día 7	Día 23	Día 24
<b>1</b>	0,22 1	0,141 3	0,138 8	464,7	723,2 2	726, 7	0,024 9	0,019 2	0,020 2	18,0 4	23,0 6	21,5 9
<b>2</b>	0,20 8	0,148	0,142	484,6	706,2	731, 8	0,022	0,020 3	0,020 0	18,6 0	22,4 4	18,9
<b>Promedi o</b>	0,21 4	0,145	0,140 4	473,6 5	714,7 1	729, 3	0,023 5	0,019 8	0,020 1	18,3 2	22,7 5	20,3

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

El valor obtenido de las mediciones de la conductividad térmica para una muestra con un tiempo de secado de veinticuatro días es de 0,1404 W/(m. K) y para un bloque de fabricación común con un tiempo de secado de más de veintiocho días de 0, 163 W/(m. K), teniéndose una disminución de la conductividad térmica del 13,9 % respecto al bloque que la empresa fabrica diariamente.

De acuerdo a la bibliografía especializada los valores de conductividad para bloque de hormigo están entre 0,35 a 0,79 W/ (m. K) (Ossama y Murali ,1994), con respecto al valor más pequeño 0,35 w/m K y considerando el promedio de las muestras en el día 24 la disminución de la conductividad térmica es de 59,9%.

#### **4.2.4. Medida de la conductividad térmica de la muestra cilíndrica por el método de régimen constante y transitorio**

Se analizó la transferencia de calor en régimen estacionario de un cilindro hueco de 15 cm de radio por 30 cm de longitud con un agujero en el centro de diámetro media pulgada, la superficie interna se expone a una fuente de calor a temperatura constante, mientras que la superficie externa se encuentra a temperatura ambiente sin corrientes convectivas, sin flujo de energía en la dirección longitudinal, se determinó una conductividad constante de 0,209 W/ (m. K).

El valor medido de conductividad térmica con el dispositivo KD2 Pro del cilindro hueco es de 0,214 W/ (m. K), esta medida fue tomada con el sensor TR-1 sin grasa superconductor. Los valores calculados y medidos son muy similares, hay un error entre las dos medidas de un 2,34%.

#### **4.2.5. Análisis del diseño de la muestra**

El diseño de la muestra fue elaborado siguiendo los pasos establecidos en la metodología A.C.I., donde se consideraron los siguientes parámetros: granulometría, módulo de finura de la roca volcánica (arena fina), tamaño máximo del cascajo (grueso), densidad aparente de los dos materiales, porcentaje de absorción de los dos materiales, masa unitaria compactada del cascajo, humedad de los agregados antes de realizar la mezcla y la densidad del cemento.

Para el diseño de la mezcla se recurre a datos normados, como a datos empíricos de experiencias anteriores, que con la ayuda de las tablas, gráficas y modelos se puede obtener combinaciones óptimas de los materiales. Para nuestro caso se diseñó la mezcla siguiendo los siguientes pasos:

- a) Elección del asentamiento
- b) Tamaño máximo nominal (TMN)
- c) Estimación del contenido de aire de la mezcla.
- d) Estimación de la cantidad de agua
- e) Estimación de la relación agua cemento (a/c)
- f) Cálculo del contenido de cemento.
- g) Verificación de que si los agregados cumplen las recomendaciones granulométricas, de acuerdo a la normativa ASTM C33.

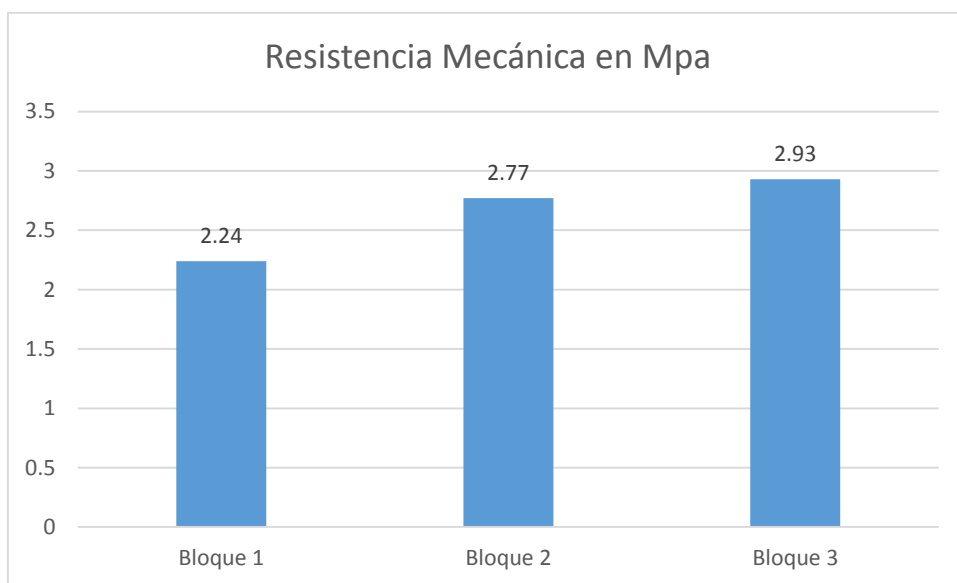
- h) Si cumple esta norma se estimará el contenido del agregado grueso y agregado fino, caso contrario se optimizará la granulometría y estimará el contenido de los agregados.
- i) Se ajustará las cantidades de agua por el contenido de humedad de los agregados, hasta ajustar la mezcla de prueba.

