

---

**Evaluación de la resistencia a compresión de bloques de concreto poroso con alvéolos  
horizontales**

**Shirley Yohanna Mayorga García**

**Merly Andrea Roperero Rangel**



**Universidad Pontificia Bolivariana**

**Facultad De Ingeniería Civil**

**Escuela De Ingenierías Y Administración**

**Bucaramanga**

**2019**

---

**Evaluación de la resistencia a compresión de bloques de concreto poroso con alvéolos  
horizontales**

**Shirley Yohanna Mayorga García**

**Merly Andrea Roperó Rangel**

**Trabajo de tesis para optar el título de Ingeniero Civil**

**Director:**

**Ludwing Pérez Bustos**

**Magíster en Ingeniería Civil**

**Universidad Pontificia Bolivariana**

**Facultad De Ingeniería Civil**

**Escuela De Ingenierías Y Administración**

**Bucaramanga**

**2019**

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BLOQUES DE  
CONCRETO POROSO CON ALVÉOLOS HORIZONTALES.**

**SHIRLEY YOHANNA MAYORGA GARCIA  
MERLY ANDREA ROPERO RANGEL**

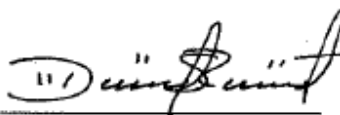
Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero(a) Civil

**Director del proyecto:**

**LUDWING PÉREZ BUSTOS**

**MSc. Ingeniero Civil**

VISTO BUENO DIRECTOR



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO  
BUCARAMANGA**

**2019**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bucaramanga, 13 noviembre de 2019

*A Dios por darme una segunda oportunidad de vida,  
A mi hija, por ser el ángel más hermoso que he visto sobre la faz de la tierra,  
A ella que es muestra de felicidad plena,  
A mis padres Pedro Jesús y Griselda, por su amor incondicional,  
Por su entrega, sus sacrificios, fortaleza, honestidad y sencillez,  
Por amarme tal y como soy, con defectos y virtudes,  
Por creer siempre en mí, a pesar de mis errores,  
Por brindarme los mejores valores para llegar a ser alguien en la vida.  
A mi hermano y mis cinco hermanas,  
Por su ejemplo de verriquera y persistencia,  
Por estar ahí en los buenos y malos momentos de mi vida,  
A mis sobrinos y sobrinas,  
Por su alegría, llena de ternura e inocencia,  
A Alex, por su amor y compañía en la prueba más dura de nuestra vida,  
Gracias...*

**Shirley Johana Mayorga García**

*A mi padre que desde el cielo guía mi camino,  
siempre te recuerdo como ese hombre ejemplar y honorable,  
quien me enseñó a ser fuerte y a no rendirme ante las dificultades,  
siempre serás mi ejemplo a seguir, gracias por tanto amor,  
esfuerzo y dedicación, lo que soy de lo debo a ti,  
vivirás por siempre en mi mente y corazón...  
Te amaré por siempre.*

*A mi madre Gloria Estela  
por ser la persona más importante en mi vida,  
por motivarme a seguir siempre adelante, por su sacrificio,  
por su apoyo incondicional, por su entrega y por brindarme todo su amor.*

*A mis hermanos Juan Carlos y Jairo,  
por ser mi compañía, por consentirme tanto  
y por ser parte importante de una hermosa familia unida.*

*A mis sobrinos,  
Jairo Alexander, Juan Esteban, Juan Nicolás, Sebastián y Sarah,  
por tanto amor y por llenar de alegría cada día de mi vida.*

*Infinitas Gracias.*

***Merly Andrea Roperó Rangel***

## Agradecimientos

Le agradecemos primero a Dios por estar siempre presente en nuestras vidas, acompañándonos y guiándonos a lo largo de nuestra carrera, por darnos la fortaleza necesaria en los momentos de debilidad, por brindarnos una vida llena de experiencias, aprendizajes y sabiduría para culminar exitosamente este proyecto.

Queremos agradecerle de manera especial a nuestro director de proyecto el Ingeniero Ludwing Pérez Bustos, por su calidad profesional brindándonos conocimiento y sabiduría para culminar nuestro proyecto y especialmente por su calidad humana, apoyo incondicional, confianza, amistad, ánimo, paciencia y sobre todo sus picardías que alegraron nuestros días.

Al personal del laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana por su acompañamiento y colaboración en el proceso experimental del proyecto.

Finalmente, a los docentes de la escuela de ingeniería civil por su gran labor como guías en nuestra formación integral, compartiendo sus conocimientos y experiencias.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	20
1. Delimitación del problema.....	21
2. Justificación .....	22
3. Objetivos.....	23
3.1 Objetivo general .....	23
3.2 Objetivos específicos.....	23
4. Antecedentes .....	24
5. Marco teórico .....	27
5.1 Concreto .....	27
5.1.1 Propiedades del concreto .....	27
5.1.2 Materiales usados en el concreto tradicional .....	29
5.1.3 Estados del concreto .....	30
5.1.4 Factores que influyen en la resistencia mecánica del concreto .....	33
5.2 Concreto poroso .....	35
5.2.1 Materiales usados en el concreto poroso .....	36
5.2.2 Propiedades del concreto poroso .....	37
5.2.3 Ventajas del concreto poroso.....	39
5.2.4 Aplicaciones del concreto poroso. El concreto poroso tiene un gran número de utilidades en el campo de la construcción como lo son:.....	41

---

5.3	Diseño de la mezcla de concreto poroso .....	43
5.3.1	Principales variables que afectan el comportamiento del concreto poroso según la ACI 522R-10 .....	43
5.3.2	Parámetros norma ACI 522R-10 para el diseño de mezcla del concreto poroso .....	45
5.4	Resistencia a la compresión del concreto.....	47
5.4.1	Definición .....	47
5.4.2	¿Por qué se determina la resistencia a la compresión?.....	48
5.4.3	Prueba de la resistencia a la compresión del Concreto.....	49
5.5	Conductividad térmica .....	50
5.6	Estadística Descriptiva .....	50
5.6.1	Componentes de la Estadística Descriptiva.....	51
5.6.2	Minitab.....	55
6.	Alcance .....	62
7.	Metodología .....	63
7.1	Fase I: Caracterización de materiales y diseño de la mezcla de concreto poroso. ....	63
7.1.1	Caracterización de los materiales .....	63
7.1.2	Diseño de la mezcla de concreto poroso .....	77
7.2	Fase II: Elaboración de cilindros y bloques de concreto poroso. ....	86
7.2.1	Formaletas bloques y cilindros .....	86
7.2.2	Cantidad de materiales.....	88
7.2.3	Preparación de la Mezcla de Concreto Poroso .....	89
7.2.4	Fundida de la Mezcla de Concreto Poroso .....	90
7.2.5	Desencofrado .....	92

---

7.2.6 Tiempo de Curado .....	93
7.3 Fase III: Ensayos a compresión, permeabilidad y conductividad térmica .....	95
7.3.1 Ensayos a compresión de cilindros y bloques de concreto poroso, bloques de mortero y ladrillos de mampostería convencional. ....	95
7.3.2 Ensayo de Permeabilidad a Cilindros de Concreto Poroso .....	100
7.3.3 Ensayo Térmico a los Bloques de Concreto Poroso.....	103
7.4 Fase IV: Análisis de resultados .....	103
7.4.1 Análisis de la resistencia a la compresión de los bloques de concreto poroso .....	103
7.4.2 Análisis de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto poroso .....	114
7.4.3 Comparación de resistencia a la compresión de los bloques de concreto poroso, bloques de mortero y ladrillos de arcilla .....	123
7.4.4 Análisis térmico de los bloques de concreto poroso.....	124
7.4.5 Análisis térmico de los ladrillos cocidos de arcilla .....	135
8. Conclusiones.....	143
9. Recomendaciones .....	146
Referencias bibliográficas.....	147
Apéndices.....	151

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Propiedades típicas del concreto permeable</i> .....	39
Tabla 2. <i>Relación b/bo</i> .....	46
Tabla 3. <i>Valores del ensayo de Tiempo de Fraguado</i> .....	68
Tabla 4. <i>Propiedades de los materiales</i> .....	77
Tabla 5. <i>Cálculos de la Resistencia a Compresión de los Cilindros, Excel</i> .....	96
Tabla 6. <i>Cálculos de la Resistencia a Compresión de los Bloques</i> .....	97
Tabla 7. <i>Cálculos de la Resistencia a Compresión de los Bloques de Mortero</i> .....	99
Tabla 8. <i>Cálculos de la Resistencia a Compresión de los Ladrillos Cocidos de Arcilla</i> .....	100
Tabla 9. <i>Cálculos del ensayo de permeabilidad a los Bloques</i> .....	101
Tabla 10. <i>Análisis de Estadística Descriptiva para los Bloques de Concreto Poroso</i> .....	105
Tabla 11. <i>Análisis de Estadística Descriptiva para los Cilindros de Concreto Poroso</i> .....	115
Tabla 12. <i>Propiedades Físicas de las unidades de mampostería no Estructural</i> .....	123
Tabla 13. <i>Temperaturas para los Bloques de Concreto Poroso</i> .....	126
Tabla 14. <i>Temperaturas para los Bloques de Concreto Poroso</i> .....	128
Tabla 15. <i>Temperaturas para los Bloques de Concreto Poroso</i> .....	130
Tabla 16. <i>Temperaturas para los Bloques de Concreto Poroso</i> .....	132
Tabla 17. <i>Temperaturas para los Bloques de Concreto Poroso, Cara Frontal</i> .....	134
Tabla 18. <i>Temperaturas para los Ladrillo Cocido de Arcilla</i> .....	137
Tabla 19. <i>Temperaturas para los Ladrillo Cocido de Arcilla</i> .....	138

Tabla 20. *Temperaturas para los Ladrillo Cocido de Arcilla.* ..... 140

Tabla 21. *Temperaturas para los Ladrillos Cocidos de Arcilla, Cara Frontal.*..... 142

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Relación entre el Volumen de la Pasta y el Porcentaje de Vacíos.....	47
<i>Figura 2.</i> Ensayo de Laboratorio, Densidad del Cemento Hidráulico. ....	64
<i>Figura 3.</i> Ensayo de Laboratorio, Consistencia de la Pasta de Cemento. ....	66
<i>Figura 4.</i> Ensayo de Laboratorio, Tiempo de Fraguado.....	67
<i>Figura 5.</i> Gráfica del Tiempo de Fraguado. ....	69
<i>Figura 6.</i> Gráfica de la Interpolación del Tiempo de Fraguado. ....	69
<i>Figura 7.</i> Ensayo de Laboratorio, Densidad Relativa y Absorción de los Agregados Gruesos. ..	73
<i>Figura 8.</i> Ensayo de Laboratorio, Densidad Bulk. ....	77
<i>Figura 9.</i> Relación entre contenido de vacíos y el contenido de la pasta. ....	80
<i>Figura 10.</i> Relación entre la percolación y el contenido de vacíos. ....	83
<i>Figura 11.</i> Gráfica de Interpolación para la Percolación.....	84
<i>Figura 12.</i> Relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos. ....	85
<i>Figura 13.</i> Gráfica de Interpolación para la Resistencia a Compresión de los BCP. ....	86
<i>Figura 14.</i> Formaletas para los Bloques. ....	87
<i>Figura 15.</i> Formaletas para los Cilindros. ....	88
<i>Figura 16.</i> Preparación de la mezcla de concreto.....	90
<i>Figura 17.</i> Fundida de los BCP. ....	92
<i>Figura 18.</i> Desencofrado de los BCP. ....	93
<i>Figura 19.</i> Desencofrado de los BCP. ....	94

<i>Figura 20.</i> Ensayo de Laboratorio para la Resistencia a la Compresión de los Cilindros. ....	96
<i>Figura 21.</i> Ensayo de Laboratorio para la Resistencia a la Compresión de los BCP.....	98
<i>Figura 22.</i> Ensayo de Laboratorio de la Resistencia a la Compresión de los Ladrillos Cocidos de Arcilla. ....	100
<i>Figura 23.</i> Tasa de infiltración .....	102
<i>Figura 24.</i> Gráfica de la Tasa de Infiltración. ....	102
<i>Figura 25.</i> Gráfica de Diagrama de Cajas Resistencia a la Compresión de BCP por fundidas. ....	104
<i>Figura 26.</i> Gráfica de Prueba de Valores Atípicos para los BCP.....	108
<i>Figura 27.</i> Gráfica de Prueba de Normalidad para los BCP.....	109
<i>Figura 28.</i> Gráfica I-MR para los BCP. ....	111
<i>Figura 29.</i> Gráfico Resumen de la Resistencia a la Compresión para los BCP. ....	112
<i>Figura 30.</i> Gráfico Diagrama de Cajas para los Cilindros. ....	114
<i>Figura 31.</i> Gráfica de Prueba de Valores Atípicos para los cilindros. ....	118
<i>Figura 32.</i> Gráfica de Prueba de Normalidad para los Cilindros. ....	119
<i>Figura 33.</i> Gráfica IM-R para los Cilindros. ....	120
<i>Figura 34.</i> Gráfica Resumen de las Resistencias a Compresión para los Cilindros.....	121
<i>Figura 35.</i> Gráfica de Resistencia a la Compresión de BCP, Bloques de Mortero y Ladrillos de Arcilla. ....	123
<i>Figura 36.</i> Gráfica de la Cara Superior de los Alvéolos en el BCP. ....	125
<i>Figura 37.</i> Gráfica 3D de las Temperaturas de la Cara Superior del BCP.....	125
<i>Figura 38.</i> Gráfica de Temperatura del Alvéolo Central de la Cara Superior del BCP. ....	127
<i>Figura 39.</i> Gráfica de Temperatura del Alvéolo Derecho de la Cara Superior del BCP. ....	129
<i>Figura 40.</i> Gráfica de Temperatura del Alvéolo Izquierdo de la Cara Superior del BCP.....	131

---

<i>Figura 41.</i> Gráfica de Temperaturas Promedio del Alvéolo Central del BCP. ....	133
<i>Figura 42.</i> Gráfica de la Cara Frontal del BCP. ....	134
<i>Figura 43.</i> Gráfica de las Temperaturas de la Cara Superior del Ladrillo Cocido de Arcilla. ....	135
<i>Figura 44.</i> Gráfica 3D de las temperaturas del ladrillo cocido de arcilla. ....	136
<i>Figura 45.</i> Gráfica Temperatura del Alvéolo Central de la Cara Superior del Ladrillo. ....	137
<i>Figura 46.</i> Gráfica Temperatura del Alvéolo Derecho de la Cara Superior del Ladrillo. ....	139
<i>Figura 47.</i> Gráfica Temperatura del Alvéolo Izquierdo de la Cara Superior del Ladrillo. ....	140
<i>Figura 48.</i> Gráfica de la cara Frontal del Ladrillo. ....	141

## Lista de apéndices

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Ficha técnica del cemento.....	151
Apéndice B. Tabla laboratorio densidad del cemento hidráulico .....	152
Apéndice C. Tabla laboratorio consistencia del cemento .....	153
Apéndice D. Tabla laboratorio densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso ..	154
Apéndice E. tabla laboratorio densidad Bulk .....	155
Apéndice F. Tabla diseño de mezcla .....	156
Apéndice G. Tabla de cantidades y fundidas de los materiales para los bloques y cilindros de concreto poroso.....	157
Apéndice H. Cronograma para ensayos a compresión de bloques y cilindros de concreto poroso .....	158
Apéndice I. Cronograma control para las cuatro fundidas de bloques y cilindros de concreto poroso.....	159
Apéndice J. Tablas de las resistencias a la compresión de los cilindros de concreto poroso .....	160
Apéndice K. Tablas de las resistencias a la compresión de los bloques de concreto poroso .....	161
Apéndice L. Estadística descriptiva para los cilindros de concreto poroso por fundidas.....	162
Apéndice M. Gráfica de la resistencia a la compresión por fundidas para los bloques de concreto poroso.....	166
Apéndice N. Gráfica de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto poroso.....	168

---

Apéndice O. Grafica de comparación de las resistencias entre los ladrillos de arcilla cocida y los bloques de concreto poroso.....	169
Apéndice P. Registro de SmartView, ensayo térmico para los bloques de concreto poroso.....	170
Apéndice Q. Regla de tres para obtener porcentaje de reducción en las temperaturas de los alveolos en la cara frontal del bloque de concreto poroso .....	174
Apéndice R. Registro de SmartView, ensayo térmico para los ladrillos cocidos de arcilla. ....	175

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** Evaluación de la resistencia a compresión de bloques de concreto poroso con alvéolos horizontales

**AUTOR(ES):** Shirley Yohanna Mayorga García  
Merly Andrea Roper Rangel

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Ludwing Pérez Bustos

### RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se estudió el comportamiento del concreto poroso con alvéolos horizontales en bloques con dimensiones estándar de 20\*40\*12 cm, como una alternativa en el sistema constructivo de mampostería en la actualidad. Se diseñó la mezcla de trabajo conforme a la metodología descrita en la norma ACI 522R-10 y se fabricaron bloques de concreto permeable con seis alvéolos horizontales distribuidos uniformemente, ubicados en su interior de forma longitudinal. La metodología empleada en este trabajo de investigación consta de cuatro fases: primera fase: caracterización de materiales y diseño de la mezcla de concreto poroso, segunda fase: elaboración de cilindros y bloques de concreto poroso, tercera fase: ensayos a compresión de bloques de concreto poroso, bloques de mortero y ladrillos de mampostería convencional, cuarta fase: análisis de resultados y conclusiones. Pasados 28 días de curado, se obtuvo una resistencia a la compresión para los ladrillos de arcilla cocida de 2,08 MPa, para los bloques de concreto poroso de 4,99 MPa y para los bloques de mortero de 1,95 MPa, al comparar la resistencia entre los ladrillos de arcilla cocida con respecto a los bloques de concreto poroso se presentó un incremento de 139,90%, así mismo al comparar las resistencias de los bloques de mortero con respecto a los bloques de concreto poroso hubo un incremento de 155,89%, permitiendo comprobar que los bloques de concreto poroso presentan una mayor resistencia que los ladrillos convencionales y los bloques de mortero, concluyendo que los bloques de concreto poroso cumplen con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana 4205. Adicionalmente, en el ensayo de permeabilidad se logró una tasa de infiltración de 1,2 l/min para los cilindros de 10\*20 cm, y en el ensayo térmico se concluyó que los bloques son buenos aislantes térmicos debido a los alvéolos en su interior.

### PALABRAS CLAVE:

Bloques, concreto poroso, alvéolos, compresión.



Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

10/12/2019

www.upbbga.edu.co/biblioteca/formatoi.php

**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** Note of the compressive strength of porous concrete blocks with horizontal alveoli

**AUTHOR(S):** Shirley Yohanna Mayorga García  
Merly Andrea Roperó Rangel

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

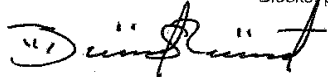
**DIRECTOR:** Ludwing Pérez Bustos

**ABSTRACT**

In the present research work the behavior of porous concrete with horizontal alveoli in blocks with standard dimensions of 20 \* 40 \* 12 cm was studied, as an alternative in the construction system of masonry today. The working mixture was designed according to the methodology described in the ACI 522R-10 standard and permeable concrete blocks were manufactured with six uniformly distributed horizontal alveoli, located longitudinally inside. The methodology used in this research work consists of four phases: first phase: characterization of materials and design of the mixture of porous concrete, second phase: preparation of cylinders and blocks of porous concrete, third phase: compression tests of concrete blocks porous, mortar blocks and conventional masonry bricks, fourth phase: analysis of results and conclusions. After 28 days of curing, a compressive strength was obtained for baked clay bricks of 2.08 MPa, for porous concrete blocks of 4.99 MPa and for mortar blocks of 1.95 MPa, when comparing The resistance between the bricks of cooked clay with respect to the porous concrete blocks showed an increase of 139,90%, also when comparing the resistance of the mortar blocks with respect to the porous concrete blocks there was an increase of 155,89%, allowing to verify that the porous concrete blocks have a greater resistance than conventional bricks and mortar blocks, concluding that the porous concrete blocks comply with the parameters established in the Colombian Technical Standard 4205. Additionally, in the test of permeability an infiltration rate of 1.2 l / min was achieved for 10 \* 20 cm cylinders, and in the thermal test it was concluded that the blocks are good thermal insulators due to the l alve them inside.

**KEYWORDS:**

Blocks, porous concrete, alveoli, compression.



V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## Introducción

El concreto poroso o también llamado “concreto permeable” es una mezcla de agua, cemento y agregado grueso, con poco o nada de agregado fino, que presenta una mayor cantidad de pasta de cemento, cuya finalidad es cubrir totalmente las partículas de agregado grueso. Se caracteriza por presentar un porcentaje de vacíos en su estructura, lo cual muestra una diferencia con respecto al concreto convencional, permitiendo el paso del agua a través de estos. Este tipo de concreto depende de un diseño de mezcla empleado en la norma ACI522R-10 que establece los siguientes parámetros: una relación agua cemento, un porcentaje de vacíos, una cantidad de agregado grueso y el volumen de la pasta de cemento.

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar la resistencia a compresión de cilindros de concreto poroso y bloques con presencia de alvéolos horizontales distribuidos de manera longitudinal.

Esta investigación está estructurada de la siguiente manera: los primeros capítulos se fundamentan principalmente en el planteamiento del problema y una breve justificación. En los siguientes capítulos se hace una detallada investigación a las características, propiedades y aplicaciones del concreto poroso. Para el diseño de la mezcla se tomó como referencia la norma ACI 522R-10 y se describieron los ensayos realizados en el laboratorio. Finalmente se realizó un análisis de los resultados obtenidos, para dar paso a las conclusiones de la investigación.

## 1. Delimitación del problema

La principal aplicación que tiene el concreto poroso o también llamado “concreto permeable”, es en pavimentos ya que permite mejorar los drenajes producto de las lluvias. Se busca abrir una línea de investigación que estudie el comportamiento de bloques de concreto poroso con la presencia de alvéolos horizontales en su interior como elemento de sistema constructivo de mampostería, por lo tanto, se evaluaron las resistencias a compresión en los bloques, para poder determinar si son apropiados a la hora de suministrar un servicio como lo son: muros de vivienda.

El clima se clasifica como un factor externo que interviene considerablemente en las edificaciones. Este perjudica a la refrigeración del interior de los edificios o casas afectando el nivel de confort de sus habitantes. El deterioro de los muros de viviendas es producido por la humedad de la zona y el calor que se encierra en estas.

Los bloques en concreto poroso además de permitir la circulación de aire en las viviendas y reducir su peso, se consideran unidades de construcción más livianas, lo que permite fácil transporte y colocación de dichos elementos en obra.

Con base en lo anterior, se busca hacer una comparación entre la resistencia a compresión de los bloques de concreto poroso y los ladrillos convencionales de construcción.

## 2. Justificación

El concreto poroso es un material elaborado de manera semejante al concreto convencional, pero haciendo mayor uso de cemento y con poco o sin agregados finos, lo cual le da su principal característica que es la presencia de vacíos en la estructura.

Ante la problemática mencionada nace una alternativa, el estudio de bloques de concreto poroso con alvéolos circulares horizontales. El cual pretende evaluar la resistencia a compresión en bloques de concreto poroso, para poder determinar si son apropiados en muros de vivienda. La elaboración del concreto permeable se puede fabricar sin maquinaria pesada haciéndolo de bajo costo en zonas urbanas o rurales.

El presente trabajo de grado busca iniciar una línea de investigación que estudie el comportamiento de bloques de concreto poroso con la presencia de alvéolos circulares en su interior, sometiéndolos a cargas de compresión, analizando su permeabilidad y porcentaje de vacíos. En este trabajo los bloques de Concreto poroso se denotarán con la abreviatura BCP.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar la resistencia a compresión de bloques de concreto poroso con alvéolos horizontales.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar los materiales que componen la mezcla de concreto poroso.
- Elaborar los especímenes para realizar los ensayos a compresión.
- Determinar la resistencia a la compresión de bloques de concreto poroso de dimensiones 20\*40\*12 cm con alvéolos horizontales.

#### 4. Antecedentes

Conociendo que el concreto es un material primordial para lograr el progreso de las obras de ingeniería civil, ingenieros, arquitectos y demás profesionales que forman parte del sector constructivo, diseñan y realizan obras para el desarrollo de las ciudades y su infraestructura. El concreto está compuesto de diversos materiales dosificados según las normas técnicas colombianas de construcción, que se combinan conformando elementos monolíticos que ocasionan durabilidad y resistencia en las estructuras. Se evalúan las propiedades químicas y físicas del concreto para ser comparado acorde a los indicadores de control de calidad dependiendo de cada situación.

Para definir la capacidad de resistencia a la deformación del concreto, se requiere analizar sus propiedades mecánicas, como lo es la resistencia a la compresión. La resistencia a compresión en el concreto se analiza como la condición de carga en donde el concreto muestra la mayor capacidad para soportar esfuerzos. Varios de las investigaciones que se han venido desarrollando acerca del concreto poroso son:

Estudios experimentales relacionados con el concreto tiene como finalidad desarrollar cavidades interiores con permeabilidad y resistencia apropiada empleando agregados reciclados. Se elaboraron hormigones porosos empleando agregados reciclados y agregados normales, ejecutando las pruebas siguientes al concreto poroso: relación de vacíos, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, coeficiente de permeabilidad al agua. Los resultados obtenidos señalan que la relación de vacíos en el concreto poroso que se desarrolló con agregados reciclados fue superior a los que cuentan con agregado normal. En el concreto poroso que maneja agregados reciclados, la resistencia a la compresión presenta una disminución con respecto al concreto poroso que maneja agregado normal. Los resultados obtenidos de coeficiente de permeabilidad en cuanto

---

al agua para los concretos porosos, indican que son aptos para ser empleados como pavimentos de drenaje. (Muhammad Aamer Rafique Bhutta, y otros, 2013)

Demás investigaciones vinculadas con el tema adaptaron como objetivo, definir las características del concreto poroso con elevado rendimiento, posee con una mezcla de concreto que abarca tres tamaños de agregados gruesos, con una dosificación adecuada de reductores de agua y cohesivos. Los ensayos realizados a este concreto son: coeficiente de permeabilidad, flujo de asentamiento, relación de vacíos, asentamiento, resistencia a compresión y a flexión. Partiendo del estudio se logra confirmar que la adición de cohesivos, contribuye a que el concreto presente una trabajabilidad deseable y resistencia a compresión y a flexión, y a su vez mostraría una reducción de la proporción de vacíos y permeabilidad. También, se planteó un ensayo que determine los impactos de los cohesivos en el concreto (prueba de auto compactación), que indicó una adecuada trabajabilidad y cohesión sin compactación. (Aamer Rafique Bhutta, Tsuruta, & Mirza, 2012)

Se desarrolló un modelo matemático para definir el vínculo existente entre la porosidad y la resistencia a compresión para el hormigón poroso a través del estudio de los resultados empíricos, partiendo de las ecuaciones ya existentes, se ejecuta el modelo original, que proviene de la teoría de Griffith. Se comprobó que el modelo original expone una mejora de la ecuación exponencial simple, puesto que proporciona una mayor relación la resistencia a compresión y la porosidad del concreto poroso. Además, cabe enfatizar que el modelo original que se presentó lograría predecir de una manera más eficaz la resistencia a compresión del concreto poroso sustentado en la porosidad del material. (Lian, Zhuge, & Beecham, 2011)

Empleado las funciones de probabilidad de orden inferior, se ejecutó un estudio reconstruyendo muestras de concreto poroso con diferentes distribuciones de vacíos. Conservando que las

distribuciones de vacíos en el hormigón poroso reconstruido y original, deben presentar casi las mismas características estadísticas. La asignación espacial de vacíos se crea mediante una tomografía computarizada, para lograr visualizarlos en imágenes en 3D. El procedimiento de reconstrucción que se manejó puede ser una magnífica alternativa para crear hormigón poroso que se puede llevar a cabo para ensayos numéricos con el propósito de reducir costos y tiempo. (Sang-Yeop, Tong-Seok, Se-Yun, & Tae-Hyung, 2014)

Se desempeñó un estudio de manera numérica y experimental que se basó en suministrar un tratamiento superficie en la implementación de asfaltos porosos, se extiende un material de tratamiento de superficie a las áreas porosas de pavimento asfáltico. Se hace indagación con tomografías computarizadas en el concreto de asfalto poroso en las pruebas de campo para lograr deducir sus propiedades volumétricas. Además, se consiguió calcular el desgaste de las pruebas de hormigón de asfalto poroso a través las pruebas de abrasión, cuyos productos muestran una menor confusión de las muestras en confrontación al hormigón de referencia, esto hace que se optimice la resistencia al desgaste en el hormigón. También este tratamiento de superficie presenta un mejoramiento en la resistencia al daño por fatiga, con lo que se puede deducir que este tratamiento consigue un resultado positivo. (Zhang, Van de Ven, Molenaar, & Wu, 2016)

## 5. Marco teórico

Uno de los materiales más importantes utilizado en el mundo de la construcción es el concreto, el cual en la actualidad está presente en la mayoría de las obras de Ingeniería Civil en el mundo, como lo son: puentes, edificios, vías, presas, viaductos y viviendas etc.

### 5.1 Concreto

El concreto es un elemento constituido por agregado grueso, agregado fino, cemento y agua. La unión del cemento y el agua forma una pasta homogénea que permite la adherencia entre los diferentes agregados que conforman el concreto, creando una mezcla uniforme, en estado plástico, que presenta manejabilidad. Posteriormente fragua y entra en estado endurecido, adquiriendo diferentes propiedades como resistencia, impermeabilidad y durabilidad.

#### ✓ Definición de concreto:

*“El concreto es un conjunto de arena, grava, roca triturada, u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua. Se agregan uno o más aditivos para cambiar ciertas características del concreto, como la ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado.”* (McCormac & Brown, 2011)

#### 5.1.1 Propiedades del concreto

Las propiedades que tiene el concreto están sujetas al control de sus componentes y pueden ser variables. Las principales propiedades del concreto son: Resistencia, impermeabilidad,

durabilidad y trabajabilidad.

#### ***5.1.1.1 Resistencia***

Comúnmente se determina por la resistencia final de una probeta de concreto en compresión. El concreto por lo general aumenta su resistencia en un largo período, midiendo la compresión a los 28 días de curado.

#### ***5.1.1.2 Impermeabilidad***

Es la facultad que posee el concreto para evitar el paso de agua u otros fluidos.

#### ***5.1.1.3 Durabilidad***

Es la capacidad de resistencia que tiene el concreto ante situaciones de intemperie, agentes químicos, u otros procesos que produce el deterioro del concreto y amenaza las condiciones del servicio para las que fueron diseñadas las estructuras.

#### ***5.1.1.4 Trabajabilidad***

Es la habilidad que presenta el concreto para mezclar los materiales que lo componen, permitiendo ser manejada y colocada en obra sin perder homogeneidad. Los factores que influyen en la trabajabilidad son: la técnica y duración del transporte, consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams).

## **5.1.2 Materiales usados en el concreto tradicional**

### **5.1.2.1 Agregados**

Son materiales de forma granular, pueden ser naturales o artificiales, que en presencia de agua y cemento forman un elemento compacto y homogéneo, conocido como mortero o concreto. Se consideran como agregados de mezcla de concreto aquellos materiales que garantizan una adherencia suficientemente buena con la pasta. (Rivva López , 2007)

#### **5.1.2.1.1 Agregado Grueso**

Es material grueso, ese que se retiene en el Tamiz de 4.75 mm (N° 4). Este agregado consta de gravas trituradas o naturales, rocas fragmentadas entre otros.

#### **5.1.2.1.2 Agregado Fino**

Es agregado fino es el resultado de la descomposición de rocas, que atraviesa el tamiz 3/8” (9.52 mm). El agregado fino consta de arenas normalmente, sus partículas tienen que estar sólidas, duras y limpias. (Quispe Sánchez , 2018)

### **5.1.2.2 Agua**

El agua empleada para la elaboración del concreto debe estar limpia y libre de aceites y materias orgánicas. La unión entre el cemento y el agua forma la mezcla, la cual puede ser aguada dependiendo la cantidad de agua que se le adicione, lo cual mejora la trabajabilidad de la mezcla. (Harmsen , 2005)

### *5.1.2.3 Cemento*

Se elabora de la pulverización del Clinker, que posee características adhesivas y cohesivas que permiten la unión entre los agregados para poder formar el concreto. Existen diez tipos de cemento Portland, según la ASTM C150.

### *5.1.2.4 Aditivos*

Realizan la función de acelerantes o retardantes, reductores de agua, además se utiliza para modificar las características, haciéndolo más apropiado para su trabajo. Hay aditivos químicos y minerales. (Sánchez de Guzmán, 2001)

## **5.1.3 Estados del concreto**

### *5.1.3.1 Estado fresco del concreto*

Inicialmente el concreto parece una pasta, es blando y puede ser trabajado en diferentes formas, en este estado se hace la colocación y compactación del mismo.

#### *5.1.3.1.1 Propiedades del concreto fresco*

- **Docilidad**

Comodidad a la hora de revolver, ubicar, trasladar y compactar el concreto en obra. Depende de la consistencia, que es la sencillez con que se deforma el concreto.

- **Consistencia**

Resistencia que presenta que presenta el concreto a deformarse, cambia dependiendo del tamaño, el aspecto, la dosificación, el agua, que se mide a partir del asentamiento que muestra el concreto al desarrollar el ensayo del cono de Abrams, dependiendo del resultado se pueden clasificar en concreto fluido o líquido, blando, plástico, seco.