Llegando a la conclusión que el proporcionamiento en volumen óptimo de cemento, agregado fino y agregado grueso debe ser de 1:3,76:0,71, con una dosificación de agua de 34,8 Lts. por saco de cemento. Donde el agregado fino fue reemplazado por roca volcánica (arena de roca volcánica) y el agregado grueso por cascajo, dando una relación en proporciones de volumen de 20% y 80% respectivamente.

## 5. CONCLUSIONES

Para la investigación se diseñó la mezcla de concreto con el método A.C.I. (American Concrete Institute), con la norma A.C.I. 211.1, basada en la norma ASTM C33, el cual establece el procedimiento para optimizar la granulometría en las mezclas de concreto. Llegando a la conclusión que el proporcionamiento en volumen óptima de cemento, agregado fino y agregado grueso debe ser de **1: 1,99: 8,67**, con una dosificación de agua de 44 Lts. por saco de cemento. Donde el agregado fino fue reemplazado por roca volcánica (traquiandesitas) y el agregado grueso por cascajo, dando una relación en proporciones de volumen de 20% y 80% respectivamente.

El diseño de la mezcla se realizó para 3 Mpa y se obtuvo resistencia promedio de 2,70 Mpa a los 28 días la diferencia se debe porcentaje de abrasión del cascajo que es del 84%



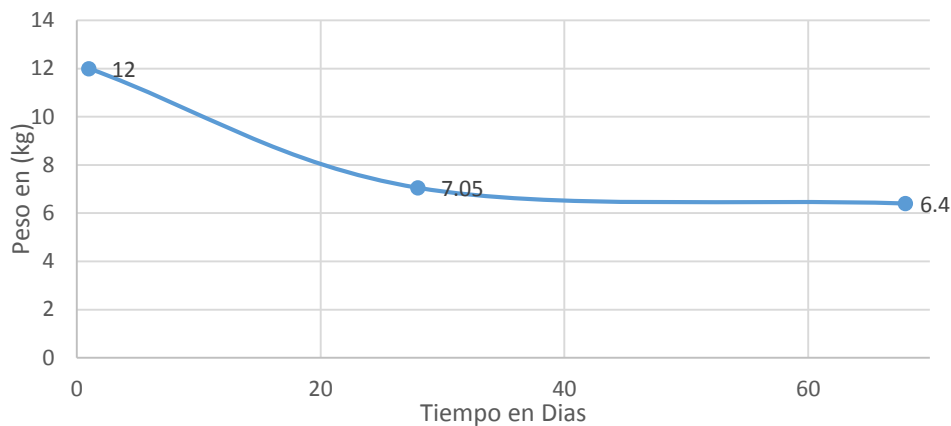
**Figura 5. 1.** Resistencia mecánica de los bloques construidos con material alternativo 20% roca volcánica y 80% de cascajo de dimensiones 15x20x40.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

Una de las ventajas de elaborar bloques de mampostería con el material alternativo es conseguir disminuir desde un 36% hasta 40% su peso con respecto a los bloques tradicionales (ver Figura 5.1.).



### Peso vs tiempo.



**Figura 5.2.** Peso en kg de bloques elaborado con material alternativo 20% roca volcánica y 80% de cascajo de dimensiones 15x20x40.

(Fuente: Edison Pachacama & Juan Obando, 2017)

El sistema de medida utilizado para medir el gradiente de temperatura fue escogido debido a que no requiere datos de propiedades de ningún material de referencia para medir la conductividad térmica de los aislantes térmicos y la facilidad que presentaba su construcción.

Las propiedades térmicas del material fueron determinadas utilizando dos enfoques diferentes, la conducción de calor a través de un cilindro hueco en régimen estacionario, sin corrientes convectivas, sin flujo de energía en la dirección longitudinal con una conductividad térmica constante. En el segundo se hizo una medida directa de la conductividad térmica con el dispositivo KD2 Pro, que se basa en el método de la aguja térmica, en régimen transitorio. Obteniéndose valores similares de conductividad térmica con un error entre medidas del 2,34%.

El valor obtenido de la conductividad térmica en el mampuesto fabricado con la mezcla de roca volcánica y cascajo es de 0,1404 W / m K que comparado con los valores determinados por la bibliografía especializada tiene una disminución del 59,9%. Y comparándolo con un bloque común fabricado por la misma empresa es de 13,9 %. Obteniéndose una considerable mejora en el aislamiento térmico.

Una de las variables que hacen crecer la resistencia por radiación e influye en la resistencia térmica total del bloque es la emisividad de las superficies de las

paredes (cavidades internas), del bloque por lo que se recomienda utilizar materiales que disminuyan el coeficiente de emisividad.

La forma geométrica de la cavidad interna del mampuesto hace que varíe el coeficiente convectivo ( $h_c$ ) por ende si decrece elevará la resistencia térmica por convección natural.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda en futuras investigaciones analizar la influencia del contenido de humedad promedio en el bloque, ya que está tiene una dependencia directa con la variación del valor de la conductividad térmica.