- **Compactabilidad**

Es la capacidad que tiene el concreto para colmar los huecos y volverse sólido, y de esta manera conseguir que el concreto sea homogéneo.

- **Segregación**

Tan pronto se ha mezclado el concreto, se entiende por segregación a la separación de sus componentes, incentivando a que la mezcla presente una distribución no homogénea.

- **Exudación**

También conocida como la capa de agua que enseña la superficie del concreto recién colocado.

(Cassinello Pérez, 1996)

### ***5.1.3.2 Estado fraguado***

Cuando entran en contacto el agua y el cemento se da inicio a una reacción química que determina el endurecimiento de la mezcla. La mezcla presenta dos etapas dentro de su proceso de fraguado que son: el fraguado inicial que corresponde a la pérdida de plasticidad del

concreto, y la segunda etapa que es el fraguado final que corresponde al endurecimiento progresivo de la mezcla.

### ***5.1.3.3 Estado endurecido***

Es el estado en donde el concreto cambia de estado plástico a estado rígido, después de un proceso de hidratación, que le permite adquirir resistencia.

#### ***5.1.3.3.1 Propiedades del concreto endurecido***

- **Resistencia**

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos a compresión y a tracción, debido a la adherencia de la pasta de cemento. Dependiendo de la pasta de cemento determinada por una relación agua cemento en el diseño de mezcla. El ensayo de resistencia es muy común para aplicarlo al concreto, ya que conforma un indicador de su calidad. En conclusión, la resistencia final del concreto que llega a su totalidad a los 28 días de curado, es responsabilidad de la relación agua cemento, el procedimiento de hidratación del cemento, de curado, de las circunstancias ambientales y de la edad del concreto.

- **Elasticidad**

Es la capacidad que tiene el concreto a deformarse (transformación de aspecto y figura de un cuerpo) sujeto a una carga externa, produciendo una alteración reversible. Los materiales que son elásticos alcanzan hasta cierto límite de alteración máxima, que se conoce como límite elástico. Si se traspasa este límite, se convierte en una alteración permanente del material y esto implica que

se alteren sus propiedades. Si el esfuerzo que incide sobre el material, le gana a las fuerzas de cohesión internas, provoca la fisura del material y que este termine fallando.

- **Durabilidad**

Determina el comportamiento del concreto para dificultar a la labor agresiva del medio ambiente u otros índices como el deterioro, fortaleciendo su integridad y la del refuerzo durante la etapa de construcción y en la vida útil de servicio de la estructura.

La resistencia y la durabilidad son perjudicadas por la densidad del concreto. El concreto más compacto es mucho más impermeable al agua, la durabilidad del concreto va incrementando con la resistencia y esta en aspecto endurecido se determina por la resistencia a la compresión.

- **Resistencia a la compresión**

Se obtiene empleando pruebas de falla a los cilindros de concreto, con una determinada velocidad de carga. Se sitúan sumergidos en agua por 28 días. Los resultados obtenidos de la resistencia a compresión siempre dependerán, de la forma y el tamaño de los especímenes y del modo en que estos son cargados. Esta característica se puede determinar con el ensayo propuesto en la NTC 673.

## **5.1.4 Factores que influyen en la resistencia mecánica del concreto**

### ***5.1.4.1 Contenido de cemento***

El material que mayor influencia tiene en la mezcla de concreto es el cemento, debido a sus características y proporción, permite determinar a cualquier edad la resistencia del concreto. Teniendo mayor cantidad de cemento, se obtiene mayor resistencia.

#### **5.1.4.2 Relación agua cemento y contenido de aire**

En el año de 1918 Duff Abrams expuso la famosa “Ley de Abrams”, que indica que, para las condiciones de ensayos y materiales iguales, la resistencia del concreto completamente compactado, a cierta edad, es inversamente proporcional a la relación agua-cemento. El factor más significativo de la resistencia del concreto:

$$\text{Relación agua – cemento} = \frac{A}{C}$$

Donde:  $A$ : Contenido de agua en la mezcla en kg (Ec. 1)

$C$ : Contenido de cemento en la mezcla en kg

De acuerdo con el enunciado anterior, hay dos maneras de que la relación agua-cemento incremente y que la resistencia del concreto se reduzca: incrementado la cantidad de agua de la mezcla o bajando la cantidad de cemento.

#### **5.1.4.3 Tamaño máximo del agregado**

Para los concretos de mayor resistencia, cuanto mayor es la resistencia requerida, menor será el tamaño del agregado para que aumente la eficacia del cemento.

#### **5.1.4.4 Fraguado del concreto**

La velocidad de endurecimiento que muestra la mezcla de concreto al cambiar del estado plástico al estado endurecido, es un factor que perjudica la resistencia del concreto y se denomina tiempo de fraguado.

#### ***5.1.4.5 Edad del concreto***

La resistencia del concreto se toma a la edad de 28 días, ya que es el tiempo en el que se determina la mayor resistencia del concreto.

#### ***5.1.4.6 Curado del concreto***

Es el procedimiento en el cual se tiene control de la pérdida de agua de la masa de concreto por producto de la temperatura, sol, viento, humedad relativa, para asegurar la total hidratación del cemento y así lograr la resistencia del concreto final. La finalidad del curado es preservar lo más saturado posible el concreto para posibilitar la completa hidratación del cemento; pues si está no es total la resistencia final del concretos se verá afectada.

## **5.2 Concreto poroso**

El concreto poroso es una combinación de agua, cemento, agregado grueso de un único tamaño que al combinarlos se produce un elemento estructural poroso cuya característica primordial es su alta permeabilidad por su volumen de vacíos.

Los concretos porosos transfieren las cargas de manera heterogénea a diferencia de los concretos convencionales que lo realizan de manera homogénea. En los concretos porosos la transferencias de cargas se desarrolla por puntos de contacto, produciendo que las cargas se

---

distribuyan de manera aleatoria, logrando así que se repartan en una superficie mayor. (Cabello Sequera, Campuzano Vera, Espinoza Correa, & Sánchez Mendieta, 2015)

El concreto poroso o también conocido como “concreto permeable” debido a su alta porosidad es aplicado en superficies que permiten el paso del agua originaria de precipitaciones y otras fuentes. Es considerado un material ecológico ya que permite la filtración del agua al subsuelo en los pavimentos.

Debido a la escasez de agregado fino en el concreto poroso la proporción de agua es un componente importante. La adherencia de la pasta de cemento y las porciones de agregado grueso, definen la resistencia del concreto, el exceso de agua produce una obstrucción en los poros, lo que genera la pérdida de capacidad de filtración de la superficie, mientras que la falta de agua provocará menor adherencia entre el agregado grueso y la pasta, presentando una falla prematura de la superficie.

El concreto poroso presenta una elevada categoría de porosidad y su primordial propiedad es admitir que se filtre el agua a través de los poros, lo que hace considerarlo un material de construcción sustentable. Al ser utilizado para pavimentos es necesario hacer mantenimiento cuando sea necesario, garantizando que satisfaga con su a con su finalidad, ser permeable.

### **5.2.1 Materiales usados en el concreto poroso**

El concreto poroso o también conocido como concreto permeable es un concreto elaborado con cantidades de cemento controladas, agua, agregado grueso, escaso o nada de finos (arena) y aditivos. La mezcla de estos componentes genera un material resistente con poros interconectados, en donde el tamaño cambia de 2 a 8 mm, lo que produce el paso del agua. El contenido de vacíos

puede cambiar de un 18 a un 35 por ciento, con resistencias a compresión entre de 2,8 a 28 MPa. (Cabello Sequera, Campuzano Vera, Espinoza Correa, & Sánchez Mendieta, 2015)

## **5.2.2 Propiedades del concreto poroso**

Pese a que la resistencia a la compresión del concreto es su propiedad más significativa en estado endurecido, hay más aspectos relevantes como la durabilidad, vinculada con las circunstancias climáticas que producen daños en el concreto por causas mecánicas, químicas o físicas. También puede existir factores internos, como la permeabilidad, materiales que lo conforman o alteración en el volumen a causa de las características térmicas.

### ***5.2.2.1 Propiedades del Concreto Poroso en estado fresco***

#### ***5.2.2.1.1 Asentamiento***

Es una característica que se utiliza para saber cuál es la manejabilidad de la mezcla.

#### ***5.2.2.1.2 Peso Unitario***

Se utiliza para establecer la densidad, que es la masa por unidad de volumen, a partir de las normas ASTM C1688 y C29.

#### ***5.2.2.1.3 Tiempo de fraguado***

Es el ciclo de endurecimiento que realiza el hormigón y la pérdida de plasticidad, se evalúa a través del método de Vicat, en donde se cuantifica la resistencia que desempeña una pasta de cemento en cierto tiempo.

### ***5.2.2.2 Propiedades del Concreto Poroso en estado endurecido***

#### *5.2.2.2.1 Porosidad*

Corresponde a la separación de los espacios que existen entre la pasta de cemento y el agregado grueso en una estructura de concreto, lo cual corresponde al porcentaje de vacíos. A partir de la norma ACI 522R-10 el contenido de vacíos puede estar entre el 15% y el 35%.

#### *5.2.2.2.2 Permeabilidad*

Radica en que el concreto logre ser atravesado por un fluido (vapor de agua, aire, agua) gracias a una desigualdad de presión entre las dos superficies contrarias del material. La permeabilidad está definida por el caudal seleccionado con la ley experimental de Darcy, en donde el flujo es permanente y laminar. La permeabilidad del concreto necesita de la porosidad de los agregados y de la pasta de cemento, y también de los vacíos ocasionados por una compactación insuficiente o por los capilares permitidos por el agua de exudación. El porcentaje de vacíos adecuado en un concreto es del 1% (aire retenido naturalmente). (Sánchez de Guzmán, 2001)

### ***5.2.2.3 Propiedades Mecánicas del Concreto***

#### *5.2.2.3.1 Resistencia a la compresión*

Es la característica mecánica fundamental del concreto, es definida como la habilidad para resistir una carga por unidad de área y se expresa en forma de esfuerzo. El ensayo para obtener la resistencia a la compresión se realiza en especímenes cilíndricos elaborados en modelos especiales, que cuentan con 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, este procedimiento se rige en la norma NTC 550 y 673.

**Tabla 1. Características principales del concreto permeable.**

Característica	Categoría
Asentamiento, mm	20
Peso unitario, kg/m <sup>3</sup>	1600-2000
Tiempo de Fraguado, hora	1
Porosidad, % (volumen)	15-25
Permeabilidad, cm/seg	0,20-0,54
Resistencia a la compresión, MPa	3,5-28
Resistencia a la flexión, MPa	1-3,8

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2011). Construcción y tecnología en Concreto. [http:// www.Imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm](http://www.Imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm)

### 5.2.3 Ventajas del concreto poroso

- Presenta un valor inferior de mantenimiento y mayor periodo de vida útil comparado con los otros tipos de pavimentos.
- En los pavimentos disminuye la escorrentía superficial lo que permite que esta traspase su estructura.
- Es empleado en alcantarillados de capacidades reducidas, lo que ocasiona una disminución en los precios.

- La estructura porosa del concreto presenta la tracción idónea para los vehículos en los pavimentos y minimiza el hidrosplagueo.
- Con el mantenimiento adecuado, se considera que la vida útil del concreto poroso para pavimentos comprenda de 20 a 30 años.
- Mitiga la accidentalidad vehicular en las vías, reduciendo la distancia de frenado de los vehículos y de esta manera reduce los charcos.
- Al filtrar el agua de forma natural, ayuda a que esta sea mucho más limpia y llegue a los riachuelos, arroyos y ríos con menor contaminación.
- Acumula las fuentes de agua subterránea de una forma más eficiente.
- Logra sus propiedades de resistencia dentro de 24 y 72 horas.
- Se impulsa a la implementación de pavimentos permeables puesto que facilita la reutilización de las aguas pluviales.
- Disminuye la atracción de radiación solar, al reducir la temperatura del lugar en el cual se halla instalado debido a los poros abiertos que presenta en su estructura.

Las virtudes que presenta este novedoso material son diversas, al implementar este concreto se puede tener el control de las inundaciones, de forma natural, sin tener que hacer uso de drenajes, disminución de los precios en un periodo amplio mientras la fase constructiva y de mantenimiento, para lograr una superficie más viable en temporada de lluvias.

### 5.2.4 Aplicaciones del concreto poroso.

El concreto poroso desempeña un gran número de beneficios en el campo de la construcción como lo son:

- Pavimento permeable para estacionamientos y bajo volumen de tránsito.
- El recubrimiento de drenaje en las regiones endurecidas en los centros comerciales exteriores.
- En los invernaderos, en los suelos para lograr que el piso esté libre de agua estancada.
- Paredes y suelos donde sea necesario una absorción acústica.
- Empleándolo como soporte en las vías de las ciudades, caminos residenciales, callejones, entradas para vehículos, ciclo vías y campos de aviación.
- Área de aparcamiento, canchas de tenis, zoológicos, en graneros y establos.
- En la playa y malecones como estructuras.
- En el procedimiento de aguas residuales como filtro y en las estructuras hidráulicas.
- Como métodos de almacenamiento de energía solar.
- Muro de revestimiento de pozos de agua.
- Arrecifes artificiales en donde la estructura en concreto permeable emula la estructura del arrecife.
- Estabilización de taludes.
- Alcorques.
- Muros estructurales en los que se necesitan propiedades de peso liviano o de mejor aislamiento térmico o de ambos.
- Andenes.
- Terraplenes de puentes.

- Plataformas en torno de piscinas.

El concreto poroso sin refuerzo se utiliza en todas las anteriores aplicaciones, ya que al entrar en contacto el agua con el acero de refuerzo produce una corrosión en la estructura debido a los poros del material.

### **5.3 Diseño de la mezcla de concreto poroso**

Las características más importantes del concreto poroso son el porcentaje de vacíos que determina la velocidad de infiltración del agua, obteniendo la permeabilidad de la muestra y el volumen de la pasta determina la adherencia que hay entre las partículas del agregado grueso. Para realizar el diseño de mezcla de concreto poroso se tuvieron en cuenta los parámetros y recomendaciones establecidos en la norma ACI 522R-10.

El concreto poroso se caracteriza por ser una combinación entre el agregado grueso, cemento, agua y menor o ningún contenido de arena. Para que el concreto sea considerado poroso se debe tener un porcentaje de vacíos que oscile entre 15% y 25%, si es mayor a 25% podrá afectar la estabilidad del concreto. El concreto poroso hidráulico generalmente ofrece resistencias medias a compresión entre 15 y 20 MPa y permeabilidad entre 0,5 y 5cm/seg.

#### **5.3.1 Principales variables que perjudican el comportamiento del concreto poroso según la ACI 522R-10**

##### ***5.3.1.1 Porcentaje de vacíos***

El porcentaje de vacíos que constituye el concreto poroso depende del contenido del cemento utilizado, la relación agua cemento, granulometría del agregado y la compactación. (ACI 522R-10) Los rangos de porcentajes oscilan entre el 15% y el 40% (Mulligan 2005) Existe una variación lineal de la resistencia a la compresión y el peso unitario de las mezclas de concreto con respecto al porcentaje de vacíos, mientras que existe una variación de forma exponencial de la

permeabilidad con respecto al porcentaje de vacíos. La permeabilidad en el concreto poroso aumenta con el porcentaje de vacíos mientras que la resistencia a la compresión disminuye.

#### ***5.3.1.2 Tamaño máximo y forma del agregado grueso***

En el concreto poroso, la proporción de pasta es restringida y por esto la resistencia depende del contacto entre agregados. El contacto se puede dar entre agregados lisos y redondeados del río ya que por su forma y textura disminuyen la cantidad de vacíos lo que genera que la resistencia aumente. En el caso de permeabilidad no tiene relevancia la forma del agregado.

#### ***5.3.1.3 Relación agua/cemento (W/C)***

Las relaciones agua cemento adecuadas oscilan entre 0,27 y 0,30 para que exista un equilibrio entre permeabilidad y resistencia del concreto poroso. (National Concrete Pavement Technology Center, 2006) Al aumentar la relación agua cemento en el concreto poroso, la pasta se puede deslizar por gravedad generando la obstrucción de los poros e interrumpiendo el paso del agua, si esto sucede genera resistencias a la compresión admisibles, pero permeabilidades muy bajas. (Mulligan, 2005). La relación agua cemento está relacionada directamente con el tamaño del agregado, la granulometría, la relación agregado grueso/cemento.

#### ***5.3.1.4 Relación agregado grueso/cemento***

Se produce un aumento en la resistencia cuando se presentan mejores enlaces entre las partículas de agregado grueso, lo que supone un mayor porcentaje de pasta, lo que supone relaciones bajas agregado/cemento.

Un aumento porcentual de la pasta genera una disminución en la permeabilidad, ya que se produce una obstrucción en los vacíos.

### **5.3.2 Parámetros norma ACI 522R-10 para el diseño de mezcla del concreto poroso**

El objetivo principal de la dosificación de la mezcla de concreto poroso o también conocido como concreto “permeable” es lograr un equilibrio entre los vacíos, el contenido de la pasta y la trabajabilidad del concreto.

Generalmente el concreto poroso se usa donde es necesario el drenaje, la percolación o la alta porosidad en la estructura de obras civiles.

Los parámetros mencionados en la norma ACI 522R-10, que fueron empleados en el diseño de concreto poroso son:

#### **5.3.2.1 Relación agua cemento ( $w/c$ )**

El vínculo agua cemento especifica la adherencia que existe entre la pasta y el agregado empleados en la mezcla. Si la relación agua cemento es alta en el diseño de la mezcla de concreto, se reduce la adherencia que hay entre la pasta y el agregado. Mientras que, si la relación agua cemento es baja, evita una buena mezcla de los materiales, una distribución uniforme de pasta de cemento y por lo tanto reduce la máxima resistencia y la durabilidad del concreto.

Una buena relación de agua cemento debe oscilar entre:

$$\left(\frac{w}{cm}\right) = [0,26 \text{ a } 0,45]$$

**Ec. 2**

Una relación agua cemento apropiada en planteamiento del diseño de mezcla, proporciona un mayor recubrimiento de los agregados con pasta.

### 5.3.2.2 Contenido de vacíos

Para asegurar que el agua se filtre a través del concreto permeable, este contenido de vacíos debe ser del 15% o más. Un contenido de vacíos menor al 15% representa una percolación poco significativa en el hormigón, ya que no hay una suficiente interconectividad entre los huecos que permitan una rápida percolación. Cuanto mayor sea el porcentaje de vacíos, superior es el índice de percolación y menor la fuerza de compresión. En cambio, si el contenido de vacíos es menor, la tasa de percolación es menor y la resistencia a compresión es mayor.

### 5.3.2.3 Cantidad de agregado grueso

La densidad seca del agregado grueso como se determina en la norma ASTM C29 puede ser utilizada con eficacia para la dosificación de concreto poroso. Para esto se tiene en cuenta la tabla 6.1 de la norma ACI 522R-10, que determina la relación  $b/b_o$  que es el volumen de agregados gruesos en una unidad de volumen de hormigón.

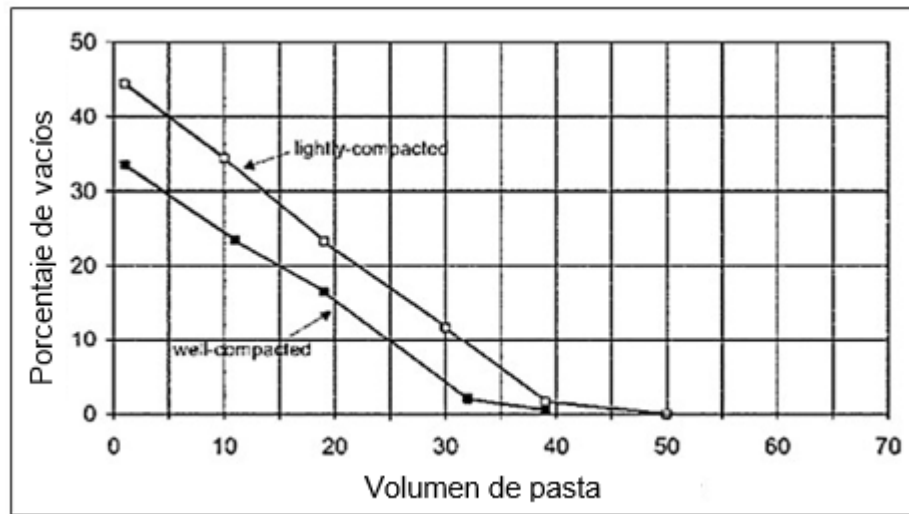
**Tabla 2. Relación  $b/b_o$ .**

Porcentaje de agregados	$b/b_o$	
	ASTM C33/C33M Size No. 8	ASTM C33/C33M Size No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: American Concrete Institute. (marzo 01 de 2010). ACI 522R-10

### 5.3.2.4 Volumen de la pasta

Para determinar el volumen de la pasta para una mezcla de concreto poroso con agregado 3/8", se utilizó la figura 1 de la norma ACI 522R-10. En donde a partir del contenido de vacíos se halla el contenido de la pasta.



**Figura 1. Relación entre el Volumen de la Pasta y el Porcentaje de Vacíos.**

Fuente: American Concrete Institute. (marzo 01 de 2010). ACI 522R-10

## 5.4 Resistencia a la compresión del concreto

### 5.4.1 Definición

La característica mecánica principal del concreto es la resistencia a la compresión, se determina como la cualidad que presenta el concreto de resistir una carga por unidad de área, expresada en Mega pascales (MPa), en libras por pulgada cuadrada (Psi) o  $kg/cm^2$ .

La resistencia a la compresión es el factor más significativo que usan los ingenieros para el diseño de edificios y estructuras, se mide fallando los especímenes cilíndricos de concreto en una máquina de ensayo de compresión o también conocida como máquina universal.

El rango para la resistencia a compresión puede variar desde 2500 Psi (17 MPa) para concreto residencial hasta 4000 Psi (28 MPa).

#### **5.4.2 ¿Por qué se establece la resistencia a la compresión?**

La prueba de resistencia a la compresión se hace con la finalidad de evaluar la resistencia del concreto en ciertas estructuras y así planear actividades de construcción tales como desencofrado de formaletas, determinar las mejores condiciones de curado y la protección de la estructura y de esta manera controlar la calidad del concreto.

La resistencia a la compresión se aplica para establecer que la mezcla de concreto diseñada satisfaga con los requisitos de la resistencia determinada.

Para la prueba a compresión se hace necesario elaborar y curar cilindros siguiendo los parámetros descritos según la norma Práctica Estándar para Elaborar y Curar Probetas de Ensayo de Concreto en Campo (Norma ASTM C 31) y así mismo se someten a ensayo mediante el Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto (Norma ASTM C 39).

Para obtener un resultado confiable del ensayo de resistencia a la compresión, se debe contar como mínimo con dos pruebas de resistencia fabricadas con la muestra semejante de concreto y falladas a la misma edad, generalmente se realizan a la edad de 28 días.

La mezcla de concreto se plantea para lograr una resistencia promedio que esté por encima de la resistencia especificada, para ellos se debe tener en cuenta dos criterios de aceptación:

El promedio de tres ensayos sucesivos es igual o mayor a la resistencia especificada.

Los ensayos no deben presentar resultados menores a la resistencia especificada en más de 500 Psi (3,45 MPa), ni ser mayores en más de 0,10 por la resistencia especificada, cuando la resistencia especificada sea superior a 5000 Psi (35 MPa).

Es importante entender que un ensayo individual que arroje resultados inferiores a la resistencia especificada, no constituye un fracaso en las normas de aceptación y cuando los resultados están dentro del rango de la resistencia promedio exigida, la probabilidad de que los resultados arrojados en los ensayos individuales sean menores a la resistencia determinada es de 10% y se deben tener en cuenta en las normas de aceptación.

Si el concreto no cumple con la resistencia especificada, es valioso considerar que el defecto puede residir en los ensayos y no en el concreto, esto acontece si no se cumple con los procedimientos estándar para la elaboración, manejo, curado y pruebas de los cilindros.

#### **5.4.3 Prueba de la resistencia a la compresión del Concreto**

Los especímenes cilíndricos deben tener un tamaño de 15 por 30 cm o 10 por 20 cm. El diámetro del cilindro empleado tiene que tres veces la medida del máximo nominal del agregado grueso.

Para lograr una distribución uniforme de la carga en los cilindros, generalmente se pueden refrentar con mortero de azufre (Norma ASTM C 617), con tapas de neopreno (Norma ASTM C 1231) o con yeso de alta resistencia (Norma INV E 403).

El diámetro de la probeta cilíndrica se tiene que valorar en dos lugares, en ángulos rectos entre sí, a la mitad de la altura del espécimen, y se promedian para determinar el área de la sección, si difiere en más del 2% el promedio de los diámetros, no se debe fallar el cilindro.

Al realizar el ensayo de resistencia los cilindros se tienen que centrar en la máquina de ensayo de compresión y aplicarles una carga hasta su falla.

La resistencia del concreto se calcula por medio del Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto (Norma ASTM C 39).

## **5.5 Conductividad térmica**

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. Un material es un buen conductor de calor si tiene una mayor conductividad térmica, mientras que un material que no es buen conductor de calor, su conductividad térmica es baja y es conocido como aislante térmico, se determina midiendo la velocidad del flujo de calor por unidad de área y la diferencia de temperatura cuando ha alcanzado un equilibrio.

Los materiales con los que se construyen viviendas, edificios, almacenes, escuelas, etc. no son buenos conductores térmicos, pero eso no indica que no se puedan usar a la hora de construir en regiones con altas temperaturas.

El comportamiento de las estructuras frente a un incendio se puede conocer mediante las distribuciones de las temperaturas en el concreto y el estudio de sus esfuerzos. El análisis térmico sirve para predecir el comportamiento de las estructuras ante la acción del fuego.

## **5.6 Estadística Descriptiva**

La estadística descriptiva es un método sencillo y eficiente para caracterizar datos cuantitativos, es aplicable en todas las áreas de estudio. Con este método se obtienen medidas descriptivas como

lo son: media, mediana, promedio, media geométrica, desviación típica, varianza, etc., estas medidas pueden ser interpretadas con: gráficas de tendencia y de dispersión, histogramas, entre otras, empleadas para entender con facilidad los fenómenos analizados.

## 5.6.1 Componentes de la Estadística Descriptiva

### 5.6.1.1 Media

También conocida como el promedio de datos, es una medida de tendencia central. Existen varias clases de media, media geométrica, media ponderada, media armónica y la más importante de ellas media aritmética.

$$\text{Media } (X) = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad \text{Ec. 3}$$

Siendo  $(X_1, X_2, \dots, X_N)$  el conjunto de datos, es decir

$$\text{Media } (X) = \bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$X_i$ : iésima observación

N: número de datos de la muestra

### **5.6.1.2 Mediana**

Es la posición central de un grupo de datos estadísticos, si el número de datos es par, la mediana es la suma de dos números centrales de los datos, divididos en dos, en cambio si el número de datos es impar, la mediana es el valor central de los datos.

### **5.6.1.3 Moda**

Es el valor que más repetitivo en un conjunto de datos.

### **5.6.1.4 Error típico**

Es el valor que cuantifica cuanto se apartan los valores de la media del grupo de datos.

### **5.6.1.5 Desviación Estándar**

Es la medida de la dispersión de los datos respecto a la media.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{(N - 1)}} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$X_i$ : iésimo dato

$\bar{x}$ : media de los datos

N: número de datos de la muestra

### 5.6.1.6 Varianza de una muestra

Es una medida de variación igual al cuadrado de la desviación estándar.

### 5.6.1.7 Curtosis

Determina el rango de concentración que define los datos de una variable en torno a la zona central de la distribución de frecuencias. La curtosis caracteriza la intensidad de pico o la curvatura relativa de una distribución en comparación con la distribución normal. Una curtosis positiva muestra una distribución elevada y una curtosis negativa muestra una distribución plana. Existen tres tipos de curtosis: leptocúrtica, mesocúrtica y platicúrtica.

$$C = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

s: es la desviación estándar de la muestra.

n: número de datos de la muestra

$x_i$ : iésima observación

$\bar{x}$ : media de las observaciones

### 5.6.1.8 Coeficiente de Asimetría

Determina el grado de asimetría de una distribución de datos con respecto a su media.

$$CA = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

s: es la desviación estándar de la muestra.

n: número de datos de la muestra

$x_i$ : iésima observación

$\bar{x}$ : media de las observaciones

#### **5.6.1.9 Rango**

Se conoce como el intervalo en el que se encuentra el valor supremo y el valor mínimo de un grupo de datos. Determina la dispersión de datos, cuanto superior es el rango, más sueltos están los datos.

#### **5.6.1.10 Mínimo**

Es el valor mínimo de un conjunto de datos.

#### **5.6.1.11 Máximo**

Es el valor máximo de un conjunto de datos.

#### **5.6.1.12 Coeficiente de Variación**

Es el dato que describe la desviación estándar en relación con la media.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100\%$$

**Ec. 8**

Donde:

s: es la desviación estándar de la muestra.

$\bar{x}$ : media de las observaciones

## 5.6.2 Minitab

Es una interfaz que ofrece un análisis estadístico, visualizaciones, análisis predictivo y análisis de mejoramiento para lograr la toma de decisiones basadas en datos. El análisis estadístico se realiza mediante las siguientes pruebas:

### 5.6.2.1 Prueba de Valores Atípicos

Un valor atípico es una observación con un valor que no parece corresponder con los demás valores en un grupo de datos.

#### 5.6.2.1.1 Estadístico de la prueba de Grubbs

Expresión del estadístico unilateral: si el valor de datos más insignificante es un valor atípico, entonces la prueba  $G$  es:

$$G = \frac{\bar{y} - y_1}{s} \quad \text{Ec. 9}$$

Si el valor de datos mayor es un valor atípico, entonces  $G$  es:

$$G = \frac{y_n - \bar{y}}{s} \quad \text{Ec. 10}$$

Fórmula del estadístico bilateral:

$$G = \text{máx.} \left\{ \frac{\bar{y} - y_1}{s}, \frac{y_n - \bar{y}}{s} \right\} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

$\bar{y}$ : medida de la muestra

$y_1$ : el iésimo valor más bajo en la muestra

$s$ : desviación estándar de la muestra

$n$ : número de datos de la muestra

#### 5.6.2.1.2 Valor de la variable "P"

Fórmula para una prueba unilateral:

$$P \approx nP \left( T > \sqrt{\frac{n(n-2)G^2}{(n-1)^2 - nG^2}} \right) \quad \text{Ec. 12}$$

Fórmula para una prueba bilateral:

$$P \approx 2nP \left( T > \sqrt{\frac{n(n-2)G^2}{(n-1)^2 - nG^2}} \right) \quad \text{Ec. 13}$$

Si se cumple lo siguiente, entonces el valor p es exacto.

$$G \geq \left( \frac{(n-1)(n-2)}{2n} \right) \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

G: estadístico del ensayo de Grubbs

n: número de datos de la muestra

T: variable casual dividida como una distribución t con n-2 grados de libertad.

### 5.6.2.2 Gráfica I-MR: Control de Rangos Móviles e Individuales

La gráfica de rangos móviles permite determinar los datos variables cuando el tamaño de la muestra es una sola medición. Estos describen el valor absoluto de la diferencia entre los valores mínimo y máximo de los datos de n muestras consecutivas, donde n está. Definida en función de la extensión.

#### 5.6.2.2.1 Posiciones graficadas

Cada posición de los datos,  $MR_i$ , es la categoría móvil de los datos de X en cada grupo. El  $MR_i$  no se grafica para  $i < w$  porque es ilimitado.

En donde:

MR: Se denomina rango móvil

w: Número de datos en el rango móvil.  $w = 2$

#### 5.6.2.2.2 Línea central

Es la consideración sin sesgo de la media del rango móvil

$$\text{linea central} = MR * d_2w \quad \text{Ec. 15}$$

En donde:

$MR$ : es la consideración de la media del rango móvil para el procedimiento que usted emplea para determinar la desviación estándar

$d_2w$ : es la constante de supresión del sesgo

$w$ : es el número de datos que se emplean en el rango móvil

#### 5.6.2.2.3 Límites de control

➤ **Límite de control inferior (LCI):** el LCI es el mayor de los siguientes:

$$LCI = [d_2(w) * \sigma] - [k * d_3(w) * \sigma] \quad LCI = 0 \quad \text{Ec. 16}$$

➤ **Límite de control superior (LCS):**

$$LCS = [d_2(w) * \sigma] + [k * d_3(w) * \sigma] \quad \text{Ec. 17}$$

En donde:

$d_2(w)$ : es una constante empleada para determinar la desviación estándar.

$w$ : es el número de datos en el rango móvil.  $w = 2$

$\sigma$ : es la desviación estándar del procedimiento

$k$ : es el factor de la Prueba 1

$d_3(w)$ : Una constante empleada para determinar el LCI y el LCS.

#### 5.6.2.2.4 Método de la media del rango móvil

La media del rango móvil,  $\overline{MR}$ , de longitud  $w$  se determina con la siguiente fórmula:

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{i=w}^n MR_i}{(n - w + 1)} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde  $MR_i$  es el rango móvil de la observación, que se determina con la siguiente fórmula:

$$MR_i = \text{Máx} [X_h, \dots, X_i] - \text{Min} [X_h, \dots, X_i] \quad \text{donde } h = i - w + 1 \quad \text{Ec. 19}$$

Minitab emplea  $\overline{MR}$  para determinar  $S_{mr}$ , que es una consideración sin sesgo de  $\sigma$ :

$$S_{mr} = \frac{\overline{MR}}{d_2(w)} \quad \text{Ec. 20}$$

En donde:

$n$ : es el número de observaciones

$w$ : es el largo del rango móvil. El valor establecido es  $w = 2$

$d_2()$ : es el valor de la constante de supresión del sesgo  $d_2$ , que indica al valor establecido entre paréntesis.