Se sugiere a futuro, hacer un estudio comparativo de los diferentes métodos de medición de la resistencia y conductividad térmica de los bloques, que permita asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Para obtener la conductividad térmica de material poroso a cierta temperatura media, se recomienda realizar la prueba como mínimo en tres muestras del mismo material y hacer un análisis estadístico para evaluar la incertidumbre en las mediciones.

Una de las dificultades en la investigación es la ausencia de valores de la emisividad en las paredes internas de un bloque, se recomienda tomar como valor de referencia la interpolación de materiales similares, teniendo en cuenta que la resistencia térmica generada por transferencia de energía es representativa en todo el sistema.

El coeficiente convectivo es inversamente proporcional a la resistencia por convección, se recomienda hacer un análisis de este valor, dado que si es pequeño incrementaría la resistencia térmica en la cavidad hueca del bloque. En el valor del coeficiente convectivo esta implícitamente variables como la geometría de la cavidad, la rugosidad de las paredes y el gradiente de temperatura interna del mampuesto.

Se recomienda a nivel nacional que haya la preocupación de las entidades gubernamentales, de caracterizar materiales no metálicos que se los pueden utilizar en la fabricación de aislantes térmicos para la construcción.

Para futuras mediciones de la conductividad térmica en régimen estacionario, sería recomendable hacerlo dentro de una caja térmica calibrada con materiales conocidos y en base a normativa ASTM C1363. Que permitiría tener un control sobre la temperatura y humedad relativa del medio circundante al bloque hueco de concreto, debido que variaciones de estos parámetros afectan el proceso de medida.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Al-hazmy, M. M. (2006). Analysis of coupled natural convection – conduction effects on the heat transport through hollow building blocks. *Sciencedirect*, 38, 515–521. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.08.010>
- Anwar Hossain, K. M. (2004). Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(2), 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.08.004>
- Arrieta Freyre Javier. (2001). Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora, 1999–2000.
- Banco Central del Ecuador. (2015). La minería ecuatoriana. *Nacional, El Gobierno Ejecutivo, Decreto Secretar, Esta Objetivos, Los Ley, La Nacional, Plan*, 1, 1–4. Retrieved from <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
- Borbón, A. C., Cabanillas, R. E., & Pérez, J. B. (2010). Modelación y simulación de la transferencia de calor en muros de bloque de concreto hueco. *Informacion Tecnologica*, 21(3), 27–38. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4223it.09>
- Devices, D. (2016). *KD2 Pro Thermal Properties Analyzer*.
- Duque Escobar, G. (2011). Manual de geología para ingenieros, 125–142.
- Gamboa de León Rëgil, O. E. (2005). *Optimización del proceso de fabricación de bloques de concreto del estandar 15x20x40 cm con grado de resistencia 28 Kg/cm2, caso específico Fuerte- Block máquinas #1 y #2*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gheni, A. A., ElGawady, M. A., & Myers, J. J. (2017). Thermal characterization of cleaner and eco-efficient masonry units using sustainable aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 165(2), 980–993. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.189>
- Gómez-Azpeitia, G., Morales, G. B., & Torres, R. P. R. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados/Thermal comfort: two confronted theoretical focuses. *Palapa*, 2(1), 45–57. Retrieved from <http://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/palapa/article/view/43>
- Gonzáles Cruz, E. M. (2003). Selección de materiales en la construcción arquitectonica bioclimática. *Instituto de Investigaciones de La Facultad de Arquitectura Y Diseño*.
- Holman, J. P. (1999). *Transferencia de calor* (Décima). México: McGraw Hill.
- ICPC. (n.d.). Fabricación de bloques de concreto. *Instituto Colombiano de Productores de Cemento.*, 38(94), 27.
- IEE, I. E. E., & SIGAGRO-MAGAP, D. del S. de I. G. y A.-M. A. (2013). *GENERACIÓN*

DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1:25.000.

- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamentos de Transferencia de Calor y Masa. Water* (Vol. 6th). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.03.022>
- Incropera Frank P., D. D. p. (2011). *Fundamentos de transferencia calor y masa*. (J. & S. Wiley, Ed.) (septima). Estados Unidos de América.
- INEN. (2014). *Bloques Huecos De Hormigón. Definiciones, Clasificación Y Condiciones Generales. Nte Inen 638:2014*. Retrieved from [www.inen.gob.ec](http://www.inen.gob.ec)
- Martínez García Ángel. (2005). Confort Térmico. *Instituto de Seguridad Y Salud Laboral*, 1–14. Retrieved from <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/fisatom/docencia/Masterfisica/Renovables/info complementaria/Confort Termico 2.pdf>
- MIDUVI, M. de D. U. y V. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11*. Quito.
- Monroy, M. M. (1995). *Comportamiento térmico de cerramientos soleados*. Las Palmas Gran Canaria. Retrieved from <http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/ambiente/antesol/TESIS/>
- Mosquera Arancibia, P. (2011). *aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobes y bloques de tierra*. Universidad Politecnica de Madrid.
- Mosquera Arancibia, P. (2013). *Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Pérez, J. B., Cabanillas, R. E., Hinojosa, J. F., & Borbón, A. C. (2011). Estudio Numérico de la Resistencia Térmica en Muros de Bloques de Concreto Hueco con Aislamiento Térmico Numerical Study of the Thermal Resistance of Hollow Concrete Block Walls with Thermal Insulation, 22, 27–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000300005>
- Pesántes Moyano, M. (2012). *Confort Termico en el area social de una vivienda unifamiliar en Cuenca-Ecuador*. Universidad de Cuenca.
- Román-Sierra, J., Navarro-Pons, M., Gómez-Pina, G., & Muñoz-Perez, J. J. (2006). Optimización Del Análisis Del Tamaño De Grano De Arenas Costeras.
- Romero, A., & Hernández, J. (2014). Diseño De Mezclas De Hormigón Por El Método A.C.I. Y Efectos De La Adición De Cenizas Volantes De Termotasajero En La Resistencia a La Compresión. Retrieved from [http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno de mezclas de](http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de)