La gráfica de observaciones individuales simboliza los datos individuales. La línea central es una aproximación de la media del proceso. Los límites de control en el esquema I, que se encuentran a una longitud de 3 desviaciones estándar por arriba y por abajo de la línea central, exhiben la medida de variación esperada en los datos individuales de la muestra.

### 5.6.2.3 Prueba de Normalidad

Inicialmente se determina la media y la desviación estándar y luego se utiliza el método de Anderson Darling.

#### 5.6.2.3.1 Estadístico de Anderson Darling

A2: Calcula el espacio entre la línea ajustada (que se trata de la distribución elegida) y la función de paso no paramétrica (que toma como base los puntos de la gráfica). El estadístico se trata de una longitud elevada al cuadrado que presenta mayor ponderación en las colas de la distribución. Un valor bajo de Anderson-Darling señala que la distribución se adapta mejor a los datos.

La prueba de normalidad de Anderson-Darling se determina de esta manera:

$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal

Fórmula:

$$A^2 = -N - \frac{1}{N} \sum (2i - 1)(\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{N+1}))) \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

$F(Y_i): \Phi\left(\frac{Y_i - \bar{x}}{s}\right)$ , que es la función de distribución acumulada de la distribución normal estándar.

$Y_i$ : datos ordenados

#### 5.6.2.3.2 Valor de la variable "P"

Un valor p bajo indica que la hipótesis nula es falsa. Si se sabe el valor de  $A'^2$ , se puede determinar el valor p de la siguiente manera:

$$A'^2 = A^2 * \left(1 + \frac{0.75}{N} + \frac{2.25}{N^2}\right) \quad \text{Ec. 22}$$

A partir  $A'^2$ , se puede calcular p de la siguiente manera:

$$\text{Si } 13 > A'^2 > 0.600, \text{ entonces } p = \exp(1.2937 - 5.709 * A'^2 + 0.0186 * (A'^2)^2) \quad \text{Ec. 23}$$

$$\text{Si } 0.600 > A'^2 > 0.340, \text{ entonces } p = \exp(0.9177 - 4.279 * A'^2 - 1.38 * (A'^2)^2) \quad \text{Ec. 24}$$

$$\text{Si } 0.340 > A'^2 > 0.200,$$

$$\text{entonces } p = 1 - \exp(-8.318 + 42.796 * A'^2 - 59.938 * (A'^2)^2) \quad \text{Ec. 25}$$

$$\text{Si } A'^2 > 0.200,$$

$$\text{entonces } p = 1 - \exp(-13.436 + 101.14 * A'^2 - 223.73 * (A'^2)^2) \quad \text{Ec. 26}$$

## 6. Alcance

El presente proyecto está basado en la evaluación de las propiedades mecánicas de bloques de concreto poroso con presencia de alvéolos, analizando su resistencia a la compresión a los 28 días de curado y su permeabilidad.

La presente investigación busca analizar y estudiar el concreto poroso como material adecuado en la construcción de bloques como unidades o elementos del sistema constructivo de mampostería, empleado en la elaboración de muros y otras estructuras de ingeniería civil. Adicional a esto, poder lograr la resistencia planteada en el diseño de la mezcla.

Se elaboraron 30 bloques de concreto poroso de 20\*40\*12 cm, con seis alvéolos horizontales en el interior del bloque. Adicional a esto, se evaluó la resistencia a compresión de ladrillos convencionales de mampostería y los resultados obtenidos se compararon entre ellos.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Pontificia Bolivariana.

## 7. Metodología

La metodología utilizada para el presente trabajo de investigación consta de 4 fases.

### 7.1 Fase I: Caracterización de materiales y diseño de la mezcla de concreto poroso.

#### 7.1.1 Caracterización de los materiales

##### 7.1.1.1 *Cemento*

Para la preparación de los cilindros y los BCP se utilizó cemento hidráulico tipo I, de uso general, de color gris, elaborado por Cementos Cemex, que cuenta con las especificaciones químicas, físicas y mecánicas estipuladas en la norma NTC 121, cuya resistencia a compresión oscila entre 24 y 28 MPa a los 28 días según el Apéndice A.

Para caracterizar el cemento se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

##### 7.1.1.1.1 *Densidad del Cemento Hidráulico*

Fue determinada según las indicaciones establecidas en la norma INV E-307. Para el ensayo de densidad del cemento se tomó una masa de 64 g de cemento hidráulico tipo I marca Cemex, se llenó el frasco de Le Chatelier utilizando ACPM, hasta la medida que indica el frasco, obteniendo una lectura inicial de 0,4 ml de volumen. Luego se agregó la masa de cemento en el frasco de Le Chatelier, se colocó el tapón al frasco, el frasco se giró suavemente en círculos horizontales de manera inclinada hasta liberar el aire atrapado en la mezcla de cemento y ACPM, hasta que dejaron de ascender las burbujas de aire a la superficie del líquido. Se

sumergió el frasco de Le Chatelier en agua para obtener la lectura final de 22 ml de volumen. La diferencia entre las lecturas final e inicial hace referencia al volumen del líquido desplazado por la masa de cemento, que es de 21,6 ml. Los valores obtenidos para este ensayo se encuentran tabulados en el Apéndice B

Finalmente se calculó la densidad del cemento de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{\text{Masa del cemento, } g}{\text{volumen desplazado, } cm^3} \quad \text{Ec. 27}$$

$$\rho = \frac{64 \text{ } g}{21,6 \text{ } cm^3} = 2,963 \frac{g}{cm^3}$$

La densidad del cemento se halla como indicador de calidad del cemento.



**Figura 2. Ensayo de Laboratorio, Densidad del Cemento Hidráulico.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

#### *7.1.1.1.2 Consistencia de la Pasta de Cemento*

Fue hallada según las indicaciones establecidas en la norma INV E-310.

Como peso inicial se tomaron 500 g de cemento, adicionándole 150 g de agua que equivalen al 30% del peso del cemento, después de obtener la pasta se moldeó con las manos dándole una forma circular, se lanzó seis veces de una mano a la otra a una distancia de 150 mm (6") hasta que se obtuvo una pasta manejable que se pudiera introducir dentro del molde, después tener la pasta en el molde, se ubicó en el Aparato de Vicat y se centró debajo del vástago, que desciende hasta que el extremo del émbolo entre en contacto con la superficie de la pasta. Finalmente, el Aparato de Vicat arrojó una lectura de penetración de 40 mm en la pasta. A partir de la Norma se estimar que la pasta cuenta con una consistencia normal después que el émbolo se introduce  $10 \pm 1$  mm, bajo la superficie original.

Como no se obtuvo la consistencia normal, fue necesario repetir el procedimiento con diferentes cantidades de agua. Se realizaron cuatro muestras más, con porcentajes de agua entre un rango entre 30% y 24%, en donde se encontró que el porcentaje de agua para una consistencia normal de la pasta de cemento estaría entre 25% y 26%, ya que durante la prueba de laboratorio se encontró que para una pasta con un 25% de agua, la penetración fue de 6 mm y para una pasta con el 26% de agua la penetración fue 12 mm.

Luego se interpolaron los últimos cuatro datos para poder hallar el porcentaje de agua adecuado que me arrojará 10 mm de penetración en la muestra que corresponde a la penetración para una consistencia normal de la pasta de cemento. Con la interpolación se encontró que para una penetración de 10 mm se necesitan 128.33 g de agua, que corresponde al 25.66% de agua presente en la pasta, lo que equivale a 128.33 ml de agua. Los valores obtenidos para este ensayo se encuentran tabulados en el Apéndice C.

Porcentaje de agua para consistencia normal

$$\% H_2O: \frac{128.33}{500} * 100 = 25.666\%$$



**Figura 3. Ensayo de Laboratorio, Consistencia de la Pasta de Cemento.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

#### *7.1.1.1.3 Tiempo de Fraguado del Cemento*

Se determinó según las indicaciones establecidas en la norma INV E-305.



**Figura 4. Ensayo de Laboratorio, Tiempo de Fraguado.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

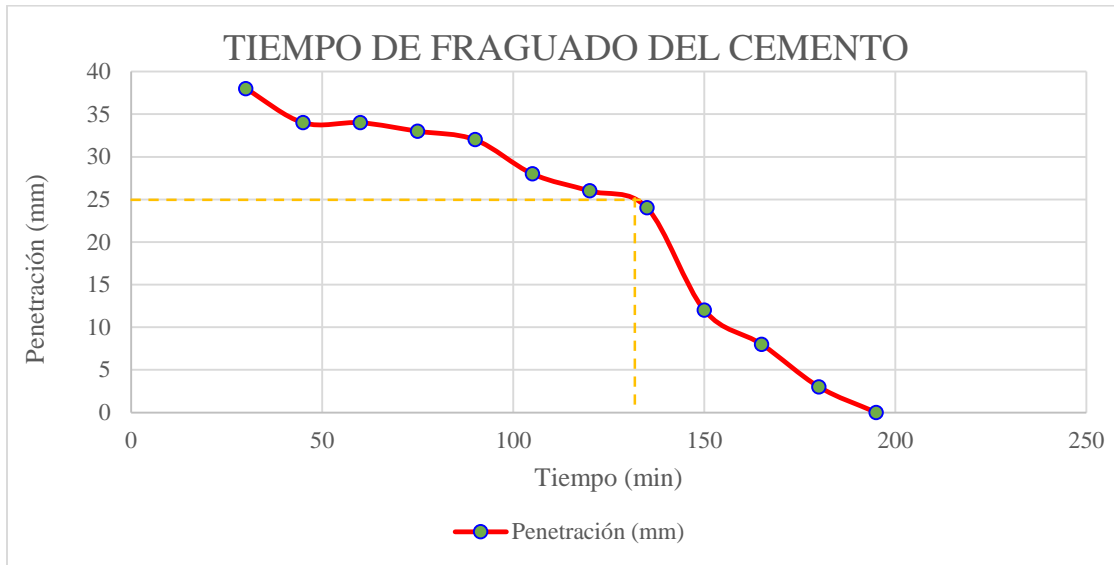
Se mezclaron 500 g de cemento con la cantidad de agua adecuada para obtener una consistencia normal, después de obtener la pasta se moldeó con las manos dándole una forma circular, se lanzó seis veces de una mano a la otra a una distancia de 150 mm (6") hasta que se obtuvo una pasta manejable que se pudiera introducir dentro del molde, después tener la pasta en el molde, se ubicó en el Aparato de Vicat, dejando descender la aguja del vástago, hasta lograr el contacto con la superficie de la pasta de cemento. Se apretó el tornillo para registrar una lectura inicial, luego se aflojó el tornillo soltando el vástago permitiendo que la aguja penetrara durante 30 segundos la pasta, para registrar la lectura de penetración. Posteriormente se realizaron mediciones cada 15 minutos, hasta obtener una penetración de 25 mm o menos. Las penetraciones estuvieron alejadas por lo menos 6 mm entre sí y 10 mm de la orilla interna del molde. Se registraron los resultados de las penetraciones y se obtuvo el tiempo de fraguado para una penetración de 25 mm por medio de una interpolación.

Los resultados fueron registrados en la siguiente tabla:

**Tabla 3. Valores del ensayo de Tiempo de Fraguado**

<b>Ensayo de tiempo de fraguado del cemento</b>		
Hora	Tiempo (min)	Penetración (mm)
12:15 p.m.	30	38
12:30 p.m.	45	34
12:45 p.m.	60	34
01:00 p.m.	75	33
01:15 p.m.	90	32
01:30 p.m.	105	28
01:45 p.m.	120	26
02:00 p.m.	135	24
02:15 p.m.	150	12
02:30 p.m.	165	8
02:45 p.m.	180	3
03:00 p.m.	195	0

Fuente: Propia.



**Figura 5. Gráfica del Tiempo de Fraguado.**

Fuente Propia.

Interpolación: a los 120 minutos se obtuvo una penetración de 26 mm y a los 135 minutos una penetración de 24 mm, por lo tanto, al interpolar estos valores se obtuvo que para una penetración de 25 mm el tiempo de fraguado es de 127,5 minutos. Como se puede evidenciar en la figura 6:

Penetración (mm)	Tiempo (min)
26	120
24	135

Interpolación	
Penetración (mm)	Tiempo (min)
2	15
1	x

x            7,5

Penetración (mm)	Tiempo (min)
26	120
<b>25</b>	<b>127,5</b>
24	135



**Figura 6. Gráfica de la Interpolación del Tiempo de Fraguado.**

Fuente Propia.

### **7.1.1.2 Agua**

El agua en el concreto cumple dos funciones: hidratación del concreto y manejabilidad a la hora de realizar la mezcla, y como componente endurecedor en la etapa de fraguado al hacer contacto con el cemento. En las mezclas de concreto el agua es fundamental ya que al realizar la relación agua cemento determina la resistencia del concreto y las condiciones normales de durabilidad. El agua usada en la mezcla de concreto cumple con los requerimientos establecidos en la NTC 3459.

### **7.1.1.3 Agregado grueso**

La mezcla diseñada en esta investigación para concreto poroso solo tiene agregado grueso 3/8” (9,51 mm), extraído de la planta de transmateriales S.A. fuente rio pamplonita. Solamente se utilizó este tipo de agregado ya que el concreto poroso se caracteriza por la ausencia de agregados finos.

Para la caracterización del agregado utilizado se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

#### *7.1.1.3.1 Densidad Relativa (gravedad específica) y Absorción de Agregados Gruesos*

Se realizó con base en las indicaciones establecidas en la norma INV E-223.

Se tomó una muestra de agregado grueso, para luego sumergirla en agua durante 24 horas. Una vez extraída la muestra del agua, se secó el agregado superficialmente con un paño absorbente hasta quitar los residuos de agua que quedaron en las partículas, para poder determinar su masa, luego se puso la muestra en la canastilla metálica, y se halló la masa sumergida en el agua. Finalmente, la muestra se puso en el horno para determinar su masa seca.

Con los datos obtenidos en el ensayo los cuales fueron: masa de la muestra secada en el horno 2973 g, la masa de la muestra saturada y superficialmente seca 3013 g, y la masa aparente de agua en la muestra saturada 1852 g. Los valores obtenidos para este ensayo se encuentran tabulados en el Apéndice D A partir de estos valores fueron calculadas las siguientes densidades:

➤ Densidad relativa (gravedad específica) **SH**

$$SH = \frac{A}{(B - C)} \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

A: Masa al aire de la muestra seca al horno, g;

B: Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, g;

C: Masa aparente de la muestra saturada en agua, g.

$$SH = \frac{2973}{(3013 - 1852)} = 2,561$$

➤ Densidad relativa (gravedad específica) **SSS**

$$SSS = \frac{B}{(B - C)} \quad \text{Ec. 29}$$

$$SSS = \frac{3013}{(3013 - 1852)} = 2,595$$

- Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(A - C)}$$

**Ec. 30**

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{2973}{(2973 - 1852)} = 2,652$$

- Densidad en condición seca al horno **SH**

$$\text{Densidad SH} = \frac{997,5 * A}{(B - C)}$$

**Ec. 31**

$$\text{Densidad SH} = \frac{997,5 * 2973}{(3013 - 1852)} = 2554,322$$

- Densidad en condición saturada y superficialmente seca **SSS**

$$\text{Densidad SSS} = \frac{997,5 * B}{(B - C)}$$

**Ec. 32**

$$\text{Densidad SSS} = \frac{997,5 * 3013}{(3013 - 1852)} = 2588,689$$

- Densidad aparente

$$\text{Densidad aparente} = \frac{997,5 * A}{(A - C)}$$

**Ec. 33**

$$\text{Densidad aparente} = \frac{997,5 * 2973}{(2973 - 1852)} = 2645,466$$

➤ Absorción

$$\text{Absorción, \%} = \frac{B - A}{A} * 100$$

**Ec. 33**

$$\text{Absorción, \%} = \frac{3013 - 2973}{2973} * 100 = 1,328$$

Las densidades relativas (gravedad específica) son empleadas para hallar el volumen que ocupa el agregado en mezclas de concreto. La absorción es utilizada para obtener el cambio de masa de un agregado como consecuencia del agua absorbida por medio de los poros permeables de sus partículas.



**Figura 7. Ensayo de Laboratorio, Densidad Relativa y Absorción de los Agregados Gruesos.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

*7.1.1.3.2 Densidad Bulk (peso unitario) y Porcentaje de Vacíos de los Agregados en Estado Suelto y Compacto.*

Determinada según las indicaciones establecidas en la norma INV E-217.

➤ Masas compactas

Para este ensayo se utilizó un recipiente metálico cilíndrico, puesto en una base firme, se llenó en tres capas aproximadamente iguales, hasta el borde, descargando el agregado desde una altura no mayor a 50 mm por encima del borde del recipiente. Para cada capa se le aplicaron 25 golpes con la varilla de apisonamiento, distribuidos de manera uniforme en la superficie, haciendo uso del extremo semiesférico de la varilla. En la primera capa no es permitido pegarle al fondo del recipiente. Al compactar la última capa se enrasó la superficie para eliminar el agregado sobrante. Finalmente se determinó la masa del recipiente tanto vacío como lleno. Este procedimiento se repitió 2 veces más y se registraron los datos.

➤ Masas sueltas

En este caso se utilizó el mismo recipiente metálico cilíndrico que se usó en masas compactas, se llenó en tres capas aproximadamente iguales, hasta el borde, descargando el agregado desde una altura no mayor a 50 mm por encima del borde del recipiente. Cuando estuvo lleno el recipiente se enrasó el agregado. Finalmente se determinó la masa del recipiente tanto vacío como lleno. Este procedimiento se repitió 2 veces más y se registraron los datos.

Los valores obtenidos para este ensayo se encuentran tabulados en el Apéndice E.

➤ **Densidad Bulk**

$$M = \frac{G - T}{V}$$

**Ec. 34**

Donde:

M: Densidad bulk del agregado, kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>);

G: Masa del agregado más el recipiente de medida, kg (lb);

T: Masa del recipiente de medida, kg (lb);

V: Volumen del recipiente de medida, m<sup>3</sup> (pie<sup>3</sup>).

- Densidad Bulk para masas compactas:

$$M = \frac{18,7640 - 3,9740}{0,009901907} = 1493,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Ec. 35}$$

- Densidad Bulk para masas sueltas:

$$M = \frac{17,6303 - 3,9740}{0,009901907} = 1379 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Ec. 36}$$

- Densidad Bulk en condición saturado y superficialmente seco SSS

$$M_{\text{SSS}} = M * \left[ 1 + \left( \frac{A}{100} \right) \right] \quad \text{Ec. 37}$$

Dónde:

M<sub>SSS</sub>: Densidad bulk en condición SSS, kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>);

A: % de absorción, determinado según la norma INV E-223 (agregados gruesos)

- Densidad Bulk en condición SSS masas compactas:

$$M_{SSS} = 1493,7 * \left[ 1 + \left( \frac{1,33}{100} \right) \right] = 1513,52 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Ec. 37}$$

- Densidad Bulk en condición SSS masas sueltas:

$$M_{SSS} = 1379 * \left[ 1 + \left( \frac{1,33}{100} \right) \right] = 1397,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Ec. 38}$$

➤ **Vacíos en los agregados**

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(S * \rho_w) - M}{S * \rho_w} * 100 \quad \text{Ec. 39}$$

Donde:

S: Gravedad específica bulk (material seco) según la norma INV E-223 (agregados gruesos);

M: Densidad bulk de los agregados, kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>);

ρ<sub>w</sub>: Densidad del agua, 998 kg/m<sup>3</sup> (62.4 lb/pie<sup>3</sup>)

- Vacíos en los agregados, masas compactas:

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(2,652 * 998) - 1494}{2,652 * 998} * 100 = 43,57 \% \quad \text{Ec. 40}$$

- Vacíos en los agregados, masas sueltas:

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(2,561 \cdot 998) - 1379}{2,561 \cdot 998} * 100 = 46,04 \%$$

Ec. 41



**Figura 8. Ensayo de Laboratorio, Densidad Bulk.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

### 7.1.2 Diseño de la mezcla de concreto poroso

Se diseñó la mezcla de concreto poroso la cual determinó una resistencia a la compresión de 11,6 MPa a los 28 días de curado, conforme lo establece la norma ACI 522R-10. El método que propone la norma consultada, se basa en medir los componentes del concreto (cemento, agregado grueso y agua) en peso y volumen. Por lo tanto, se hace necesario conocer las propiedades de los materiales, hallados con los ensayos de laboratorio anteriormente mencionados y que serán mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 4. Propiedades de los materiales.**

Propiedades	Resultados obtenidos
Densidad Bulk para masas compactas	1493,7 kg/m <sup>3</sup>
Gravedad especifica aparente	2,652
Porcentaje de absorción	1,33 %

Fuente: Propia.

Así mismo, se eligió un porcentaje de vacíos del 15%, una relación agua cemento w/c de 0,27 de diseño, una relación de finos de 0,99 según la norma, densidad del agua de 1000 kg/m<sup>3</sup>, permitiendo encontrar la dosificación de cada componente del concreto poroso, para una mezcla de un metro cúbico de volumen.

#### 7.1.2.1 Parámetros para el Diseño de la Mezcla de Concreto Poroso

Para diseñar la mezcla de concreto poroso se establecieron los siguientes parámetros.

1. Porcentaje de vacíos del 15% para la mezcla, puesto que es el mínimo porcentaje de vacíos para concreto poroso establecido en la norma.

2. Relación agua cemento  $\left(\frac{aw}{cm}\right) = 0,27$  ya que está dentro del rango establecido en la norma ACI 522R-10.

3. Agregado 3/8" que cuenta con una densidad  $(M) = 1493,65 \frac{kg}{m^3}$ , que corresponde a la Densidad Bulk para masas compactas, determinada en el ensayo de laboratorio según la norma I.N.V. E-217-13.

4. Para el agregado grueso de 3/8" sin agregado fino, la tabla 6.1 de la norma ACI 522R-10,

recomienda la relación  $\frac{b}{b_0} = 0,99$ .

5. Gravedad específica aparente de 2,652, que corresponde a la densidad determinada en el ensayo de laboratorio según la norma I.N.V. E-223-13.

6. Porcentaje de absorción de 1,33% determinado en el ensayo de laboratorio según la norma I.N.V. E-223-13.

7. Volumen para el cual se diseñó la mezcla,  $V = 1\text{m}^3$

8. Densidad del agua  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Los valores obtenidos para el diseño de mezcla se encuentran en el Apéndice F.

#### 7.1.2.2 Cálculos de diseño

Paso 1: Determinar el peso del agregado ( $W_a$ )

$$W_a = M * \left(\frac{b}{b_0}\right) * V$$

**Ec. 42**

$$W_a = 1493,65 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * (0,99) * 1\text{m}^3 = 1478,72 \text{ kg}$$

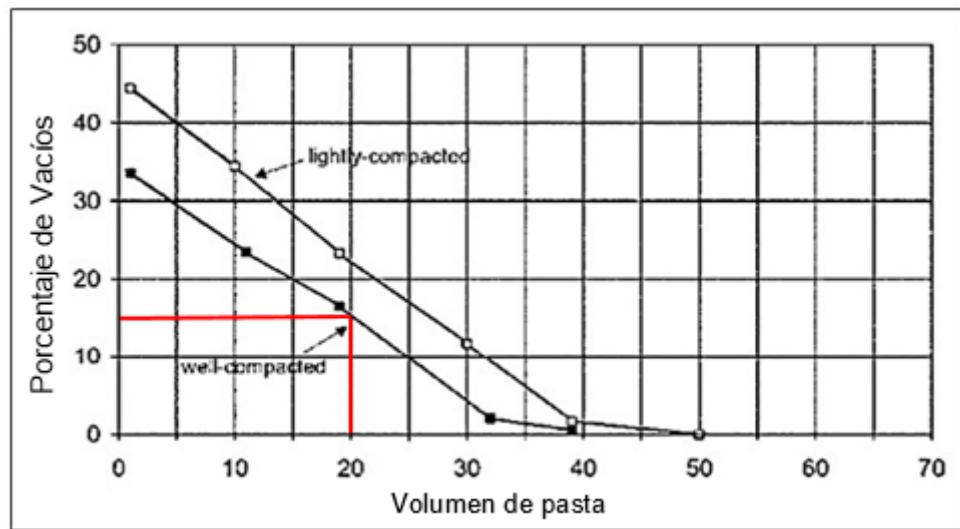
Paso 2: Ajuste a peso SSD (agregado en condición saturada superficialmente seca), se tiene en cuenta el porcentaje de absorción de 1,33%.

$$\text{CDMS} = W_a * (\%_{\text{abs}} + 1)$$

**Ec. 43**

$$\text{CDMS} = 1478,72 \text{ kg} * (1,33\% + 1) = 1498,35 \text{ kg}$$

Paso 3: Volumen de la pasta ( $V_p$ ), según la figura 6.3 de la norma ACI522R-10. El valor para ingresar en el eje Y de la gráfica es el porcentaje de vacíos del 15% mencionado anteriormente, hasta cortar la curva bien compactada determinando el valor del eje X, que corresponde al porcentaje de pasta del 20%.



**Figura 9. Relación entre contenido de vacíos y el contenido de la pasta.**

Fuente: American Concrete Institute. (marzo 01 de 2010). ACI 522R-10

$$V_p = \% \text{ de pasta} * V$$

$$V_p = 20\% * 1\text{m}^3 = 0,2 \text{ m}^3$$

**Ec. 44**

Paso 4: Contenido de cemento (c)

$$c = \left[ \frac{V_p}{\left(0,315 + \frac{aw}{cm}\right)} \right] * \rho_{H_2O}$$

**Ec. 45**

$$c = \left[ \frac{0,2 \text{ m}^3}{(0,315 + 0,27)} \right] * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 341,88 \text{ kg}$$

Paso 5: Contenido de agua (w)

$$w = c * \left( \frac{aw}{cm} \right)$$

**Ec. 46**

$$w = 341,88 \text{ kg} * (0,27) = 92,31 \text{ kg}$$

Paso 6: Volumen sólido ( $V_a$ )

$$V_a = \left( \frac{\text{CMDS}}{\text{Gravedad}_{Esp} * \rho_{H_2O}} \right)$$

**Ec. 47**

$$V_a = \left( \frac{1498,35 \text{ kg}}{2,652 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right) = 0,56 \text{ m}^3$$

Paso 7: Volumen del cemento ( $V_c$ )

$$V_c = \frac{c}{(3,15 * \rho_{H_2O})}$$

**Ec. 48**

$$V_c = \frac{341,88 \text{ kg}}{\left(3,15 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 0,1085 \text{ m}^3$$

Paso 8: Volumen del agua ( $V_w$ )

$$V_w = \frac{w}{\rho_{H_2O}}$$

**Ec. 49**

$$V_w = \frac{92,31 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,09 \text{ m}^3$$

Paso 9: Volumen total del sólido ( $V_s$ )

$$V_s = V_a + V_c + V_w$$

**Ec. 50**

$$V_s = 0,56 \text{ m}^3 + 0,1085 \text{ m}^3 + 0,09 \text{ m}^3 = 0,7658 \text{ m}^3$$

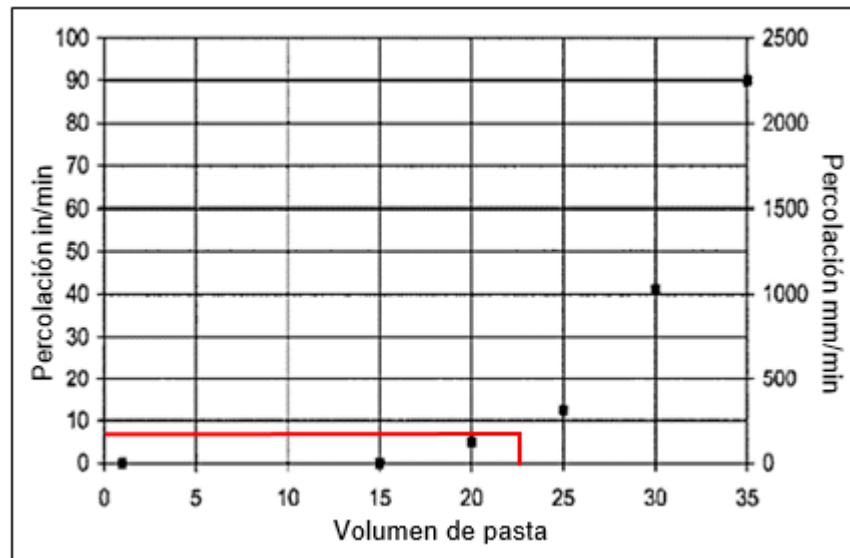
Paso 10: Porcentaje de vacíos

$$\%_{\text{vacios}} = \left(\frac{V - V_s}{V}\right) * 100$$

**Ec. 51**

$$\%_{\text{vacios}} = \left(\frac{1\text{m}^3 - 0,7658 \text{ m}^3}{1\text{m}^3}\right) * 100 = 23,42\%$$

Paso 11: Verificación de la porosidad estimada, según la figura 6.1 de la norma ACI522R-10, el valor para ingresar al eje X de la gráfica es el % de vacíos de 23,42% calculado en el paso anterior, para determinar el porcentaje de percolación se interpoló entre los valores 20% y 25% de la gráfica ya que el % de vacíos se encuentra entre estos dos valores.



**Figura 10. Relación entre la percolación y el contenido de vacíos.**

Fuente: American Concrete Institute. (marzo 01 de 2010). ACI 522R-10

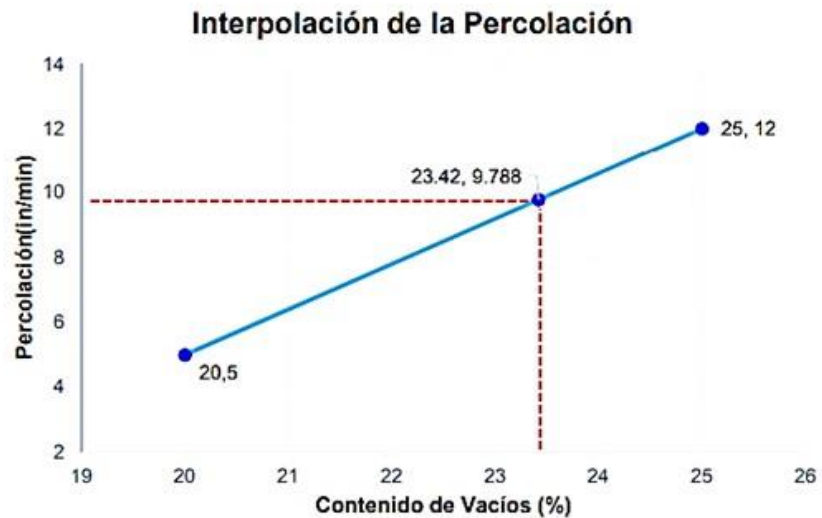
Para el 20% de vacíos corresponde una percolación de 5 in/min y para el 25% una percolación de 12 in/min, al interpolar se obtuvo que para un 23,42% de vacíos le corresponde una percolación de 9,788 in/min. Como se evidencia en la figura 11.

Contenido de vacíos	Percolación
20	5
25	12

Interpolación	
Contenido de vacíos	Percolación
5	7
3,42	x

x            4,788

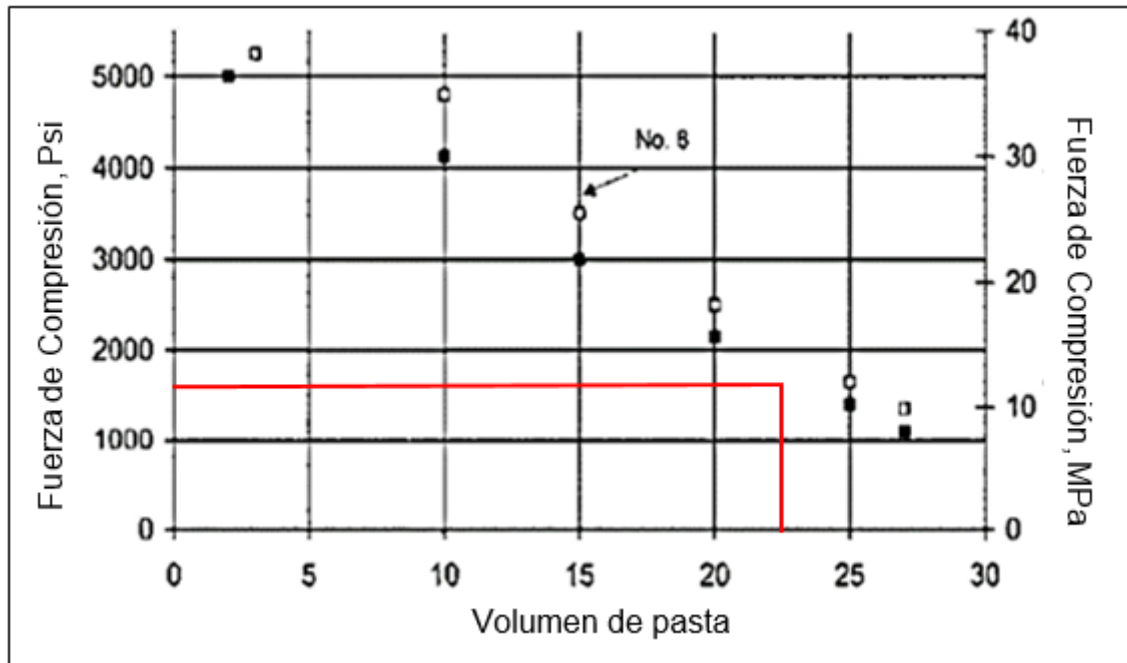
Contenido de vacíos	Percolación
20	5
23,42	9,788
25	12



**Figura 11. Gráfica de Interpolación para la Percolación.**

Fuente Propia.