hormigon por el metodo a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sastre Sastre, R., & M. S. (2010). *Propiedades de los materiales y elementos de construcción* (UPC).

Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Deslizamientos Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales*. Bucaramanga, Colombia.

Yunus A. Cengel. (2007). *Transferencia de calor y masa*. (McGraw-Hill, Ed.) (Tercera ed). México: Interamericana.

# ANEXOS

## Anexo A. Resultados de análisis de la roca volcánica



### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

#### Resultados de Análisis

Solicitante: Sr. Edison Pachana.  
Referencia: ST- 7374  
Fecha: 06/04/2017  
Muestras recibidas: Una muestra sólida denominada:  
Muestra 1: Roca Volcánica (Código cliente)

#### Resultados Pérdidas por Calcinación

La calcinación se la realizó en una mufla marca: SNOL durante media hora, a la temperatura de 950 grados centígrados. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Parámetro	Valor
Muestra 1	0,04 %

#### Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X

El análisis químico de la muestra se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis:


Elemento	Muestra 1	Óxido	Muestra 1
	Contenido %		Valor Calculado * (%)
Si	26,93	SiO <sub>2</sub>	57,62
Al	8,79	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,61
Fe	5,14	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,35
Ca	4,82	CaO	6,74
Na	2,90	Na <sub>2</sub> O	3,91
Mg	2,64	MgO	4,37
K	1,44	K <sub>2</sub> O	1,73
Ti	0,54	TiO <sub>2</sub>	0,90
Mn	0,12	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18
P	0,11	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25
S	0,04		

\* A solicitud del cliente, los resultados se expresan en forma de óxidos a partir del cálculo estequiométrico.

  
Ing. Alicia Guevara Ph.D.  
Jefe de Departamento



MSc. Evelyn Criollo  
Jefe de Laboratorio

  
Ing. Kléber Collantes  
Responsable

## Anexo B. Análisis de hormigones y agregados



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERIA CIVIL  
AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL: 3962 891, 3962 800 EXT 2317

### HORMIGONES Y AGREGADOS

PROYECTO:	Análisis de Transferencia de Calor en Bloques	LOCALIZACION:	Quito
CLIENTE:	Ing. Juan Obando; Ing. Edison Pachacama	YACIMIENTO:	-----
FISCALIZA:	-----	MUESTRA:	Arena - Recibida en Laboratorio (17-03-2017)
FECHA INFORME:	31/03/2017	L.E.M:	-----
FECHA ENSAYO:	29/03/2017	Pág.:	1/1

#### PESO ESPECIFICO Y ABSORCION EN EL AGREGADO FINO

NORMA: ASTM C-129

DATOS:		
PESO MUESTRA S.S.S	500,00	g
PESO PICNOMETRO:	147,88	g
VOLUMEN PICNOMETRO:	499,49	cc
PESO PIC+AGUA+MUESTRA:	897,17	g
PESO MUESTRA SECA:	439,81	g

PESO ESPECIFICO MASIVO:	1,758	g/cm <sup>3</sup>
<b>PESO ESPECIFICO MASIVO SSS</b>	<b>1,998</b>	g/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECIFICO SOLIDOS	2,315	g/cm <sup>3</sup>
<b>ABSORCION:</b>	<b>13,69%</b>	

#### PESO ESPECIFICO Y ABSORCION EN EL AGREGADO GRUESO

NORMA: ASTM C-127

DATOS:		
MASA EN EL AIRE:	-----	g
MASA SUMERGIDA:	-----	g
MASA SECA:	-----	g

PESO ESPECIFICO MASIVO:	-----	g/cm <sup>3</sup>
<b>PESO ESPECIFICO MASIVO SSS</b>	-----	g/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECIFICO SOLIDOS	-----	g/cm <sup>3</sup>
<b>ABSORCION:</b>	-----	

Ing. Magaly Gaibor L.  
ADMINISTRADOR TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Campus Sur, Av. Rumichaca s/n y Morán Valverde · Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 Ext. 2354  
Teléfono directo: 3962 891 · Fax: 3962 897 · Correo electrónico: htorres@ups.edu.ec / ingciviluio@ups.edu.ec



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERIA CIVIL  
AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL. 3962 891 / 3962 800 EXT 2317