Paso 12: Verificación de la resistencia a la compresión según la figura 12 de la norma ACI522R-10, el valor para ingresar en el eje X de la gráfica es el % de vacíos de 23,42% para determinar la resistencia a la compresión se interpoló entre los valores 20% y 25% de la gráfica ya que la resistencia a la compresión se encuentra entre estos dos valores, se tomaron los valores correspondientes al agregado No.8 y de esta manera se obtuvo la resistencia a la compresión para el diseño de la mezcla.



**Figura 12. Relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos.**

Fuente: American Concrete Institute. (marzo 01 de 2010). ACI 522R-10

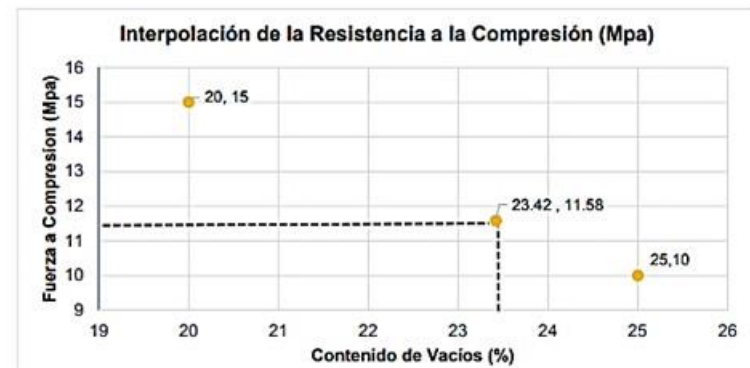
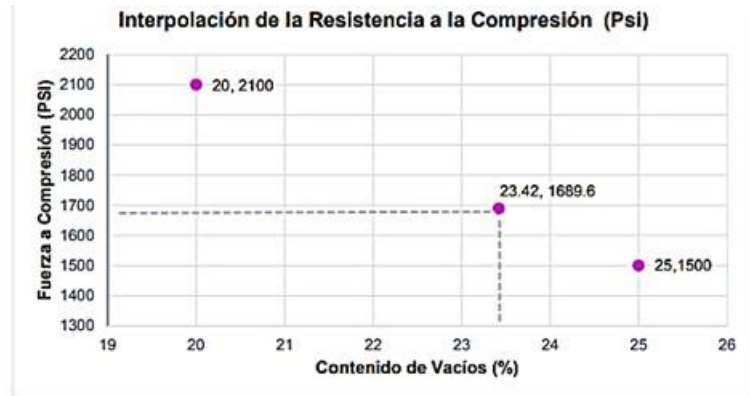
Para el 20% de vacíos corresponde una resistencia a la compresión de 2100 Psi (15 MPa) y para el 25% de vacíos corresponde una resistencia a la compresión de 1500 Psi (10 MPa), al interpolar se obtuvo que para un 23,42% de vacíos le corresponde una resistencia a la compresión de 1689,6 Psi (11,6 MPa) aproximadamente 12 MPa. Como se puede evidenciar en la figura 13.

Contenido de vacios	Compresión (Psi)	Compresión (Mpa)
20	2100	15
25	1500	10

Interpolación		
Contenido de vacios	Compresión (Psi)	Compresión (Mpa)
5	600	5
3,42	x	x

x            410,4            3,42

Contenido de vacios	Compresión (Psi)	Compresión (Mpa)
20	2100	15
23,42	1689,6	11,58
25	1500	10



**Figura 13.** Gráfica de Interpolación para la Resistencia a Compresión de los BCP.

Fuente Propia.

La tabla resumen del diseño de la mezcla de concreto poroso se encuentra en el Apéndice F.

## 7.2 Fase II: Elaboración de cilindros y bloques de concreto poroso.

### 7.2.1 Formaletas bloques y cilindros

#### 7.2.1.1 Formaletas Bloques

Se elaboraron 35 BCP con dimensiones de 20\*40\*12 cm, con seis alvéolos horizontales ubicados al interior de cada uno de los bloques de concreto.

Se diseñaron y elaboraron 2 formaletas de madera con espesor de 2 cm, la formaleta tiene dimensiones de 112 cm de largo, 40 cm de ancho, 12 cm de alto. Con separadores de la misma madera cada 20 cm a lo largo de la formaleta, obteniendo así, la formaleta para cinco bloques cada una, en total 10 bloques.

La parte de la formaleta de 112 cm por 12 cm, es una sola tabla, la cual cuenta con los orificios correspondientes a los alvéolos circulares. En el interior de la formaleta de cada bloque se colocaron seis tubos circulares de PVC de 1" (3.33 cm) de diámetro, tubería hidráulica, de 50 cm de largo, de tal manera que 40 cm representa el largo del bloque y los 10 cm restantes quedan libres para su posterior extracción, distribuidos en dos filas de a tres alvéolos cada una. Cada formaleta requirió 60 tubos simulando los alvéolos horizontales. Los tubos se engrasaron con aceite hidráulico, y se envolvieron en papel periódico para facilitar su extracción en el momento de desencofrado.



**Figura 14. Formaletas para los Bloques.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

### **7.2.1.2 Formaletas Cilindros**

Las formaletas para los cilindros de concreto poroso son de hierro forjado o acero, se les aplicó aceite hidráulico con una brocha, para evitar la adherencia del hormigón. Las dimensiones de las formaletas son de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, deben estar fijas a la placa de la base y sujetas a las abrazaderas de forma adecuada, para evitar que la mezcla se salga. Para la presente investigación se elaboraron 16 cilindros de concreto poroso.



**Figura 15. Formaletas para los Cilindros.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

### **7.2.2 Cantidad de materiales**

Para realizar las fundidas de los BCP y cilindros de concreto se tomó como referencia el diseño de mezcla de concreto poroso antes mencionado, y así poder determinar las cantidades de los materiales.

Como solamente se contó con dos formaletas de cinco bloques cada una, se fundieron de a 10 bloques por día, fue necesario realizar cuatro fundidas para obtener los 35 bloques y los 18

cilindros. En el Apéndice G respectivamente. En la mezcla de concreto poroso de los 35 bloques y 18 cilindros, se utilizaron las siguientes cantidades: 472,391 kg de agregado grueso 3/8", 107,79 kg de cemento hidráulico tipo I marca Cemex, 29,227 litros de agua. En la fundida 1 se tomó un 5% de desperdicio en todos los materiales, pero a la hora de realizar la mezcla se observó que sobró demasiado material, por lo tanto, se decidió reducir el desperdicio a un 2% para las fundidas posteriores.

### 7.2.3 Preparación de la Mezcla de Concreto Poroso

Después de realizar la caracterización de los materiales, el diseño de la mezcla y la dosificación, se procedió a realizar la mezcla del concreto poroso de la siguiente manera: La mezcla de concreto se llevó acabo manualmente, teniendo en cuenta la Norma INV E-402 y la NTC 1377, en donde se establece que la mezcla se debe realizar en una bandeja metálica impermeable y se debe mezclar con una pala, posteriormente se combinó el cemento y el agregado de 3/8", sin adicionarle agua hasta obtener una mezcla homogénea, luego se adicionó el agua y se mezcló la masa hasta lograr un concreto uniforme y de consistencia deseada.





**Figura 16. Preparación de la mezcla de concreto.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

#### **7.2.4 Fundida de la Mezcla de Concreto Poroso**

Se fundieron los BCP y cilindros lo más cerca posible al lugar donde se guardaron durante las siguientes 24 horas correspondientes a su fraguado, puestos en una superficie rígida, evitando vibraciones, inclinaciones, golpes y movimientos bruscos. El concreto se colocó en los moldes utilizando una pala y se distribuyó utilizando una varilla de compactación antes de iniciar la consolidación.

##### **7.2.4.1 Fundida de los BCP**

Se vació el concreto dentro de la formaleta de cada bloque, distribuyendo el vaciado en varias capas uniformes. Al vaciar la primera capa de concreto, se apisonó con la parte redonda de una varilla de hierro delgada, varias veces hasta lograr que el espacio que hay entre el fondo y la primera fila de alvéolos, quedara totalmente recubierta, sin espacios. Lo mismo se hizo para las siguientes capas hasta llenar la formaleta, luego se procedió a enrasar los bloques para quitar el

excedente de concreto con una llana o un palustre, de tal manera que la superficie quedara plana a nivel del borde de la formaleta.

#### **7.2.4.2 Fundida Cilindros**

Los cilindros se elaboraron teniendo en cuenta las indicaciones establecidas en las normas INV E-402. Se vació la mezcla de concreto en las formaletas de los cilindros de la siguiente manera, el vaciado se distribuyó en dos capas aproximadamente del mismo volumen para los cilindros de 10\*20 cm y tres capas para los cilindros de 15\*30 cm, se apisonó cada capa con la parte redonda de la varilla, proporcionando 25 golpes a cada una. La distribución de golpes en cada capa, es uniforme en la sección transversal del molde.

Luego se removió el exceso de concreto que sobresalía de los bordes del molde y se emparejó con una llana o un palustre, de tal forma que la superficie quedará plana a la altura de la orilla del cilindro.





**Figura 17. Fundida de los BCP.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

### **7.2.5 Desencofrado**

El desencofrado se realizó a las 24 horas de cada fundida de los BCP y los cilindros, cuando alcanzaron la resistencia necesaria para lograr tolerar con seguridad su propia carga. Para poder desencofrar los BCP de forma adecuada y cuidadosa fue necesario, quitar una sola tabla de cada una de las formaletas, en este caso la tabla que tenía los orificios correspondientes a la entrada de los tubos de los alvéolos, previamente se sacaron los tubos de PVC de cada uno de los BCP para que no se desmoronaran los bordes, en los casos en que los tubos estuvieron bastante pegados, se utilizó una varilla y un martillo para golpear poco a poco los tubos de PVC y lograr que salieran. Para desencofrar los cilindros fue necesario soltar con una llave las tuercas que ajustaban la formaleta a la base y posteriormente se giró la formaleta para despegar el cilindro. Dicho procedimiento se repitió para los cilindros restantes.



**Figura 18. Desencofrado de los BCP.**

Fuente Propia.

### **7.2.6 Tiempo de Curado**

A causa de los vacíos presentes y el bajo contenido de agua en el diseño de mezcla, la humedad con la que cuentan los bloques y cilindros de concreto poroso se puede evaporar de forma rápida. Por lo tanto, luego de desencofrar los BCP y los cilindros, fueron recubiertos con plástico vinipel cada uno de los bloques y cilindros como una forma de proteger el concreto de tal manera que se conservará la humedad del concreto y así asegurar que existiera la cantidad suficiente de agua para permitir la completa hidratación del cemento. Posteriormente fueron llevados a un cuarto húmedo de curado en condiciones de humedad con temperaturas de  $23.0^{\circ} \pm 2.0^{\circ}\text{C}$  libre de vibraciones en

las primeras 48 horas hasta completar la resistencia a los 28 días, de acuerdo a la norma ASTM C 511.



**Figura 19. Desencofrado de los BCP.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

Los cronogramas que se tuvieron en cuenta para llevar un control de las cuatro fundidas y para realizar los ensayos a compresión de los bloques, cilindros y cronograma de control que se encuentra en el Apéndice H y Apéndice I.

### **7.3 Fase III: Ensayos a compresión, permeabilidad y conductividad térmica**

#### **7.3.1 Ensayos a compresión de cilindros y bloques de concreto poroso, bloques de mortero y ladrillos de mampostería convencional.**

##### *7.3.1.1 Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto Poroso*

Pasados 28 días de curado los 35 BCP y 16 cilindros fueron retirados del cuarto de curado, quitando el vinipel permitiendo que se secarán de forma parcial para poder realizar el ensayo a compresión. Antes de ser fallados fue necesario realizar un proceso de refrentado con yeso, en la parte superior e inferior de cada muestra, cuya finalidad es nivelar la superficie de los especímenes asegurando que la carga aplicada se distribuya de manera uniforme y así obtener resultados confiables, según la norma INV E-403. Posteriormente se fallaron en la máquina de compresión a las 24 horas de haber sido refrentados.

La resistencia a la compresión se registró en mega pascales (**MPa**) en unidades del Sistema Internacional. Los cálculos realizados para hallar la resistencia a la compresión fueron obtenidos a partir de la norma NTC 673. Para fallar los cilindros de concreto poroso, se empleó la máquina de ensayo a compresión, mostrada en la tabla 5, la cual arrojó la carga máxima de rotura para cada cilindro, que fue dividida entre el área a la cual fue sometida la carga y de esta manera poder hallar la resistencia a la compresión de los cilindros. Tabulados de la siguiente manera:

**Tabla 5. Cálculos de la Resistencia a Compresión de los Cilindros.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CILINDROS FUNDIDA 1									
Muestra N°	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (kN)	Carga (N)	Resistencia a la compresión, (Mpa)	Resistencia a la compresión, (PSI)
1	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	61,58	61580	7,84	1137,19
2	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	85,25	85250	10,85	1574,30
3	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	52,28	52280	6,66	965,44
4	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	74,68	74680	9,51	1379,10
5	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	43,26	43260	5,51	798,87
6	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	79,47	79470	10,12	1467,56

Fuente Propia.

Los demás datos obtenidos en ensayos a compresión realizados a los cilindros de concreto poroso se encuentran en los Apéndice J.

**Figura 20. Ensayo de Laboratorio para la Resistencia a la Compresión de los Cilindros.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

### 7.3.1.2 Ensayo a Compresión de Bloques de Concreto Poroso

Pasados 28 días de curado de los BCP, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión a cada uno de los bloques. Este ensayo a compresión se efectuó en la máquina universal, se aplicó una carga hasta la rotura del bloque, el valor arrojado por el equipo de falla, se dividió entre el área de la cara a la que fue sometida la carga para hallar la resistencia a compresión. Los resultados fueron tabulados en la siguiente tabla de Excel.

**Tabla 6. Cálculos de la Resistencia a Compresión de los BCP.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BLOQUES CON ALVÉOLOS FUNDIDA 1												
Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área bruta (mm <sup>2</sup> )	Largo (mm)	a2 (mm)	Área de vacíos (mm <sup>2</sup> )	Área neta (mm <sup>2</sup> )	Carga (N)	Esfuerzo área bruta (Mpa)	Esfuerzo área bruta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión, área neta (Mpa)	Esfuerzo área neta (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	89117,19	1,86	18,94	4,17	42,56
2	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	83570,31	1,74	17,76	3,91	39,91
3	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	58648,44	1,22	12,46	2,75	28,01
4	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	88898,44	1,85	18,89	4,16	42,45
5	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	92793,13	1,93	19,72	4,34	44,31
6	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	74476,56	1,55	15,83	3,49	35,56
7	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	98304,69	2,05	20,89	4,60	46,94
8	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	66109,38	1,38	14,05	3,10	31,57
9	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	73804,69	1,54	15,68	3,46	35,24
10	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	92781,25	1,93	19,72	4,34	44,31

Fuente Propia.

Los demás datos obtenidos en el ensayo a compresión realizado a los BCP se encuentran en el Apéndice K.



**Figura 21. Ensayo de Laboratorio para la Resistencia a la Compresión de los BCP.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

### 7.3.1.3 Ensayo a Compresión de Bloques de Mortero

Se realizaron ensayos a compresión a diez bloques de cemento y arena, en la máquina a compresión. La resistencia a la compresión se determinó de la misma manera en que se calculó la resistencia a la compresión para los BCP. Dichos resultados fueron tabulados en la siguiente tabla de Excel.

**Tabla 7. Cálculos de la Resistencia a Compresión de los Bloques de Mortero.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES DE MORTERO												
Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área bruta (mm <sup>2</sup> )	Largo (mm)	a2 (mm)	Área de vacíos (mm <sup>2</sup> )	Área neta (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga (N)	Esfuerzo área bruta (Mpa)	Esfuerzo área bruta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión , área neta (Mpa)
1	92	392	36064	392	15000	21064	15000	19,02	19020	0,527	5,379	1,268
2	92	392	36064	392	15000	21064	15000	27,90	27900	0,774	7,891	1,860
3	92	392	36064	392	15000	21064	15000	25,65	25650	0,711	7,255	1,710
4	92	392	36064	392	15000	21064	15000	32,97	32970	0,914	9,325	2,198
5	92	392	36064	392	15000	21064	15000	16,35	16350	0,453	4,624	1,090
6	92	392	36064	392	15000	21064	15000	41,71	41710	1,157	11,797	2,781
7	92	392	36064	392	15000	21064	15000	34,80	34800	0,965	9,843	2,320
8	92	392	36064	392	15000	21064	15000	26,07	26070	0,723	7,373	1,738
9	92	392	36064	392	15000	21064	15000	45,80	45800	1,270	12,954	3,053
10	92	392	36064	392	15000	21064	15000	22,55	22550	0,625	6,378	1,503

Fuente Propia.

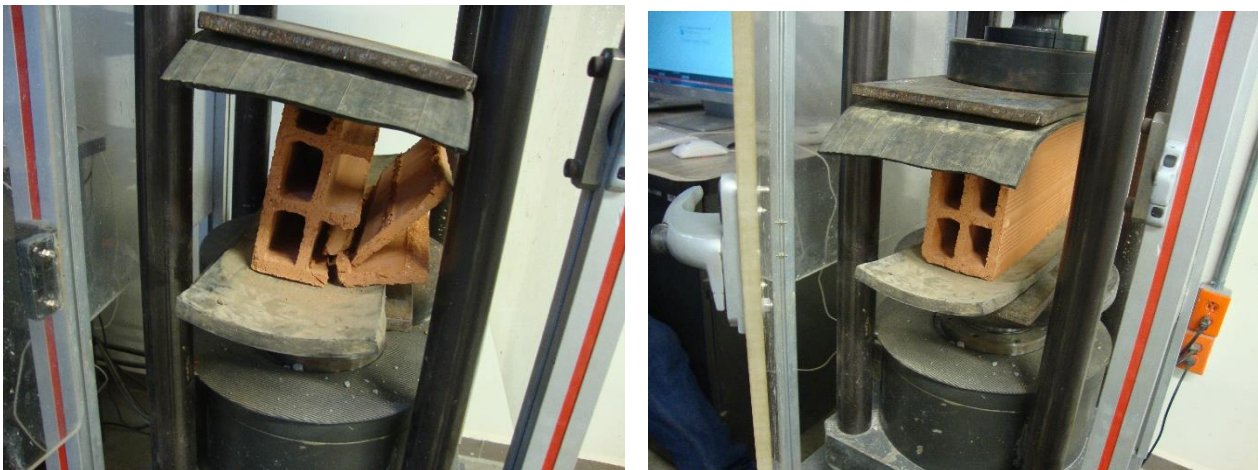
### 7.3.1.4 Ensayo a Compresión de Ladrillos de Mampostería Convencional

Se realizaron ensayos a compresión a seis ladrillos cocidos de arcilla, en la máquina a compresión. La resistencia a la compresión se determinó de la misma manera en que se calculó la resistencia a la compresión para los BCP y los bloques de mortero. Las resistencias fueron tabuladas en la tabla de Excel que se muestra a continuación.

**Tabla 8. Cálculos de la Resistencia a Compresión de los Ladrillos Cocidos de Arcilla.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LADRILLOS COCIDOS DE ARCILLA												
Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área bruta (mm <sup>2</sup> )	Largo (mm)	a2 (mm)	Área de vacíos (mm <sup>2</sup> )	Área neta (mm <sup>2</sup> )	Carga (N)	Esfuerzo área bruta (Mpa)	Esfuerzo área bruta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión, área neta (Mpa)	Esfuerzo área neta (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	93	307	28551	307	11,6	17867,40	10683,60	22890	0,80	8,18	2,14	21,85
2	90	307	27630	307	11	17499,00	10131,00	18520	0,67	6,84	1,83	18,65
3	90	307	27630	307	11,3	17192,00	10438,00	25850	0,94	9,54	2,48	25,26
4	90	308	27720	307	10	18420,00	9300,00	23730	0,86	8,73	2,55	26,03
5	91	308	28028	307	11	17806,00	10222,00	19510	0,70	7,10	1,91	19,47
6	90	303	27270	307	10	18420,00	8850,00	13870	0,51	5,19	1,57	15,99

Fuente Propia.



**Figura 22. Ensayo de Laboratorio de la Resistencia a la Compresión de los Ladrillos Cocidos de Arcilla.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

### 7.3.2 Ensayo de Permeabilidad a Cilindros de Concreto Poroso

Uno de los ensayos más importantes que se realizó al concreto poroso es el ensayo de permeabilidad ya que determina la rata de infiltración con la que pasa el agua a través de los poros del concreto. El ensayo de permeabilidad que generalmente se realiza al concreto convencional no

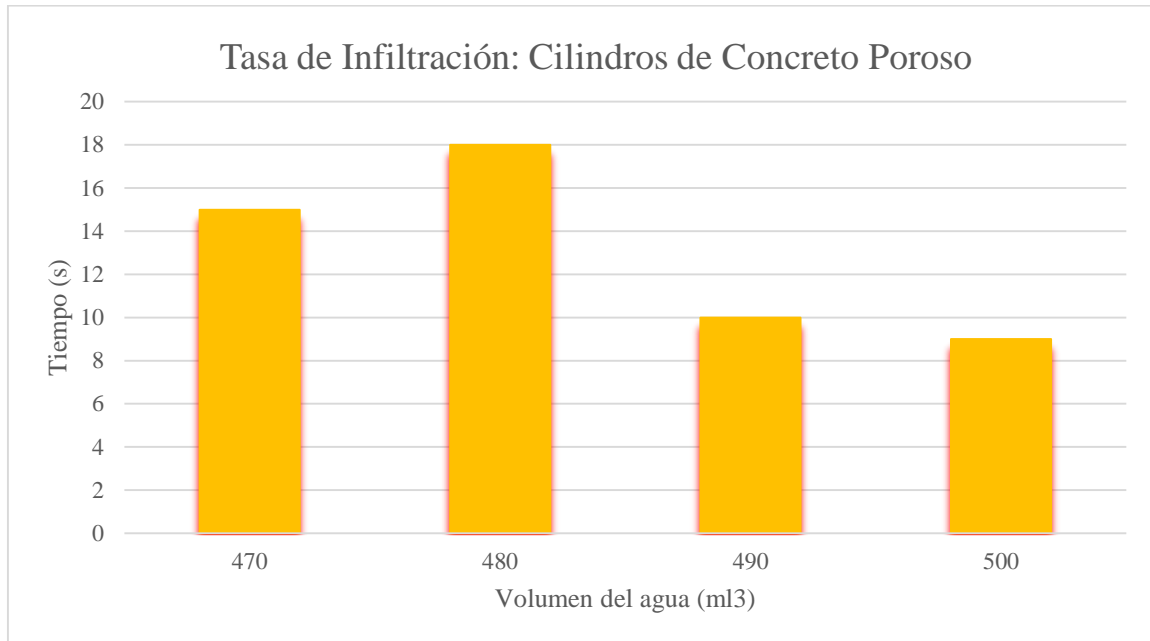
se pudo realizar, ya que debido a la alta presión que ejerce el agua sobre el concreto no se logró tener un valor real de la velocidad con que pasaba el agua por el concreto.

Por lo tanto, se determinó realizar el ensayo de permeabilidad a 4 cilindros de forma manual de la siguiente manera: Se tomaron 1 Cilindro de concreto Poroso de dimensiones 10 cm de diámetro por 20 cm de longitud. Se tomó una probeta de 1000 ml de volumen y se llenó con 500 ml agua. Posteriormente se colocó el cilindro de concreto poroso sobre una segunda probeta de 1000ml y se procedió a suministrar el agua de la primera probeta al cilindro de concreto poroso, con un cronometro en mano, se tomó el tiempo que en que tardó los 500ml al pasar en su totalidad por el cilindro de concreto poroso. Se verificó que el agua suministrada ingresara por el centro del cilindro y no se desviara hacia los bordes de este. Esta prueba se realizó de la misma manera para los tres cilindros restantes. Y de esta manera se determinó la tasa de infiltración del agua para el concreto poroso diseñado en la mezcla. Finalmente, los datos fueron tabulados en la siguiente tabla de Excel.

**Tabla 9. Cálculos del Ensayo de permeabilidad a los Bloques.**

No. Cilindro	Volumen (ml3)	Tiempo (s)	Caudal (ml3/s)
1	470	15	31,333
2	480	18	26,667
3	490	10	49
4	500	9	55,556

Fuente Propia.



**Figura 23. Tasa de infiltración**

Fuente Propia



**Figura 24. Gráfica de la Tasa de Infiltración.**

Fuente Propia. Universidad Pontificia Bolivariana

La tasa promedio de infiltración de 10 cilindros de 10\*20 cm de concreto poroso fue 20 ml/seg

### **7.3.3 Ensayo Térmico a los Bloques de Concreto Poroso**

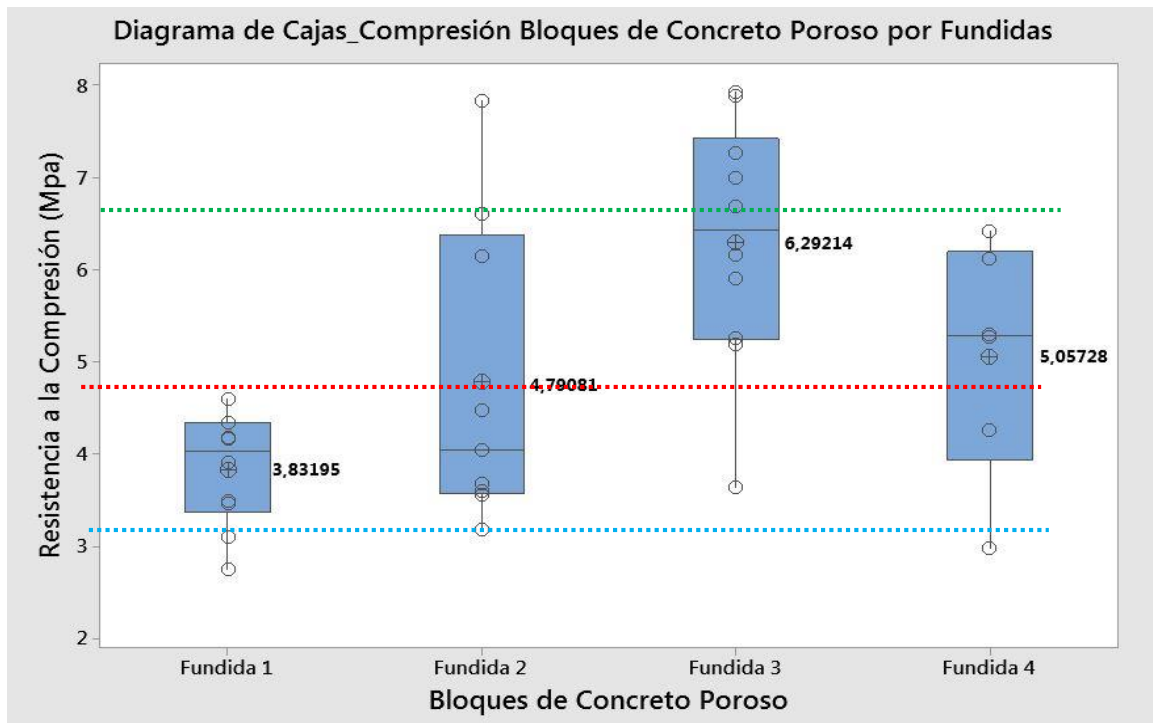
Adicional al ensayo a compresión realizado anteriormente, se ejecutó un ensayo térmico a los BCP, con el objetivo de analizar el comportamiento de la temperatura en el bloque. El ensayo se realizó a cuatro bloques, utilizando una cámara termográfica modelo Ti450P, de marca Fluke Thermography. A cada uno de los bloques se le tomaron temperaturas en diferentes puntos, tanto en la cara superior del bloque como en la cara frontal, en donde se encuentran los alvéolos. Las temperaturas fueron tomadas cada cinco minutos durante media hora. El suministro de temperatura se realizó por medio de un mechero, concentrando el calor en un solo punto ubicado en el centro de la cara inferior del bloque.

## **7.4 Fase IV: Análisis de resultados**

### **7.4.1 Análisis de la resistencia a la compresión de los bloques de concreto poroso**

Los diferentes resultados de los ensayos a compresión de los BCP, se calcularon principalmente para determinar que el diseño propuesto de la mezcla de concreto poroso cumpliera con los parámetros de la resistencia especificada ( $f'c$ ).

En la figura 23 de cajas se puede evidenciar la representación gráfica de los resultados a compresión obtenidos en cada fundida.



**Figura 25. Gráfica de Diagrama de Cajas Resistencia a la Compresión de BCP por fundidas.**

Fuente Minitab.

En la figura 25 se analizó que la media obtenida para la fundida 1, 2 y 4 se encuentra a 1,17, 0,21 y 0,95 MPa respectivamente por debajo de la media de todas las fundidas realizadas, que es 5 MPa, mientras que la fundida 3 se encuentran a 1,29 MPa por encima de la media de todas las fundidas.

Así mismo, se observa que no existen datos atípicos, ya que no hay ningún valor que se encuentre fuera de los límites superior e inferior del diagrama de cajas.

Al análisis del diagrama de cajas se le aplicó el teorema de Chebyshev que dice que el 68% (24 datos del total) de los datos debe estar contenido dentro de la media más o menos una desviación estándar, y el 95% (35 datos del total) de los datos debe estar contenido dentro de la media más o menos dos desviaciones estándar. Se realizaron gráficas de la resistencia a la compresión de los bloques por fundidas que aparecen en el Apéndice M

**7.4.1.1 Análisis de la Resistencia a la Compresión de los Bloques de Concreto Poroso aplicando Estadística descriptiva.**

Para cada una de las fundidas de los BCP se llevó a cabo un análisis de los datos mediante el método de estadística descriptiva. Como se refleja en la siguiente tabla de excel:

**Tabla 10. Análisis de Estadística Descriptiva para los BCP.**

	Fundida 1	Fundida 2	Fundida 3	Fundida 4
Media	3,831	4,790	6,292	5,057
Error típico	0,192	0,550	0,425	0,519
Mediana	4,037	4,042	6,423	5,284
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0,608	1,652	1,347	1,271
Varianza de la muestra	0,370	2,729	1,814	1,616
Curtosis	-0,780	-0,506	0,126	0,168
Coefficiente de asimetría	-0,600	0,965	-0,652	-0,840
Rango	1,856	4,653	4,294	3,445
Mínimo	2,745	3,181	3,634	2,975
Máximo	4,602	7,835	7,928	6,421
Suma	38,319	43,117	62,92	30,343
Coefficiente de Variación	0,158	0,344	0,214	0,251
Nivel de confianza(95,0%)	0,435	1,269	0,963	1,334

Fuente Propia.

De la tabla 10 la desviación estándar representa la dispersión en los resultados a compresión obtenidos para cada fundida, en donde la fundida 2 presentó la mayor variabilidad de datos que es 1,65 respecto a la media.

Ningún bloque tuvo la misma resistencia a la compresión en ninguna de las fundidas, por lo tanto, en este caso no existe la moda para los datos.

Los coeficientes de asimetría obtenidos en las fundidas 1, 3 y 4 son negativos, lo que indica que hay superior agrupamiento de los valores a la izquierda que a la derecha de la media, mientras que el coeficiente de asimetría de la fundida 2 al ser positivo, indica que hay superior agrupamiento de valores a la derecha que a la izquierda de la media.

La curtosis en la fundida 1 y 2 al ser negativas, indican una menor concentración de los datos entorno a la media, lo que representa una distribución denominada platicúrtica, mientras que la fundida 3 y 4 al ser positivas, indican mayor concentración de los datos en torno a la media, lo que representa una distribución denominada leptocúrtica.

El coeficiente de variación se utilizó para comparar las cuatro fundidas de los bloques de concreto pertenecientes a poblaciones distintas, el mayor coeficiente de variación se presentó en la fundida 2, que indica la mayor dispersión relativa de los datos, que corresponde al 34,48 %.

### 7.4.1.2 Análisis Estadístico en MINITAB de la Resistencia a la Compresión de Bloques de Concreto Poroso

#### 7.4.1.2.1 Prueba de Valores Atípicos para los BCP

Ensayo de valores atípicos: Esfuerzo (Mpa)

##### Procedimiento

Hipótesis nula        Todos los valores de los datos se derivan de una población normal e igual

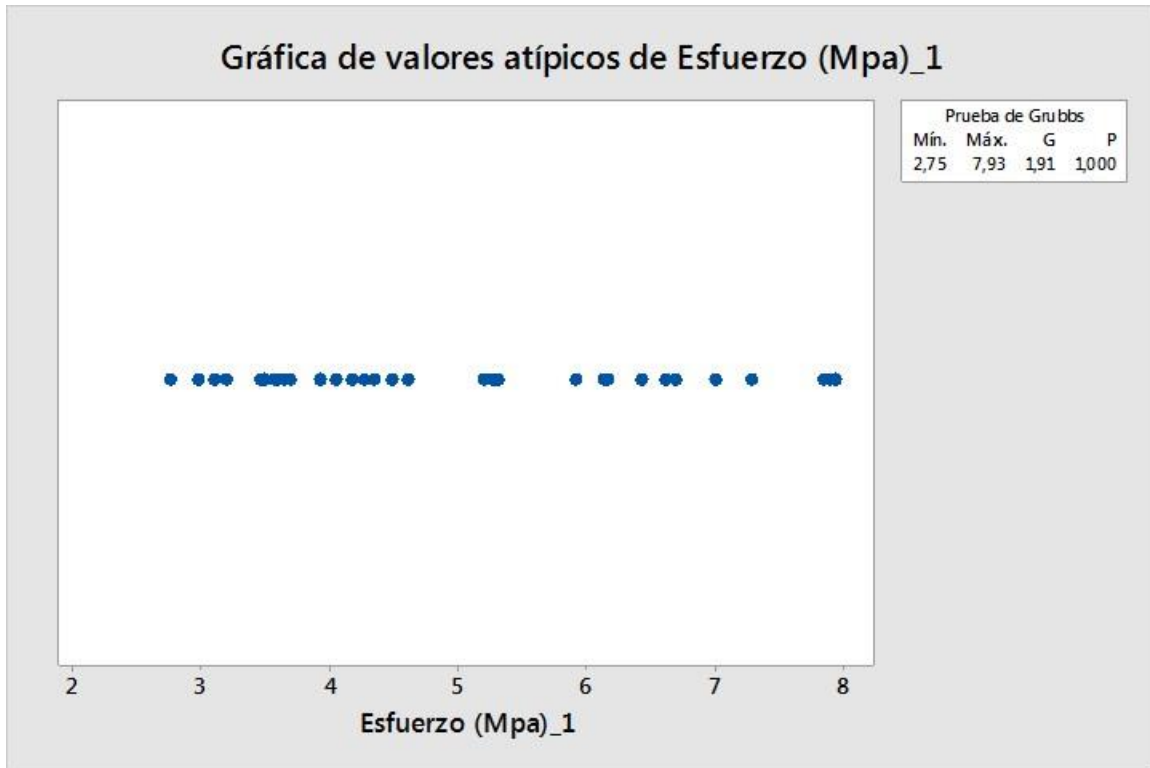
Hipótesis alterna    El valor más bajo o más alto de los datos es un valor atípico

Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

##### Prueba de Grubbs

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
Esfuerzo (Mpa)_1	35	4,991	1,537	2,746	7,929	1,91	1,000

\* NOTA \* No hay valor atípico en el nivel de significancia de 5%

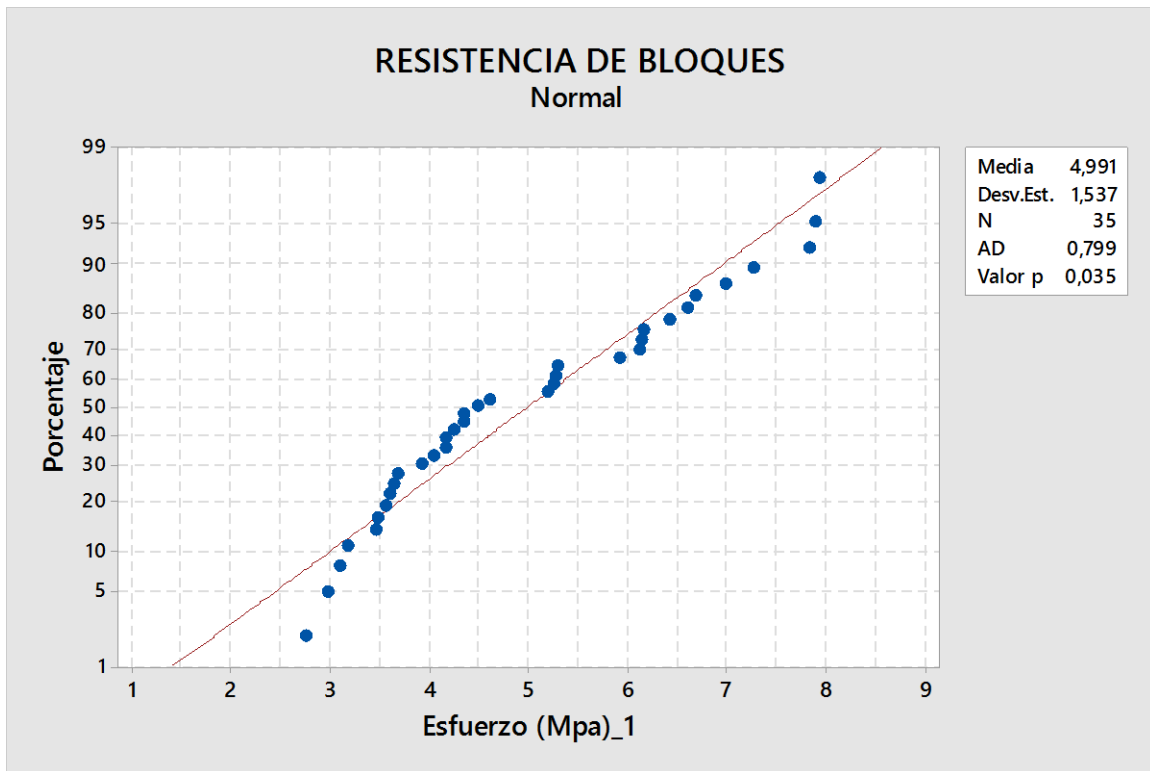


**Figura 26. Gráfica de Prueba de Valores Atípicos para los BCP.**

Fuente Minitab.

Para definir si existen valores atípicos, se comparó el valor P con el nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ), en este caso para los 35 BCP el valor de P es mayor a  $\alpha$ , lo que señala que el total de los valores proceden de una misma población normal, por lo tanto, no existen valores atípicos en la muestra.

#### 7.4.1.2.2 Prueba de Normalidad



**Figura 27. Gráfica de Prueba de Normalidad para los BCP.**

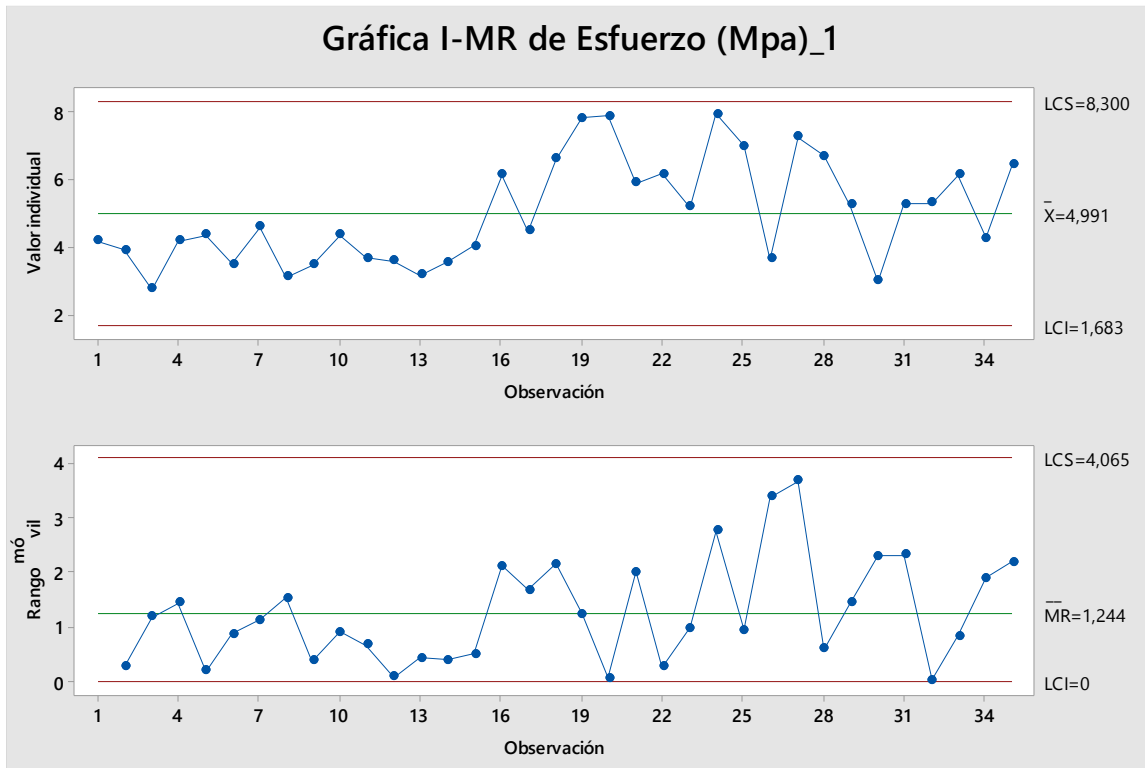
Fuente Minitab.

Para analizar la gráfica de normalidad, se comparó el valor P con el nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ), en este caso el valor de P para los 35 BCP es menor a  $\alpha$ , lo que indica que los datos no persiguen una distribución normal. La prueba de normalidad evalúa que el proceso de donde parten los datos observados de una muestra cuenten con una distribución normal, pero esto no quiere decir que los datos sean normales. Si la muestra es lo suficientemente grande, se pueden obtener resultados apropiados con datos no normales. La cantidad de datos requerida para que los datos presenten una distribución normal depende del teorema del límite central, que indica que mayor número de datos de la muestra, la distribución de los datos se acerca a una distribución normal. En

este caso, solamente se cuenta con 35 datos que nos muestran una distribución en los datos que no es normal, ya que se vieron afectados tanto por la asimetría de la muestra como por la limitación de los datos observados. Por lo tanto, es necesario darle un tratamiento a estos datos con prueba no paramétricas, como lo es la Prueba de Tukey que permite evaluar las diferencias entre las medias de las cuatro fundidas comparando las resistencias obtenidas de a dos para poder determinar la veracidad de las hipótesis.

Como el valor de Anderson Darling de 0,799 indica que las resistencias a compresión de los bloques muestran un comportamiento cercano a la línea de distribución ajustada, pero no presenta un buen ajuste a los datos.

#### *7.4.1.2.3 Prueba de Control*



**Figura 28. Gráfica I-MR para los BCP.**

Fuente Minitab.

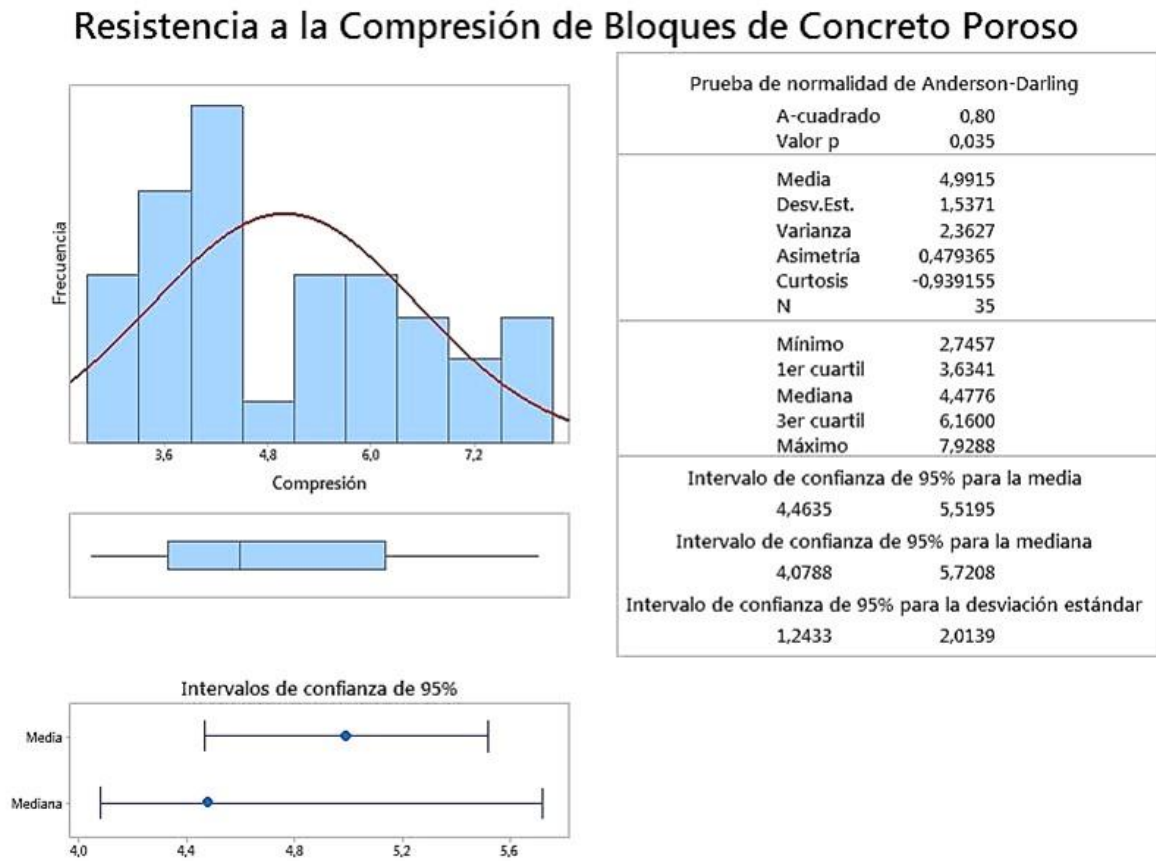
Para analizar la gráfica de los valores individuales se analiza primero la gráfica de rangos móviles, para decidir si la alteración del procedimiento se encuentra bajo control.

La línea central en la gráfica de rangos móviles, representa el promedio de todos los rangos móviles, que son el valor absoluto de la diferencia entre dos observaciones consecutivas. En donde los límites de control, se instauran a una longitud de tres desviaciones estándar por arriba y por abajo de la línea central, siendo el límite superior igual a 4,065 e inferior igual a 0.

La gráfica de observaciones individuales representa la medida de la alteración requerida en los valores individuales de la muestra. En donde el límite de control superior es de 8,3 y el inferior es de 1,68.

A partir de la gráfica I-MR se concluye que las resistencias a compresión obtenidas con respecto a la media tanto para rangos móviles, como para rangos individuales tuvieron un proceso de control, ya que todos los valores están dentro de los límites de control superior e inferior.

7.4.1.2.4 Resumen Gráfico Resistencia a la Compresión



**Figura 29. Gráfico Resumen de la Resistencia a la Compresión para los BCP.**

Fuente Minitab.

La prueba de normalidad de Anderson-Darling permite comprobar que los valores de las resistencias obtenidas para los BCP son datos normales. Es decir, esta prueba mide que tan bien los datos siguen una distribución específica, esto es determinado a partir del valor de P. Si P es

mayor a 0,05 que es la margen de error obtenido al usar un intervalo de confianza de 95%. Como el valor de P es 0,035 y es menor a 0,05 los datos no son normales, y se rechaza la hipótesis nula de que los datos provienen de esa distribución.

La media representa el punto medio del histograma, se calculó sumando todas las resistencias a compresión de los BCP, y dividiendo la suma entre el número total de resistencias, en este caso 35.

La desviación estándar y la varianza son prácticamente lo mismo solo que la varianza es la desviación estándar al cuadrado, estas medidas indican la varianza de cada muestra con respecto a la media que es 4,99 MPa. La asimetría refleja que tan asimétricos son los datos, en este caso como la asimetría es positiva, indica que a medida que los datos de las resistencias se vuelven más asimétricos, el valor de la asimetría se acerca a cero.

La curtosis indica la forma en que el pico y las colas de una distribución difieren de la distribución normal. En este caso al ser negativa, indica que el pico de la distribución es muy plano.

N es el número de muestras evaluadas en este caso 35 BCP. El mínimo representa la mínima resistencia presente en los datos, en este caso 2,7457 MPa. El 1er cuartil indica que el 25% de las resistencias oscilan entre valores de 2,74 MPa y 3,63 MPa. La mediana indica la mitad de los datos de las resistencias obtenidas en los bloques, en este caso la mediana es 4,47 MPa. El 3er cuartil indica que 75% del total de las resistencias obtenidas tienen una resistencia a la compresión menor o igual a 6,16 MPa. El máximo representa la máxima resistencia obtenida en los datos, en este caso la máxima resistencia que se presentó en los 35 bloques es de 7,92 MPa.

El intervalo de confianza para la media, mediana y la desviación estándar de los datos es de 95%, en donde se pudo observar que al ser la media 4,99 MPa y la mediana 4,47 MPa. Son valores



En la figura 29 se analizó que la media obtenida para los ensayos de resistencia a la compresión de los cilindros es de 8,26 MPa, presentando una diferencia de 28,8 % menos de resistencia con respecto a la resistencia de diseño inicial que es de 11,6 MPa.

Se observa que no existen datos atípicos, ya que no hay ningún valor que se encuentre fuera de los límites superior e inferior del diagrama de cajas.

Se comprueba a través del teorema de Chebyshev que el 68% (11 datos del total) de los datos deben estar contenidos dentro de la media más o menos una desviación estándar, y el 95% (16 datos del total) de los datos debe estar contenido dentro de la media más o menos dos desviaciones estándar. Se realizó una gráfica de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto poroso que aparece en Apéndice N.

#### ***7.4.2.1 Análisis de la Resistencia a la Compresión de los cilindros de Concreto Poroso aplicando Estadística Descriptiva.***

**Tabla 11. Análisis de Estadística Descriptiva para los Cilindros de Concreto Poroso.**

---

Cilindros

---

Media	8,267
Error típico	0,406
Mediana	8,288
Moda	8,288
Desviación estándar	1,624
Varianza	2,637
Curtosis	-0,956
Coefficiente de asimetría	-0,005
Rango	5,346
Mínimo	5,508
Máximo	10,854
Suma	132,281
Nivel de confianza (95,0%)	0,865

Fuente Propia.

De la tabla 11 se deduce que la desviación estándar ( $\sigma$ ) representa la dispersión de los datos obtenidos de la resistencia a la compresión para los cilindros, que corresponde a 1,62. Al obtener algunas resistencias a la compresión repetidas, genera la existencia de la moda que corresponde a 8,28.

El coeficiente de asimetría obtenido en los resultados de la resistencia a la compresión para los cilindros de concreto poroso fue negativo, lo cual indica que hay superior agrupamiento de los valores a la izquierda que a la derecha de la media.

La curtosis representa una distribución platicúrtica, que indica una menor concentración de los datos entorno a la media por lo tanto es negativa. La estadística descriptiva para los bloques de concreto poroso por fundidas se encuentra en el Apéndice L.

#### ***7.4.2.2 Análisis Estadístico en MINITAB de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Poroso.***

##### *7.4.3.2.1 Prueba de Valores Atípicos para los cilindros*

Ensayo de valores atípicos: Esfuerzo (Mpa)\_1

##### Procedimiento

Hipótesis nula      Todos los valores de los datos se derivan de una población normal e igual

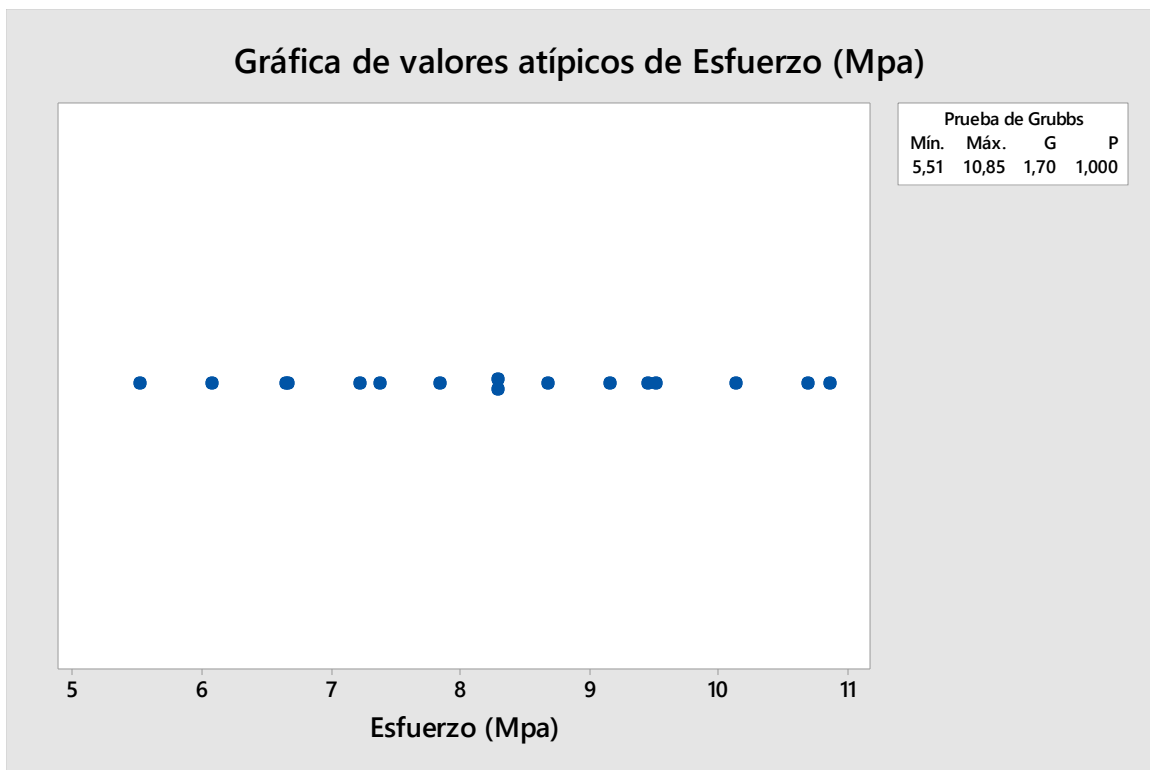
Hipótesis alterna      El valor más bajo o más alto de los datos es un valor atípico

Nivel de significancia       $\alpha = 0,05$

## Prueba de Grubbs

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
Esfuerzo (Mpa)	16	8,268	1,624	5,508	10,854	1,70	1,000

\* NOTA \* No hay valor atípico en el nivel de significancia de 5%

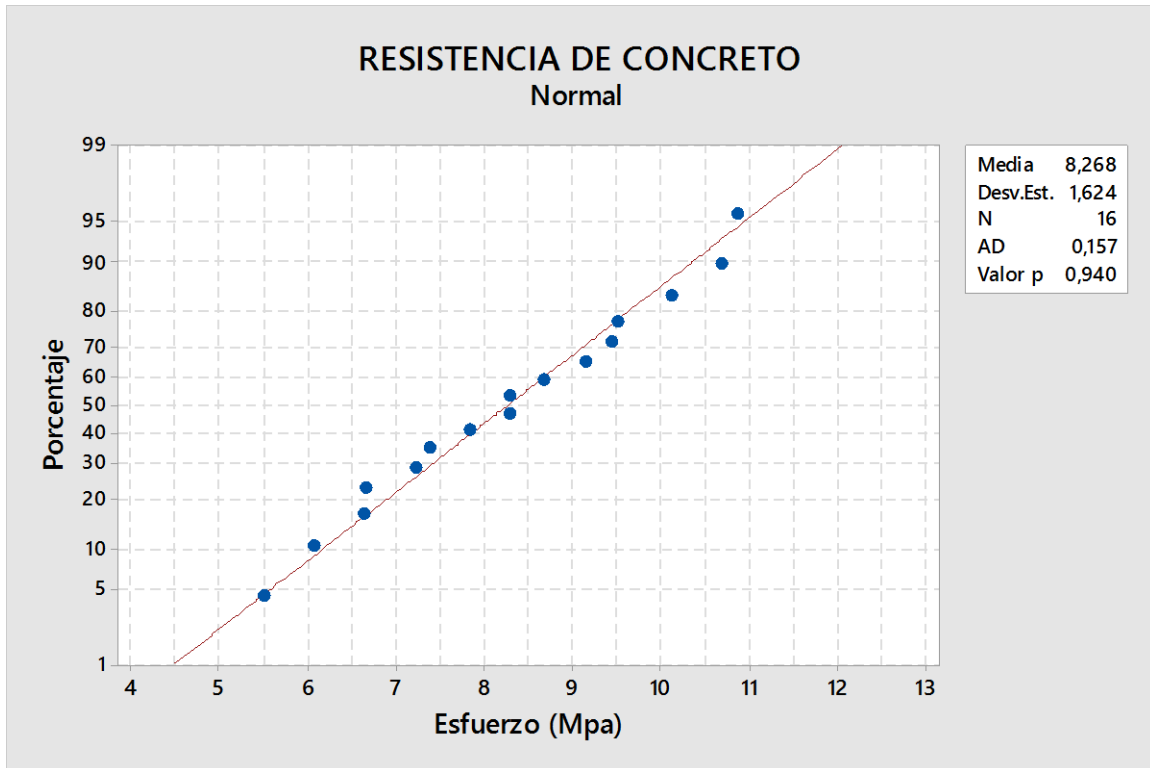


**Figura 31. Gráfica de Prueba de Valores Atípicos para los cilindros.**

Fuente Minitab.

Para definir si existen valores atípicos, se comparó el valor P con respecto al nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ), en este caso para los 16 cilindros de concreto poroso el valor de P es mayor a  $\alpha$ , lo que señala que el total de los valores proceden de una misma población normal, por lo tanto, no existen valores atípicos en la población.

#### 7.4.2.2.2 Prueba de Normalidad para los cilindros



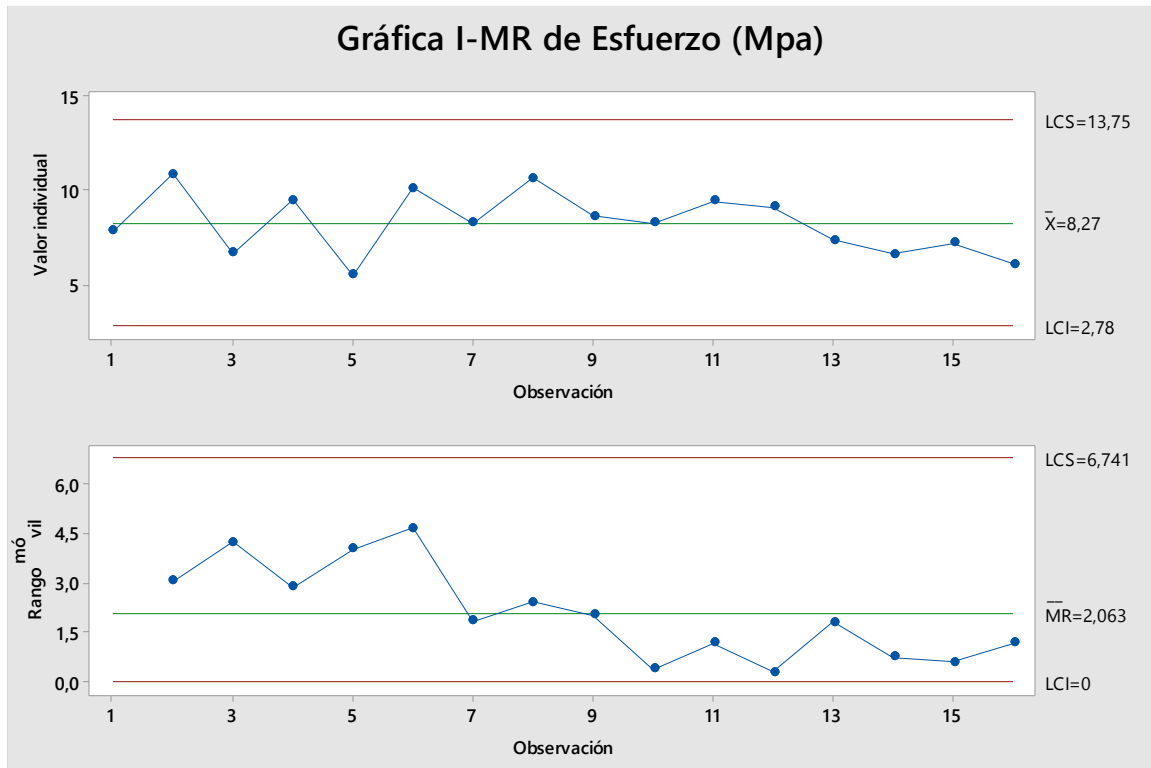
**Figura 32. Gráfica de Prueba de Normalidad para los Cilindros.**

Fuente Minitab.

Para analizar la gráfica de normalidad, se comparó el valor de P con el nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ), en este caso el valor de P para los 16 cilindros es mayor a  $\alpha$ , lo que indica que los datos persiguen una distribución normal.

Como el valor de Anderson Darling es de 0,157, indica que las resistencias a compresión de los bloques muestran un comportamiento cercano a la línea de distribución ajustada, por lo tanto, se puede concluir que la distribución normal tiene un mejor ajuste de los datos.

### 7.4.2.2.3 Prueba de Control para los cilindros



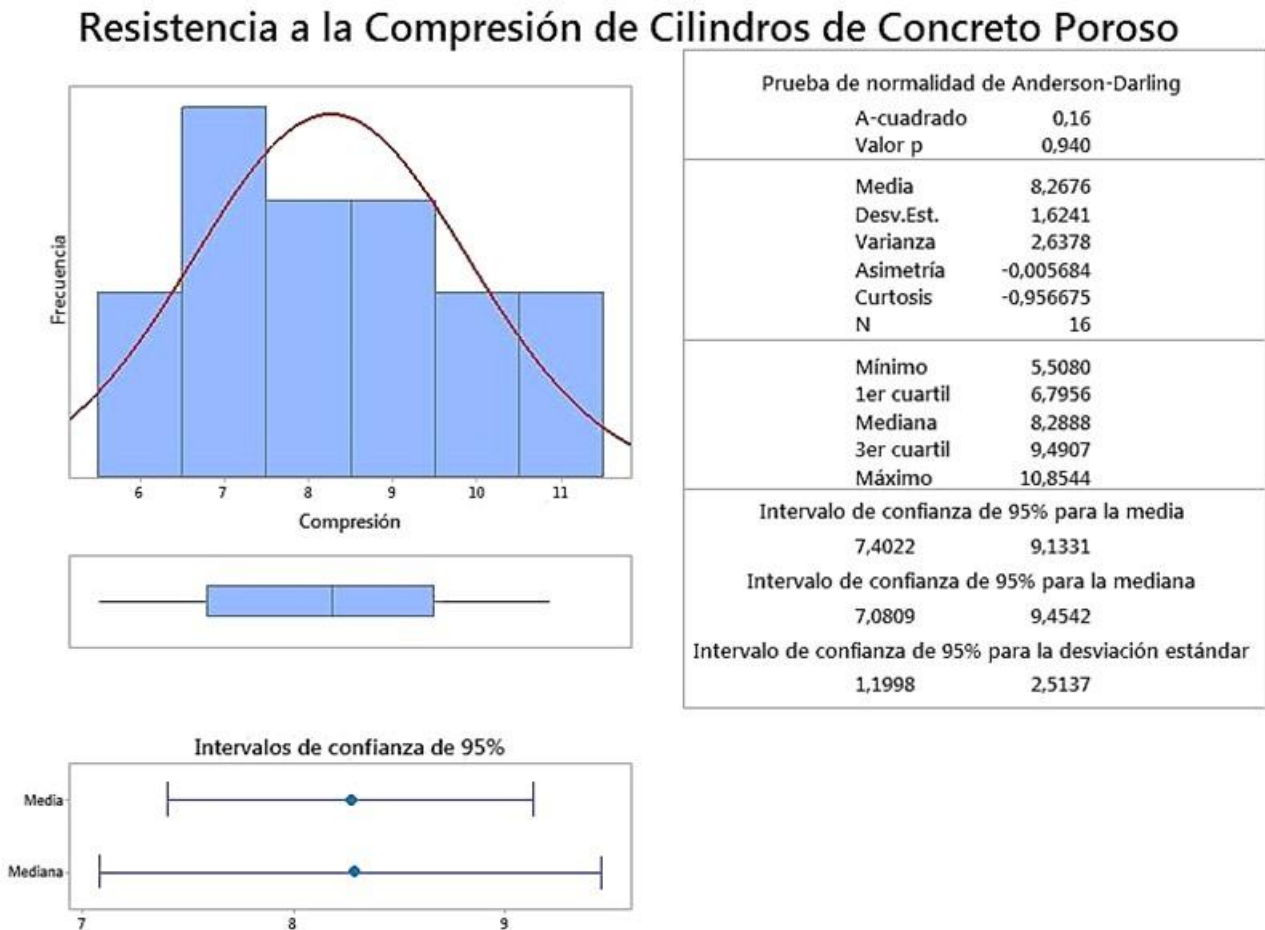
**Figura 33. Gráfica IM-R para los Cilindros.**

Fuente Minitab.

El análisis para la gráfica I-MR de los cilindros, se realizó de la misma manera como se analizaron los bloques de concreto poroso. Por lo tanto, para los rangos móviles se obtuvieron, un límite superior de 6,7 y un límite inferior de 0. Así mismo los límites para el rango individual se encuentra entre 13,7 y 2,7 respectivamente.

A partir de la gráfica I-MR se concluye que las resistencias a compresión obtenidas con respecto a la media tanto para rangos móviles, como para rangos individuales tuvieron un proceso controlado, ya que todos los valores se encuentran dentro de los límites de control superior e inferior.

7.4.2.2.4 Resumen Gráfico Resistencia a la Compresión



**Figura 34.** Gráfica Resumen de las Resistencias a Compresión para los Cilindros.

Fuente Minitab.

La prueba de normalidad de Anderson-Darling permite comprobar que los valores de las resistencias obtenidas para los cilindros son datos normales y se determina a partir del valor de P. Como el valor de P es 0,940 y es mayor a 0,05, que es el margen de error en un intervalo de confianza del 95% se concluye que los datos son normales, y provienen de una misma distribución.

La media que es 8,2676 Mpa se determinó sumando todas las resistencias a compresión de los bloques de concreto poroso, y dividiendo la suma entre el número total de resistencias, en este caso 16.

La desviación estándar y la varianza que son 1,6241 y 2,6378 respectivamente son medidas que indican la varianza de cada muestra con respecto a la media que es 8,2676 MPa. La asimetría al ser un valor negativo, indica que los datos son asimétricos a la izquierda, lo que representa gráficamente que la cola de la distribución apunte hacia la izquierda,

La curtosis para los cilindros es de -0,9566 lo que determina que tanto difiere la distribución de los datos con respecto a la distribución normal.