**HORMIGONES Y AGREGADOS**

PROYECTO: Análisis de Transferencia de Calor en Bloques      USO: Bloques  
 CLIENTE: Ing. Juan Obando, Ing. Edison Pachacama      NORMA: ASTM C33      SECTOR: Quito  
 FISCALIZA: \_\_\_\_\_      YACIMIENTO: \_\_\_\_\_      MUESTRA: Recibida en Laboratorio (17-03-2017)  
 FECHA INFORME: 29 de Marzo del 2017      L.E.M.: \_\_\_\_\_      PÁG.: 1/1  
 FECHA ENSAYO: 22 de Marzo del 2017

**GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO**

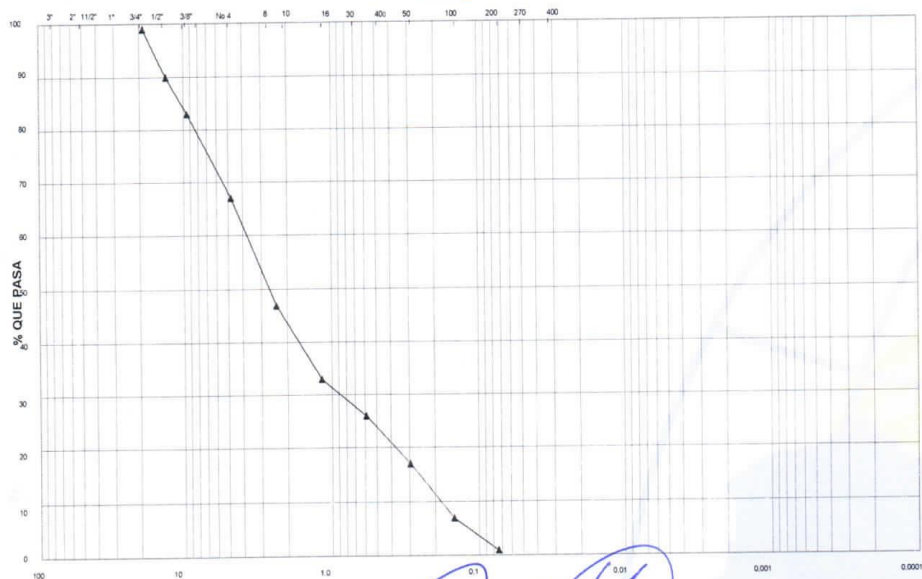
TAMIZ No.	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	Pasa No. 4	8	10	16	30	40	50	80	100	200	Peso No. 200	
Peso Reten. Parcial gr																					
Peso Reten. Acumula. gr						18	148	249	501		790		1002	1117		1243		1402	1481		
% Retenido						1	10	17	33		53		67	74		83		93	99		
% Que pasa						99	90	83	67		47		33	26		17		7	1		
% Especifl.																					

PESO TOTAL MUESTRA = 1500 gr.      Peso total antes de lavado = \_\_\_\_\_ gr.  
 Peso total despues de lavado = \_\_\_\_\_ gr.  
 Peso perdido por lavado y tamizado = \_\_\_\_\_ gr.

**DIAGRAMA GRANULOMETRICO**

M.I.T. CLASIFICACION	Arena		Limo			Arcilla		
	Gruesa	Media	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina

**PASA EL TAMIZ**



Granulometría representativa del material  
 OBSERVACIONES:

ADMINISTRADOR TÉCNICO DE LABORATORIO

**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

Campus Sur, Av. Rumichaca s/n y Morán Valverde · Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 Ext. 2354  
 Teléfono directo: 3962 891 · Fax: 3962 897 · Correo electrónico: htorres@ups.edu.ec / ingciviluio@ups.edu.ec

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERIA CIVIL  
AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL. 3962 891 / 3962 800 EXT 2317

**HORMIGONES Y AGREGADOS**

PROYECTO: Análisis de Transferencia de Calor en Bloques      USO: Bloques  
 CLIENTE: Ing. Juan Obando; Ing. Edison Pachacama      NORMA: ASTM C33      SECTOR: Quito  
 FISCALIZA: \_\_\_\_\_      YACIMIENTO: \_\_\_\_\_  
 FECHA INFORME: 18 de Abril del 2017      MUESTRA: Recibida en Laboratorio (13-04-2017)  
 FECHA ENSAYO: 17 de Abril del 2017      L.E.M.: \_\_\_\_\_  
 Págs.: 1/1

**GRANULOMETRIA AGREGADO FINO**

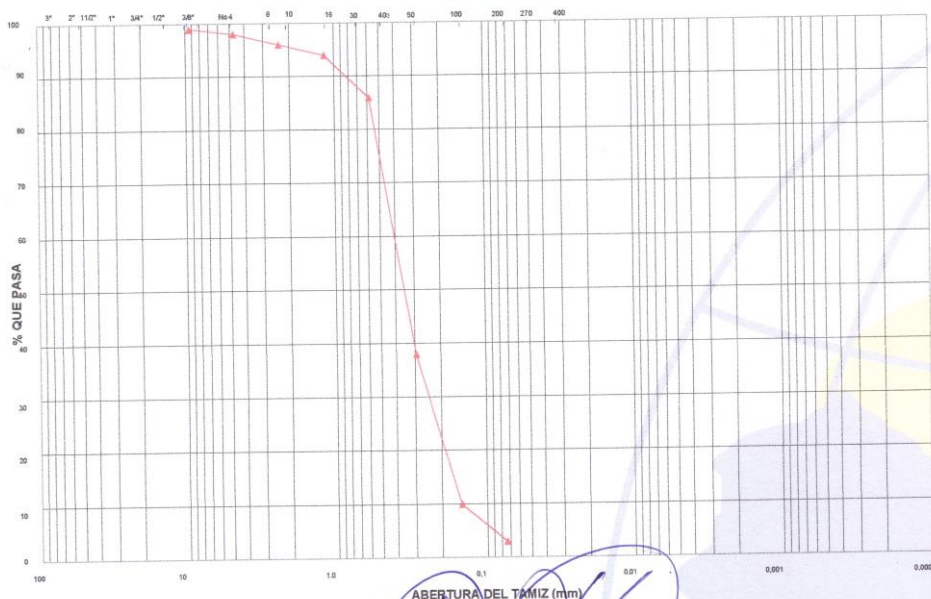
TAMIZ No.	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	Pasa No. 4	8	10	16	30	40	50	80	100	200	Pasa No. 200	
Peso Reten. Parcial gr																					
Peso Reten. Acumula. gr									13	20	41	61	140			616		902	970		
% Retenido									1	2	4	6	14			62		90	97		
% Que pasa									99	98	96	94	86			38		10	3		
% Especifl.																					

PESO TOTAL MUESTRA = 1000 gr.      Peso total antes de lavado = \_\_\_\_\_ gr.  
 Peso total despues de lavado = \_\_\_\_\_ gr.  
 Peso perdido por lavado y tamizado = \_\_\_\_\_ gr.

**DIAGRAMA GRANULOMETRICO**

M.I.T. CLASIFICACION	Arena			Limo			Arcilla		
	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina

**PASA EL TAMIZ**



Granulometría representativa del material

OBSERVACIONES:

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Magaly Gallo L.  
ADMINISTRADOR TECNICO DE LABORATORIO

Campus Sur, Av. Rumichaca s/n y Morán Valverde · Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 Ext. 2354  
 Teléfono directo: 3962 891 · Fax: 3962 897 · Correo electrónico: htorres@ups.edu.ec / ingciviluio@ups.edu.ec

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERIA CIVIL  
AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL: 3962 891 / 3962 800 EXT 2317

HORMIGONES Y AGREGADOS

PROYECTO: Análisis de Transferencia de Calor en Bloques      NORMA: ASTM C 29  
 CLIENTE: Ing. Juan Obando; Ing. Edison Pachacama      YACIMIENTO: -----  
 FISCALIZA: -----      MUESTRA: Arena - Recibida en Laboratorio  
 FECHA ENSAYO: 21-04-2017      L.E.M: -----  
 FECHA INFORME: 24-04-2017

DENSIDAD SUELTA Y VARILLADA DEL AGREGADO FINO

a) DENSIDAD SUELTA

PUNTO No.	PESO NETO (gr)	VOLUMEN MOLDE (cm <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2.028	2.129	0.953
2	2.008	2.129	0.943
3	2.108	2.129	0.990

VALOR MEDIO: **0,962**

b) DENSIDAD COMPACTADA

PUNTO No.	PESO NETO (gr)	VOLUMEN MOLDE (cm <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2.298	2.129	1.079
2	2.278	2.129	1.070
3	2.328	2.129	1.093

VALOR MEDIO: **1,081**

  
**Ing. Magaly Gaibor L.**  
**ADMINISTRADOR TÉCNICO DE LABORATORIO**

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Campus Sur, Av. Rumichaca s/n y Morán Valverde · Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 Ext. 2354  
 Teléfono directo: 3962 891 · Fax: 3962 897 · Correo electrónico: htorres@ups.edu.ec / inciviluio@ups.edu.ec



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERIA CIVIL  
AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL: 3962 891, 3962 800 EXT 2317

**HORMIGONES Y AGREGADOS**

PROYECTO:	Análisis de Transferencia de Calor en Bloques	LOCALIZACION:	Quito
CLIENTE:	Ing. Juan Obando; Ing. Edison Pachacama	YACIMIENTO:	-----
FISCALIZA:	-----	MUESTRA:	Arena - Recibida en Laboratorio
FECHA INFORME:	24/04/2017		(13-04-2017)
FECHA ENSAYO:	20 - 24/04/2017	L.E.M:	-----
		Pág.:	1/1

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION EN EL AGREGADO FINO**

NORMA: ASTM C-129

DATOS:

PESO MUESTRA S.S.S	500,00	g
PESO PICNOMETRO:	147,88	g
VOLUMEN PICNOMETRO:	499,49	cc
PESO PIC+AGUA+MUESTRA:	950,83	g
PESO MUESTRA SECA:	480,88	g

PESO ESPECIFICO MASIVO:	2,447	g/cm <sup>3</sup>
<b>PESO ESPECIFICO MASIVO SSS</b>	<b>2,544</b>	g/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECIFICO SOLIDOS	2,710	g/cm <sup>3</sup>
<b>ABSORCION:</b>	<b>3,98%</b>	

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION EN EL AGREGADO GRUESO**

NORMA: ASTM C-127

DATOS:

MASA EN EL AIRE:	-----	g
MASA SUMERGIDA:	-----	g
MASA SECA:	-----	g

PESO ESPECIFICO MASIVO:	-----	g/cm <sup>3</sup>
<b>PESO ESPECIFICO MASIVO SSS</b>	-----	g/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECIFICO SOLIDOS	-----	g/cm <sup>3</sup>
<b>ABSORCION:</b>	-----	