En este caso fueron evaluados 16 cilindros que representan el valor de N. la mínima resistencia, es de 5,508 MPa. El 1er cuartil indica que el 25% de las resistencias oscilan entre valores de 5,508 MPa y 6,795 MPa. La mediana que es 8,288 indica la mitad de las resistencias obtenidas en los cilindros. El 3er cuartil indica que 75% del total de las resistencias obtenidas tienen una resistencia a la compresión menor o igual a 9,490 MPa. La máxima resistencia obtenida en los 16 cilindros fue de 10,854 MPa.

El intervalo de confianza para la media, mediana y la desviación estándar de los datos es de 95%, en donde se pudo observar que la media y la mediana. Son valores que se encuentran muy cercanos.

Finalmente, en la gráfica se puede observar que los datos al presentar un ajuste eficiente determinan una distribución normal.

### 7.4.3 Comparación de Resistencia a la Compresión de los BCP, Bloques de Mortero y Ladrillos de Arcilla

**Tabla 12. Propiedades Físicas de las unidades de mampostería no Estructural.**

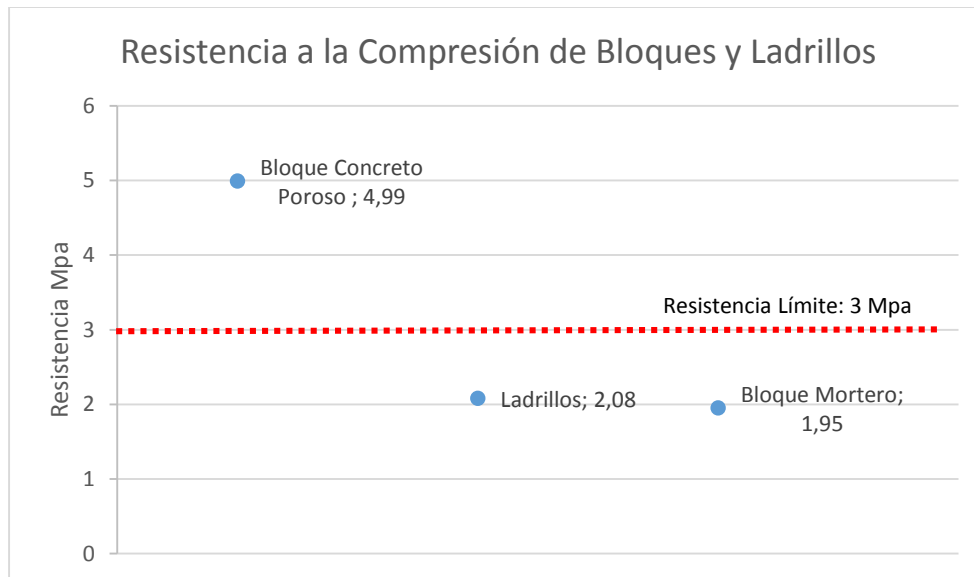
Tabla 2. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural

Tipo	Resistencia mínima <sup>1)</sup> a la compresión MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )		Absorción de agua máxima en %			
			Interior		Exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
PH	3,0 (30)	2,0 (20)	17	20	13,5	14
PV	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	13,5	14
M	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	13,5	14

<sup>1)</sup> Para el caso de ladrillos de perforación vertical, los valores establecidos corresponden a Resistencia Neta mínima a la compresión, en los otros casos corresponden a Resistencia Bruta.

- PH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque)
- PV = unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque)
- M = unidad de mampostería maciza (ladrillo)

Fuente NTC 4205.



**Figura 35. Gráfica de Resistencia a la Compresión de BCP, Bloques de Mortero y Ladrillos de Arcilla.**

Fuente Propia.

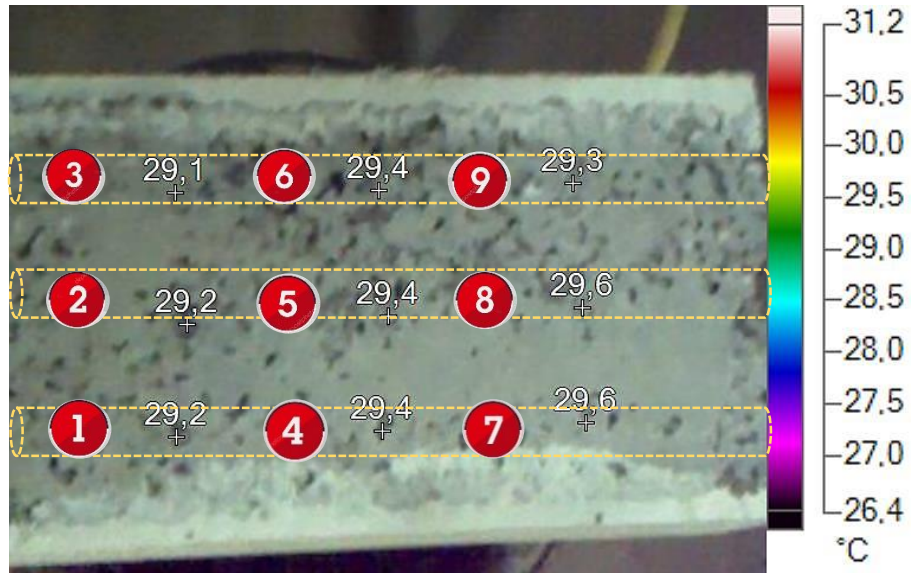
Comparando los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de compresión a los BCP, bloques de mortero y los ladrillos de arcilla cocida, con la tabla 2 de la NTC 4205, se concluye que el promedio de la resistencia mínima a la compresión para 5 unidades de un ladrillo de perforación horizontal (PH) debe ser de 3,0 MPa y que el promedio de la resistencia mínima a la compresión para una unidad de un ladrillo de perforación horizontal (PH) debe ser de 2,0 MPa, el resultado de los ensayos a compresión para los BCP fue de 4,99 MPa determinando que los BCP cumplen con la norma especificada y pueden utilizarse como un elemento de construcción.

Para las unidades de mampostería con perforación horizontal (PH), en este caso los bloques de mortero se deben cumplir con una resistencia a la compresión de 14 MPa para 5 unidades.

Al realizar los ensayos tanto a los bloques de mortero como a los ladrillos cocidos de arcilla no se obtuvieron valores que cumplieran con los mínimos valores especificados en la norma para la resistencia a compresión de unidades de mampostería. La grafica de comparación de las resistencias entre los ladrillos de arcilla cocida y bloques de concreto poroso se puede evidenciar en el Apéndice O.

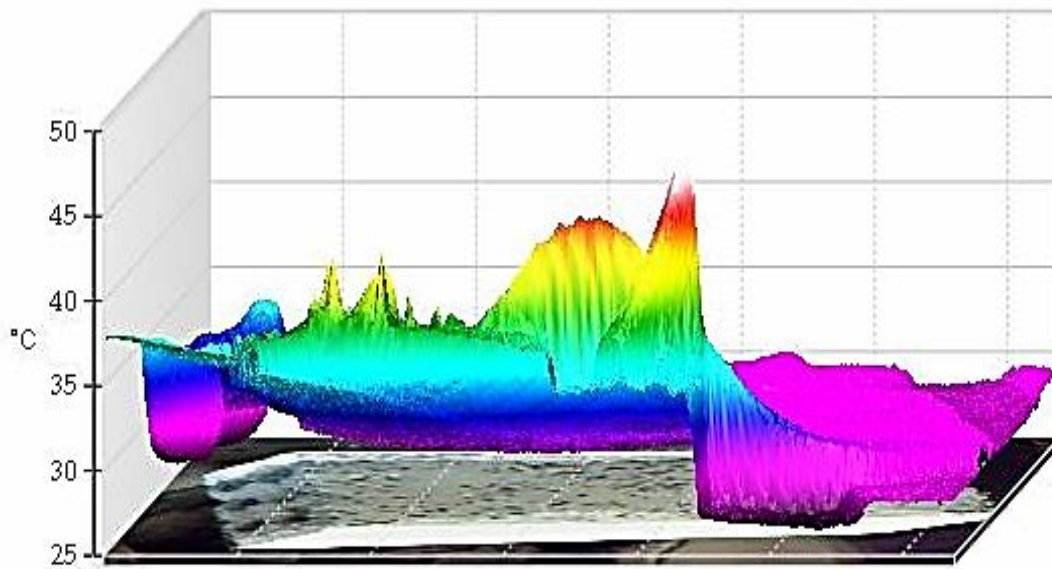
#### **7.4.4 Análisis Térmico de los Bloques de Concreto Poroso**

Para realizar el ensayo térmico, se seleccionaron cuatro BCP, uno por cada fundida, se aplicó por medio de un mechero el incremento de temperatura, concentrando el calor en un solo punto ubicado en el centro de la cara inferior del bloque. Posteriormente con una cámara termografica (*Fluke Thermography Ti450P*) se observó la temperatura en nueve puntos diferentes de la cara superior de cada bloque y seis puntos en la cara frontal, cada cinco minutos durante 30 minutos. El análisis de las gráficas de temperatura se realizó mediante el software *SmartView* que se evidencia en la siguiente imagen.



**Figura 36. Gráfica de la Cara Superior de los Alvéolos en el BCP.**

Fuente: SmartView.



**Figura 37. Gráfica 3D de las Temperaturas de la Cara Superior del BCP.**

Fuente SmartView.

#### 7.4.4.1 Análisis Térmico de la Cara Superior del Bloque de Concreto Poroso

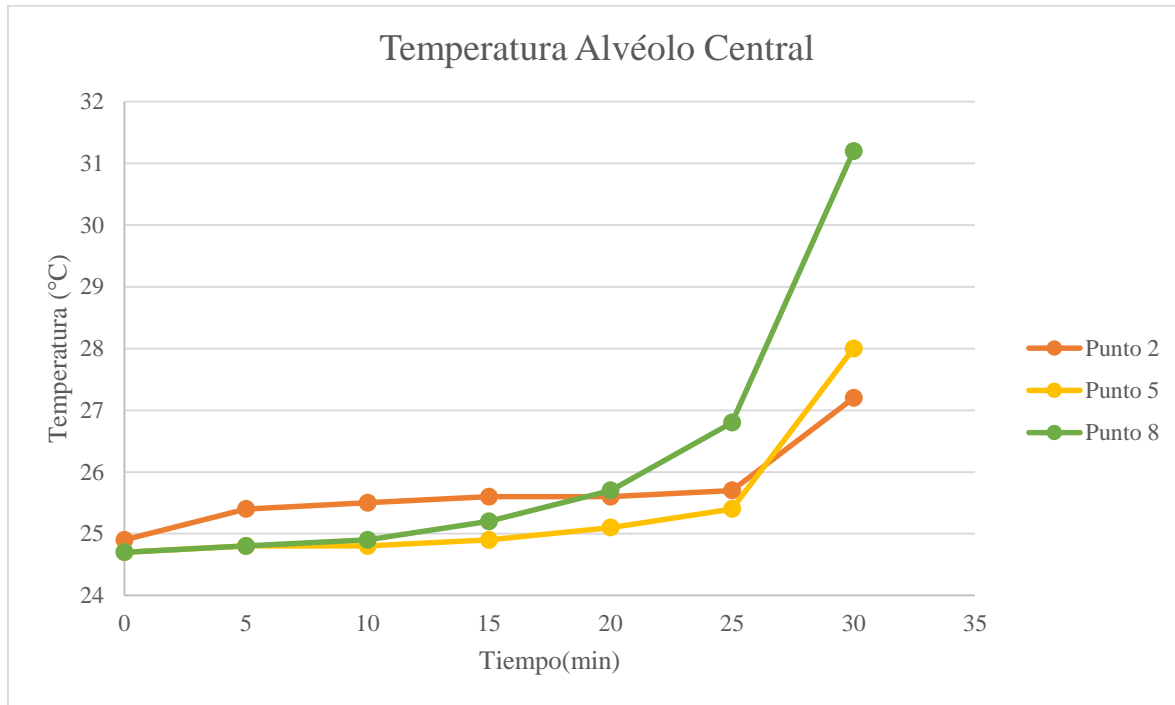
##### 7.4.4.1.1 Alvéolo Central del Bloque de Concreto Poroso

En el alvéolo central del BCP se encuentran los tres puntos de los cuales se tomaron las temperaturas en la cara superior del bloque. En este caso los puntos son P2, P5 y P8 como se puede observar en la tabla 13.

**Tabla 13. Temperaturas de los puntos P2, P5 y P8 del alvéolo central del BCP**

Temperaturas alvéolo central			
TIEMPO	P2	P5	P8
(min)	°C	°C	°C
0	24,9	24,7	24,7
5	25,4	24,8	24,8
10	25,5	24,8	24,9
15	25,6	24,9	25,2
20	25,6	25,1	25,7
25	25,7	25,4	26,8
30	27,2	28	31,2

Fuente Propia.



**Figura 38. Gráfica de Temperatura del Alvéolo Central de la Cara Superior del BCP.**

Fuente Propia.

El alvéolo central del BCP se consideró tomando las temperaturas a los 15 y 30 minutos desde que se dio inicio al ensayo de laboratorio. Pasados 15 minutos P2 Y P8 presentaron una temperatura mayor en comparación con P5 que es el punto central del bloque, transcurridos 30 minutos la mayor temperatura fue 31,2 °C en P8, presentó un incremento de 3,2 °C y 4 °C con respecto a P5 y P2.

El rango de temperaturas para el alvéolo central del bloque osciló entre 24,7 °C y 31,2 °C. En los primeros 20 minutos se presentó un comportamiento uniforme en un intervalo de 1 °C, mientras que en los últimos 10 minutos se presentó una mayor diferencia de las temperaturas entre P2 y P8.

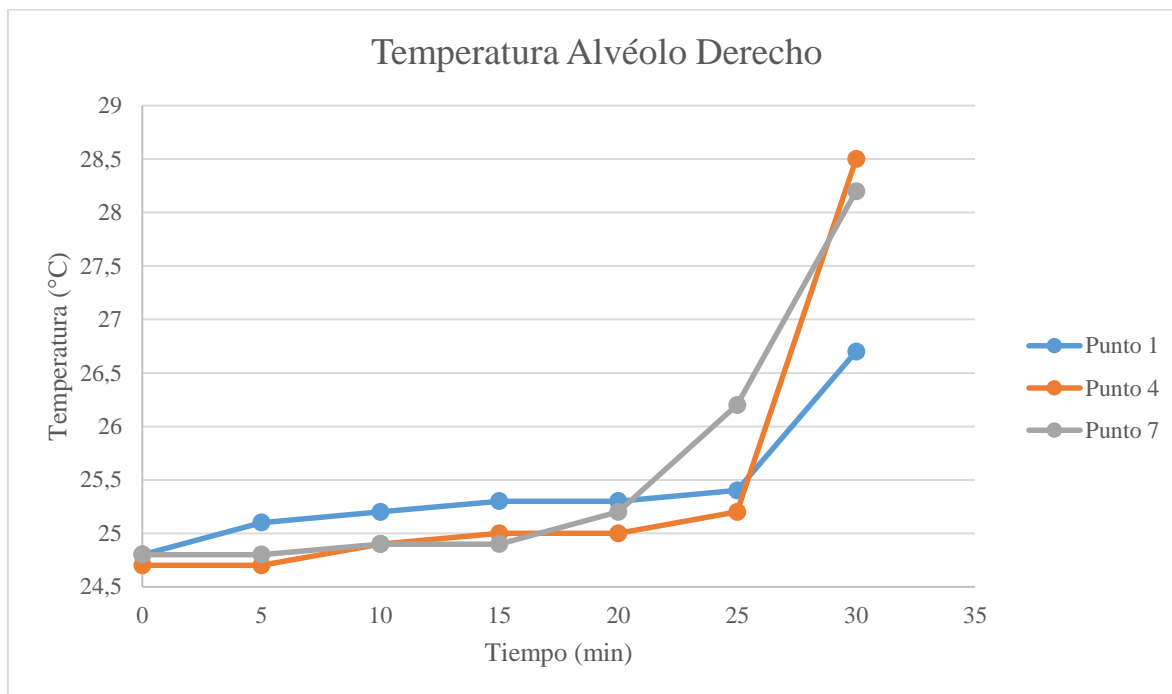
#### 7.4.4.1.2 Alvéolo Derecho del Bloque de Concreto Poroso

El alvéolo derecho del BCP hace referencia a los tres puntos de la derecha del bloque a los que fueron tomadas las temperaturas. En este caso los puntos centrales son P1, P4 y P7 como se puede observar en la tabla 14.

**Tabla 14. Temperaturas de los puntos P1, P4 y P7 del alvéolo derecho del BCP**

Temperaturas alvéolo derecho			
Tiempo	P1	P4	P7
(min)	°C	°C	°C
0	24,8	24,7	24,8
5	25,1	24,7	24,8
10	25,2	24,9	24,9
15	25,3	25	24,9
20	25,3	25	25,2
25	25,4	25,2	26,2
30	26,7	28,5	28,2

Fuente Propia.



**Figura 39. Gráfica de Temperatura del Alvéolo Derecho de la Cara Superior del BCP.**

Fuente Propia.

En la figura 38 el alvéolo derecho del bloque de concreto poroso se consideró tomando las temperaturas a los 15 y 30 minutos desde que se dio inicio al ensayo de laboratorio. Pasados 15 minutos P1 Y P4 presentaron una temperatura mayor en comparación con P7, transcurridos 30 minutos la mayor temperatura fue 28,5 °C en P4, y se presentó una disminución de 1,8 °C con respecto a P1.

El rango de temperaturas para el alvéolo derecho del bloque osciló entre 24,7 °C y 28,5 °C. En los primeros 20 minutos se presentó un comportamiento uniforme en un intervalo de 1 °C, mientras que en los últimos 10 minutos se presentó una mayor diferencia de las temperaturas entre P1 y P4.

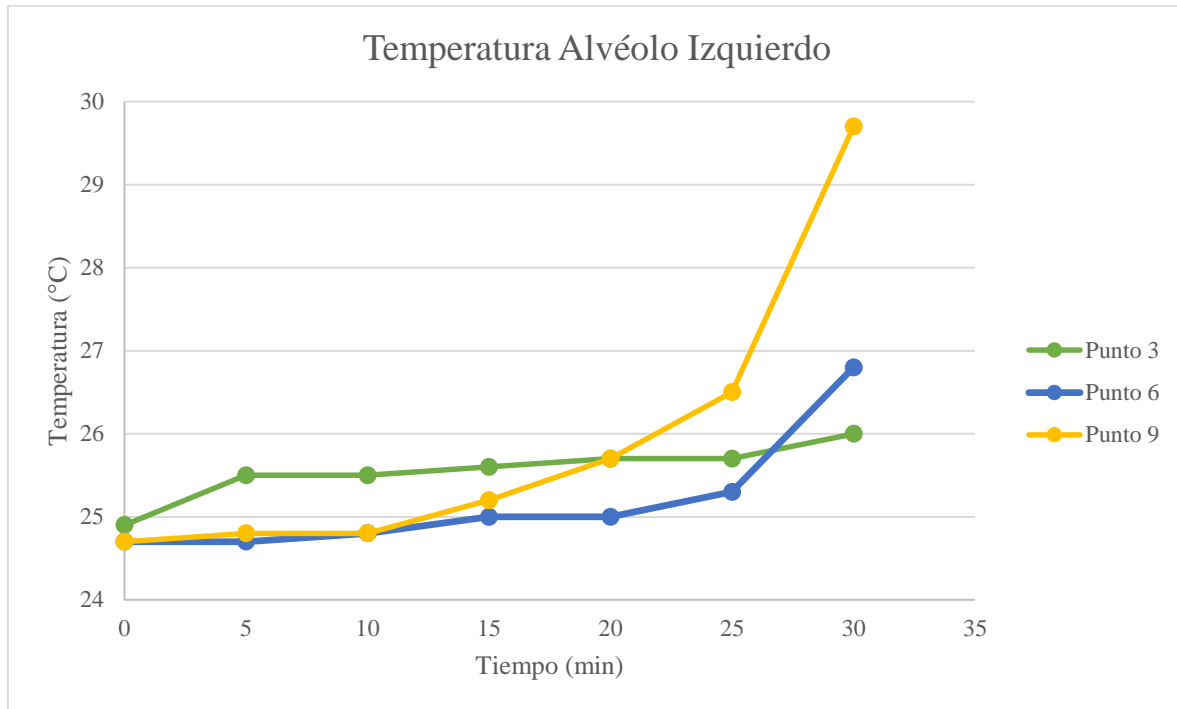
#### 7.4.4.1.3 Alvéolo Izquierdo del Bloque de Concreto Poroso

El alvéolo izquierdo del BCP hace referencia a los tres puntos de la izquierda del bloque a los que fueron tomadas las temperaturas. En este caso los puntos son P3, P6 y P9 como se puede observar en la tabla 15.

**Tabla 15. Temperaturas de los puntos P3, P6 y P9 del Alvéolo Izquierdo del BCP**

Temperatura alvéolo izquierdo del BCP			
Tiempo	P3	P6	P9
(min)	°C	°C	°C
0	24,9	24,7	24,7
5	25,5	24,7	24,8
10	25,5	24,8	24,8
15	25,6	25	25,2
20	25,7	25	25,7
25	25,7	25,3	26,5
30	26	26,8	29,7

Fuente Propia.



**Figura 40. Gráfica de Temperatura del Alvéolo Izquierdo de la Cara Superior del BCP.**

Fuente Propia.

En la figura 39 el alvéolo izquierdo del BCP se analizó tomando las temperaturas a los 15 y 30 minutos desde que se dio inicio al ensayo de laboratorio. Pasados 15 minutos P3 Y P9 presentaron una temperatura mayor en comparación con P6, transcurridos 30 minutos la mayor temperatura fue 29,7 °C en P9, presentó un incremento de 2,9 °C y 3,7 °C con respecto a P6 y P3.

El rango de temperaturas para el alvéolo izquierdo del bloque osciló entre 24,7 °C y 29,57°C. En los primeros 20 minutos se presentó un comportamiento uniforme en un intervalo de 1 °C, mientras que en los últimos 10 minutos se presentó una mayor diferencia de las temperaturas entre P3 y P9.

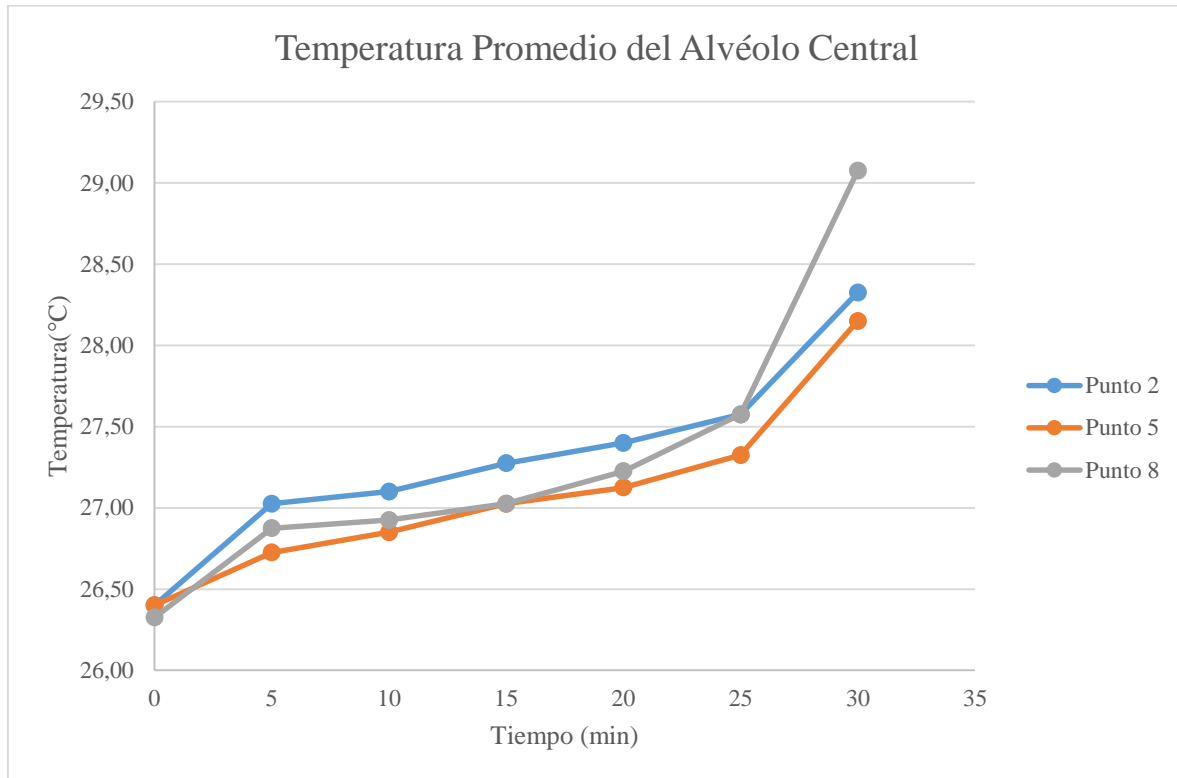
#### 7.4.4.1.4 Temperatura promedio del alvéolo central de los bloques de concreto poroso

Se promediaron las temperaturas del alvéolo central para los cuatro bloques de las diferentes fundidas.

**Tabla 16. Temperaturas Promedio del Alvéolo Central del BCP**

Temperatura promedio del alvéolo central del BCP			
Promedio	P2	P5	P8
0	26,40	26,40	26,33
5	27,03	26,73	26,88
10	27,10	26,85	26,93
15	27,28	27,03	27,03
20	27,40	27,13	27,23
25	27,58	27,33	27,58
30	28,33	28,15	29,08

Fuente Propia.



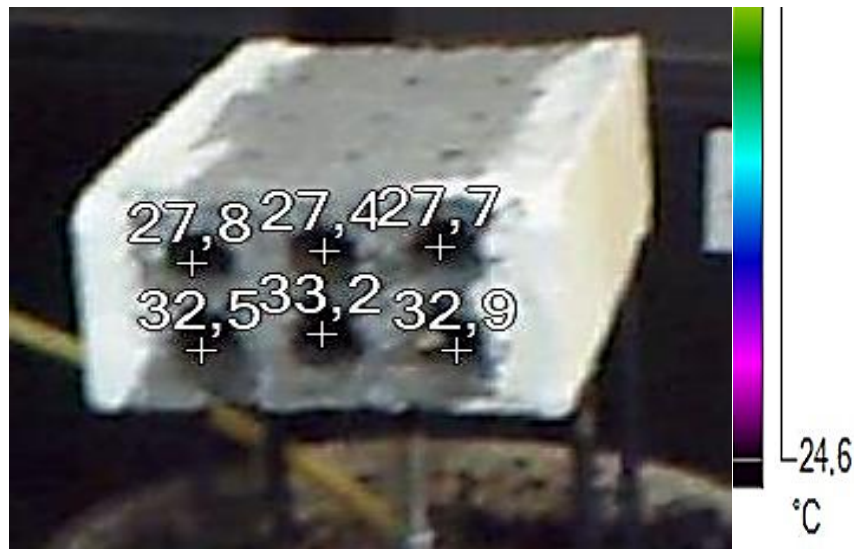
**Figura 41.** Gráfica de Temperaturas Promedio del Alvéolo Central del BCP.

Fuente Propia.

En la figura 40 se realizó el análisis del alvéolo central para los cuatro BCP y se consideró tomando las temperaturas a los 15 y 30 minutos desde que se dio inicio al ensayo de laboratorio. Pasados 15 minutos P2 Y P8 presentaron una temperatura promedio mayor en comparación con P5, transcurridos 30 minutos la mayor temperatura promedio fue 29,07 °C en P8.

El rango de temperaturas para el alvéolo central de los cuatro BCP osciló entre 26,3 °C y 29,07°C. En los últimos 10 minutos se presentó una mayor diferencia de las temperaturas entre P5 y P8.

#### 7.4.4.2 Análisis Térmico de la Cara Frontal del Bloque de Concreto Poroso



**Figura 42.** Gráfica de la Cara Frontal del BCP.

Fuente SmartView.

**Tabla 17.** Temperaturas para los Bloques de Concreto Poroso, Cara Frontal.

A1	A2	A3	27,8°C	27,4°C	27,7°C
A4	A5	A6	32,5°C	33,2°C	32,9°C

Fuente Propia.

Se les dio nomenclatura a los alvéolos horizontalmente desde A1 hasta A6, se resalta A5 como el alvéolo central como punto ubicado en el centro inferior de la cara frontal del bloque como se puede observar en la tabla 17, se analizó la transmisividad entre los alvéolos A2, A4 Y A6 contiguos a A5. La diferencia en porcentaje entre el punto A5 y los puntos A4, A2 Y A6 son respectivamente 2,11 %, 17,47%, 10,9%, la forma de obtener estos porcentajes se encuentra explicita en el Apéndice Q.

Se puede concluir que las cavidades y las divisiones entre alvéolos actúan como disipadores de temperatura al permitir el paso de aire entre ellos.

El informe arrojado por SmartView para los BCP se encuentra en el Apéndice P.

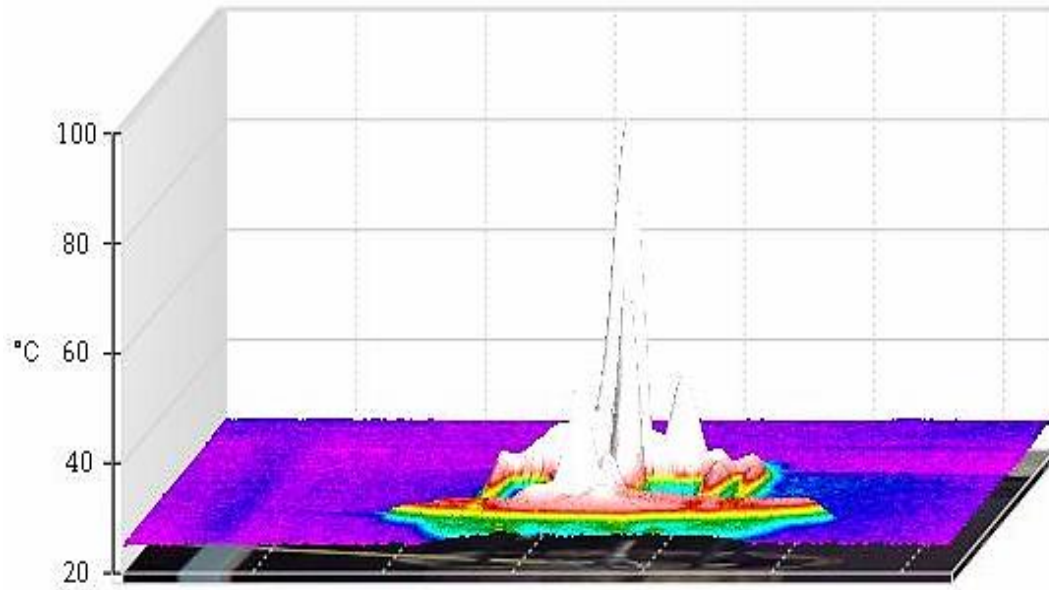
#### 7.4.5 Análisis Térmico de los Ladrillos Cocidos de Arcilla

Se realizaron ensayos térmicos a dos ladrillos cocidos de arcilla, cada 5 minutos durante 30 minutos. Se tomó con la cámara termográfica la temperatura a nueve puntos de la cara superior del ladrillo. La imagen que reportó el software *SmartView* de la cámara termográfica se evidencia en la siguiente imagen.



**Figura 43.** Gráfica de las Temperaturas de la Cara Superior del Ladrillo Cocido de Arcilla.

Fuente SmartView.



**Figura 44.** Gráfica 3D de las temperaturas del ladrillo cocido de arcilla.

Fuente SmartView.

#### ***7.4.5.1 Análisis Térmico de la Cara Superior del Ladrillo Cocido de Arcilla***

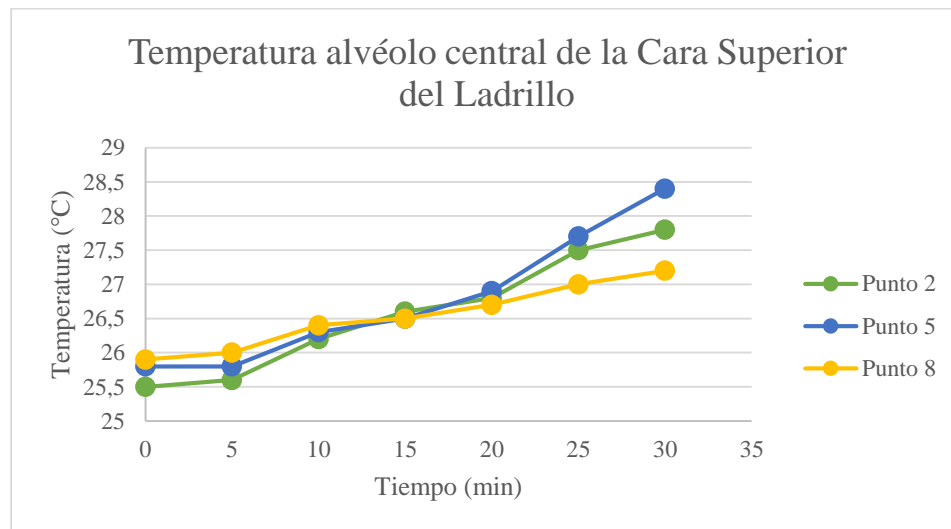
##### ***7.4.5.2 Alvéolo Central del Ladrillo Cocido de Arcilla***

En el alvéolo central del ladrillo de arcilla cocido se encuentran los tres puntos de los cuales se tomaron las temperaturas en la cara superior del bloque. En este caso los puntos son P2, P5 y P8 como se puede observar en la tabla 18.

**Tabla 18. Temperaturas de los puntos P2, P5 y P8 del Alvéolo central del ladrillo cocido de arcilla**

Temperatura alvéolo central del ladrillo			
Tiempo (min)	P2 °C	P5 °C	P8 °C
0	25,5	25,8	25,9
5	25,6	25,8	26
10	26,2	26,3	26,4
15	26,6	26,5	26,5
20	26,8	26,9	26,7
25	27,5	27,7	27
30	27,8	28,4	27,2

Fuente Propia.



**Figura 45. Gráfica Temperatura del Alvéolo Central de la Cara Superior del Ladrillo.**

Fuente Propia.

El alvéolo central del ladrillo de arcilla cocido se consideró tomando las temperaturas a los 10 y 30 minutos desde que se dio inicio al ensayo de laboratorio. Pasados 10 minutos P5 Y P8 presentaron una temperatura mayor en comparación con P2 que es el punto central del bloque,

transcurridos 30 minutos la mayor temperatura fue 28,4 °C en P5, presentó un incremento de 1,2 °C con respecto a P8.

El rango de temperaturas para el alvéolo central del ladrillo osciló entre 25,5 °C y 28,4 °C. En los últimos 10 minutos se presentó una mayor diferencia de las temperaturas entre P8 y P5.

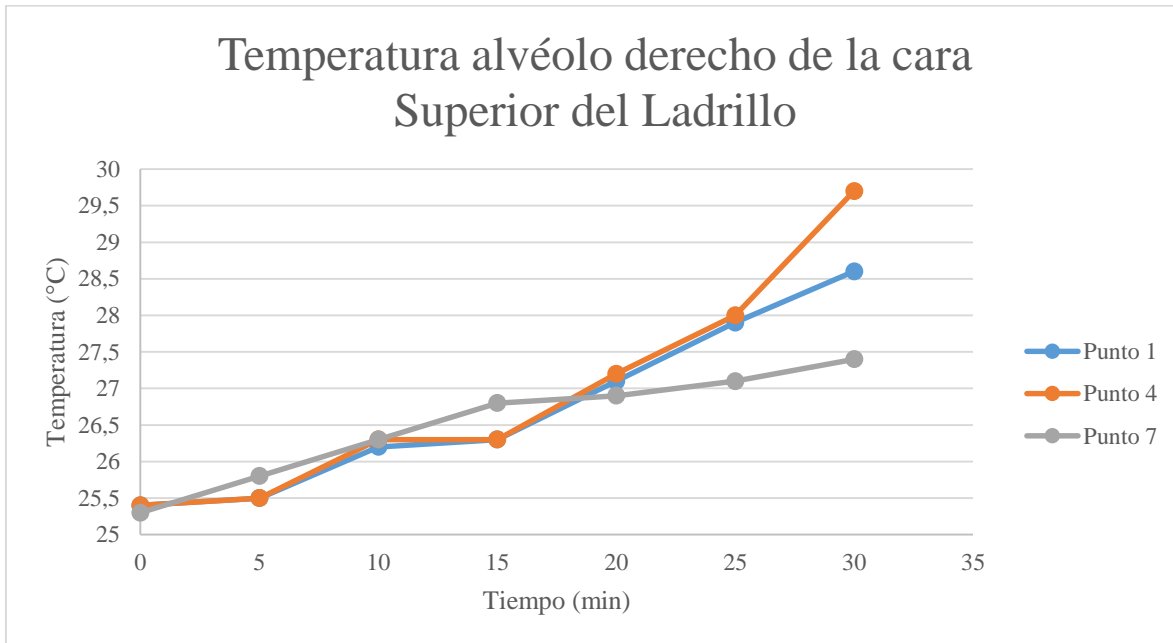
#### 7.4.5.2.1 Alvéolo Derecho del Ladrillo Cocido de Arcilla

El alvéolo derecho del ladrillo hace referencia a los tres puntos de la derecha del ladrillo a los que fueron tomadas las temperaturas. En este caso los puntos de la derecha son P1, P4 y P7 como se puede observar en la tabla 19.

**Tabla 19. Temperaturas de los puntos P1, P4 y P7 del Alvéolo derecho de la cara superior del ladrillo cocido de arcilla**

Temperatura alvéolo derecho del ladrillo			
Tiempo	P1	P4	P7
(min)	°C	°C	°C
0	25,4	25,4	25,3
5	25,5	25,5	25,8
10	26,2	26,3	26,3
15	26,3	26,3	26,8
20	27,1	27,2	26,9
25	27,9	28	27,1
30	28,6	29,7	27,4

Fuente Propia.



**Figura 46. Gráfica Temperatura del Alvéolo Derecho de la Cara Superior del Ladrillo.**

Fuente Propia.

En la figura 45 el alvéolo derecho del ladrillo se consideró tomando las temperaturas a los 15 y 30 minutos desde que se dio inicio al ensayo de laboratorio. Pasados 15 minutos P1 Y P4 presentaron una temperatura menor en comparación con P7, transcurridos 30 minutos la mayor temperatura fue 29,7 °C en P4, presentó un incremento de 1,1 °C y 2,3 °C con respecto a P1 y P7.

El rango de temperaturas para el alvéolo derecho del ladrillo osciló entre 25,3 °C y 29,7 °C. En los últimos 10 minutos se presentó una mayor diferencia de las temperaturas entre P7 y P4.

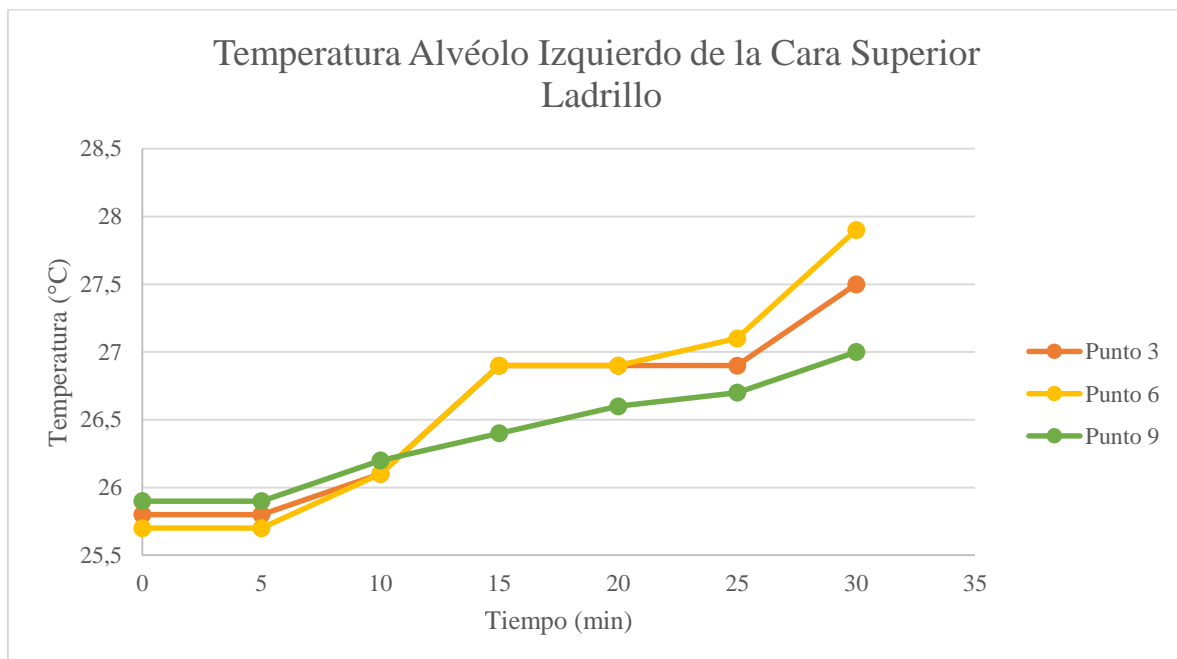
#### 7.4.5.2.2 Alvéolo Izquierdo del Ladrillo Cocido de Arcilla

El alvéolo izquierdo del ladrillo hace referencia a los tres puntos de la izquierda del ladrillo a los que fueron tomadas las temperaturas. En este caso los puntos de la derecha son P3, P6 y P9 como se puede observar en la tabla 20.

**Tabla 20. Temperaturas de los puntos P3, P6 y P9 del Alvéolo Izquierdo de la cara superior del ladrillo cocido de arcilla**

Temperatura alvéolo izquierdo del ladrillo			
Tiempo (min)	P3 °C	P6 °C	P9 °C
0	25,8	25,7	25,9
5	25,8	25,7	25,9
10	26,1	26,1	26,2
15	26,9	26,9	26,4
20	26,9	26,9	26,6
25	26,9	27,1	26,7
30	27,5	27,9	27

Fuente Propia.



**Figura 47. Gráfica Temperatura del Alvéolo Izquierdo de la Cara Superior del Ladrillo.**

Fuente Propia.

En la figura 46 el alvéolo izquierdo del ladrillo se analizó tomando las temperaturas a los 10 y 30 minutos desde que se dio inicio al ensayo de laboratorio. Pasados 10 minutos P3 Y P6 presentaron una temperatura menor en comparación con P9, transcurridos 30 minutos la mayor temperatura fue 27,9 °C en P6y las diferencias de temperatura presentadas con respecto a los otros dos puntos no fueron significativas.

El rango de temperaturas para el alvéolo izquierdo del ladrillo osciló entre 25,7 °C y 27,9 °C. En los primeros 10 minutos se presentó un comportamiento uniforme en un intervalo de 1 °C, mientras que en los últimos 10 minutos se presentó una mayor diferencia de las temperaturas entre P9 y P6.

#### 7.4.5.3 Análisis Térmico de la Cara Frontal del Ladrillo Cocido de Arcilla



**Figura 48.** Gráfica de la cara Frontal del Ladrillo.

Fuente SmartView.

**Tabla 21. Temperaturas para los Ladrillos Cocidos de Arcilla, Cara Frontal.**

A1	A2	A3	25,5°C	25,9°C	25,6°C
A4	A5	A6	26,1 °C	26,6 °C	26,5° C

Fuente Propia.

Se les dio nomenclatura a los alvéolos horizontalmente desde A1 hasta A6, se resalta A5 como el alvéolo central como punto ubicado en el centro inferior de la cara frontal del bloque como se puede observar en la tabla 21, se analizó la transmisividad entre los alvéolos A2, A4 Y A6 contiguos a A5. La diferencia en porcentaje entre el punto A5 y los puntos A4, A2 Y A6 son respectivamente 1, 88%, 2,63%, 0,38%.

Se puede concluir que las cavidades y las divisiones entre alvéolos actúan como disipadores de temperatura al permitir el paso de aire entre ellos. El informe realizado por SmartView para los ladrillos cocidos de arcilla se puede evidenciar en el Apéndice R.

## 8. Conclusiones

➤ Las diferentes propiedades del cemento determinadas en el laboratorio, como lo son: densidad, consistencia y tiempo de fraguado, determinaron la capacidad de adherencia, manejabilidad y trabajabilidad entre la pasta y los agregados en estado fresco. El valor de densidad para el cemento Cemex tipo I es de  $2,963 \text{ g/cm}^3$  que se encuentra en el rango de ( $2,85$  a  $3,15 \text{ gr/cm}^3$ ) permitiendo con esto que el cemento se apto para ser empleado en el diseño de la mezcla. El porcentaje de agua requerido fue de  $25,67\%$  para una consistencia deseada que permita una buena manejabilidad para la elaboración de los bloques de concreto poroso. Los parámetros obtenidos mediante el ensayo de tiempo de fraguado (inicial:  $127,5 \text{ min}$  y final  $195 \text{ min}$ ) establecieron límites de trabajabilidad del concreto poroso para la elaboración de los bloques.

➤ Los resultados obtenidos a partir del ensayo a compresión de especímenes cilíndricos de dimensiones  $10*20 \text{ cm}$  de concreto poroso, manifestaron una resistencia promedio de  $8,27 \text{ MPa}$ , presentando una pérdida de resistencia a la compresión de  $28,71\%$  con respecto a la resistencia de diseño que fue de  $11,6 \text{ MPa}$ , según la ACI 522R-10.

➤ Comparando la resistencia a la compresión entre los ladrillos de arcilla cocida ( $f'_{cl} = 2,08 \text{ MPa}$ ) y los bloques de concreto poroso ( $f'_{cp} = 4,99 \text{ MPa}$ ) se presenta un incremento de  $139,90\%$ , así mismo la resistencia a la compresión los bloques de mortero ( $f'_{cbm} = 1,95 \text{ MPa}$ ) y los bloques de concreto poroso presentan un incremento en porcentaje  $155,89\%$ , se concluye que los Bloques de concreto poroso presentan una mayor resistencia a la compresión en comparación con los ladrillos de arcilla cocida y los bloques de mortero.

➤ El mínimo valor de velocidad de drenaje establecido por la norma ACI 522R-10 es de 81 l/min y la velocidad de drenaje para el concreto poroso en estudio fue de 1,2 l/min, esto se debe al diámetro de partículas de agregado utilizadas para el diseño el cual fue de 3/8", a mayor tamaño de agregado grueso, mayor tasa de infiltración y mayor porosidad.

➤ Mediante el ensayo térmico a los bloques de concreto poroso se pudo determinar que los bloques son buenos aislantes térmicos, debido a la presencia de alvéolos en su interior y a las divisiones entre ellos actúan como disipadores de temperatura permitiendo el paso de aire entre ellos. Con los resultados obtenidos a los 30 minutos del ensayo para los bloques de concreto poroso y los ladrillos de arcilla cocida, se determinó que los puntos (P2, P5 y P8) que conforman el alvéolo central de la cara superior del bloque de concreto poroso, presentan unas temperaturas promedio de 28,33°C, 28,15°C y 29,08°C y para los ladrillos cocidos de arcilla de 27,8°C, 28,4°C y 27,2°C con una diferencia de temperatura entre los bloques y ladrillos de 1,77% (P2), 0,88 (P5) y 6,46% (P8), evidenciando un mínimo aumento de temperatura ocasionado por el flujo de calor a través de los poros, dispersándose a través del alvéolo central.

➤ Con el estudio estadístico desarrollado en el Software de Minitab, a partir de la gráfica I-MR se concluye que el control de la mezcla de concreto poroso se mantuvo en un rango normal de diseño durante el proceso de fundición, ya que no se vio afectado dicho proceso, ni por la temperatura, ni por la humedad presentes en el laboratorio, ya que las resistencias de los bloques y cilindros de concreto poroso se encuentran dentro de los límites de control. Así mismo, en la prueba de valores atípicos para bloques y cilindros se puede evidenciar que gracias a que el valor de P es mayor que el nivel de significancia de 0,05 se concluye que todos los valores vienen de

una misma población normal, por lo tanto, no existen valores atípicos en la muestra.

En la prueba de normalidad de los cilindros se evidencia que el valor de P es de 0,94 mayor al nivel de significancia, por lo tanto, los valores de las resistencias siguen una distribución normal, ya que tienden a ubicarse cerca de la línea de distribución ajustada y a lo largo de esta, mientras que para los bloques de concreto poroso el valor de P es de 0,03 menor al nivel de significancia, determinan que los datos no tienen una distribución normal.

➤ En el análisis estadístico descriptivo realizado tanto a los bloques y cilindros de concreto poroso se determinó que los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión se encuentran en un nivel de confianza del 95% y cumplen con el teorema de Chebyshev.

➤ La aplicabilidad que presentan los bloques de concreto poroso basado en los resultados obtenidos, es en muros de cerramiento permitiendo el paso del aire a través de ellos, muros divisorios, muros confinados (encerrado por vigas y columnetas), murete de contención de baja altura con recubrimiento de geotextil el contacto con el suelo, drenaje en zanjas poniendo tubos ranurados dentro de los alvéolos para el transporte del agua, invernaderos, alcorques. También estos bloques presentan un ahorro en el friso, porque se utilizan como ladrillo cara a la vista.

## 9. Recomendaciones

- Verificar previamente que el diseño de mezcla de concreto poroso cumpla con las condiciones establecidas por la norma ACI522R-10 antes de realizar las fundidas.
- Se recomienda tener precaución con la colocación y compactación del concreto poroso, una exagerada compactación disminuirá la permeabilidad porque sella los poros requeridos para la filtración del agua.
- Se recomienda ampliar la investigación modificando el número y la forma de los alvéolos horizontales.
- Se recomienda incrementar el número de ensayo para tener una mayor confiabilidad en el análisis de los datos.

## Referencias bibliográficas

- Aamer, M.; Bhutta, R.; Tsuruta, K. & Mirza, J. (2012). Evaluation of high-performance porous concrete properties. *Construction and Building Materials*, 67-73.
- American Concrete Institute. (marzo 01 de 2010). ACI 522R-10
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. (2007). Norma ASTM C150 “Especificación Normalizada para Cemento Portland”
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. (Diciembre 27 de 2016). Norma ASTM C617 / C617M - 15 “Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens”
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. (sf). ASTM C 511 “Especificación estándar para salas de mezcla, gabinetes húmedos, salas húmedas y tanques de almacenamiento de agua utilizados en la prueba de cementos y hormigones hidráulicos”
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. (sf). Norma ASTM C 29-97 Método estándar de ensayo para densidad total (peso unitario) y vacíos en los agregados.
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. (sf). Norma ASTM C1688 / C1688M - 14a “Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete”
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. (sf). Norma ASTM C1231/C1231M-00e1 “Práctica Normativa para El Uso de Capas No Adheridas en la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido”
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. (sf). Norma ASTM C31/C31M-17 “Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra”

Asociación Americana de Ensayo de Materiales. (sf). Norma ASTM C39/C39M – 18 “Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”

Asociación Americana de Ensayo de Materiales. (sf). Norma ASTM C550 - 15 “Standard Test Method for Measuring Trueness and Squareness of Rigid Block and Board Thermal Insulation”

Cabello Sequera, S., Campuzano Vera, L., Espinoza Correa, J., & Sánchez Mendieta, C. (2015). Concreto Poroso: Constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización. *Cumbres, Revista Científica*, 64-69.

Cassinello Pérez, F. (1996). *Construcción hormigonería*. Madrid: Editorial Rueda.

Concreto, I. M. (2011). *Construcción y tecnología en Concreto*. Obtenido de Construcción y tecnología en Concreto.: [http:// www. Imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm](http://www.Imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm)

Harmsen , T. (2005). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2010). NTC 1377 “Ingeniería civil y Arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio”

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2010). NTC 4205 “Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos”

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (Febrero 17 de 2010). NTC 673 “Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (Junio 21 de 2010). Norma Técnica Colombiana NTC 550 “Elaboración y curado de especímenes de concreto en Obra”

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (Mayo 5 de 1982). NTC 121 “Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Pórtland. Especificaciones físicas y mecánicas”.

---

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (Octubre 31 de 2001). NTC 3459 “Concretos. Agua para la elaboración de concreto”

Instituto Nacional de Vías. (28 de Febrero de 2011). Norma Invías INV E-310 “Consistencia normal del cemento”

Instituto Nacional de Vías. (Octubre 25 de 2010). Norma Invías INV E-307 “Densidad del cemento hidráulico”

Instituto Nacional de Vías. (sf). Norma INV E 403-07 Refrentado de cilindros de concreto.

Instituto Nacional de Vías. (sf). Norma Invías INV E-217 “Densidad Bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto”

Instituto Nacional de Vías. (sf). Norma Invías INV E-223 “Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso”

Instituto Nacional de Vías. (sf). Norma Invías INV E-305 “Tiempo de fraguado del cemento hidráulico método del aparato de VICAT”

Instituto Nacional de Vías. (sf). Norma Invías INV E-402 “Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y flexión”

Instituto Nacional de Vías. (sf). Norma Invías INV E-403 “Refrentado de cilindros de concreto”

Lian, C.; Zhuge, Y. & Beecham, S. (2011). The relationship between porosity and strength for porous concrete. *Construction and Building Materials*, 4294-4298.

McCormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de Concreto reforzado*. Mexico: Alfaomega.

Muhammad Aamer Rafique Bhutta, Nor Hasanah, Nur Farhayu, Mohd Warid Hussin, Mahmood bin Md Tahir, & J.Mirza. (2013). Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate). *Construction and Building Materials* , 1243-1248.

---

Quispe Sánchez, C. (2018). *Variación de la resistencia mecánica de elementos sometidos a compresión, con el incremento de su sección resistente mediante un encamisado, haciendo uso de un puente epóxido*. Cajamarca .

Rivva López, E. (2007). *Tecnología del Concreto-Diseño de mezclas*. Lima.

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bogotá: Bhandar Editores Ltda.

Sang-Yeop Chung, Tong-Seok Han, Se-Yun Kim, & Tae-Hyung Lee. (2014). Investigation of the permeability of porous concrete reconstructed using probabilistic description methods. *Construction and Building Materials*, 760-770.

Yuan Zhang, Martin van de Ven, Andre Molenaar, & Shaopeng Wu. (2016). Preventive maintenance of porous asphalt concrete using surface treatment technology. *Materials & Design*, 262-272

## Apéndices

### Apéndice A. Ficha técnica del cemento

Resistencia a compresión (MPa)	Método de ensayo	Rango de resultados	Requisitos de norma
1 día	NTC 220	8.0 – 13.0	No especificado
3 días	NTC 220	14.0 – 21.0	Mínimo 8.0
7 días	NTC 220	18.0 – 24.0	Mínimo 15.0
28 días	NTC 220	24.0 – 28.0	Mínimo 24.0

Otros parámetros físicos	Método de ensayo	Rango de resultados	Requisitos norma
Cambio de longitud por autoclave (%)	NTC 107	0.01 - 0.15	Máximo 0.80
Tiempo de fraguado inicial (min)	NTC 118	100 - 150	Mínimo 45, Máximo 420
Contenido de aire en volumen de mortero (%)	NTC 224	4 - 8	Máximo 12
Expansión de barra de mortero 14 días (%)	NTC 4927	0.000 - 0.016	Máximo 0.020

**Innovación y sostenibilidad**

LEED®, ISO 14001:2015, Códigos de construcción sostenible

- ✓ Este cemento puede contener en su composición materiales regionales, reciclados y/o renovables. <sup>2</sup>
- ✓ El embalaje de nuestros productos puede proceder de fuentes gestionadas responsablemente y/o estar certificado con algún sello ambiental.
- ✓ En nuestro informe anual de Desarrollo Sostenible podrá conocer los logros que hemos alcanzado en los temas prioritarios de Responsabilidad Social y Ambiental regido por las guías G4 del Global Reporting Initiative (GRI).

**Certificaciones** <sup>4</sup>




<sup>1</sup> La presentación de nuestros productos puede variar según la zona en la que se comercializa.

<sup>2</sup> El contenido de dichos materiales puede variar de acuerdo con su disponibilidad, el producto de algunas plantas puede no contenerlos.


<sup>3</sup> Cumple la norma NTC 121 para Cemento UG.

<sup>4</sup> Producto elaborado bajo Sistemas de Gestión certificados en Calidad ISO 9001 (reconocimiento nacional e internacional), y Seguridad y Salud (OHSAS 18001). Este producto se distribuye en una flota de vehículos certificada como Carbono Neutro.

## Apéndice B. Tabla laboratorio densidad del cemento hidráulico

 <b>Universidad Pontificia Bolivariana</b>	LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA- SE DE BUCARAMANGA Autopista Piedecuesta Kilometro 7	
	<b>INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO</b>	
<b>ENSAYO:</b> <b>NORMA REFERENCIADA:</b> <b>SOLICITADO POR:</b>  <b>DIRECCIÓN:</b> <b>MATERIAL:</b> <b>PROCEDENCIA:</b>	<b>DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO</b> I.N.V. E-307-13 Tesista 1: Merly Andrea Roperero Rangel Tesista 2: Shirley Yohanna Mayorga Garcia Laboratorio Materiales de Construcción Grava 3/8 " Proyecto de grado_caracterización de materiales	<b>Fecha:</b> 20/08/2019 <b>Hora:</b> 2:00 p.m.
<b>DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO</b>		
Masa de cemento, g		64
Lectura Inicial, ml		0,4
Lectura Final, ml		22
Volumen desplazado		21,600
Densidad del cemento hidráulico		2,963


### Apéndice C. Tabla laboratorio consistencia del cemento

 <b>Universidad Pontificia Bolivariana</b>	LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SEDE BUCARAMANGA Autopista Piedecuesta Kilometro 7		
	<b>INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO</b>		
<b>ENSAYO:</b> <b>NORMA REFERENCIADA:</b> <b>SOLICITADO POR:</b> <b>DIRECCIÓN:</b> <b>MATERIAL:</b> <b>PROCENDENCIA:</b>	<b>CON SISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO</b> I.N.V. E-310-13 Tesista 1 :Merly Andrea Ropero Rangel Tesista 2: Shirley Yohanna Mayorga Garcia Laboratorio Materiales de construcción Grava 3/8 " Proyecto de grado_caracterización de materiales		<b>Fecha:</b> 19/08/2019 <b>Hora:</b> 8:00 a.m.
<b>CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO</b>			
Ensayo No.	%	Contenido de agua	Penetración (mm)
1	30	150	40
2	29	145	35
3	28	140	26
4	26	130	12
5	25	125	6

Apéndice D. Tabla laboratorio densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso

 <b>Universidad Pontificia Bolivariana</b>	LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SE DE BUCARAMANGA Autopista Piedecuesta Kilometro 7	
	<b>INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO</b>	
<b>EN SAYO:</b>	<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD E SPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUE SO</b>	
<b>NORMA REFERENCIADA:</b>	I.N.V. E -223-13	
<b>SOLICITADO POR:</b>	Tesista 1 :Merly Andrea Roperó Rangel Tesista 2: Shirley Yohanna Mayorga Garcia	<b>Fecha:</b> 21 de agosto de 2019 <b>Hora:</b> 4:00 p.m.
<b>DIRECCIÓN:</b>	Laboratorio Materiales de construcción	
<b>MATERIAL:</b>	Grava 3/8 "	
<b>PROCEDENCIA:</b>	Proyecto de grado_caracterización de materiales	
<b>DENSIDADES RELATIVAS</b>		
Masa de la muestra ensayada secada en el horno (A), g		2973
Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (B), g		3013
Masa aparente en agua de la muestra saturada (C), g		1852
Densidad relativa (gravedad específica) SH		2,561
Densidad relativa (gravedad específica) SSS		2,595
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)		2,652
Densidad en condición seca al horno SH		2554,322
Densidad en condición saturada y superficialmente seca SSS		2588,689
Densidad aparente		2645,466
<b>ABSORCIÓN</b>		
Masa material saturado y superficialmente seco (B), g		3013
Masa material seco (A), g		2973
% ABSORCIÓN = $(B-A)/A * 100$		1,328

## Apéndice E. tabla laboratorio densidad Bulk

	<b>Universidad Pontificia Bolivariana</b>	<b>LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SEDE BUCARAMANGA Autopista Piedecuesta Kilometro 7</b>			
<b>INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO</b>					
<b>ENSAYO No.</b>	<b>1</b>				
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD BULK (Peso Unitario) Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO</b>				
<b>NORMA REFERENCIADA:</b>	I.N.V. E-217-13				
<b>SOLICITADO POR:</b>	Tesista 1 :Merly Andrea Ropero Rangel	<b>fecha:</b> 15 de agosto de 2019			
	Tesista 2: Shirley Yohanna Mayorga Garcia	<b>Hora:</b> 4:00p.m.			
<b>DIRECCIÓN:</b>	Laboratorio Materiales de construcción				
<b>MATERIAL:</b>	Grava 3/8 "				
<b>PROCEDENCIA:</b>	Proyecto de grado_caracterización de materiales				
Peso molde (Kg)	3,974				
Diametro (m)	0,205				
Altura (m)	0,3				
Volumen molde (m <sup>3</sup> )	0,009901907				
<b>1. Masas Seltas:</b> llenado de todo el molde a paladas y enrase.					
<b>Descripcion</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Promedio</b>
Identificación del molde	-	1	1	1	1
Volumen nominal	m3	0,009901907	0,009901907	0,009901907	0,0099
Peso del molde	Kg	3,974	3,974	3,974	3,9740
Peso del material + molde	Kg	17,633	17,606	17,652	17,6303
Peso del material	Kg	13,659	13,632	13,678	13,6563
<b>2. Masas Compactas:</b> llenado de todo el molde con 3 capas, apisonada con 25 golpes y enrasadas.					
<b>Descripcion</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Promedio</b>
Identificación del molde	-	1	1	1	1
Volumen nominal	m3	0,009901907	0,009901907	0,009901907	0,0099
Peso del molde	Kg	3,974	3,974	3,974	3,9740
Peso del material + molde	Kg	18,775	18,745	18,772	18,7640
Peso del material	Kg	14,801	14,771	14,798	14,7900
<b>CÁLCULOS</b>					
<b>Densidad Bulk en condición seca al horno</b>					
	<b>Unidad</b>	<b>1. Masas Seltas</b>		<b>2. Masas Compactas</b>	
<b>Densidad Bulk del agregado</b>	kg/m3	<b>Ms:</b>	1379	<b>Mc:</b>	<b>1493,7</b>
Masa del agregado mas el recipiente de medida	Kg	<b>G:</b>	17,6303	<b>G:</b>	18,7640
Masa del recipiente de medida	Kg	<b>T:</b>	3,9740	<b>T:</b>	3,9740
Volumen del recipiente de medida	m3	<b>V:</b>	0,009901907	<b>V:</b>	0,009901907
<b>Densidad Bulk en estado saturado y superficialmente seco (SSS)</b>					
	<b>Unidad</b>	<b>1. Masas Seltas</b>		<b>2. Masas Compactas</b>	
<b>Densidad Bulk en condición SSS</b>	kg/m3	<b>Msss:</b>	1397,50	<b>Msss:</b>	1513,52
las normas INV E-223 (agregados gruesos)	%	<b>A:</b>	1,33	<b>A:</b>	1,33
Densidad Bulk del agregado	kg/m3	<b>Ms:</b>	1379	<b>Mc:</b>	1493,7
<b>Vacios en los agregados</b>					
	<b>Unidad</b>	<b>1. Masas Seltas</b>		<b>2. Masas Compactas</b>	
Porcentaje de vacios seco) determinada según la norma INV E-223 (agregados gruesos)	%	<b>% vacios:</b>	46,04	<b>% vacios:</b>	43,57
	kg/m3	<b>S:</b>	2,561	<b>S:</b>	2,652
Densidad Bulk del agregado	kg/m3	<b>Ms:</b>	1379	<b>Ms:</b>	1494
Densidad del agua	kg/m3	<b>pw:</b>	998	<b>pw:</b>	998

Apéndice F. Tabla diseño de mezcla

<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POROSO</b>	
Norma ACI522R-10	
<b>DATOS</b>	
% vacíos	15,00%
aw/cm	0,27
M	1493,65168 kg/m <sup>3</sup>
b/bo	0,99
Gravedad específica	2,652
Absorción	1,33%
Volumen	1 m <sup>3</sup>
Densidad del agua	1000 kg/m <sup>3</sup>
Sin agregado fino	
<b>CÁLCULOS</b>	
<b>1. Peso del agregado</b>	
Wa	1478,72 kg
<b>2. Ajuste SSD Peso agregado</b>	
Wssd	1498,35 kg
<b>3. Volumen de la pasta <span style="float: right;">Fig 6.3</span></b>	
Entrada	15,00% % de vacíos
Salida	20% %volumen del cemento
Vp	0,2 m <sup>3</sup>
<b>4. Contenido de cemento</b>	
c	341,88 kg
<b>5. Contenido de agua</b>	
w	92,31 kg
<b>6. Volumen de sólido</b>	
Va	0,56 m <sup>3</sup>
<b>7. Volumen del cemento</b>	
Vc	0,1085 m <sup>3</sup>
<b>8. Volumen del agua</b>	
Vw	0,09 m <sup>3</sup>
<b>9. Volumen total de sólido</b>	
Vs	0,7658 m <sup>3</sup>
<b>10. Porcentaje de vacíos</b>	
% vacíos	23,42 %
<b>11. Verificar la porosidad estimada <span style="float: right;">fig 6.1</span></b>	
Entrada	23,42 % de vacíos
Salida	9,2 in/min Percolación
<b>12. Verificar Resistencia a la compresión <span style="float: right;">fig 6.2</span></b>	
Entrada	23,42
Psi	1689,6
Mpa	11,6

**Apéndice G. Tabla de cantidades y fundidas de los materiales para los bloques y cilindros  
de concreto poroso.**

**CANTIDAD DE MATERIALES**

	No. MUESTRAS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	DESPERDICIO	UNIDAD
<b>FUNDIDA 1</b> (23 de agosto)	10	Bloques 20*40*12cm	Agregado 3/8"	136,521	5%	kg
	6	Cilindros de 10*20cm	Cemento	31,1514	5%	kg
	1	Cilindro de 15*30cm	Agua	8,442	5%	kg
<b>FUNDIDA 2</b> (27 de agosto)	10	Bloques 20*40*12cm	Agregado 3/8"	118,3	2%	kg
	3	Cilindros de 10*20cm	Cemento	26,994	2%	kg
	0	Cilindro de 15*30cm	Agua	7,3315	2%	kg
<b>FUNDIDA 3</b> (28 de agosto)	10	Bloques 20*40*12cm	Agregado 3/8"	130,02	2%	kg
	3	Cilindros de 10*20cm	Cemento	29,668	2%	kg
	0	Cilindro de 15*30cm	Agua	8,04	2%	kg
<b>FUNDIDA 4</b> (29 de agosto)	6	Bloques 20*40*12cm	Agregado 3/8"	87,55	2%	kg
	4	Cilindros de 10*20cm	Cemento	19,98	2%	kg
	1	Cilindro de 15*30cm	Agua	5,414	2%	kg

<b>CANTIDADES TOTALES</b>						
No. MUESTRAS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD		DESPERDICIO	UNIDAD
36	Bloques 20*40*12cm	Agregado 3/8"	472,391		2%	kg
16	Cilindros de 10*20cm	Cemento	107,79		2%	kg
2	Cilindros de 15*30cm	Agua	29,227		2%	kg



**Apéndice I. Cronograma control para las cuatro fundidas de bloques y cilindros de  
concreto poroso**

**CRONOGRAMA: FUNDIDAS DE CONCRETO POROSO**

FECHA	ACTIVIDAD	No. MUESTRAS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
<b>Viernes, 23 de agosto</b>	<b>fundida 1</b>	<b>10</b>	<b>Bloques 20*40*12cm</b>	<b>Agregado</b>	<b>130,02</b>	<b>kg</b>
		6	Cilindros de 10*20cm	Cemento	29,668	kg
		1	Cilindro de 15*30cm	Agua	8,04	kg
<b>Sabado, 24 de agosto</b>	<b>Desencofrado</b>					
Viernes, 30 de agosto	Resistencia a los 7 días	30%				
Viernes, 6 de septiembre	Resistencia a los 14 días	50%				
<b>Viernes, 20 de septiembre</b>	<b>Resistencia a los 28 días</b>	<b>100%</b>				
<b>Martes, 27 de agosto</b>	<b>fundida 2</b>	<b>10</b>	<b>Bloques 20*40*12cm</b>	<b>Agregado</b>	<b>118,3</b>	<b>kg</b>
		3	Cilindros de 10*20cm	Cemento	29,668	kg
		0	Cilindro de 15*30cm	Agua	8,04	kg
<b>Miercoles, 28 de agosto</b>	<b>Desencofrado</b>					
Martes, 3 de septiembre	Resistencia a los 7 días	30%				
Martes, 10 de septiembre	Resistencia a los 14 días	50%				
<b>Martes, 24 de septiembre</b>	<b>Resistencia a los 28 días</b>	<b>100%</b>				
<b>Miercoles, 28 de agosto</b>	<b>fundida 3</b>	<b>10</b>	<b>Bloques 20*40*12cm</b>	<b>Agregado</b>	<b>130,02</b>	<b>kg</b>
		3	Cilindros de 10*20cm	Cemento	29,668	kg
		0	Cilindro de 15*30cm	Agua	8,04	kg
<b>Jueves, 29 de agosto</b>	<b>Desencofrado</b>					
Miercoles, 4 de septiembre	Resistencia a los 7 días	30%				
Miercoles, 11 de septiembre	Resistencia a los 14 días	50%				
<b>Miercoles, 25 de septiembre</b>	<b>Resistencia a los 28 días</b>	<b>100%</b>				
<b>Jueves, 29 de agosto</b>	<b>fundida 4</b>	<b>6</b>	<b>Bloques 20*40*12cm</b>	<b>Agregado</b>	<b>87,55</b>	<b>kg</b>
		4	Cilindros de 10*20cm	Cemento	19,98	kg
		1	Cilindro de 15*30cm	Agua	5,414	kg
<b>Viernes, 30 de agosto</b>	<b>Desencofrado</b>					
Jueves, 5 de septiembre	Resistencia a los 7 días	30%				
Jueves, 12 de septiembre	Resistencia a los 14 días	50%				
<b>Jueves, 26 de septiembre</b>	<b>Resistencia a los 28 días</b>	<b>100%</b>				

## Apéndice J. Tablas de las resistencias a la compresión de los cilindros de concreto poroso

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CILINDROS FUNDIDA 1									
Muestra N°	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (kN)	Carga (N)	Resistencia a la compresión, (Mpa)	Resistencia a la compresión, (PSI)
1	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	61,58	61580	7,84	1137,19
2	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	85,25	85250	10,85	1574,30
3	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	52,28	52280	6,66	965,44
4	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	74,68	74680	9,51	1379,10
5	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	43,26	43260	5,51	798,87
6	100	7853,98	23/08/2019	20/09/2019	28 días	79,47	79470	10,12	1467,56

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CILINDROS FUNDIDA 2									
Muestra N°	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (kN)	Carga (N)	Resistencia a la compresión, (Mpa)	Resistencia a la compresión, (PSI)
1	100	7853,98	27/08/2019	24/09/2019	28 días	65,10	65100	8,29	1202,19
2	100	7853,98	27/08/2019	24/09/2019	28 días	83,84	83840	10,67	1548,26
3	100	7853,98	27/08/2019	24/09/2019	28 días	68,06	68060	8,67	1256,85

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CILINDROS FUNDIDA 3									
Muestra N°	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (kN)	Carga (N)	Resistencia a la compresión, (Mpa)	Resistencia a la compresión, (PSI)
1	100	7853,98	28/08/2019	25/09/2019	28 días	65,10	65100	8,29	1202,19
2	100	7853,98	28/08/2019	25/09/2019	28 días	74,12	74120	9,44	1368,76
3	100	7853,98	28/08/2019	25/09/2019	28 días	71,86	71860	9,15	1327,03

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CILINDROS FUNDIDA 4									
Muestra N°	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (kN)	Carga (N)	Resistencia a la compresión, (Mpa)	Resistencia a la compresión, (PSI)
1	100	7853,98	29/08/2019	26/09/2019	28 días	57,92	57920	7,37	1069,60
2	100	7853,98	29/08/2019	26/09/2019	28 días	52,14	52140	6,64	962,86
3	100	7853,98	29/08/2019	26/09/2019	28 días	56,65	56650	7,21	1046,14
4	100	7853,98	29/08/2019	26/09/2019	28 días	47,63	47630	6,06	879,57

## Apéndice K. Tablas de las resistencias a la compresión de los bloques de concreto poroso

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BLOQUES CON ALVÉOLOS FUNDIDA 1															
Muestra N°	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área bruta (mm <sup>2</sup> )	Largo (mm)	a2 (mm)	Área de vacíos (mm <sup>2</sup> )	Área neta (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo área bruta (Mpa)	Esfuerzo área bruta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión, área neta (Mpa)	Esfuerzo área neta (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	89117,19	1,86	18,94	4,17	42,56
2	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	83570,31	1,74	17,76	3,91	39,91
3	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	98648,44	1,22	12,46	2,75	28,01
4	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	88898,44	1,85	18,89	4,16	42,45
5	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	92793,13	1,93	19,72	4,34	44,31
6	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	74476,56	1,55	15,83	3,49	35,56
7	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	98304,69	2,05	20,89	4,60	46,94
8	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	66109,38	1,38	14,05	3,10	31,57
9	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	73804,69	1,54	15,68	3,46	35,24
10	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	23/08/2019	20/09/2019	28 días	92781,25	1,93	19,72	4,34	44,31

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BLOQUES CON ALVÉOLOS FUNDIDA 2															
Muestra N°	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área bruta (mm <sup>2</sup> )	Largo (mm)	a2 (mm)	Área de vacíos (mm <sup>2</sup> )	Área neta (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo área bruta (Mpa)	Esfuerzo área bruta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión, área neta (Mpa)	Esfuerzo área neta (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	27/08/2019	24/09/2019	28 días	78546,88	1,64	16,69	3,68	37,51
2	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	27/08/2019	24/09/2019	28 días	76796,88	1,60	16,32	3,60	36,67
3	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	27/08/2019	24/09/2019	28 días	67953,13	1,42	14,44	3,18	32,45
4	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	27/08/2019	24/09/2019	28 días	75984,38	1,58	16,15	3,56	36,28
5	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	27/08/2019	24/09/2019	28 días	86243,75	1,80	18,25	4,04	41,23
6	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	27/08/2019	24/09/2019	28 días	131234,38	2,73	27,89	6,14	62,67
7	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	27/08/2019	24/09/2019	28 días	95640,63	1,99	20,32	4,48	45,67
8	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	27/08/2019	24/09/2019	28 días	141125,00	2,94	29,99	6,61	67,39
9	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	27/08/2019	24/09/2019	28 días	167359,38	3,49	35,56	7,84	79,92

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BLOQUES CON ALVÉOLOS FUNDIDA 3															
Muestra N°	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área bruta (mm <sup>2</sup> )	Largo (mm)	a2 (mm)	Área de vacíos (mm <sup>2</sup> )	Área neta (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo área bruta (Mpa)	Esfuerzo área bruta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión, área neta (Mpa)	Esfuerzo área neta (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	168484,38	3,51	35,80	7,89	80,46
2	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	126187,50	2,63	26,81	5,91	60,26
3	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	131578,13	2,74	27,96	6,16	62,83
4	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	110984,38	2,31	23,58	5,20	53,00
5	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	169359,38	3,53	35,99	7,93	80,87
6	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	149359,38	3,11	31,74	6,99	71,32
7	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	77625,00	1,62	16,50	3,63	37,07
8	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	155296,88	3,24	33,00	7,27	74,16
9	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	142828,13	2,98	30,35	6,69	68,20
10	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	28/08/2019	25/09/2019	28 días	112296,88	2,34	23,86	5,26	53,62

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BLOQUES CON ALVÉOLOS FUNDIDA 4															
Muestra N°	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área bruta (mm <sup>2</sup> )	Largo (mm)	a2 (mm)	Área de vacíos (mm <sup>2</sup> )	Área neta (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo área bruta (Mpa)	Esfuerzo área bruta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión, área neta (Mpa)	Esfuerzo área neta (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	63562,50	1,32	13,51	2,98	30,35
2	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	112640,63	2,35	23,94	5,27	53,79
3	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	113093,75	2,36	24,03	5,29	54,01
4	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	130828,13	2,73	27,80	6,12	62,47
5	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	90859,38	1,89	19,31	4,25	43,39
6	120	400	48000	400	17,8	26640,00	21360,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	137156,25	2,86	29,15	6,42	65,50

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN LADRILLOS DE ARCILLA															
Muestra N°	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área bruta (mm <sup>2</sup> )	Largo (mm)	a2 (mm)	Área de vacíos (mm <sup>2</sup> )	Área neta (mm <sup>2</sup> )	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo área bruta (Mpa)	Esfuerzo área bruta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión, área neta (Mpa)	Esfuerzo área neta (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	93	307	28551	307	11,6	17867,40	10683,60	29/08/2019	26/09/2019	28 días	22890	0,80	8,18	2,14	21,85
2	90	307	27630	307	11	17499,00	10131,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	18520	0,67	6,84	1,83	18,65
3	90	307	27630	307	11,3	17192,00	10438,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	25850	0,94	9,54	2,48	25,26
4	90	308	27720	307	10	18420,00	9300,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	23730	0,86	8,73	2,55	26,03
5	91	308	28028	307	11	17806,00	10222,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	19510	0,70	7,10	1,91	19,47
6	90	303	27270	307	10	18420,00	8850,00	29/08/2019	26/09/2019	28 días	13870	0,51	5,19	1,57	15,99

**Apéndice L. Estadística descriptiva para los cilindros de concreto poroso por fundidas**

## Fundida 1

Media	8,4144157
Error típico	0,8548054
Mediana	8,674581
Moda	#N/A
Desviación estándar	2,093837
Varianza de la muestra	4,3841535
Curtosis	-1,649641
Coefficiente de asimetría	-0,30681
Rango	5,3463328
Mínimo	5,5080343
Máximo	10,854367
Suma	50,486494
Cuenta	6
Coefficiente de Variación	0,2488393
Nivel de confianza (95,0%)	2,1973472

## Fundida 2

Media	9,209766
Error típico	0,740572
Mediana	8,665668
Moda	#N/A
Desviación estándar	1,282709
Varianza de la muestra	1,645341
Curtosis	-
Coefficiente de asimetría	1,565358
Rango	2,386051
Mínimo	8,288789
Máximo	10,67484
Suma	27,6293
Cuenta	3
Coefficiente de Variación	0,139277
Nivel de confianza(95,0%)	3,186425

## Fundida 3

Media	8,958513
Error típico	0,345011

---

Mediana	9,149499
Moda	#N/A
Desviación estándar	0,597577
Varianza de la muestra	0,357098
Curtosis	-
Coefficiente de asimetría	-1,2913
Rango	1,148462
Mínimo	8,288789
Máximo	9,437252
Suma	26,87554
Cuenta	3
Coefficiente de Variación	0,066705
Nivel de confianza(95,0%)	1,484463

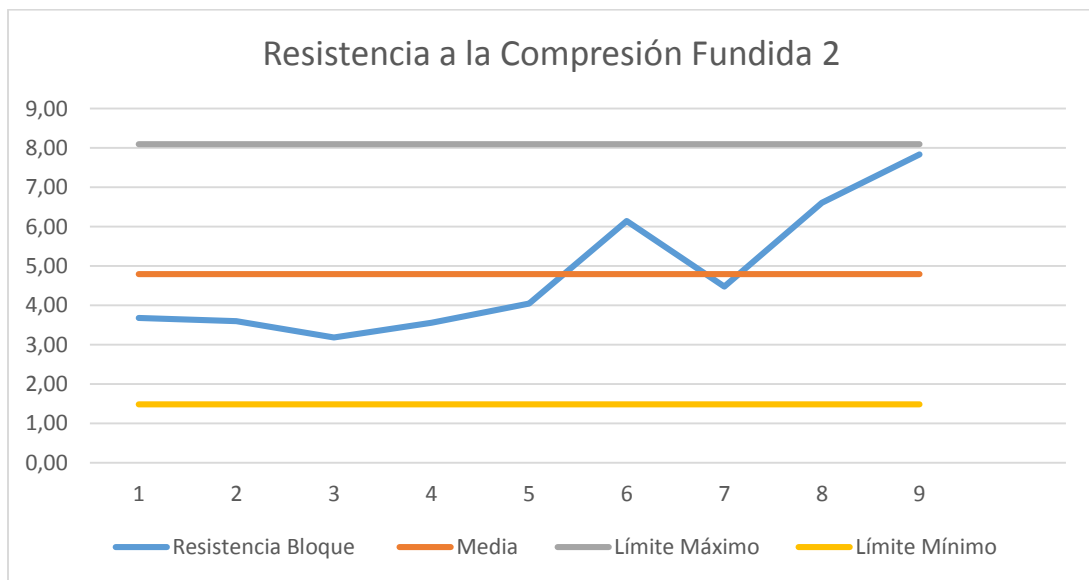
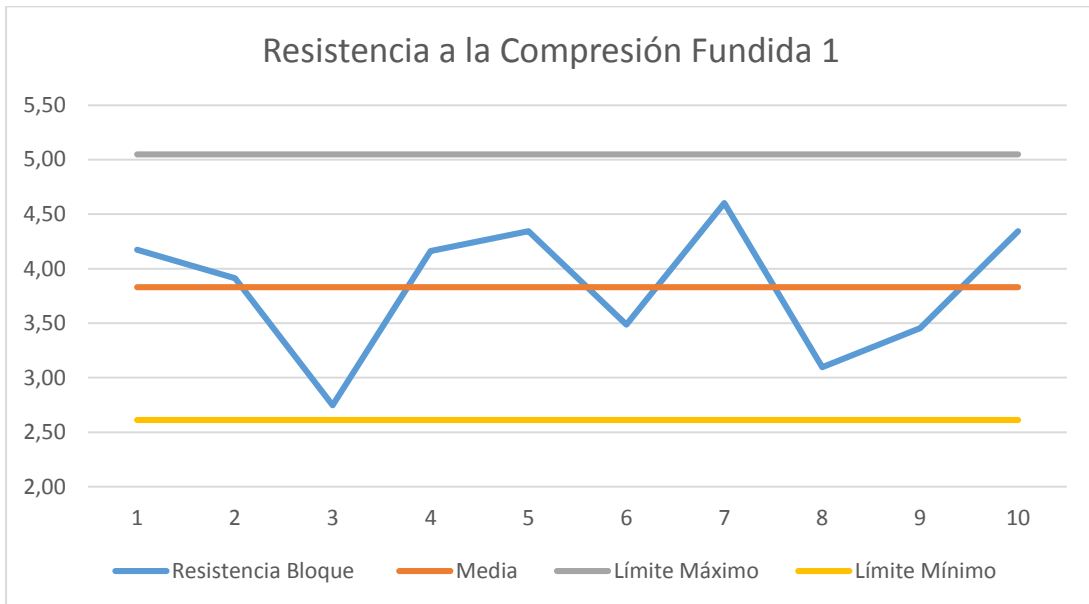
#### Fundida 4

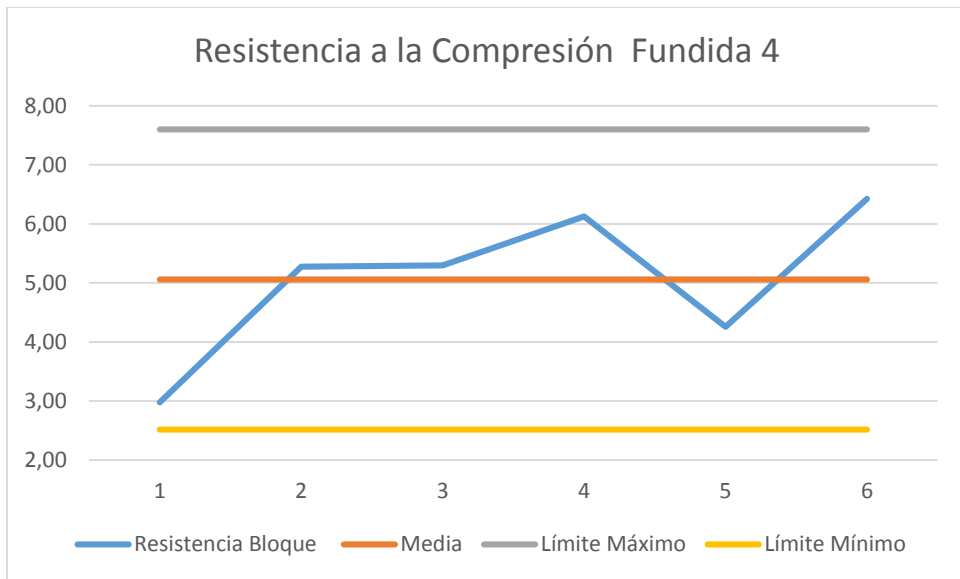
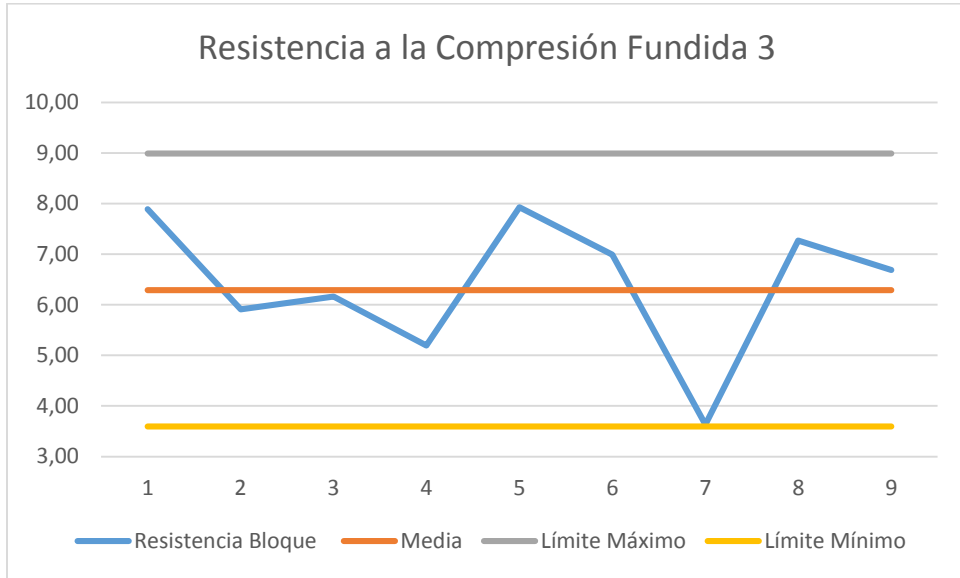
Media	6,822654
Error típico	0,298004
Mediana	6,925787
Moda	#N/A
Desviación estándar	0,596009
Varianza de la muestra	0,355227

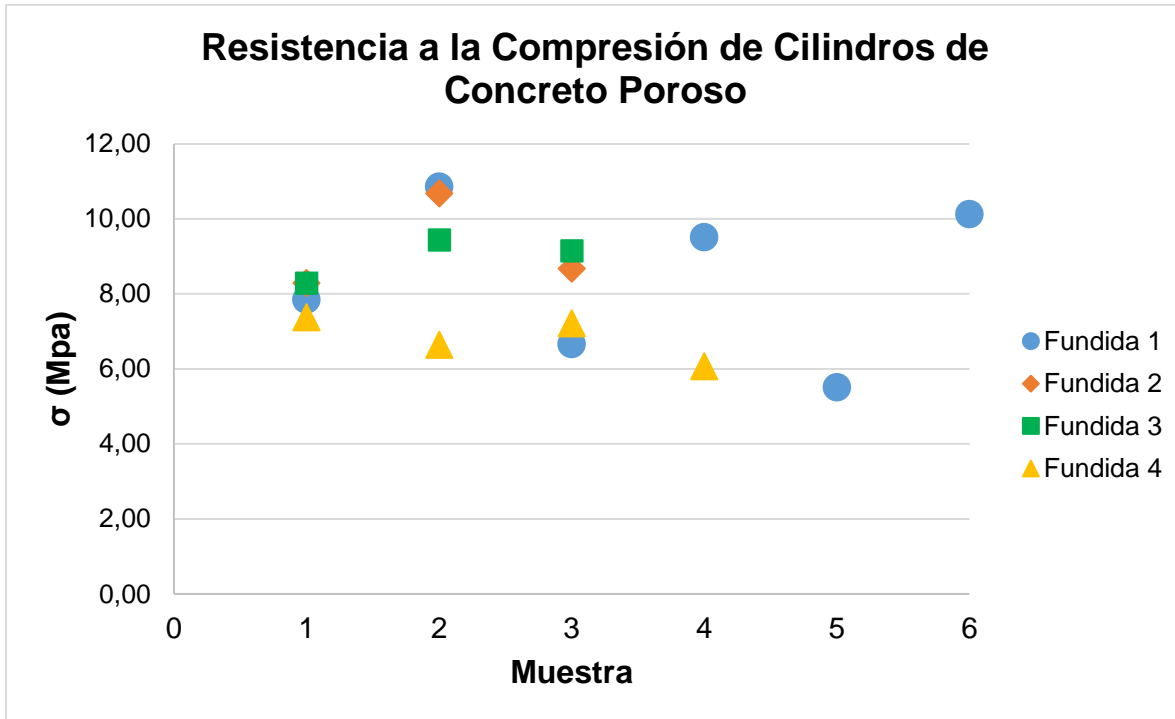
---

Curtosis	-1,67495
Coefficiente de asimetría	-0,67553
Rango	1,310163
Mínimo	6,06444
Máximo	7,374603
Suma	27,29062
Cuenta	4
Coefficiente de Variación	0,087357
Nivel de confianza(95,0%)	0,948383

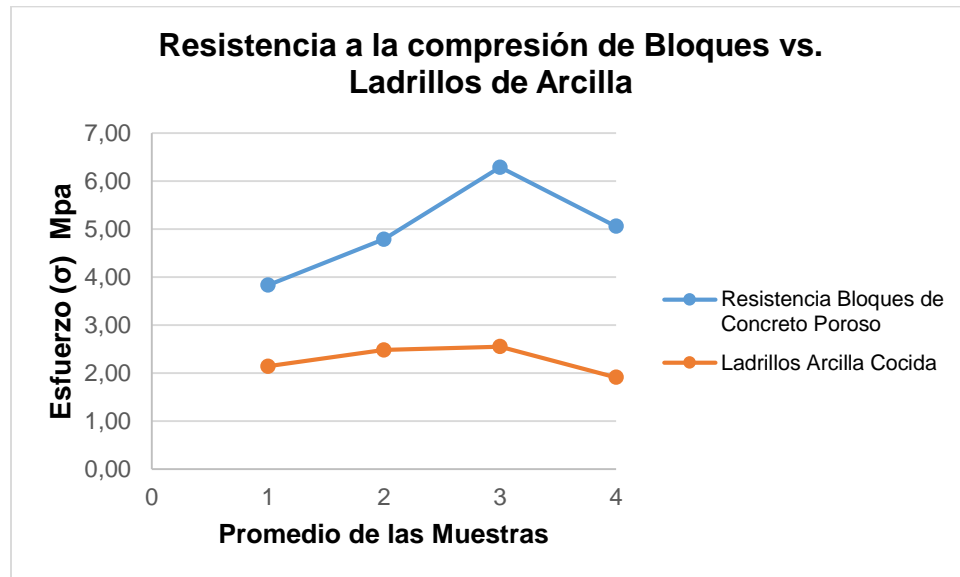
**Apéndice M. Gráfica de la resistencia a la compresión por fundidas para los bloques de concreto poroso**





**Apéndice N. Gráfica de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto poroso**

**Apéndice O. Grafica de comparación de las resistencias entre los ladrillos de arcilla cocida  
y los bloques de concreto poroso**



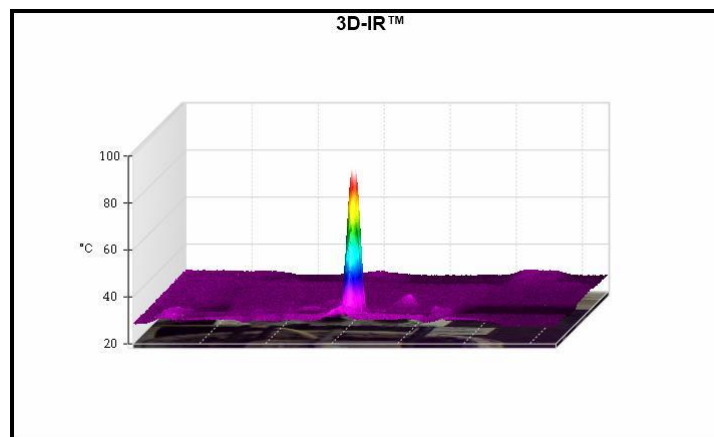
**Apéndice P. Registro de SmartView, ensayo térmico para los bloques de concreto poroso.**



**IR\_00369.IS2**

**Imagen de luz visible**

11/09/2019 14:53:51



**Gráfico**

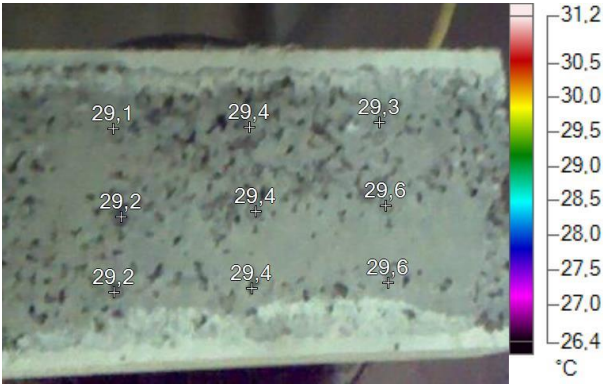
**Información de la imagen**

Temperatura de fondo	22,0°C
Emisividad	0,94

Transmisión	1,00
Temperatura promedio	28,4°C
Rango de la imagen	25,5°C a 90,5°C
Modelo de cámara	Ti450P
Tamaño de sensor IR	640 x 480
Número de serie de la cámara	Ti450P-18110150
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	11/09/2019 14:53:51
Rango de calibración	-20,0°C a 250,0°C

### Marcadores de la imagen principal

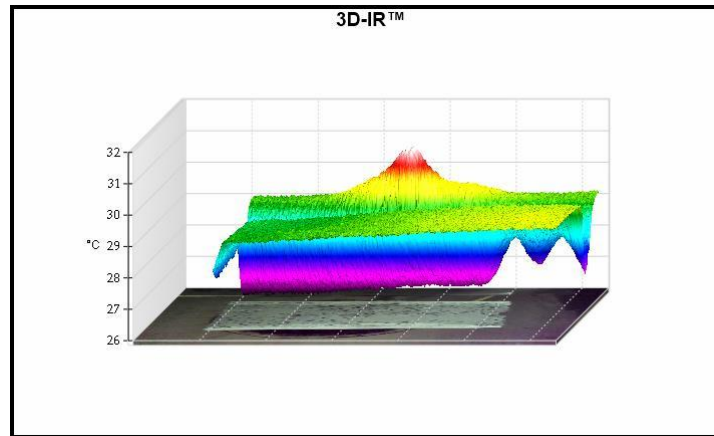
Nombre	Temperatura	Emisividad	Segundo plano
P0	28,7°C	0,94	22,0°C
P1	28,6°C	0,94	22,0°C
P2	28,5°C	0,94	22,0°C
P3	28,6°C	0,94	22,0°C
P4	28,6°C	0,94	22,0°C
P5	28,4°C	0,94	22,0°C



**IR\_00371.IS2**

**Imagen de luz visible**

11/09/2019 14:55:47



**Gráfico**

**Información de la imagen**

Temperatura de fondo	22,0°C
Emisividad	0,94
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	29,1°C

Rango de la imagen	26,5°C a 31,1°C
Modelo de cámara	Ti450P
Tamaño de sensor IR	640 x 480
Número de serie de la cámara	Ti450P-18110150
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	11/09/2019 14:55:47
Rango de calibración	-20,0°C a 80,0°C

#### Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura	Emisividad	Segundo plano
P0	29,2°C	0,94	22,0°C
P1	29,4°C	0,94	22,0°C
P2	29,6°C	0,94	22,0°C
P3	29,2°C	0,94	22,0°C
P4	29,4°C	0,94	22,0°C
P5	29,6°C	0,94	22,0°C
P6	29,1°C	0,94	22,0°C
P7	29,4°C	0,94	22,0°C
P8	29,3°C	0,94	22,0°C

**Apéndice Q. Regla de tres para obtener porcentaje de reducción en las temperaturas de los alveolos en la cara frontal del bloque de concreto poroso**

°C	%
33,2	100
<b>32,5</b>	<b>X</b>

**X:** 97,89 %

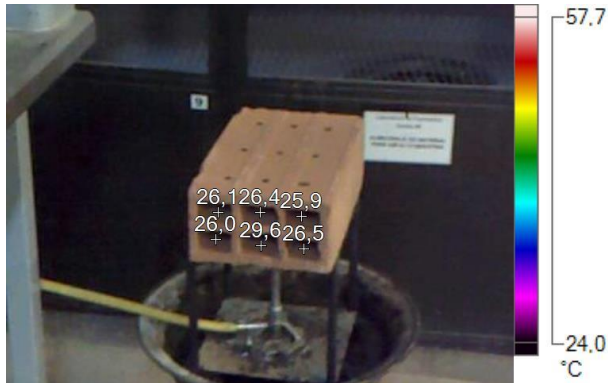
°C	%
33,2	100
<b>32,9</b>	<b>X</b>

**X:** 99,10 %

°C	%
33,2	100
<b>27,4</b>	<b>X</b>

**X:** 82,5301 %

## Apéndice R. Registro de SmartView, ensayo térmico para los ladrillos cocidos de arcilla.



IR\_00508.IS2

16/09/2019 16:22:31

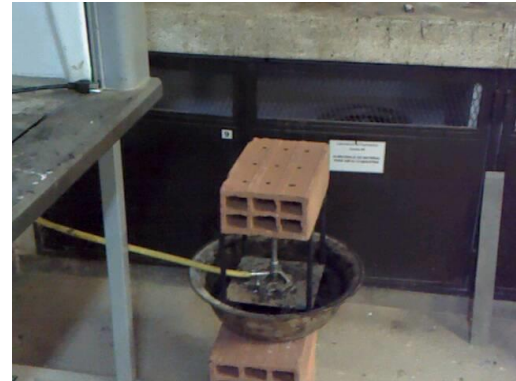


Imagen de luz visible

### Información de la imagen

Temperatura de fondo	22,0°C
Emisividad	0,94
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	25,2°C
Rango de la imagen	24,3°C a 57,4°C
Modelo de cámara	Ti450P
Tamaño de sensor IR	640 x 480
Número de serie de la cámara	Ti450P-18110150

---

Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	16/09/2019 16:22:31
Rango de calibración	-20,0°C a 80,0°C

## Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura	Emisividad	Segundo plano
P0	26,1°C	0,94	22,0°C
P1	26,4°C	0,94	22,0°C
P2	25,9°C	0,94	22,0°C
P3	26,0°C	0,94	22,0°C
P4	29,6°C	0,94	22,0°C
P5	26,5°C	0,94	22,0°C



IR\_00509.IS2

16/09/2019 16:22:54



Imagen de luz visible

## Información de la imagen

Temperatura de fondo

22,0°C

Emisividad	0,94
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	25,6°C
Rango de la imagen	24,7°C a 72,2°C
Modelo de cámara	Ti450P
Tamaño de sensor IR	640 x 480
Número de serie de la cámara	Ti450P-18110150
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	16/09/2019 16:22:54
Rango de calibración	-20,0°C a 80,0°C

### Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura	Emisividad	Segundo plano
P0	25,8°C	0,94	22,0°C
P1	25,8°C	0,94	22,0°C
P2	25,9°C	0,94	22,0°C
P3	26,1°C	0,94	22,0°C
P4	26,0°C	0,94	22,0°C

---

P5	26,0°C	0,94	22,0°C
P6	26,0°C	0,94	22,0°C
P7	26,1°C	0,94	22,0°C
P8	26,1°C	0,94	22,0°C