  
**Ing. Magaly Gaibor L.**  
**ADMINISTRADOR TECNICO DE LABORATORIO**

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Campus Sur, Av. Rumichaca s/n y Morán Valverde · Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 Ext. 2354  
Teléfono directo: 3962 891 · Fax: 3962 897 · Correo electrónico: htorres@ups.edu.ec / ingciviluio@ups.edu.ec

## Anexo C. Resistencia de materiales.



### LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERIA CIVIL AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL. 3962 891, 3962 800 EXT: 2317

#### RESISTENCIA DE MATERIALES

PROYECTO: Análisis de Transferencia de Calor en Bloques  
SOLICITA: Ing. Juan Obando; Ing. Edison Pachacama  
FISCALIZA: -----  
LOCALIZACION: Quito  
FECHA INFORME: 2017-03-17  
FECHA ENSAYO: 2017-03-17

NORMA: ASTM D 2166  
L.E.M 7605  
Pág.: 1/1

#### ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE EN ROCA (CUBO)

Muestra N°	1
Identificación	<b>Roca Volcánica</b>
Espesor (cm)	4,86
Ancho (cm)	5,00
Altura (cm)	9,83
Área de la Muestra (cm <sup>2</sup> )	24,30
Masa (gr)	272,1
Volumen (cm <sup>3</sup> )	238,87
Densidad (gr /cm <sup>3</sup> )	1,14
Carga Máxima (KN)	32,5
Resistencia (MPa)	13,37
Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>136,4</b>

Nota: 1MPa = 10,2Kg/cm<sup>2</sup>

Observaciones: Las muestras fueron recibidas en laboratorio el 10-03-2017

Ing. Magaly Galbor L.  
ADMINISTRADOR TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Campus Sur, Av. Rumichaca s/n y Morán Valverde · Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 Ext. 2354  
Teléfono directo: 3962 891 · Fax: 3962 897 · Correo electrónico: htorres@ups.edu.ec / ingciviluio@ups.edu.ec

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERÍA CIVIL  
AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL. 3962 891, 3962 800 EXT 2317

**RESISTENCIA DE MATERIALES**

PROYECTO: Análisis de Trnsferencia de Calor en Bloques      NORMA: INEN 640 y 643  
SOLICITA: Ing. Juan Obando; Ing. Edison Pachacama      L.E.M 7605  
FISCALIZA: -----      PLANTA: Prod. Las Cuadras  
LOCALIZACION: Quito      Pag.: 1/1  
FECHA INFORME: 2017-03-17

**ENSAYO DE COMPRESION EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGON**

Muestra N°	1	2	3
Identificación	Bloque de 15 cm		
Edad (días)	+28	+28	+28
Altura (cm)	20,30	20,30	20,10
Longitud (cm)	40,20	40,30	40,10
Ancho (cm)	15,10	15,00	15,00
Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> )	607,02	604,50	601,50
Masa (gr)	10730	11120	11660
Volumen (cm <sup>3</sup> )	12322,51	12271,35	12090,15
Densidad (gr /cm <sup>3</sup> )	0,87	0,91	0,96
Carga Máxima (KN)	136,0	167,2	176,4
Resistencia (MPa)	<b>2,24</b>	<b>2,77</b>	<b>2,93</b>
Tipo de Bloque	E	D	D

Nota: 1MPa = 10,2Kg/cm<sup>2</sup>

- Observaciones:
- Las muestras fueron recibidas en laboratorio el 10-03-2017 (edad +28 días).
  - El ensayo fue realizado el 17-03-2017
  - D** - Paredes divisorias exteriores, con revestimiento.
  - Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento.
  - E** - Losas alivianadas de hormigón armado.



Ing. Magaly Gaibor L.  
**ADMINISTRADOR TÉCNICO DE LABORATORIO**

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Campus Sur, Av. Rumichaca s/n y Morán Valverde · Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 Ext. 2354  
Teléfono directo: 3962 891 · Fax: 3962 897 · Correo electrónico: htorres@ups.edu.ec / ingciviluio@ups.edu.ec

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERIA CIVIL  
AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL. 3962 891, 3962 800 EXT 2317

**RESISTENCIA DE MATERIALES**

PROYECTO: Análisis de Trnsferencia de Calor en Bloques      NORMA: INEN 640 y 643  
SOLICITA: Ing. Juan Obando; Ing. Edison Pachacama      L.E.M -----  
FISCALIZA: -----      PLANTA: Latacunga  
LOCALIZACION: Quito      Pag.: 2/2  
FECHA INFORME: 2017-03-29

**ENSAYO DE COMPRESION EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGON**

Muestra N°	1	2	3
Identificación	Bloque de 10 cm		
Edad (días)	+28	+28	+28
Altura (cm )	19,90	18,30	18,80
Longitud (cm)	37,40	37,50	37,60
Ancho (cm)	8,50	8,40	8,50
Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> )	317,90	315,00	319,60
Masa (gr)	5120	5460	5290
Volumen (cm <sup>3</sup> )	6326,21	5764,50	6008,48
Densidad (gr /cm <sup>3</sup> )	0,81	0,95	0,88
Carga Máxima (KN)	50,2	46,5	52,1
Resistencia (MPa)	<b>1,58</b>	<b>1,48</b>	<b>1,63</b>
Tipo de Bloque	-----	-----	-----

Nota: 1MPa = 10,2Kg/cm<sup>2</sup>

Observaciones: - Las muestras fueron recibidas en laboratorio el 17-03-2017 (edad +28 días).  
- El ensayo fue realizado el 27-03-2017  
----- - No ingresa en ningun tipo de bloque de acuerdo a la norma

Ing. Magaly Galpor L.  
**ADMINISTRADOR TÉCNICO DE LABORATORIO**



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Campus Sur, Av. Rumichaca s/n y Morán Valverde · Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 Ext. 2354  
Teléfono directo: 3962 891 · Fax: 3962 897 · Correo electrónico: htorres@ups.edu.ec / inciviluio@ups.edu.ec



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERIA CIVIL  
AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL. 3962 891, 3962 800 EXT 2317

**RESISTENCIA DE MATERIALES**

PROYECTO: Análisis de Trnsferencia de Calor en Bloques      NORMA: INEN 640 y 643  
SOLICITA: Ing. Juan Obando; Ing. Edison Pachacama      L.E.M -----  
FISCALIZA: -----      PLANTA: La Piedra  
LOCALIZACION: Quito      Pag.: 1/2  
FECHA INFORME: 2017-03-29

**ENSAYO DE COMPRESION EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGON**

Muestra N°	1	2	3
Identificación	Bloque de 10 cm		
Edad (días)	+28	+28	+28
Altura (cm )	20,00	19,80	20,20
Longitud (cm)	40,20	40,30	40,10
Ancho (cm)	9,80	10,10	9,80
Área de la Muestra (cm <sup>2</sup> )	393,96	407,03	392,98
Masa (gr)	9920	9870	9610
Volumen (cm <sup>3</sup> )	7879,20	8059,19	7938,20
Densidad (gr /cm <sup>3</sup> )	1,26	1,22	1,21
Carga Máxima (KN)	92,3	61,9	104,7
Resistencia (MPa)	<b>2,34</b>	<b>1,52</b>	<b>2,66</b>
Tipo de Bloque	E	-----	D

Nota: 1MPa = 10,2Kg/cm<sup>2</sup>

- Observaciones:
- Las muestras fueron recibidas en laboratorio el 17-03-2017 (edad +28 días).
  - El ensayo fue realizado el 27-03-2017
  - Paredes divisorias exteriores, con revestimiento.
  - Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento.
  - Losas alivianadas de hormigón armado.
  - No ingresa en ningún tipo de bloque de acuerdo a la norma

**D**  
**E**  
-----



Ing. Magaly Galbor  
**ADMINISTRADOR TÉCNICO DE LABORATORIO**

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Campus Sur, Av. Rumichaca s/n y Morán Valverde · Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 Ext. 2354  
Teléfono directo: 3962 891 · Fax: 3962 897 · Correo electrónico: htorres@ups.edu.ec / ingciviluo@ups.edu.ec



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERÍA CIVIL  
AV. RUMICHACA Y MORÁN VALVERDE TRL. 3962001 - 3962000 QUITO

**HORMIGONES Y AGREGADOS**

**PROYECTO:** Medición de la Conductividad Térmica en bloques de mampostería en métodos alternativos  
**CLIENTE:** Ing. Juan Obando; Ing. Edison Pacheco  
**LOCALIZACIÓN:** Quito  
**FISCALIZADOR:** ----  
**FECHA INFORME:** 12/10/2017  
**MUESTRA:** Recibida en Laboratorio (25/10/2017)  
**FECHA ENSAYO:** 11/10/2017  
**FACTINIENTO:** El Chaparral - Cachaño  
**NORMA:** (NEN 389)  
Pág: 2/4  
ESPECIFICACIONES NEN 1-901-E-2002

**ENSAYO DE ABRASION**

Tamaño Máximo Nominal del Ag. N° de Esfera: 5 mm  
8,00

TIPO	MASA INICIAL g	MASA FINAL g	% ABRASION
C	5.000,00	900,00	84,00%
ESPESOR CADO	10,00%		

Tip: Hormigón



Ing. Mónica Cordero  
ADMINISTRADOR TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Campus Sur, Av. Rumichaca y Morán Valverde s/n, Teléfonos: 3962 800 / 3962 900 ext. 2317 - 2380. Teléfono directo: 3962 891, Correo electrónico: agabor@ups.edu.ec / ingciviluio@ups.edu.ec



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R"

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

**ORDEN DE EMPASTADO**

De acuerdo con lo estipulado en el artículo 83 de Reglamento del Sistema de Estudios de las Carreras de Formación Profesional y de Posgrados, aprobado por el Consejo Politécnico en sesión del 16 de agosto del 2011 y una vez verificado el cumplimiento del formato de presentación establecido, se autoriza la impresión y encuadernación final de la Tesis de grado presentada por el señor Ingeniero:

**JUAN NEPTALÍ OBANDO VELÁSQUEZ  
RAMÓN EDISON PACHACAMA MOROCHO**

Quito, D.M., 16 de mayo de 2018

**VÍCTOR HUGO GUÉRRERO, Ph.D.  
DECANO FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA**