

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE BLOQUES DE  
CONCRETO MODIFICADO CON CENIZAS DE LOCACIONES PETROLERAS**

**LAURA VIVIANA BASTIDAS FAJARDO  
FABIO ANDRES SEPULVEDA BAUTISTA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL  
BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
BUCARAMANGA  
2015**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE BLOQUES DE  
CONCRETO MODIFICADO CON CENIZAS DE LOCACIONES PETROLERAS**

**LAURA VIVIANA BASTIDAS FAJARDO  
FABIO ANDRES SEPULVEDA BAUTISTA**

**PROYECTO DE GRADO**

**Director (a):**

**Luz Marina Torrado Gómez**

**MSc. Ingeniería Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL  
BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
BUCARAMANGA  
2015**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

**Bucaramanga, Agosto 2015**

## DEDICATORIA

*A Dios por darme la sabiduría en todo momento para desarrollar cada etapa de mi vida, y superar todas las dificultades que se han presentado.*

*A mis padres y hermanas quienes han sido la guía y ejemplo en todo momento, mi sustento y apoyo para lograr cada meta propuesta.*

*A Fabio Sepúlveda mi compañero de investigación, quien puso su dedicación, y sabiduría para lograr los resultados de este proyecto, y a cada una de las personas que me ayudaron durante el desarrollo de mi carrera.*

**LAURA VIVIANA BASTIDAS FAJARDO**

*A Dios por estar siempre a mi lado en todos los momentos de mi vida, iluminándome el camino; con su protección y bendición me ha ayudado a vencer todos los obstáculos que se han presentado en toda mi etapa de estudios.*

*A mis padres por infundirme la lucha y el deseo por ser cada día mejor; resaltando ese apoyo incondicional en los momentos difíciles.*

*A mi compañera de proyecto de grado, que con sus conocimientos brindo aportes útiles y valioso para el desarrollo de toda la investigación.*

**FABIO ANDRES SEPULVEDA BAUTISTA**

## AGRADECIMIENTOS

*Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:*

*A Dios principalmente por ser una guía y una fortaleza que siempre ha estado presente cuando más lo hemos necesitado.*

*A nuestros padres por ese apoyo incondicional que a pesar de los momentos difíciles brindan una voz de aliento.*

*A la Universidad Pontificia porque fue en ella donde forjamos nuestros sueños y donde no solo crecimos como profesionales sino también como personas.*

*A la directora del proyecto, Ingeniera Luz Marina Torrado Gómez por su dedicación y siempre buena disposición a resolver nuestras inquietudes y por ser más que nuestra docente, ser nuestra amiga.*

*Al personal de Bloques y Adoquines de Santander especialmente al Ingeniero Eduardo Urbina e ingeniera Milena Esteban por poner a nuestra disposición todos los elementos necesarios para el desarrollo de este proyecto de investigación.*

## TABLA DE CONTENIDO

1.	GENERALIDADES.....	19
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.2	JUSTIFICACION.....	20
1.3	OBJETIVOS .....	21
1.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	21
1.3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
2.	MARCO DE REFERENCIA.....	22
2.1	MAMPOSTERIA.....	22
2.1.1	TIPOS DE MAMPOSTERIA .....	23
2.2	FABRICACION.....	25
2.3	CONTROL DE CALIDAD .....	27
2.3.1	DENSIDAD.....	27
2.3.2	RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	28
2.3.3	ABSORCIÓN .....	30
2.3.4	CONTENIDO DE HUMEDAD .....	31
2.3.5	PERMEABILIDAD Y POROSIDAD DEL CONCRETO.....	32
2.3.6	TRANSPORTE .....	32
2.3.7	RECEPCIÓN .....	32
2.3.8	ALMACENAMIENTO.....	33
2.3.9	MANEJO INTERNO.....	33
2.3.10	DIMENSIONES.....	34
2.3.11	ACABADO Y APARIENCIA.....	34
2.4	CENIZAS DE LOCACIONES PETROLERAS .....	35
2.4.1	CLASIFICACIÓN DE LAS CENIZAS SEGÚN LA NTC 3493.....	35
3.	METODOLOGIA.....	37
3.1	MATERIALES .....	38
3.1.1	MATERIAL GRANULAR.....	38
3.1.2	CEMENTO ESTRUCTURAL .....	44

3.1.2 CENIZAS DE LOCACIONES PETROLERAS .....	46
3.2 ELABORACION DE LOS BLOQUES DE CONCRETO .....	50
3.2.1 DISEÑOS DE MEZCLAS .....	52
3.3 ELABORACION DE BLOQUES DE CONCRETO H-14 EN LA MAQUINA PRODUCTORA QFT 8-15.....	57
3.3.1 LLENADO DE LAS TOLVAS Y DOSIFICACION DE LA ARENA .....	57
3.3.2 MEZCLADO DE LOS MATERIALES.....	58
3.3.3 DOSIFICACION DEL CEMENTO.....	59
3.3.4 ELABORACION DE LOS BLOQUES DE CONCRETO .....	60
3.4 ENSAYOS PARA CONTROL Y CALIDAD DE BLOQUES DE CONCRETO H-14 ESTABLECIDOS EN LAS NORMAS NTC 4024 Y 4026. ....	65
3.4.1 ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE LA ABSORCION DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA.....	66
3.4.2 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA ..	67
3.4.3 ENSAYO DE DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA.....	68
3.4.4 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA	69
3.5 ENSAYO DE PERMEABILIDAD Y POROSIDAD DE LOS BLOQUES, SEGÚN LA NTC 4483.....	71
3.5.1 DESCRIPCION DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD SEGÚN LA NTC 4483, PARA BLOQUES DE CONCRETO .....	72
4. RESULTADOS .....	73
4.1 CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN LA MEZCLA DE CONCRETO	73
4.1.1 GRANULOMETRIA DE LOS MATERIALES GRANULARES .....	73
4.1.2 MASAS UNITARIAS SUeltas Y COMPACTAS NTC 92. ....	76
4.1.3 PESO ESPECÍFICO PARA ABSORCION DEL AGREGADO FINO Y GRUESO NTC 237. ....	79
4.1.4 CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA NTC 127.....	82
4.1.5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO NTC 221 .....	83
4.1.6 COMPONENTES QUIMICOS DE LAS CENIZAS .....	84
4.2 PARÁMETROS DE CONTROL Y CALIDAD EN LOS BLOQUES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL ESTABLECIDOS EN LAS NORMAS NTC 4024 Y 4026. ....	84
4.2.1 PORCENTAJE DE ABSORCION Y CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM C642 .....	84
4.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS BLOQUES H-14 .....	86
4.2.3 DENSIDAD DE LOS BLOQUES H-14 NTC 4024.....	89
4.2.4 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES H-14 NTC 4026.....	90

4.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD Y POROSIDAD DE LOS BLOQUES .....	94
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	96
5.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR Y DEL CEMENTO ESTRUCTURAL .....	96
5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS BLOQUES H-14 .....	96
5.3 DENSIDAD DE LOS BLOQUES H-14 .....	98
5.4 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y CONTENIDO DE HUMEDAD.....	99
5.5 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES.....	101
5.6 PERMEABILIDAD Y POROSIDAD DE LOS BLOQUES.....	112
6. CONCLUSIONES .....	114
7. RECOMENDACIONES PARA LA EMPRESA BLOQUES Y ADOQUINES DE SANTANDER .....	116
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	117
9. ANEXOS .....	119

## LISTA DE FIGURAS

*Figura 1: Mampostería*

*Figura 2: Mampostería Estructural*

*Figura 3: Mampostería no Estructural*

*Figura 4: Máquina para fabricación de bloques de mampostería*

*Figura 5: Metodología del proyecto de investigación*

*Figura 6: Ensayo de Granulometría*

*Figura 7: Ensayo masas unitarias sueltas y compactas*

*Figura 8: Ensayo peso específico para absorción*

*Figura 9: Ensayo materia orgánica*

*Figura 10: Ensayo peso específico del cemento*

*Figura 11: Ensayo peso específico de la ceniza*

*Figura 12: Ensayo consistencia normal de la ceniza*

*Figura 13: Elaboración de los bloques de concreto*

*Figura 14: Tolva de pesaje*

*Figura 15: Partes de la máquina de mezclado.*

*Figura 16: Proceso de dosificación de la maquinaria*

*Figura 17: Alimentación de la tolva*

*Figura 18: Llenado del molde*

*Figura 19: Compresión y vibrado*

*Figura 20: Desmolde*

*Figura 21: Elaboración de los bloques*

*Figura 22: Ensayo absorción de las unidades de mampostería*

*Figura 23: Ensayo de resistencia a la compresión*

*Figura 24: Montaje para el ensayo de permeabilidad*

*Figura 25: Curva granulométrica agregado fino*

*Figura 26: Curva granulométrica agregado grueso*

*Figura 27: Dimensionamiento de las unidades de mampostería*

*Figura 28: Grado de materia orgánica en la arena mediante la tabla de colores Gardner.*

*Figura 29: Dimensionamiento de los bloques*

*Figura 30. Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, diseño número 1, sin aditivo*

*Figura 31: Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, diseño número 2, 5% de aditivo*

*Figura 32. Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, diseño número 3, 10% de aditivo*

*Figura 33. Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, diseño número 3, 15% de aditivo*

*Figura 34: Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, comparación entre cada uno de los diseños*

*Figura 35: Promedio de las dimensiones de los bloques y sus huecos*

*Figura 36: Dimensiones de los bloques H-14 y sus huecos*

*Figura 37: Comparación de la resistencia promedio a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, para cada uno de los diseños*

*Figura 38: Resistencia a la compresión Vs coeficiente de permeabilidad*

## LISTA DE TABLAS

*Tabla No.1 Parámetros de densidad para unidades de mampostería*

*Tabla No.2 Resistencia a la compresión para unidades de mampostería*

*Tabla No.3 Parámetros de porcentaje de absorción*

*Tabla No.4 Diseño de mezcla piloto*

*Tabla No.5 Diseño de mezcla con 5% de ceniza*

*Tabla No.6 Diseño de mezcla con 10% de ceniza*

*Tabla No.7 Diseño de mezcla con 15% de ceniza*

*Tabla No.8 Parámetros de absorción para unidades de mampostería estructural*

*Tabla No.9 Parámetros de densidad para unidades de mampostería estructural*

*Tabla No.10 Parámetros de resistencia a compresión unidades de mampostería estructural*

*Tabla No.11 Masa unitaria suelta del agregado fino*

*Tabla No.12 Masa unitaria compacta para el agregado fino*

*Tabla No.13 Masa unitaria compacta para el agregado grueso*

*Tabla No.14 Gravedad específica aparente del agregado fino*

*Tabla No.15 Gravedad específica aparente del agregado grueso*

*Tabla No.16 Peso específico del cemento*

*Tabla No.17 Componentes químicos de las cenizas.*

*Tabla No.18 Porcentaje de absorción de los bloques diseñados con las mezclas con porcentaje de ceniza de 5%, 10%, y 15%*

*Tabla No.19 Porcentaje del contenido de humedad de los bloques diseñados con las mezclas con porcentaje de ceniza de 5%, 10%, y 15%.*

*Tabla No.20 Dimensionamiento de los bloques diseñados con la adición de ceniza de 5%*

*Tabla No.21 Dimensionamiento de los bloques diseñados con la adición de ceniza de 10%*

*Tabla No.22 Dimensionamiento de los bloques diseñados con la adición de ceniza de 15%*

*Tabla No.23 Clasificación según su densidad*

*Tabla No.24 Dimensiones de un bloque H-14 según su prefabricado*

*Tabla No.25 Clasificación según su densidad*

*Tabla No.26 Porcentaje de absorción y resistencia a la compresión a la edad de 28 días para la mezcla con adición del 5% de ceniza*

*Tabla No.27 Porcentaje de absorción y resistencia a la compresión a la edad de 28 días para la mezcla con adición del 10% de ceniza*

*Tabla No.28 Porcentaje de absorción y resistencia a la compresión a la edad de 28 días para la mezcla con adición del 15% de ceniza*

*Tabla No.29 Contenido de humedad para cada uno de los bloques con adición de ceniza*

*Tabla No.30 Diseño de mezcla piloto*

*Tabla No.31 Diseño de mezcla adición 5% de ceniza*

*Tabla No.32 Diseño de mezcla adición 10% de ceniza*

*Tabla No.33 Diseño de mezcla adición 15% de ceniza*

*Tabla No.34 Promedio de resistencia a la compresión de los bloques H-14 a los 28 días, de cada una de los cuatro diseños*

*Tabla No.35 Verificación de la resistencia a compresión, individual y promedio de los bloques H-14 a los 28 días, para cada uno de los diseños*

*Tabla No.36 Verificación de la resistencia a compresión, individual y promedio de los bloques H-14 a los 28 días, mezcla sin aditivo*

*Tabla No.37 Verificación de la resistencia a compresión, individual y promedio de los bloques H-14 a los 28 días, mezcla con 5% adición de ceniza*

*Tabla No.38 Verificación de la resistencia a compresión, individual y promedio de los bloques H-14 a los 28 días, mezcla con 10% adición de ceniza*

*Tabla No.39 Verificación de la resistencia a compresión, individual y promedio de los bloques H-14 a los 28 días, mezcla con 15% adición de ceniza*

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Análisis granulométrico del agregado fino.*
- Anexo 2. Análisis granulométrico del agregado grueso.*
- Anexo 3. Resultados ensayo masa unitaria del agregado fino.*
- Anexo 4. Resultados ensayo masa unitaria del agregado grueso.*
- Anexo 5. Resultados ensayo masa unitaria compacta del agregado fino.*
- Anexo 6. Resultados ensayo masa unitaria compacta del agregado grueso.*
- Anexo 7. Resultados ensayo gravedad específica aparente del agregado fino.*
- Anexo 8. Resultados ensayo gravedad específica aparente del agregado fino.*
- Anexo 9. Resultados del ensayo de porcentaje de absorción.*
- Anexo 10. Resultados del ensayo de contenido de humedad.*
- Anexo 11. Resultados del ensayo de densidad.*
- Anexo 12. Diseños de las mezclas realizadas.*
- Anexo 13. Resultados del ensayo de permeabilidad y porosidad.*

## GLOSARIO

**ADITIVO:** Son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

**BLOQUE DE CONCRETO H-14:** Es un mampuesto prefabricado, elaborado con hormigones finos o morteros de cemento, utilizado en la construcción de muros y paredes.

**CENIZAS VOLANTES:** Las cenizas volantes son un subproducto de la combustión de carbón en las plantas de energía, que tienen un uso propio. Al ser considerado un producto de desecho de la combustión, la ceniza volante se desechaba tradicionalmente en vertederos.

**MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL:** La mampostería estructural es un sistema de ensamblaje de elementos, de tal manera que este adquiera las características individuales de los elementos en forma razonable.

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE BLOQUES DE CONCRETO MODIFICADO CON CENIZAS DE LOCACIONES PETROLERAS

**AUTOR(ES):** Laura Viviana Bastidas Fajardo, Fabio Andrés Sepúlveda Bautista

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Ingeniera MSc. Luz Marina Torrado Gómez

### **RESUMEN**

El sistema de mampostería estructural se fundamenta en la construcción de muros con elementos prefabricados como bloques de concreto o ladrillos de arcilla unidos con mortero, situados en un orden específico. Básicamente los bloques de concreto se fabrican con cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y en algunos casos aditivos. Es un sistema constructivo muy utilizado en el presente debido a las grandes ventajas que ofrece; como la disminución de desperdicios y que se prescinde de la utilización de formaletas, entre otras ventajas. Sin embargo, se requiere conocer muy bien las características mecánicas de las unidades de mampostería, ya que son parte fundamental de la estructura, lo cual hace indispensable para empresas fabricantes y comercializadoras de este tipo de bloques, como es el caso de Bloques y Adoquines de Santander, para hallar una manera que asegure un comportamiento mecánico óptimo de estos bloques de concreto. Para la realización de esta experimentación fue necesaria la caracterización del cemento a utilizar y los agregados. Adicionalmente es importante la caracterización química de la ceniza de locaciones petroleras que se usara como aditivo que mejore el comportamiento mecánico de las unidades de mampostería, posteriormente la elaboración de 60 bloques H-14 con distintos porcentajes de ceniza como aditivo.

### **PALABRAS CLAVES:**

Mampostería estructural, Bloques de concreto, Cenizas Volantes.

#### GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** EVALUATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF CONCRETE BLOCK MODIFIED ASH OIL LOCATIONS

**AUTHOR(S):** Laura Viviana Bastidas Fajardo, Fabio Andrés Sepúlveda Bautista

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Engineer MSc. Luz Marina Gómez Torrado

#### ABSTRACT

The system is based on structural masonry building walls and precast concrete blocks or clay bricks in mortar, placed in a specific order. Basically concrete blocks are manufactured with cement, fine aggregate, coarse aggregate, water and in some cases additives. It is a construction system widely used in the present because of the great advantages; as decreasing waste and dispenses with the use of formwork, among other advantages. However, we need to know very well the mechanical properties of masonry units, as they are a fundamental part of the structure, which is essential for manufacturers and marketers of such blocks, as in the case of Bloques y Adoquines de Santander, to find a way and ensure optimum mechanical behavior of these concrete blocks. To carry out this experimental characterization was necessary to use cement and aggregates. Additionally it is important to the chemical characterization of the ash oil locations that will be used as an additive to improve the mechanical behavior of masonry units, then making 60 blocks H-14 with different percentages of ash as an additive.

#### KEYWORDS:

Structural Masonry, Concrete blocks, Fly-Ash.

## INTRODUCCION

El sistema de mampostería estructural se fundamenta en la construcción de muros con elementos prefabricados como bloques de concreto o ladrillos de arcilla unidos con mortero, situados en un orden específico. Ofrece grandes ventajas frente a otros tipos de construcción, en la etapa de construcción; se disminuyen los desperdicios, se prescinde de formaletas lo cual reducen los costos por uso de equipos especializados, es de fácil y rápida instalación disminuyendo la mano de obra y así generando un ahorro en este costo, y en su vida útil es muy resistente al fuego, a los insectos entre otros, y se provee que dure por años con muy poco mantenimiento. Es fabricado con cemento estructural, agregado fino, agregado grueso, agua y otros aditivos, como lo son los aditivos acelerantes cuyo propósito es lograr que el concreto desarrolle a edades tempranas su resistencia, o como las cenizas volantes, las cuales brindarían mejoras al comportamiento mecánico de las unidades de mampostería estructural.

Las cenizas volantes son uno de los tipos de adiciones activas empleadas en la fabricación de cementos y concreto. Tienen la capacidad de reaccionar con el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  del cemento Portland, en presencia del agua y a temperatura ambiente, proporcionando compuestos conglomerantes que colaboran con el desarrollo de las resistencias del concreto. La incorporación de las cenizas al Concreto reduce su costo y mejora algunas de sus propiedades como trabajabilidad, su permeabilidad y su resistencia al ataque químico (sulfatos, reacción árido álcali, entre otros) siempre que se tomen las medidas adecuadas para conseguir un correcto curado del Concreto. Al ser las cenizas volantes subproductos de la combustión de carbones, están condicionadas sus propiedades físicas y químicas a la naturaleza de estos y al proceso de combustión. Es pues necesario establecer unos límites máximos y mínimos a sus características y llevar a cabo un minucioso control de recepción de las cenizas que se empleen en la fabricación de los concretos.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las cenizas provenientes de locaciones petroleras han sido consideradas como material de segunda y como tal han sido tratados, generando graves problemas de contaminación en las zonas cercanas. Frente a este problema se plantea como posible alternativa de solución, la evaluación del comportamiento mecánico de bloques de concreto modificado con estas cenizas, analizando la viabilidad del mismo.

El uso de estas cenizas supondría un beneficio común, tanto para la empresa Bloques y Adoquines de Santander, ya que el uso de estas se presume mejoraría ciertas propiedades mecánicas del concreto, lo cual ayudaría a la empresa bloquera a disminuir precios de producción y ofrecer un producto de mejores propiedades. Así mismo, para el Instituto Colombiano de Petróleos (ICP), este proyecto servirá de aporte en cuanto a que se le daría un mejor uso a este residuo aportando soluciones al manejo de los mismos. Por su parte, la Universidad Pontificia Bolivariana se beneficiaría llevando a cabo investigaciones que conlleven al desarrollo de nuevos materiales de construcción.

Las unidades de mampostería estructural que brindan mayores ventajas es el bloque de concreto por su economía y eficiencia en el proceso de instalación en las obras civiles. Este sistema de construcción demanda una alta producción de las unidades de bloques de concreto lo cual requiere de grandes cantidades de material según el diseño de mezcla empleado para garantizar las resistencias a compresión a los 28 días mínimas establecidas en la NTC 4026, esto hace costosa la adquisición de los agregados y del cemento estructural.

La empresa Bloques y Adoquines de Santander (BAS) y el Instituto Colombiano de Petróleos (ICP) han querido apoyar el presente proyecto de investigación, que pretende la implementación de las cenizas de locaciones petroleras como aditivo en los diseños de mezclas para la elaboración de bloques de concreto con el fin de mejorar propiedades mecánicas de los mismos aprobada por los controles de calidad establecidos en las NTC 4024 y NTC 4026.

## 1.2 JUSTIFICACION

El sistema de mampostería estructural elaborada con unidades de bloques de concreto permite desarrollar un sistema constructivo tradicional con mayor exactitud, rapidez, uniformidad en sus acabados, resistencia y durabilidad, lo cual provee un bajo desperdicio en obra. Los bloques contienen la suficiente resistencia mecánica lo cual asegura la adecuada transmisión de las cargas. La incorporación de las cenizas al concreto reduce su coste y mejora algunas de sus propiedades como trabajabilidad, su impermeabilidad y su resistencia al ataque químico (sulfatos, reacción árido álcali, entre otros) siempre que se tomen las medidas adecuadas para conseguir un correcto curado del concreto.

El presente proyecto investigación servirá como punto de partida para la implementación de nuevos aditivos en el proceso de fabricación de bloques de concretos fabricados en la empresa Bloques y Adoquines de Santander procurando una alta calidad de los productos a fin de obtener un buen posicionamiento en el mercado.

El resultado de esta investigación beneficiara a la empresa Bloques y Adoquines de Santander con el desarrollo de una mezcla ideal para sus productos implementando un nuevo aditivo, siempre buscando que dichos resultados sean de gran confiabilidad y utilidad para la empresa. Así mismo para el Instituto Colombiano de Petróleos (ICP) se verá beneficiado con una posible solución para problema ambiental que estas cenizas están produciendo.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar y Analizar el comportamiento mecánico de los bloques de concreto modificado con cenizas provenientes de locaciones petroleras.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Estudiar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a utilizar, mediante ensayos de laboratorio.
- Determinar las propiedades químicas de la ceniza.
- Elaborar muestras de concreto con 5% 10% y 15% de ceniza como adición.
- Determinar la porosidad del concreto con las adiciones de ceniza.
- Evaluar técnica y económicamente las mezclas resultantes con la adición de ceniza.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

Las normas que rigen la implementación de bloques de concreto para uso de mampostería estructural son la NTC 4024 Y 4026, cuentan con los criterios y estándares para la elaboración de los bloques macizos. Los conceptos descritos en el siguiente marco de referencia son la base para el cumplimiento de la metodología de diseño de mezclas que presiden las normas técnicas.

### 2.1 MAMPOSTERIA

La mampostería es la unión de bloques o ladrillos de arcilla o de concreto con un mortero para conformar sistemas monolíticos tipo muro, que pueden resistir acciones producidas por las cargas de gravedad o las acciones de sismo o viento. Inicialmente la mampostería se hizo con piedra labrada que se unía mediante una “argamasa” de cal o aún “al tope”. Este material fue ampliamente usado en la antigüedad por los romanos para construir sus puentes y acueductos. En el conocido acueducto de Segovia en España, los bloques de piedra, cortados al detalle se unen sin argamasa. Modernamente, se aprovechan los ladrillos de arcilla y los bloques de concreto de gran resistencia, unidos mediante morteros de cemento. El muro así ensamblado se considera un elemento monolítico, siempre y cuando las uniones de las juntas puedan garantizar la transmisión de esfuerzos entre las piezas individuales, sin fallas o deformaciones considerables.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Jaramillo Jiménez, José Oscar. Ingeniería Estructural – Universidad Nacional de Colombia. En Línea [Consultado 10 de junio de 2015]

*Figura 1: Mamposteria*



*Fuente:*

[http://www.vceaa.es/images/galeriamorteros/1.%20Mamposteria%20\(1\)G.jpg](http://www.vceaa.es/images/galeriamorteros/1.%20Mamposteria%20(1)G.jpg)

## **2.1.1 TIPOS DE MAMPOSTERIA**

### **2.1.1.1 MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL**

La mampostería estructural es un sistema de ensamblaje de elementos pétreos unidos con armaga o su equivalente, de tal manera que este adquiera las características individuales de los elementos en forma razonable.

Este sistema se considera de funcionamiento estructural monolítico, aunque sea la unión de dos elementos con características diferentes. Básicamente un muro de mampostería se puede considerar como un sistema monolítico, siempre y cuando las juntas de mortero estén en condiciones de transmitir de elemento a elemento, los esfuerzos generados bajo cualquier sollicitación de carga, y que cada elemento esté en condiciones de resistir éstos, sin fallar o deformarse considerablemente.

Este sistema está principalmente sometido a fuerzas de compresión, de corte y flexión en su plano y fuera de éste. Los esfuerzos de compresión y cortante son resistidos en buena forma por los muros de mampostería; en cambio los esfuerzos de tracción que se generan por la flexión dificultan el comportamiento y es por ello, que se utiliza refuerzo para absorberlos.

La utilización de muros de mampostería en nuestro país, está prácticamente destinada a la construcción de edificios para vivienda con luces cortas (del orden de 3 metros) y en alturas de 5,7 y hasta 10 pisos.<sup>2</sup>

*Figura 2: Mamposteria Estructural*



*Fuente:*

<http://www.minersol.com.co/images/Mortero%20seco%20pega%20estructural%20mamposteria%201451.jpg>

### **2.1.1.2 MAMPOSTERIA NO ESTRUCTURAL**

Es aquella en la cual los muros deben soportar tan solo su propio peso y sirven para separar espacios de la vivienda. Según el sitio donde se colocan los muros,

---

<sup>2</sup> Sánchez Cantillo, Carlos Alberto. ETODOLOGIAS DE DISEÑO PARA EDIFICACIONES EN MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL BASADAS EN LA NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO-RESISTENTE, NSR-98. En Línea [Consultado 10 de junio de 2015] <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1720/2/112659.pdf>

se pueden llamar de fachada o divisorios.

*Figura 3: Mampostería no Estructural*



Fuente:

<http://construtoracmproyectos.com/wp-content/uploads/2013/11/muro-de-ladrillo.jpg>

## 2.2 FABRICACION

Se inicia con la elección del tipo de equipo de producción y del proceso del curado, almacenamiento y despacho, que sea adecuado para el proyecto que se va a iniciar. Posterior a ello, se hace la selección y caracterización de los agregados teniendo en cuenta que sean de buena calidad, limpios y con la granulometría adecuada según las dimensiones de las unidades, resistencia y textura esperada. También se hace necesario elegir los otros materiales que se van a utilizar, entre ellos se encuentran el cemento, en base a la resistencia final que se desee, los aditivos que a su vez se hace necesario que sean compatibles con el tipo de cemento seleccionado.

Se debe de formular una dosificación para todos los materiales seleccionados a usar en la mezcla y del agua, a partir de las características exigidas para el producto final, para ellos se debe de realizar unos ensayos de laboratorio para medir la resistencia a compresión de la mezcla, ya que no es correcto asumir una dosificación estándar o convencional para cualquier tipo de estructura para la cual se estén fabricando los bloques de concreto.

Se utiliza una mezcladora para introducir los agregados en las proporciones calculadas y con su correcta secuencia, se va introduciendo a su vez el agua, no descuidando la humedad que va incorporada en los agregados, posteriormente adicionando los cementos que se van a utilizar.

Por lo general los aditivos se adicionan de manera líquida en la mezcladora, mezclados con agua, los colorantes si se desea poner como un material más en la mezcla, se deben adicionar en polvos o gránulos directamente en la mezcladora o en suspensión, incorporando a su vez parte del agua calculada. Cabe mencionar que según el tipo de producto que se desee, se seguirá un proceso de mezclado, secuencia y duración en particular hasta obtener la mezcla de concreto diseñada en un principio sin ignorar que lo ideal en la mezcla es que se logre una homogeneidad en composición y color.

Posterior al procedimiento descrito con anterioridad, la mezcla se pasa a una máquina vibro compresora para moldear las unidades a partir de la compresión y vibración, en molde de dimensiones controladas, una vez obtenidas las unidades se llevan al proceso de curado. Para el curado en máquina de vapor, las unidades se someten al curado inicial extendido a 24 horas, 18 horas o en otros casos a menos horas. Después de que las unidades estén secas, se agrupan para ser forrados con láminas de plástico para luego ser llevadas al sitio de almacenamiento, no olvidando que se debe de controlar su humedad.

Por otro lado cuando el curado se hace por riego de agua, en espacios abiertos, las unidades se dejan sobre las bandejas hasta que fragüen, se agrupan y se continúan unos 7 días hasta que las unidades alcancen la resistencia adecuada para proceder a empacarlos para su comercialización, de esta manera no se obtienen unidades con control de humedad. <sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> ABERDEEN GROUP. Mortero: Como especificar y utilizar mortero para mampostería - Addison A.G 1994 63p

Figura 4: Máquina para fabricación de bloques de mampostería



Fuente: <http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v0/32318499773/1600s->

## 2.3 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad de los bloques se verifica mediante ensayos normalizados incluidos en la NTC 4024. Una producción o compra, de unidades de iguales características (forma, tamaño, resistencia, etc.) se divide en lotes de 10.000 unidades. De cada lote o fracción restante se toma, al azar, una muestra de 5 unidades como especímenes de ensayo, que representan el lote correspondiente. Sobre cada unidad se deben efectuar, sucesivamente, los ensayos de contenido de absorción, densidad, y resistencia a la compresión, después de evaluar las dimensiones y el acabado.

### 2.3.1 DENSIDAD

La densidad de un bloque depende del peso de los agregados, del proceso de

fabricación y de la dosificación de la mezcla. La densidad debe ser la máxima que se pueda alcanzar, pues de ella dependen sus otras características como: resistencia a la compresión, absorción, permeabilidad, durabilidad y comportamiento al manejo durante su producción, transporte y manejo en obra; capacidad de aislamiento térmico y acústico, y textura y color de su superficie, etc.

*Tabla No.1 Parámetros de densidad para unidades de mampostería*

<b>Absorción de agua (Aa) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m<sup>3</sup></b>		
<b>Promedio de 3 unidades, máximo, %</b>		
<b>Peso liviano, menos de 1 680 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Peso mediano, de 1 680 kg/m<sup>3</sup> hasta menos de 2 000 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Peso normal, 2 000 kg/m<sup>3</sup> o más</b>
15 %	12 %	9 %
18 %	15 %	12 %

*Fuente: NTC 4026: Unidades (Bloques y Ladrillos) de concreto, para mampostería estructural*

### **2.3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION**

La resistencia a la compresión es la principal propiedad que deben tener los bloques de concreto, y determina si se pueden usar para mampostería estructural (portante) o divisoria (no portante o no estructural).

En los bloques para mampostería estructural se tienen dos clases de resistencias: alta y baja. La resistencia alta se usa para todo tipo de construcciones, incluyendo edificios de mampostería estructural. La baja se usa fundamentalmente para construcciones de uno y dos pisos. El uso de una u otra depende de las necesidades estructurales, sin importar la exposición a la intemperie o el recubrimiento que vaya a tener el muro.

La resistencia a la compresión está especificada para ser alcanzada a los 28 días de fabricados los bloques; pero se pueden pegar en el muro a edades menores cuando se tenga un registro sobre la evolución de la resistencia de bloques de iguales características, y éste indique que alcanzarán dicha resistencia, lo que no exime de la verificación directa de la calidad de los bloques.

Se pueden especificar resistencias a la compresión mayores que la alta, cuando lo requiera el diseño estructural; pero se debe consultar antes a los productores locales, sobre la posibilidad de fabricarlos. La resistencia a la compresión se determina mediante el ensayo descrito en la NTC 4024.<sup>4</sup>

*Tabla No.2 Resistencia a la compresión para unidades de mampostería*

---

<sup>4</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Comisión Asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes (Ley 400 de 1997). Reglamento colombiano de Construcción sismo Resistente NSR-10. Bogotá, s.e.,2010

Resistencia a la compresión a los 28 d ( $R_{c28}$ ) <sup>B</sup> , evaluada sobre el área neta promedia (Anp)		
Mínimo <sup>B</sup> , MPa		
Clase	Promedio de 3 unidades	Individual
Alta	13	11
Baja	8	7

Fuente: NTC 4026: Unidades (Bloques y Ladrillos) de Concreto, Para Mampostería Estructural

### 2.3.3 ABSORCIÓN

La absorción es la propiedad del concreto del bloque para absorber agua hasta saturarse. Está relacionada con su permeabilidad o sea la posibilidad de que haya paso de agua a través de sus paredes. Los límites de la absorción varían con el tipo de concreto del bloque.

Es importante tener la menor absorción posible en el bloque, pues mientras mayor sea, más agua succionará del mortero de pega y de inyección, y se puede reducir la hidratación del cemento en la superficie que los une, perdiendo adherencia y originando fisuras. Por el contrario, bloques totalmente impermeables evitan el intercambio de humedad y la creación de una superficie de adherencia, resultado en uniones de baja resistencia, con fisuras permeables al agua. Una absorción baja reduce la entrada de agua y de contaminantes en el bloque, mejorando su durabilidad. Como la absorción es inversamente proporcional a resistencia a la compresión, por lo general es mayor para las unidades de menor resistencia.

Tabla No. 3 Parámetros de porcentaje de absorción.

Resistencia a la compresión a los 28 d (Rc28), evaluada sobre el área neta promedio (Anp)			Absorción de agua (Aa) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m <sup>3</sup>		
Mínimo, Mpa			Promedio de 3 unidades, máximo, %		
Clase	Promedio de 3 unidades	Individual	Peso liviano menos de 1 680 kg/m <sup>3</sup>	Peso mediano, de 1 680 kg/m <sup>3</sup> hasta menos de 2 000 kg/m <sup>3</sup>	Peso normal, 2 000 kg/m <sup>3</sup> o más
Alta	13	11	15%	12%	9%
Baja	8	7	18%	15%	12%

*Fuente: Norma Técnica colombiana NTC 4026*

### 2.3.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad no es una propiedad del concreto del bloque sino un nivel de presencia de humedad dentro de su masa, intermedia entre saturación y estado seco al horno. Se determina mediante el ensayo correspondiente descrito en la NTC 4024. Mientras menos humedad tengan los bloques en el momento de pegarlos en el muro, y permanezca así, menos riesgo habrá de que aparezcan fisuras en los muros.

#### 2.3.4.1 UNIDADES TIPO I - CON CONTROL DE HUMEDA

Deben de tener un estricto control de secado, es decir, las unidades secas deben de protegerse con láminas de plástico hasta ser colocadas en el muro, el cual también debe de protegerse para que no reciba humedad proveniente de la lluvia o de otras actividades de construcción, con el propósito de reducir al mínimo o eliminar completamente las fisuras posteriores de los muros.

#### 2.3.4.2 UNIDADES TIPO II – CON CONTROL DE HUMEDAD

Estas unidades se curan con riego de agua y se almacenan a la intemperie en la planta y en la obra. Es decir que en ellas el control de humedad es muy mínimo, ya que no tienen parámetros a cumplir en cuanto a la humedad.

### **2.3.5 PERMEABILIDAD Y POROSIDAD DEL CONCRETO**

La permeabilidad en el concreto se conoce como la cantidad de agua u otras sustancias líquidas que pueden pasar por los poros del material en un determinado tiempo; y así ser el resultado de: la composición de la porosidad en el concreto, durante el proceso de fraguado el concreto está expuesto a una hidratación, como también a una liberación de calor y con esta la evaporación del agua de la mezcla, lo que hace, que junto con la temperatura que posee se formen cavidades y grietas.

Estas cavidades en el concreto, determinan la exposición ambiental del material y daños provenientes de los líquidos y de los gases que lo penetran, tales como dióxido de carbono, agua, oxígeno, cloruros, sulfatos, etc. Que genera una corrosión en el material que causa deterioro.<sup>5</sup>

### **2.3.6 TRANSPORTE**

El manejo y transporte de los bloques se debe hacer con cuidado, para evitar su deterioro o daño. El transporte se puede realizar unidad por unidad o en cubos armados o no sobre una estiba. Como amarre se usan: zunchos metálicos o plásticos, plástico termo-encogible o estirable.

### **2.3.7 RECEPCIÓN**

Los bloques deben cumplir con los requisitos de las NTC 4026, evaluados mediante los ensayos descritos en la NTC 4024. Se recomienda tomar una

---

<sup>5</sup> Ligia M Vélez. Facultad de Tecnologías, INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO. Permeabilidad y porosidad en el concreto. [Disponible en línea]. [http://bibliotecadigital.itm.edu.co/jspui/bitstream/123456789/190/1/Permeabilidad\\_Porosidad\\_Concreto.pdf](http://bibliotecadigital.itm.edu.co/jspui/bitstream/123456789/190/1/Permeabilidad_Porosidad_Concreto.pdf). Consulta: 20 Mayo del 2015.

muestra testigo (igual a la especificada). Si se incumple alguno de los valores, el proveedor puede pedir que se ensaye la segunda muestra. Si esta cumple la norma se acepta el lote; si no, se rechaza definitivamente.

Es muy importante definir la responsabilidad sobre el manejo (descargue, almacenamiento y transporte) de las unidades en obra, pues la responsabilidad del productor va hasta la entrega, tanto para daños físicos como para el contenido de humedad.

### **2.3.8 ALMACENAMIENTO**

Los bloques de concreto nunca se deben mojar, ni antes, durante o después del proceso de pega; además se deben proteger contra la lluvia, la humedad que viene del suelo y se debe evitar que se contaminen con tierra u otros materiales que afecten luego su adherencia con el mortero de pega o los acabados. Se recomienda descargar los bloques sobre plataformas o estibas que los aíslen del suelo; además, el arrume se debe cubrir con láminas de plástico o estar bajo techo, para que permanezcan secas antes de pegarlos.

Los arrumes de bloques sueltos se deben hacer trabados, y no deben tener más de 1,6 m (unos ocho bloques) para que no se derrumben. Los cubos colocados sobre estibas, se pueden arrumar en tres o cuatro niveles, cuidando de no dañar los niveles inferiores o que se desplomen.

### **2.3.9 MANEJO INTERNO**

Al retirar los bloques de los arrumes, se deben poner con cuidado en las carretillas para llevarlos hasta el sitio de trabajo. Se recomienda que las carretillas sean planas, para un mayor rendimiento en el transporte y un menor deterioro en los bloques; y no se deben cargar demasiado para evitar su volcamiento. Al sitio de trabajo se deben llevar sólo los bloques necesarios para construir el muro.

### **2.3.10 DIMENSIONES**

Si las dimensiones de los bloques son variables, se altera el espesor de los muros y del mortero de pega, y se modifican sus características estructurales y constructivas. Para evitar esto, el sistema de bloques de concreto es rigurosamente modular y, por su proceso de fabricación, las medidas son muy precisas y constantes; pero deben estar dentro de ciertos límites.

Las dimensiones de los bloques están definidas como: espesor, altura y longitud y se expresan de tres maneras:

Las dimensiones reales: son las que se toman directamente sobre la unidad en el momento de evaluar su calidad.

Las dimensiones estándar: son las designadas por el fabricante en su catálogo (dimensiones de producción).

Las dimensiones nominales son las dimensiones estándar más el espesor de una junta de pega, o sea 1 cm.

### **2.3.11 ACABADO Y APARIENCIA**

Todos los bloques deben estar sanos y no deben tener fisuras ni otros defectos que interfieran con el proceso de colocación o que perjudiquen la resistencia o permanencia de la construcción. Las fisuras menores debidas al método de fabricación, o las desportilladuras menores que resultan de los métodos de manipulación en el despacho y en la entrega, no son motivo de rechazo.

Los bloques que se van a utilizar como base para un recubrimiento posterior, deben tener una superficie con una textura lo suficientemente abierta que permita una buena adherencia. Cuando las unidades se van a utilizar en construcciones de mampostería expuesta, la pared o paredes de los bloques que van a estar expuestos no deben presentar desportilladuras ni grietas, ni se

permiten otras imperfecciones visibles al observarlas desde una distancia igual o mayor de 6 m, con una fuente de luz difusa. <sup>6</sup>

## 2.4 CENIZAS DE LOCACIONES PETROLERAS

La ceniza volante se encuentra principalmente en silicatos vítreos, lo que son los minerales que se hallan en un 90% de la corteza terrestre, está formada en gran parte de oxígeno, sílice, alúmina, y hierro, además de otros como magnesio, azufre, sodio, potasio y carbono.

Las cenizas volantes proceden del carbón utilizado en la combustión en plantas, donde son llevadas a un grado de finura, para mezclarse con el aire caliente en precipitadores electrostáticos ya después de haber pasado por unidades de fogones/ pulverización de carbón, y hornos a bajas presiones.<sup>7</sup>

### 2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CENIZAS SEGÚN LA NTC 3493

Según la norma 3493 las cenizas volantes se clasifican en tres, clase C y clase F y clase N.

Clase C: Son las producidas por la combustión de lignitos y carbones sub-bituminosos, donde el contenido de cal está por encima del 15%, estos son requeridos en estructuras de altas resistencias, como el concreto reforzado, y son muy útiles para la estabilización de suelos.

Clase F: Provenientes de la combustión de antracita o lignito, su contenido de cal está por debajo del 15%, pero tienen un mejor comportamiento que la tipo C, ya que poseen una combinación de sílice, aluminio, y hierro. Modera el calor de hidratación durante el curado de la mezcla, haciéndolo óptimo para hormigones

---

<sup>6</sup> Instituto Colombiano de productores de cemento (ICPC); Herrera V., Angélica M., Madrid M., German G. Manual de Construcción de mampostería de concreto. Medellín, ICPC, Serie documentos 05-711-1712, 2000 3ed 90p

<sup>7</sup> Carlos Sarmiento, Julián Arenas. Universidad Pontificia Bolivariana. Evaluación del comportamiento mecánico de morteros modificados con cenizas de locaciones petroleras.2012 [Disponible en línea]: <http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/handle/123456789/2201>. [Consultado 21 de mayo del 2015].

de alta resistencia y producción en masa. Se recomienda el uso en hormigones expuestos a aguas subterráneas.

Clase N: Son puzolanas calcinadas o crudas, que cumplen con los requisitos indicados, aplicables a puzolanas como: algunas tierras diatomáceas; pedernales y exquisitos opalinos, tovas y cenizas volcánicas o piedra pómez.

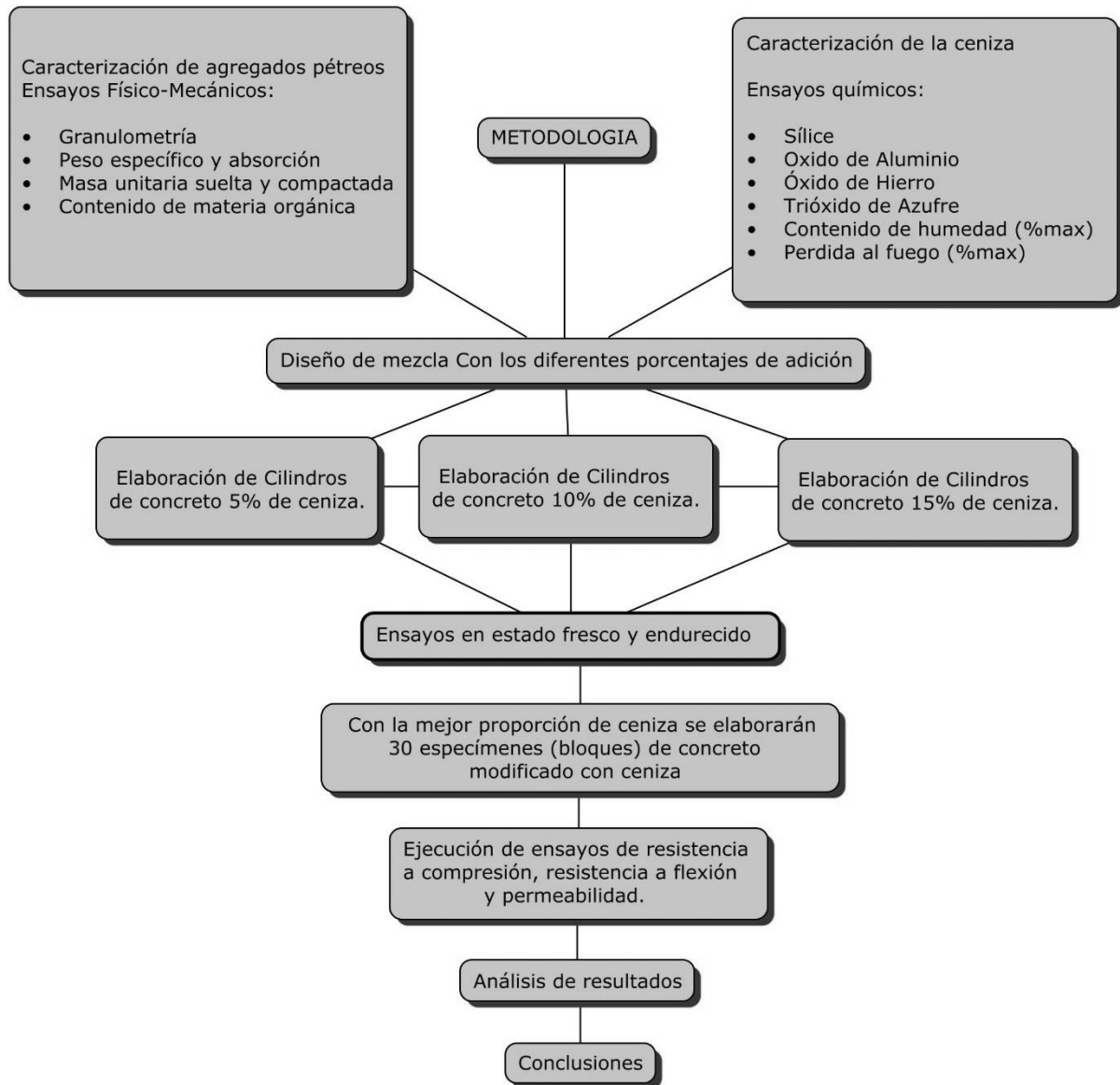
La incorporación de cenizas volantes reduce en general la demanda de agua, mejora la manejabilidad y reduce la segregación, estas tienen la propiedad de multiplicar las propiedades del cemento en la mezcla, reduciendo a su vez el porcentaje de poros.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Norma Técnica Colombiana, NTC 3493. Ingeniería civil y arquitectura. Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento portland.1993. [Consultado 20 Mayo 2015].

### 3. METODOLOGIA

Figura 5: Metodología del proyecto de investigación



Fuente: Propia

### 3.1 MATERIALES

#### 3.1.1 MATERIAL GRANULAR

Los agregados utilizados en este proyecto fueron proporcionados por la empresa Bloques y Adoquines de Santander (BAS) de unas canteras ubicadas en pescadero.

##### 3.1.1.1 ENSAYOS PARA LOS MATERIALES GRANULARES

Los ensayos para la caracterización de los materiales granulares empleados en la fabricación de los bloques de concreto son los descritos a continuación:

Agregado Fino:

Granulometría	(NTC 174)
Masas Unitarias sueltas y compactas	(NTC 92)
Peso específico para absorción	(NTC 237)
Contenido de materia orgánica	(NTC 127)

Agregado Grueso:

Granulometría	(NTC 174)
Masas Unitarias sueltas y compactas	(NTC 92)
Peso específico para absorción	(NTC 237)

##### 3.1.1.2 DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS REALIZADOS PARA LA CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES GRANULARES

###### 3.1.1.2.1 granulometría de los agregados fino y grueso (ntc 174)

- ❖ Se extiende el material a caracterizar sobre una superficie y manualmente se mezcla entre sí hasta obtener una homogeneidad.

- ❖ Se realizó un cuarteo sobre el agregado, tomando  $2/4$  partes del material para ser lavado eliminando las impurezas que puedan pasar por el tamiz N 200.
- ❖ El material se somete a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$  en el horno por 24 horas, luego de este período se procede a seleccionar el material disponiendo de la serie de tamices correspondientes al agregado grueso y fino.
- ❖ Obtenidos los datos de peso retenido en cada tamiz, se realizan los cálculos correspondientes en la tabla establecida para la clasificación del material determinando el tamaño máximo nominal perteneciente al agregado grueso, y el módulo de finura correspondiente al agregado fino para finalmente realizar la gráfica granulométrica.<sup>9</sup>

Registro fotográfico:

*Figura No.6 Ensayo de Granulometría*



*Fuente: Propia*

<sup>9</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 174. Especificaciones de los Agregados Para Concreto

### 3.1.1.2.2 Masas unitarias sueltas y compactas (ntc 92)

#### MASAS UNITARIAS SUELTAS:

- ❖ Se toma un molde cilíndrico, al cual se le calcula el volumen, y se registra su peso.
- ❖ A una altura de 10 cm se deja caer el agregado completamente seco dentro del molde, hasta llenarlo completamente y se registra su peso. (Se realizó este procedimiento 3 veces).
- ❖ Finalizado el registro de las masas obtenidas, se realiza un promedio. El peso promedio se divide sobre el volumen del molde para obtener la masa unitaria suelta.

#### MASAS UNITARIAS COMPACTAS:

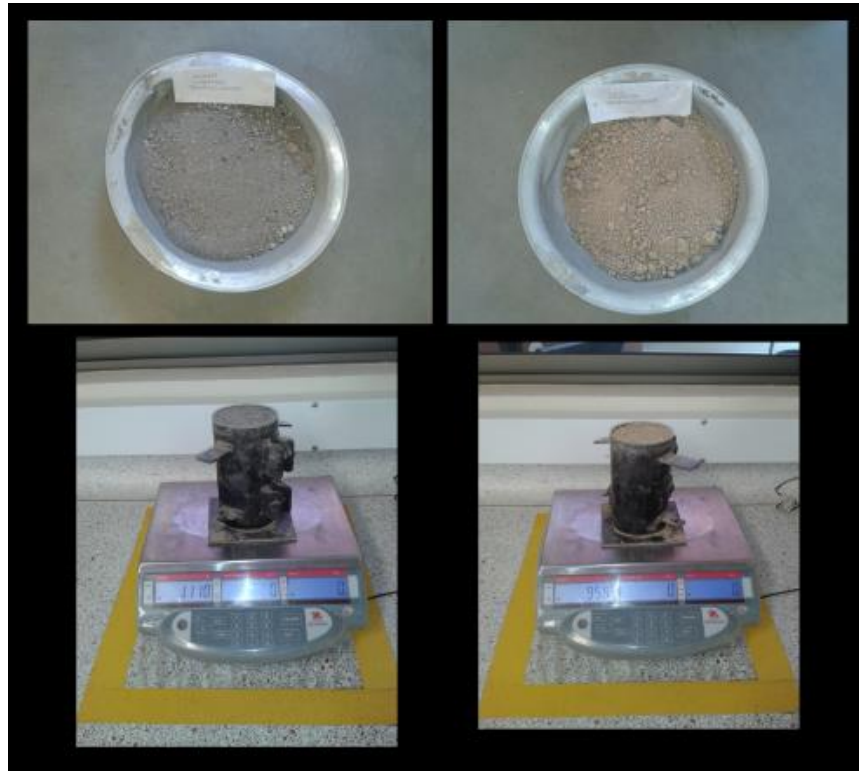
- ❖ Se toma un molde cilíndrico, para el cual se registra su volumen y su peso.
- ❖ Se llena el recipiente con el agregado en tres capas teniendo en cuenta que cada capa debe recibir 25 golpes.
- ❖ Llenadas las tres capas, se enraza el molde y se procede a obtener su peso. (Este procedimiento se ejecuta tres veces.)
- ❖ Finalizado el registro de las masas obtenidas, se realiza un promedio. El peso promedio se divide sobre el volumen del molde para obtener la masa unitaria compacta.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 92. Determinación de la Masa Unitaria y los Vacíos entre Partículas de Agregados

Registro Fotográfico:

*Figura 7: Ensayo masas unitarias sueltas y compactas*



*Fuente: Propia*

### **3.1.1.2.3 Peso específico para absorción (ntc 237)**

- ❖ Se pesan 1000 gramos del material en estudio y se dejan sumergidos en agua por 24 horas.
- ❖ Pasadas las 24 horas en agua, se extiende sobre una superficie plana para comenzar el proceso de secado moderado.
- ❖ A medida que el material va obteniendo un secado homogéneo, se va realizando la prueba del cono colocando una fracción de la muestra en tres capas con 25 golpes cada una.

- ❖ Una vez llenado el molde, se levanta verticalmente, para observar si el agregado ha alcanzado la condición de superficie seca.
- ❖ Se debe continuar con el secado del agregado hasta alcanzar un desmoronamiento superficial que indica que el material ya alcanzó la condición de secado deseable.
  
- ❖ Se procede a tomar una muestra de 500 gramos del agregado para envasarla en el picnómetro llenándolo con agua a 23°C hasta más o menos 250 cms<sup>3</sup>, luego se hace girar el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire posibles.
  
- ❖ Se procede a cuantificar el peso del picnómetro en la balanza anotando su respectivo valor.
  
- ❖ Al término de este paso, se embaza la muestra en un recipiente y se pone en el horno durante 24 horas.
  
- ❖ Al día siguiente se saca el recipiente del horno y se pesa la muestra registrando el valor de masa obtenido.
  
- ❖ Finalmente se divide el peso obtenido del material seco sobre la suma del peso del picnómetro más agua, peso del material del suelo seco y peso del picnómetro más agua más material.
  
- ❖ Obteniendo gravedad específica aparente.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 237. Método para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino

Registro fotográfico:

*Figura 8: Ensayo peso específico para absorción*



*Fuente: Propia*

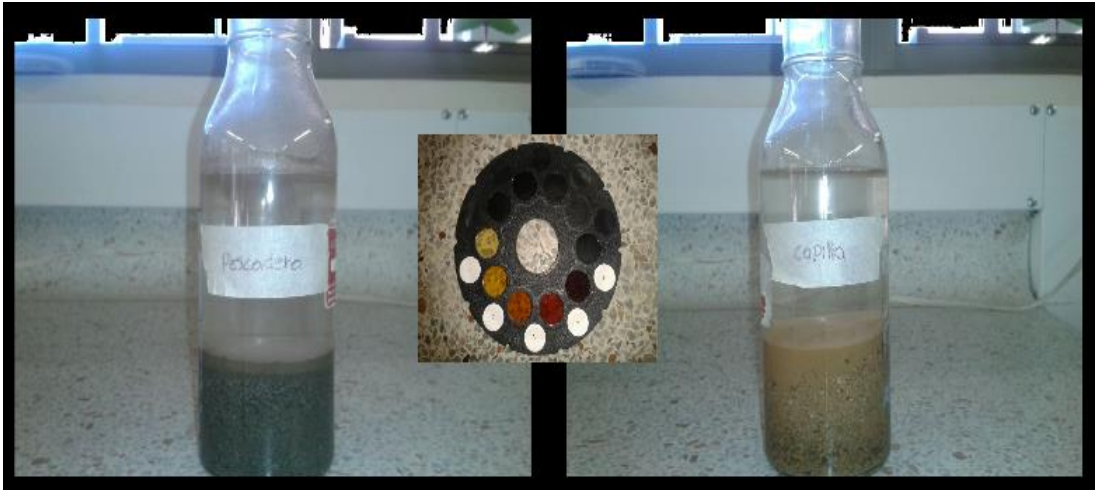
#### 3.1.1.2.4 Contenido de materia orgánica

- ❖ En un frasco de vidrio adecuado especialmente para realizar este ensayo, se agregan 6 gramos de hidróxido de sodio.
- ❖ Se añaden 130 ml de material de estudio.
- ❖ Se adicionan 200 ml de agua.
- ❖ Se agita el frasco vigorosamente y luego se deja en reposo por 24 horas.
- ❖ En último lugar, se compara el color de la muestra con la carta de colores Gardner determinando un nivel de materia orgánica.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 127. Método de Ensayo para Determinar las Impurezas Orgánicas en Agregado Fino para Concreto

Registro fotográfico.

*Figura 9: Ensayo Materia Orgánica*



*Fuente: Propia*

### **3.1.2 CEMENTO ESTRUCTURAL**

El cemento empleado en la realización de este proyecto de investigación es de uso estructural de CEMEX proporcionado por la empresa Bloques y Adoquines de Santander (BAS).

#### **3.1.2.1 Peso específico del cemento (ntc 221)**

- ❖ Se pesan 64 gramos del cemento a usar en la elaboración del diseño de mezcla.
- ❖ Se llena con kerosene el frasco de Le Chatelier hasta un punto entre 0ml y 1ml, se registra este punto como punto inicial (P1). Se introducen los 64 gramos de cemento cuidadosamente evitando

que el material se adhiera a las paredes interiores del frasco Le Chatelier.

- ❖ Se hace girar el matraz en una posición inclinada hasta que termine el desprendimiento de burbujas de aire.
- ❖ Finalmente se registra el dato del volumen final alcanzado por el kerosene (P2).
- ❖ La diferencia  $P2 - P1$  es el volumen del líquido desplazado por el peso del cemento usado en el ensayo.
- ❖ El peso específico del cemento varía entre 2.9 y 3.15 [gr/cm<sup>3</sup>].<sup>13</sup>

Registro fotográfico:

*Figura 10: Ensayo peso específico del cemento.*



*Fuente: Propia*

---

<sup>13</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 221. Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico

### **3.1.2 CENIZAS DE LOCACIONES PETROLERAS**

Las cenizas que se utilizaran como aditivo para la realización de la mezclas de concreto fueron proporcionadas por el Instituto Colombiano de Petróleo (ICP) provenientes de locaciones petroleras.

#### **3.1.2.1 ENSAYOS MECANICOS PARA LA CARACTERIZACION DE LA CENIZA**

##### **3.1.2.1.1 Peso específico de la ceniza (ntc 221)**

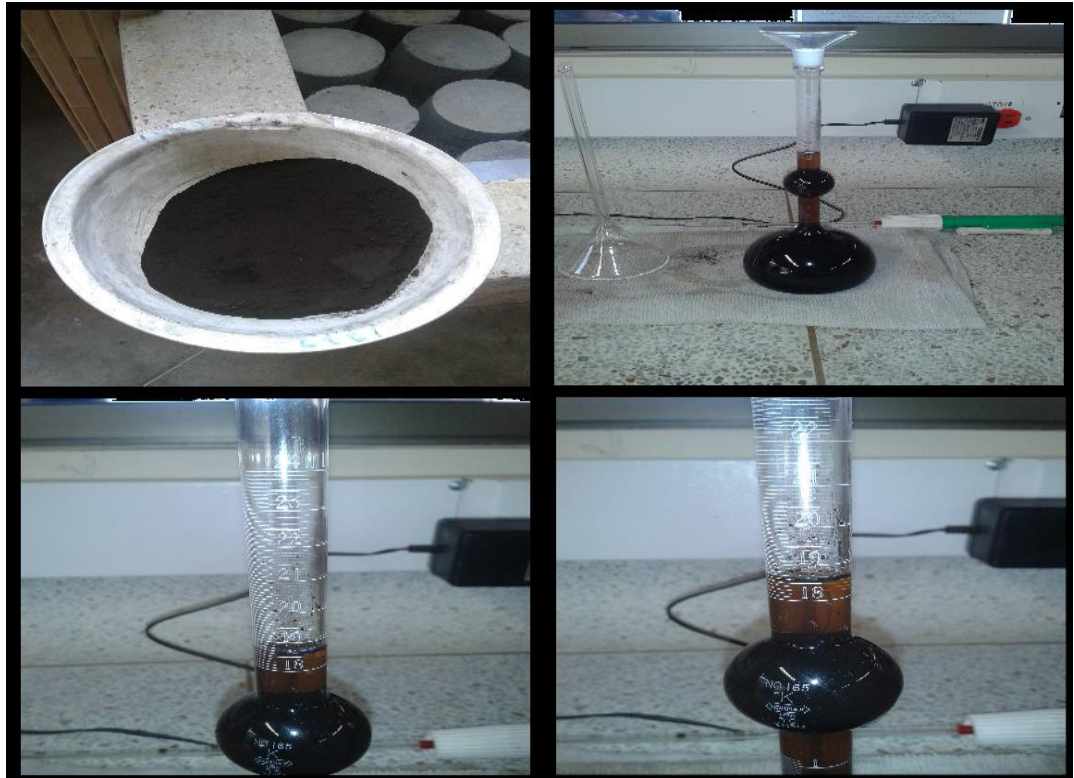
- ❖ Se pesan 30 gramos de la ceniza a usar en la elaboración del diseño de la mezcla.
- ❖ Se llena con kerosene el frasco de Le Chatelier hasta un punto entre 0ml y 1ml, se registra este punto como punto inicial (P1). Se introducen los 64 gramos de cemento cuidadosamente evitando que el material se adhiera a las paredes interiores del frasco Le Chatelier.
- ❖ Se hace girar el matraz en una posición inclinada hasta que termine el desprendimiento de burbujas de aire.
- ❖ Finalmente se registra el dato del volumen final alcanzado por el kerosene (P2).
- ❖ La diferencia  $P2 - P1$  es el volumen del líquido desplazado por el peso del cemento usado en el ensayo.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 221. Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico

Registro fotográfico:

*Figura 11: Ensayo peso específico de la ceniza.*



*Fuente: Propia*

#### 3.1.2.1.2 Consistencia normal

- ❖ Se mezclan 650 g de Ceniza con una determinada cantidad de agua limpia.
- ❖ La pasta de agua y ceniza, se moldea rápidamente con las manos para darle forma de bola.

- ❖ Luego se lanza seis veces de una mano a otra a una distancia de unos 150 mm con el fin de producir una masa aproximadamente esférica.
- ❖ Se presiona la bola, dentro de la base mayor del molde cónico hasta llenar completamente el anillo con la pasta.
- ❖ Se remueve el exceso de esta de la base mayor, con un solo movimiento de la palma de la mano.
- ❖ Se coloca el anillo con su base mayor sobre la placa de base y con ayuda d un palustre se quita el exceso de pasta de la base menor de un solo movimiento.
- ❖ El conjunto constituido por la placa de base, la pasta y el molde se lleva al aparato de Vicat.
- ❖ Se hace descender el embolo hasta que haga contacto con la superficie de la pasta y se fija esta posición.
- ❖ Se desplaza el índice hasta que coincida con el cero superior o se toma una lectura inicial y se suelta inmediatamente.
- ❖ Este periodo no debe exceder 30 segundos después de finalizar este mezclado.
- ❖ Se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando el embolo penetra 10 mm +/- 1 mm en la superficie original 30 segundos después de haber sido soltado. <sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 110. Método para Determinar la Consistencia Normal del Cemento Hidráulico

Registro fotográfico:

*Figura 12: Ensayo consistencia normal de la ceniza.*



*Fuente: Propia*

### 3.1.2.2 Ensayos químicos para la caracterización de la ceniza

Los análisis químicos fueron realizados por la Universidad Industrial de Santander, que fue contratada por la Universidad Pontificia Bolivariana, para conocer la caracterización química de las cenizas de locaciones petroleras proporcionadas por el Instituto Colombiano de Petróleo, ICP.

El tipo de ensayo fue por medio de imágenes. La adquisición de las imágenes se realizó con un Microscopio Electrónico Quanta FEG 650 ambiental (ESEM), trabajando en el modo de bajo vacío utilizando el detector de electrones

secundarios “Large Field Detector” LFD y el detector de electrones retrodispersados “Backscater Electron Detector” (BSED).

Los análisis químicos puntuales, fueron realizados gracias a que este instrumento está acoplado a un detector EDAX APOLO X que tiene una resolución de 126.1 eV (en. Mn K $\alpha$ ) para realizar análisis EDS (Energy-Dispersive Spectroscopy), proporcionando información cualitativa y semi-cuantitativa de los elementos químicos presentes en los materiales. Los elementos químicos detectados mediante el EDS se rastrearon en los puntos de interés, revelando las posibles concentraciones elementales.

Las muestras suministradas fueron montadas en el porta-muestras e insertadas en un Quanta 650 FEG SEM ambiental (ESEM) (Microscopio Electrónico de Barrido). El análisis de las muestras se realizó bajo las siguientes condiciones analíticas:

Imágenes de Electrones Secundarios (SE): voltaje de aceleración 10 KV, tamaño de spot 3.

Imágenes de Electrones Retrodispersados (BSED): voltaje de aceleración 20 KV, tamaño de spot 5.

Análisis Químico (EDS): usando el detector SDD Apollo X, voltaje de aceleración 20 KV tamaño de spot 5, distancia de trabajo 10 mm.

Durante el procedimiento, se tomaron imágenes BSE a aumentos de 400, 1000, 5000 y 20000 X, y se realizó el análisis EDS en puntos de interés.<sup>16</sup>

### **3.2 ELABORACION DE LOS BLOQUES DE CONCRETO**

Los bloques de concreto fueron realizados con el diseño de mezcla con los materiales caracterizados y con la ceniza de locaciones petroleras como aditivo.

Se realizó un minucioso seguimiento de los parámetros establecidos en las NTC 4024 y NTC 4026 con el fin de garantizar un control y calidad de los elementos fabricados para la mampostería estructural. Estos bloques se elaboraron en la planta de la empresa Bloques y Adoquines de Santander (BAS).

---

<sup>16</sup> Hernán Darío Agredo. Universidad Industrial de Santander. Informe de los análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB) de una (1) muestra de ceniza. 2014. [Consultado 10 de Junio del 2015].

Registro fotográfico:

*Figura 13: Elaboración de los bloques de concreto.*



*Fuente: Propia*

### 3.2.1 DISEÑOS DE MEZCLAS

Se realizó un diseño de mezcla para la elaboración de bloques de concreto H-14 para mampostería estructural. Para este diseño se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- ❖ Tipo de mezcla: Se definió que la mezcla fuera de consistencia seca.
- ❖ Contenido de agua: el contenido de agua seleccionado fue de 180 ml.
- ❖ Valor de asentamiento: 25 mm.
- ❖ Volumen de ceniza como aditivo: Se determinó a partir del cálculo de % de peso del cemento, los porcentajes experimentales son 5% 10 % y 15% .
- ❖ Volumen del agregado grueso: Este se calculó a partir de la masa unitaria compacta del agregado grueso, la gravedad específica aparente del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino.
- ❖ Volumen del agregado fino: Este se calculó a partir del cálculo del volumen total de la mezcla de concreto menos todos los componentes calculados anteriormente.
- ❖ Densidad de los materiales: Fue determinado a partir de los ensayos de peso específico para absorción. Del ensayo de peso específico del cemento, se obtuvo la densidad de este material, por último las densidades de las diferentes proporciones de ceniza de acuerdo a su porcentaje.
- ❖ Peso del cemento, agregado fino y grueso: Para el cemento, este valor se obtiene a partir de la relación agua/ cemento. Con la fórmula densidad igual a masa sobre volumen, se adquiere el peso de la arena fina y gruesa.
- ❖ Peso de la ceniza como aditivo: Se determinaron los porcentajes de 5% 10% y 15% de cemento como el peso de la ceniza como aditivo.

### 3.2.1.1 DISEÑO DE MEZCLA PILOTO

Tabla No.4 Diseño de mezcla piloto

b =	0.420
b <sub>0</sub> =	0.557
B =	0.234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0.85
Cantidad de agua	180

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0.0695
Agregado Fino	625	2672	0.2337
Agregado Grueso	1368	2648	0.5168
Agua	180	1000	0.1800

Fuente: Método ACI 211.1

Donde;

b = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

b<sub>0</sub> = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de agregado grueso.

B = b/b<sub>0</sub> = Volumen compactada de agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

### 3.2.1.2 DISEÑO DE MEZCLA CON 5% DE CENIZA

Tabla No.5 Diseño de mezcla con 5% de ceniza

b =	0.420
b <sub>0</sub> =	0.557
B =	0.234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0.85
Cantidad de agua	180
Ceniza (%)	5%

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0.0695
Agregado Fino	625	2672	0.2337
Agregado Grueso	1353	2648	0.5108
Agua	180	1000	0.1800
Ceniza	11	1764	0.0060

Fuente: Método ACI 211.1

Donde;

b = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

b<sub>0</sub> = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de agregado grueso.

B = b/b<sub>0</sub> = Volumen compactada de agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

### 3.2.1.2 DISEÑO DE MEZCLA CON 10% DE CENIZA

Tabla No.6 Diseño de mezcla con 10% de ceniza

b =	0.420
b <sub>0</sub> =	0.557
B =	0.234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0.85
Cantidad de agua	180
Ceniza (%)	10%

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0.0695
Agregado Fino	625	2672	0.2337
Agregado Grueso	1337	2648	0.5048
Agua	180	1000	0.1800
Ceniza	21	1764	0.0120

Fuente: Método ACI 211.1

Donde;

b = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

b<sub>0</sub> = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de agregado grueso.

B = b/b<sub>0</sub> = Volumen compactada de agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

### 3.2.1.2 DISEÑO DE MEZCLA CON 15% DE CENIZA

Tabla No.7 Diseño de mezcla con 15% de ceniza

b =	0.420
b <sub>0</sub> =	0.557
B =	0.234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0.85
Cantidad de agua	180
Ceniza (%)	15%

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0.0695
Agregado Fino	625	2672	0.2337
Agregado Grueso	1321	2648	0.4988
Agua	180	1000	0.1800
Ceniza	32	1764	0.0180

Fuente: Método ACI 211.1

Donde;

b = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

b<sub>0</sub> = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de agregado grueso.

B = b/b<sub>0</sub> = Volumen compactada de agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

### **3.3 ELABORACION DE BLOQUES DE CONCRETO H-14 EN LA MAQUINA PRODUCTORA QFT 8-15**

#### **3.3.1 LLENADO DE LAS TOLVAS Y DOSIFICACION DE LA ARENA**

Se utiliza arena de peña que ha sido clasificada previamente en el sitio de extracción y transportada a la fábrica. Cada una de las tres tolvas de alimentación tiene capacidad volumétrica de 2.2 metros cúbicos, aproximadamente tres toneladas y media para un total de 10.5 toneladas.

Dos tolvas se llenan con arena gruesa o triturado mientras la tercera alberga arena fina. Cada una de las tres tolvas de almacenamiento descarga en la tolva de pesaje por medio de una banda transportadora. Las tres bandas son controladas conjuntamente por un PLC (Programmable Logic Controller) que además controla el sensor determinante de peso.

El sensor define en cada una de las bandas, la cantidad de arena, en kilogramos que forma parte del bache de mezcla. Generalmente cada bache contiene setecientos kilogramos (700 Kg) conformados en la mayoría de los casos por cuatrocientos kilogramos (400 Kg) de arena gruesa y trescientos (300 Kg) de arena fina, según las proporción de los agregados del diseño de mezcla.

La tolva de pesaje descarga sobre un recipiente que extrae por cernido los elementos no deseados como piedras de tamaño superior al definido o impurezas contenidas en la arena. El vaciado de la tolva de pesaje al recipiente o "carro elevador" se hace por medio de una banda transportadora encendida de manera manual con el fin de avanzar cuando el bache anterior ya ha sido enviado a la máquina "bloquera", es decir, a la que produce los bloques, desde la mezcladora.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Bloques y Adoquines de Santander

Registro fotográfico:

*Figura 14: Tolva de pesaje.*



*Fuente: Propia*

### **3.3.2 MEZCLADO DE LOS MATERIALES**

El carro elevador, sube al nivel de la mezcladora y descarga en ella los setecientos kilogramos (700 Kg) de arena. La mezcladora es la encargada de preparar el concreto para la fabricación de los bloques. Esta máquina es relativamente robusta conformada por una camisa cilíndrica que tiene en su interior dos ejes paralelos entre sí y con respecto al eje de la máquina. Los ejes soportan 5 brazos cada uno y estos a su vez tienen en el extremo unas paletas de fundición de hierro que se encargan de revolver los ingredientes y raspar las superficies para evitar que se adhiera la mezcla y forme bloques masi-formes dentro de la máquina. Los dos ejes son movidos por un motor de treinta kilovatios (30 KW) a través de un reductor y dos piñones anti- inercia. Además de la arena, la mezcladora recibe el cemento en una cantidad aproximada al 10% en peso y la cantidad de agua suficiente para lograr la humedad apropiada. Una vez preparada la mezcla queda disponible para ser enviada a la prensa o máquina bloquera.

Registro Fotográfico:

*Figura 15 Partes de la máquina de mezclado.*



- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 1. Silo           | 4. Tolva de cemento |
| 2. Sinfín         | 5. Mezcladora       |
| 3. Carro elevador |                     |

*Fuente: Propia*

### **3.3.3 DOSIFICACION DEL CEMENTO**

El cemento es adquirido a granel y depositado en un silo con capacidad para 50 toneladas. Desde el silo se traslada a la mezcladora conducido por un tornillo sin fin que descarga en la tolva dosificadora y ésta en la mezcladora por la apertura de la válvula mariposa. La cantidad de cemento es del orden del 10% en peso con respecto a la arena y calculada en la tolva que tiene un sistema de sensores controlado electrónicamente.

En el momento en que la máquina productora de bloques requiere mezcla, el operador pone en operación la banda transportadora que lleva el material desde la mezcladora hasta la tolva de alimentación.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Leonardo Viviescas. Manual para el proceso de elaboración de los bloques, maquina productora QFT 815

Registro Fotográfico:

*Figura 16: Proceso de dosificación de la maquinaria*



*Fuente: Bloques y Adoquines de Santander*

### 3.3.4 ELABORACION DE LOS BLOQUES DE CONCRETO

La máquina productora trabaja de manera semiautomática y el proceso se desarrolla en varias etapas:

**Alimentación:** La tolva de alimentación que se ha llenado, descarga una cantidad no definida de mezcla al carro dosificador. Este carro es una caja rectangular, construida en lámina metálica sin fondo y sin tapa que posee en su interior un conjunto de dedos soportados por dos ejes paralelos cuya función es formar una capa uniforme sobre el planchón. La cantidad debe ser regulada para evitar irregularidad en el llenado y disminuir el desperdicio por rebose cuando se llena demasiado.

Registro fotográfico:

*Figura 17: Alimentación de la tolva.*



*Fuente: Propia*

**Llenado del molde:** El carro dosificador, impulsado por un cilindro hidráulico, se mueve en vaivén sobre el molde y en cada desplazamiento deposita dentro de los espacios una cierta cantidad de mezcla y simultáneamente se genera una vibración producida por la caja vibradora ubicada en el fondo de la mesa, para evacuar el aire y lograr un llenado uniforme.

Registro fotográfico:

*Figura 18: Llenado del molde.*



*Fuente: Propia*

**Compresión y vibrado:** Automáticamente, cuando el carro alimentador termina los recorridos programados, el bloque de troqueles, activado por el pistón central de la máquina, desciende para penetrar en el molde y comprimir la mezcla con una presión de 125 Kg/cm<sup>2</sup>. En esta posición se inicia el vibrado de compactación.

Registro fotográfico:

*Figura 19: Compresión y vibrado.*



*Fuente: Propia*

**Desmolde:** Automáticamente, el molde es elevado por la acción de los pistones hidráulicos laterales mientras el troquel permanece estático para permitir la salida de los bloques de concreto ya conformados. Cuando el molde llega a su altura máxima de elevación se activa nuevamente el pistón central que lleva el troquel a su posición original dejando totalmente libre la tabla con los bloques para hacer su recorrido de salida.

Registro fotográfico:

*Figura 20: Desmolde.*



*Fuente: Propia*

**Transporte de salida:** La tabla porta bloques, es entregada a un transportador conformado por dos correas trapezoidales guiadas por poleas. Al final del transportador la tabla se detiene para que empiece a actuar el carro apilador. Este carro tiene como característica especial el ser controlado por sensores de movimiento y tanto el arranque como la parada son lentos para evitar que los bloques sufran algún desperfecto. Una vez detenida la tabla, el carro inicia el ascenso para separarla del transportador; luego se mueve horizontalmente y al final del recorrido desciende hasta depositarlo en la zorra que lo transporta al patio de secado.

*Figura 21: Elaboración de los bloques.*



*Fuente: Bloques y Adoquines de Santander*

### **3.4 ENSAYOS PARA CONTROL Y CALIDAD DE BLOQUES DE CONCRETO H-14 ESTABLECIDOS EN LAS NORMAS NTC 4024 Y 4026.**

Los ensayos establecidos en la Norma Técnica Colombia NTC 4024 para el control y calidad de unidades de mampostería son los ensayos de absorción, contenido de humedad, densidad y resistencia a la compresión. También deben cumplir requisitos dimensionales, acabados y apariencia.

### 3.4.1 ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE LA ABSORCION DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA

La absorción es la propiedad del concreto del bloque para absorber agua hasta saturarse. Está relacionada con su permeabilidad o sea la posibilidad de que haya paso de agua a través de sus paredes.

Registro fotográfico:

*Figura 22: Ensayo absorción de las unidades de mampostería.*



*Fuente: Propia*

Las unidades de mampostería deben cumplir los parámetros establecidos en la siguiente tabla:

*Tabla No.8 Parámetros de absorción para unidades de mampostería estructural.*

Absorción de agua (Aa) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, $\text{kg/m}^3$		
Promedio de 3 unidades, máximo, %		
Peso liviano, menos de $1\ 680\ \text{kg/m}^3$	Peso mediano, de $1\ 680\ \text{kg/m}^3$ hasta menos de $2\ 000\ \text{kg/m}^3$	Peso normal, $2\ 000\ \text{kg/m}^3$ o más
15 %	12 %	9 %
18 %	15 %	12 %

*Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 4026*

### 3.4.2 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA

Este ensayo permite clasificar las unidades de mampostería de acuerdo a su peso; liviano, pesado o normal. Para este ensayo se pesaron los bloques y se compararon los pesos obtenidos con los establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4026 (Tabla No.7).

Tabla No.9 Parámetros de densidad para unidades de mampostería estructural.

Absorción de agua (Aa) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m <sup>3</sup>		
Promedio de 3 unidades, máximo, %		
Peso liviano, menos de 1 680 kg/m <sup>3</sup>	Peso mediano, de 1 680 kg/m <sup>3</sup> hasta menos de 2 000 kg/m <sup>3</sup>	Peso normal, 2 000 kg/m <sup>3</sup> o más
15 %	12 %	9 %
18 %	15 %	12 %

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 4026

### 3.4.3 ENSAYO DE DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA.

Se tomaron las dimensiones reales de un bloque, es decir, las tomadas directamente del bloque. Se obtuvieron la altura, su espesor y su longitud, al igual que a los agujeros del bloque.

Figura 23: Dimensionamiento de las unidades de mampostería.



Fuente: Propia.

#### 3.4.4 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA

Los parámetros de resistencia a compresión establecidos en la Norma Técnica Colombia 4026 clasifican a las unidades de mampostería de acuerdo a su resistencia en dos clases, Alta y Baja. Dichos parámetros están contemplados en la siguiente tabla:

Tabla No.10 Parámetros de resistencia a compresión unidades de mampostería estructural.

Resistencia a la compresión a los 28 d ( $R_{c28}$ ) <sup>B</sup> , evaluada sobre el área neta promedia ( $A_{np}$ )		
Mínimo <sup>B</sup> , MPa		
Clase	Promedio de 3 unidades	Individual
Alta	13	11
Baja	8	7

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 4026

#### 3.4.4.1 DESCRIPCION DEL ENSAYO

- ❖ El bloque de mampostería debe estar completamente seco.
- ❖ Posteriormente se toman las dimensiones reales del mismo, incluyendo las dimensiones de sus espacios huecos, esto con el fin de determinar el área real afectada por la carga que determina la resistencia a la compresión.
- ❖ Antes de ser colocado en la prensa, se debe observar detalladamente el bloque en busca de grietas o quebraduras que afecten el resultado del ensayo.
- ❖ También se debe asegurar que la maquina a utilizar en el ensayo este correctamente calibrada con el fin de reducir el porcentaje de error del ensayo.
- ❖ Se coloca el bloque de mampostería sobre el plato inferior de la prensa.
- ❖ Se empieza a ejercer carga sobre el bloque de mampostería hasta el punto de causar la falla del mismo.
- ❖ Se registra la carga soportada por el bloque de mampostería.
- ❖ Finalmente con los datos obtenidos se calcula la resistencia a compresión.

$$S=P/A$$

S= Resistencia a la compresión.

P= Carga ejercida.

A= Área afectada por la carga.

Registro fotográfico:

*Figura 24: Ensayo de resistencia a la compresión.*



*Fuente: Propia*

### **3.5 ENSAYO DE PERMEABILIDAD Y POROSIDAD DE LOS BLOQUES, SEGÚN LA NTC 4483.**

En Colombia existe la NTC 4483, que es el método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto en agua. Este método donde se somete la muestra a una presión constante durante tres días, después de los cuales se entra a determinar si el fluido atravesó todo el espesor de la muestra, caso en el cual se determina la velocidad de flujo relacionándolo con el volumen que atraviesa en ciertos intervalos de tiempo; si el flujo no atraviesa la muestra, se hace un corte perpendicular y se mide la profundidad de penetración, la cual se considera como parámetro para definir el nivel de permeabilidad o impermeabilidad de la masa de concreto.

### 3.5.1 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD SEGÚN LA NTC 4483, PARA BLOQUES DE CONCRETO

Para la realización de este ensayo, se requieren dos bloques, los cuales estarán en posiciones contrarias, tal como se muestra en la figura, y su contorno, justo donde el uno toca al otro estará muy bien sellado, para evitar el derrame del agua.

*Figura 25: Montaje para el ensayo de permeabilidad*



*Fuente: Propia*

De la misma forma en que se somete el concreto a una presión, el bloque es sometido a una presión con una cabeza de agua igual a su altura, con el fin de que este volumen de agua atraviese el espesor del bloque en un intervalo de tiempo. Conociendo el tiempo transcurrido en que el agua traspasa el espesor se podrá conocer el nivel de permeabilidad que el bloque posee.

## **4. RESULTADOS**

El presente proyecto de investigación permitió la caracterización de materiales para un correcto diseño de mezcla con ceniza de locaciones petroleras como aditivo. Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos se presentaran a continuación.

Los resultados se encuentran detallados en los correspondientes anexos.

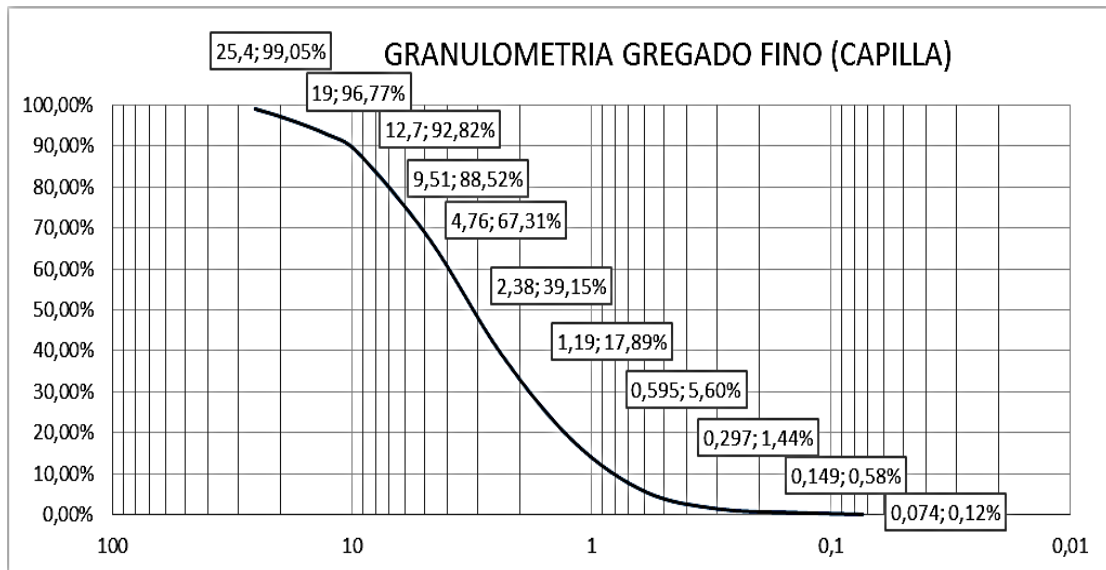
### **4.1 CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN LA MEZCLA DE CONCRETO**

Con el fin de garantizar un control y calidad establecidos por las Normas Técnicas Colombianas NTC 4024 y NTC 4026, se realizaron ensayos correspondientes a cada material utilizado en el diseño de mezcla de concreto para la elaboración de bloques de concreto H-14.

#### **4.1.1 GRANULOMETRIA DE LOS MATERIALES GRANULARES**

Para el ensayo de granulometría de los materiales granulares, se llevaron a cabo los procedimientos expuestos en la Norma Técnica Colombia NTC 1522.

Figura 25: Curva granulométrica agregado fino.

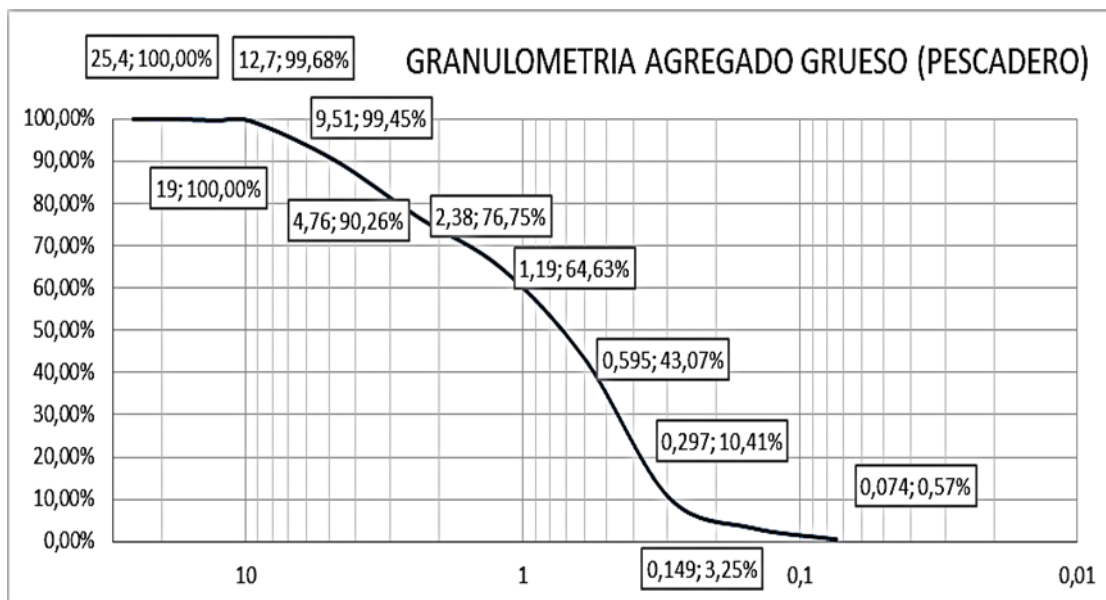


Fuente: Propia

Para obtener la curva granulométrica del agregado fino se tuvo en cuenta lo estipulado en la NTC 1522, donde se describen diversos tamices por donde debe pasar y ser retenida cierta cantidad de material, estos valores se pueden observar en el anexo número 1 con sus diferentes porcentajes.

Este ensayo permitió determinar el módulo de finura el cual es 3.12.

Figura 26: Curva granulométrica agregado grueso.



Fuente: Propia

Para el ensayo de determinación de la granulometría del material grueso, también se tomó como referencia la NTC1522, se cumplió con el procedimiento mencionado y se determinó la curva granulométrica, con los valores de los porcentajes que pasan y fueron retenidos del material que se encuentran registrados en el anexo número 2. Con este ensayo se determinó el tamaño máximo  $\frac{1}{2}$ " y el tamaño máximo nominal 4.

#### 4.1.2 MASAS UNITARIAS SUELTAS Y COMPACTAS NTC 92.

##### 4.1.2.1 MASA UNITARIA SUELTA PARA EL AGREGADO FINO

*Tabla No.11 Masa unitaria suelta del agregado fino*

MATERIAL	CAPILLA
SUELTA + MOLDE (g)	
	2763,00
	2800,00
	2798,00
PROMEDIO	2787,00
M (g/cm <sup>3</sup> )	5,02

*Fuente: Propia*

Según las especificaciones de la NTC 92, el procedimiento se debe realizar tres veces y de la obtención de la masa suelta del agregado fino, más el molde, se halla un promedio, la masa suelta del agregado fino se obtiene de la resta entre lo que corresponde a la columna (Masa suelta del agregado fino + molde (gr)) y el peso del molde cilíndrico. La masa suelta unitaria corresponde promedio de masa suelta del agregado fino dividido en el diámetro del molde. Los cálculos se pueden observar en el anexo número 3.

#### 4.1.2.2 MASA UNITARIA SUELTA PARA EL AGREGADO GRUESO

*Tabla No.12 Masa unitaria suelta del agregado grueso*

MATERIAL	PESCADERO
SUELTA+ MOLDE(g)	
2942,00	
2936,00	
2939,00	
PROMEDIO	2939,00
M (g/cm <sup>3</sup> )	5,82

*Fuente: Propia*

Según las especificaciones de la NTC 92, el procedimiento se debe realizar tres veces y de la obtención de la masa suelta del agregado grueso más el molde, se halla un promedio, la masa suelta del agregado grueso se obtiene de la resta entre lo que corresponde a la tabla (Masa suelta del agregado grueso + molde (gr)) y el peso del molde cilíndrico. La masa suelta unitaria corresponde promedio de masa suelta del agregado grueso dividido en el diámetro del molde. Los cálculos se pueden observar en el anexo número 4.

#### 4.1.2.3 MASA UNITARIA COMPACTA PARA EL AGREGADO FINO

*Tabla No.12 Masa unitaria compacta para el agregado fino*

MATERIAL	CAPILLA
<b>COMPACTADA + MOLDE (g)</b>	
2904	
2917	
2931	
PROMEDIO	2917,33
M (g/cm <sup>3</sup> )	5,71

*Fuente: Propia*

La obtención de los valores mostrados en la tabla 11 se dio por medio del seguimiento de la metodología de la NTC 92, donde se requería que cada paso se realizara tres veces para de este modo hallar un promedio, con el cual se calculó la masa unitaria compacta, dividiendo este promedio entre el diámetro del molde, se obtuvo el valor requerido. Dentro del anexo número 5 se encuentran los datos de eso y dimensiones del molde, y todos los cálculos requeridos para el ensayo.

#### 4.1.2.4 MASA UNITARIA COMPACTA PARA EL AGREGADO GRUESO

*Tabla No.13 Masa unitaria compacta para el agregado grueso*

MATERIAL	PESCADERO
COMPACTADA+ MOLDE (g)	
3073	
3080	
3078	
PROMEDIO	3077
M (g/cm <sup>3</sup> )	6,56

*Fuente: Propia*

El cálculo de la masa unitaria compacta del agregado grueso, se realizó mediante el seguimiento de la NTC 92, de igual forma a lo descrito anteriormente en el ensayo de masa unitaria compacta del agregado fino. Los datos de dimensionamiento y peso de los elementos utilizados se encuentran en el anexo número 6.

#### 4.1.3 PESO ESPECÍFICO PARA ABSORCION DEL AGREGADO FINO Y GRUESO NTC 237.

La norma pertinente que fue seguida para hallar cada uno de los resultados de peso específico para absorción en los agregados fino y grueso fue la NTC 237

#### 4.1.3.1 PESO ESPECÍFICO PARA ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Tabla No.14 Gravedad específica aparente del agregado fino.

Peso específico del agregado fino	
Picnómetro + Agua (g)	Picnómetro + Agua + Arena (g)
B. 690	C. 985
Masa inicial del suelo (g)	Masa final del suelo seco (g)
S. 500	A. 474
Gravedad específica Bulk	
Gsb 23/23 °C sp gr =	2,312
Gravedad específica Bulk Saturada	
Gsbsss 23/23 °C sp gr =	2,439
Gravedad específica Aparente	
Gsa 23/23 °C sp gr =	2,648
Absorción (%)	5,49

Fuente: Propia

La norma NTC 327 establece que el cálculo necesario para conseguir el resultado de gravedad específica aparente es mediante la división de:

$A / (B+A-C)$  en donde:

A= La masa final del suelo seco.

B= El peso del picnómetro más el agua contenida en él.

C= El peso del picnómetro con el agua más el material introducido.

Porcentaje de absorciones igual a  $((S-A) / (A)) * 100$  en donde:

S= La masa de suelo inicial

A= La masa final del suelo seco.

Con este ensayo, también se logra conocer:

1. La gravedad específica Bulk =  $A / (B+S-C)$
2. La gravedad específica Bulk saturada=  $S / (B+S-C)$

Los cálculos realizados para este ensayo de peso específico para la absorción del agregado fino se encuentran registrados en el anexo número 7, como también los datos necesarios y todos los resultados que exige la norma.

#### 4.1.3.2 PESO ESPECÍFICO PARA ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

*Tabla No.15 Gravedad específica aparente del agregado grueso.*

Peso específico del agregado grueso	
Picnómetro + Agua (g)	Picnómetro + Agua + Arena (g)
B. 690	C. 996
Masa inicial del suelo (g)	Masa final del suelo seco (g)
S. 500	A. 489
Gravedad específica Bulk	
Gsb 23/23 °C sp gr =	2,521
Gravedad específica Bulk Saturada	
Gsbsss 23/23 °C sp gr =	2,577
Gravedad específica Aparente	
Gsa 23/23 °C sp gr =	2,672
Absorción (%)	2,25

*Fuente: Propia*

Se aplicaron cada uno de los cálculos descritos en la NTC 327, los mismos que ya se mencionaron en el anterior ensayo de peso específico para la absorción del agregado fino, los datos, cálculos y resultados se encuentran en el anexo número 8. Cabe aclarar que el diseño de mezcla, la gravedad específica aparente es la que se toma en cuenta para el agregado grueso.

#### **4.1.4 CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA NTC 127.**

La norma NTC 127 describe el procedimiento que se debe cumplir para determinar aproximadamente la presencia de impurezas orgánicas no favorables para el agregado fino usado en mortero de cemento hidráulico o en concreto.

Mediante la observación y análisis de la cartilla de colores de Gardner, se describe la arena con el grado más mínimo de materia orgánica.

Registro Fotográfico:

*Figura 27: Grado de materia orgánica en la arena mediante la tabla de colores Gardner, agregado fino.*



*Fuente: Propia*

#### 4.1.5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO NTC 221

La norma que describe el proceso experimental para determinar el peso específico del cemento es la NTC 221, menciona los pasos y cálculos para la obtención de los resultados.

El peso específico (o densidad de peso) de una sustancia se calcula como su peso (W) sobre una unidad de volumen (V), que se representa en la siguiente ecuación:

$$W / (V_i - V_f)$$

*Tabla No.16 Peso específico del cemento*

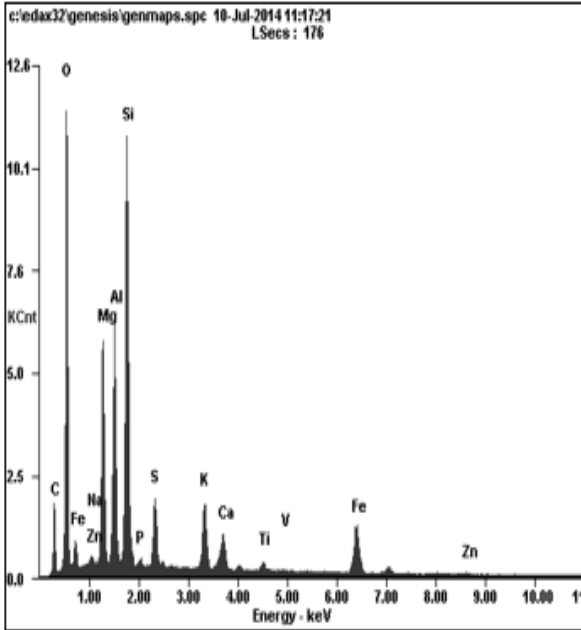
PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO		
Cemento	64	g
Temperatura	23	°C
Lecturas		
Inicial	0	ml
Final	21	ml
r =	3,05	g/cm <sup>3</sup>

*Fuente: Propia*

#### 4.1.6 COMPONENTES QUIMICOS DE LAS CENIZAS

Tabla No.17 Componentes químicos de las cenizas.

Elemento	Wt%	At%
CK	12.17	20.77
OK	34.35	44.00
NaK	0.19	0.17
MgK	8.44	7.12
AlK	9.48	7.2
SiK	16.51	12.05
PK	0.29	0.19
SK	2.97	1.9
KK	3.53	1.85
CaK	2.12	1.09
TiK	0.84	0.36
VK	0.08	0.03
FeK	8.23	3.02
ZnK	0.79	0.25
Matrix	Correccion	ZAF



Fuente: Informe UIS

## 4.2 PARÁMETROS DE CONTROL Y CALIDAD EN LOS BLOQUES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL ESTABLECIDOS EN LAS NORMAS NTC 4024 Y 4026.

### 4.2.1 PORCENTAJE DE ABSORCION Y CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM C642

Para la realización del ensayo de porcentaje de absorción se siguió la metodología mencionada en la ASTM C642, para cada porcentaje de ceniza agregada a la mezcla (5%, 10%, 15%) se utilizaron 12 especímenes con el fin de conocer el nivel de saturación, este porcentaje se relaciona con la permeabilidad, es decir el paso del agua a través de sus paredes.

El porcentaje de absorción se calculó con la formula descrita en la norma, que es la siguiente:

$$Ab = ((Ph - Ps) / (Ph - Pss)) * 100$$

Dónde:

Ab= Porcentaje de absorción

Ph= Peso saturado

Ps= Peso seco

Pss= Peso sumergido

*Tabla No.18 Porcentaje de absorción de los bloques diseñados con las mezclas con porcentaje de ceniza de 5%, 10%, y 15%*

Bloques con 5% de adición de ceniza												
Espécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Absorción (%)	14,5	13,3	15,4	15,8	16,1	16,1	16,8	18	16,5	16,1	16,4	16,6

Bloques con 10% de adición de ceniza												
Espécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Absorción (%)	10,8	15,7	11,7	12,6	14,9	15,1	12	17,5	12,9	13,8	12,5	16

Bloques con 15% de adición de ceniza												
Espécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Absorción (%)	12,0	11,9	13,5	12,5	12,0	11,9	11,3	12,3	13,2	16,0	12,2	11,0

*Fuente: Propia*

Los valores correspondientes a los pesos saturados, peso seco y peso sumergido están registrados en el anexo número 9.

El contenido de humedad se halló siguiendo los mismos pasos para el ensayo anterior, para encontrar el resultado se usó la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de humedad} = ((P_m - P_s) / (P_h - P_s)) * 100$$

Dónde:

Ph= Peso saturado

Ps= Peso seco

Pm= Peso natural

*Tabla No.19 Porcentaje del contenido de humedad de los bloques diseñados con las mezclas con porcentaje de ceniza de 5%, 10%, y 15%.*

Bloques con 5% de adición de ceniza												
Espécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% Contenido de humedad	6,6	5,7	4,9	3,9	4,7	6,0	3,4	3,3	6,0	6,0	4,8	4,8

Bloques con 10% de adición de ceniza												
Espécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% Contenido de humedad	12,1	7,8	9,8	6,3	6,5	9,5	10,1	5,5	4,5	9,9	6,3	7,1

Bloques con 15% de adición de ceniza												
Espécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% Contenido de humedad	9,2	7,8	5,4	10,5	4,6	6,3	1,6	9,1	8,5	5,8	6,1	3,4

*Fuente: Propia*

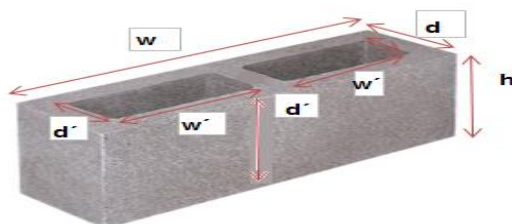
Los valores correspondientes a los pesos naturales, peso saturado, y peso seco están registrados en el anexo número 10.

#### **4.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS BLOQUES H-14**

El dimensionamiento se realizó para 12 bloques de cada porcentaje de ceniza agregado. Este procedimiento consistió en tomar las medidas, alto, ancho y profundo tanto de los bloques como tal, como de los huecos que estos tienen.

La siguiente figura muestra cuales fueron las dimensiones tomadas, los datos resultantes del ensayo de dimensionamiento se encuentran en las tablas 19, 20 y 21.

Figura 29: Dimensionamiento de los bloques.



Fuente: Propia

Tabla No.20 Dimensionamiento de los bloques diseñados con la adición de ceniza de 5%.

Espécimen	Bloques con 5% de adición de ceniza					
	Dimensiones (cm)			Huecos (cm)		
	Altura (h)	Anchura (w)	Profundidad (d)	Altura (h')	Anchura (w')	Profundidad (d')
1	19.00	38.90	14.00	19.00	15.20	8.00
2	19.00	38.90	14.00	19.00	15.10	8.00
3	18.90	38.80	13.80	18.90	15.20	8.00
4	18.90	38.80	13.90	18.90	15.10	7.80
5	19.00	39.00	13.80	19.00	15.00	8.00
6	19.00	39.00	13.80	19.00	15.10	8.00
7	19.00	38.80	14.00	19.00	15.00	8.00
8	19.00	38.90	13.80	19.00	15.00	7.90
9	19.00	38.90	13.90	19.00	15.20	8.00
10	19.00	38.80	13.80	19.00	15.10	8.10
11	19.00	38.90	13.80	19.00	15.10	8.20
12	19.00	38.80	13.90	19.00	15.20	8.20
MEDIA	18.98	38.88	13.88	18.98	15.11	8.02
$\sigma$	0.04	0.07	0.08	0.04	0.08	0.11

$\sigma$  = Desviación estándar

Fuente: Propia

Tabla No.21 Dimensionamiento de los bloques diseñados con la adición de ceniza de 10%.

Espécimen	Bloques con 10% de adición de ceniza					
	Dimensiones (cm)			Huecos (cm)		
	Altura (h)	Anchura (w)	Profundidad (d)	Altura (h')	Anchura (w')	Profundidad (d')
1	19.0	38.9	14.0	19.0	15.1	8.2
2	19.0	39.0	13.8	19.0	15.0	7.8
3	19.0	38.9	13.9	19.0	15.1	8.0
4	18.8	38.8	13.8	18.8	14.9	7.8
5	19.0	39.0	13.8	19.0	15.0	7.8
6	19.0	38.8	14.0	19.0	15.0	7.9
7	19.0	38.9	13.9	19.0	15.1	8.0
8	18.6	38.8	13.8	18.6	15.0	8.0
9	19.0	38.8	13.8	19.0	15.1	8.0
10	19.0	38.8	13.9	19.0	15.1	7.9
11	19.0	38.8	13.8	19.0	15.1	8.0
12	19.0	38.9	13.8	19.0	15.1	7.8
MEDIA	19.0	38.9	13.9	19.0	15.1	7.9
$\sigma$	0.12	0.07	0.08	0.12	0.06	0.12

$\sigma$  = Desviación estándar

Fuente: Propia

Tabla No.22 Dimensionamiento de los bloques diseñados con la adición de ceniza de 15%.

Espécimen	Bloques con 15% de adición de ceniza					
	Dimensiones (cm)			Huecos (cm)		
	Altura (h)	Anchura (w)	Profundidad (d)	Altura (h')	Anchura (w')	Profundidad (d')
1	19.10	39.00	13.90	19.10	15.00	8.10
2	19.00	39.00	14.00	19.00	15.10	8.00
3	19.00	38.90	13.90	19.00	15.10	8.10
4	19.10	39.00	13.80	19.10	15.10	7.70
5	19.10	39.90	13.90	19.10	15.00	8.00
6	19.20	38.70	13.80	19.20	15.20	7.90
7	19.20	38.90	13.90	19.20	15.00	8.00
8	19.00	38.90	13.90	19.00	15.10	8.10
9	19.10	38.90	13.80	19.10	15.10	8.10
10	18.90	39.90	13.80	18.90	15.10	8.10
11	19.00	38.90	14.00	19.00	15.10	8.10
12	18.90	38.80	13.80	18.90	14.90	8.10
MEDIA	19.05	39.07	13.88	19.05	15.07	8.03
$\sigma$	0.10	0.38	0.07	0.10	0.07	0.12

$\sigma$  = Desviación estándar

Fuente: Propia

#### 4.2.3 DENSIDAD DE LOS BLOQUES H-14 NTC 4024

Para el ensayo de densidad se tomó como muestra 16 bloques de cada mezcla diseñada, incluyendo la piloto que no cuenta con adición de ceniza, se clasificaron las muestras según su peso, y se dimensionaron con el fin de hallar el volumen total del bloque y de los huecos que estos tienen, y de esta forma conocer la densidad.

La siguiente tabla muestra la clasificación según la densidad en dos clases, alta y baja, con esta tabla se halló los resultados para este ensayo.

Tabla No.23 Clasificación según su densidad.

Resistencia a compresión Mínima a los 28 días, Mpa			Porcentaje de absorción y clasificación del bloque según su densidad		
Clase	Promedio de 3 unidades	Individual	Peso liviano menos de 1 680 kg/m <sup>3</sup>	Peso mediano, de 1 680 kg/m <sup>3</sup> hasta menos de 2 000 kg/m <sup>3</sup>	Peso normal, 2 000 kg/m <sup>3</sup> o más
Alta	13	11	15%	12%	9%
Baja	8	7	18%	15%	12%

Fuente: NTC 4024

Los cálculos, y dimensiones de los especímenes se encuentran registrados en las tablas del anexo número 11.

#### 4.2.4 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES H-14 NTC 4026

##### 4.2.4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN BLOQUES MEZCLA PILOTO.

Como ya se había mencionado anteriormente, se realizaron los diseños para cuatro mezclas, tres de estas con una adición de ceniza, y una sin adición llamada mezcla piloto.

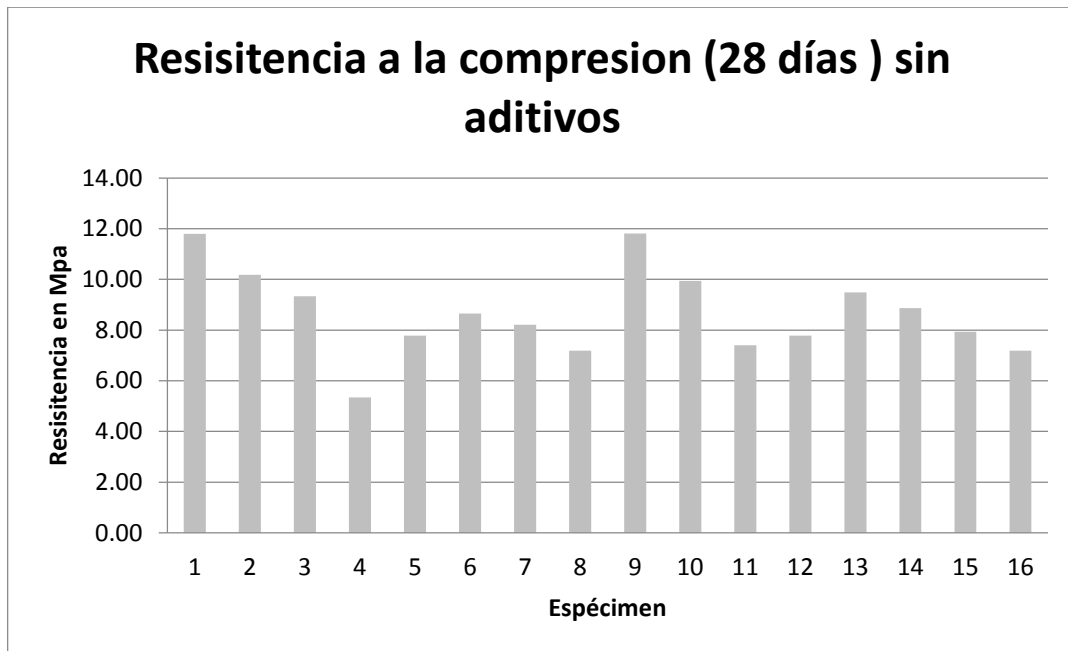
A continuación se describe el diseño de las mezclas con su respectiva relación agua cemento, la mezcla uno (sin adición de ceniza) se diseñó con una relación agua - cemento de 0,85 y sin ningún aditivo. La mezcla dos tuvo exactamente las mismas proporciones de la mezcla 1 en su diseño pero con la diferencia de que le fue adicionado 5% en relación a la cantidad de cemento, es decir 11 kilogramos. La mezcla tres tuvo una relación agua - cemento de 0,85 y 10% de ceniza. La mezcla cuatro se diseñó igual a la mezcla tres pero con 15% de ceniza en relación a la cantidad de cemento.

En el anexo número 12 se observan cada uno de los diseños de forma detallada, con sus respectivas cantidades para cada uno de los materiales.

Para conocer la resistencia para cada una de las cuatro mezclas, se tomaron como muestra 16 bloques de cada una de ellas. En las siguientes graficas se pueden ver representados los valores en mega pascales que soportaron cada

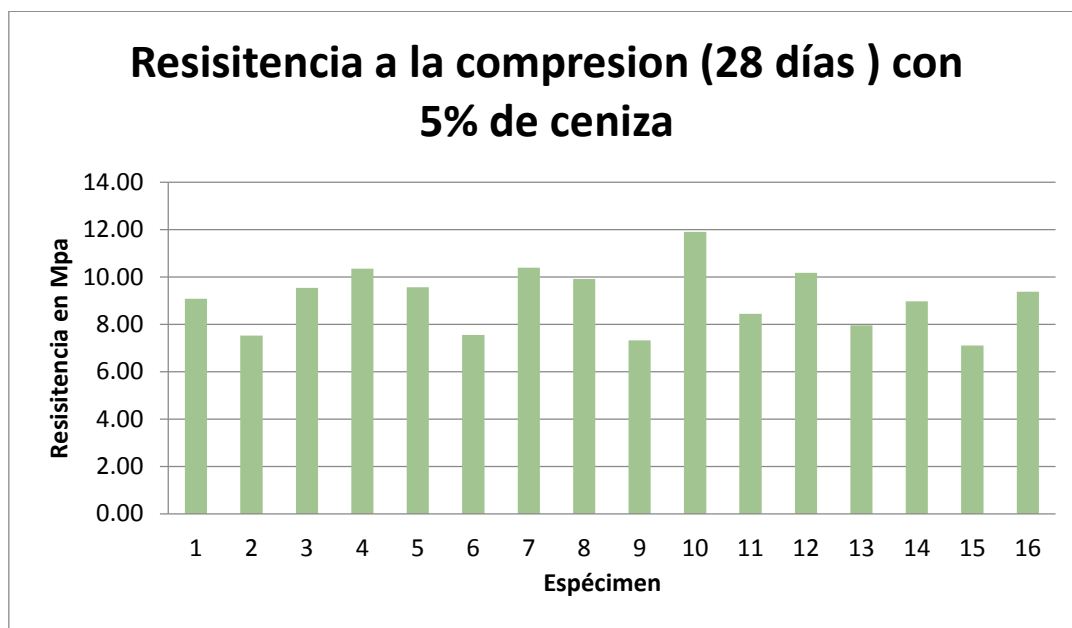
uno de los especímenes, como también se puede observar la gráfica donde se comparan los cuatro diseños de mezcla.

*Figura 30. Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, diseño número 1, sin aditivo.*



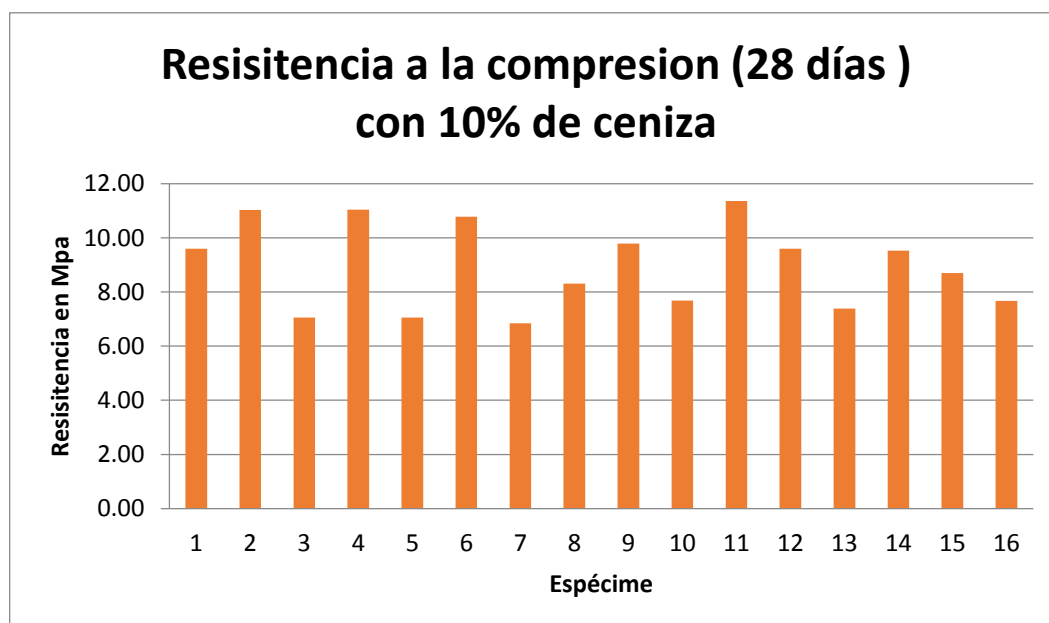
*Fuente: Propia*

*Figura 26: Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, diseño número 2, 5% de aditivo.*



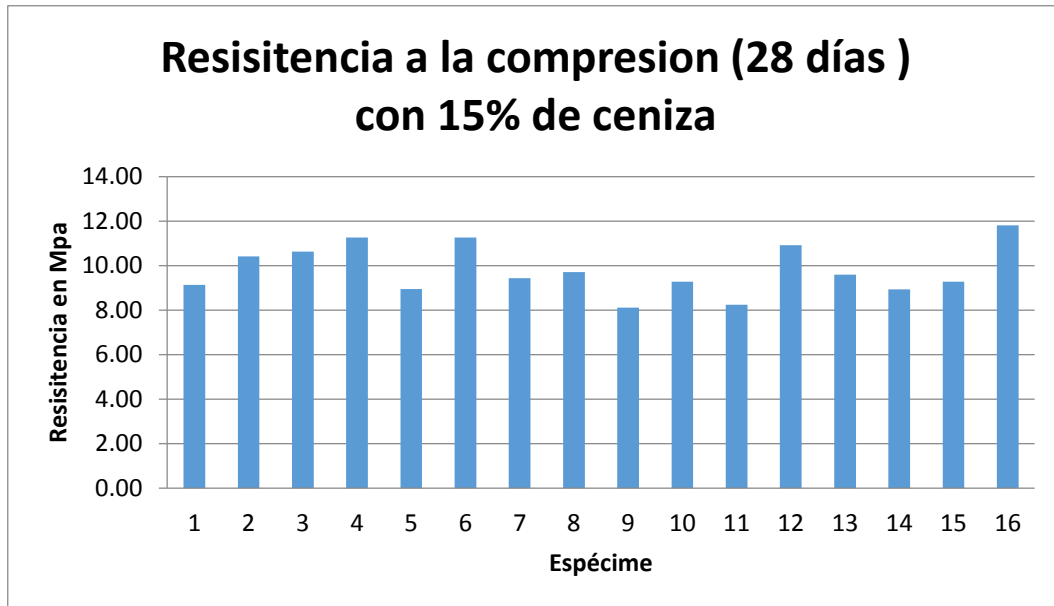
*Fuente: Propia*

*Figura 31. Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, diseño número 3, 10% de aditivo.*



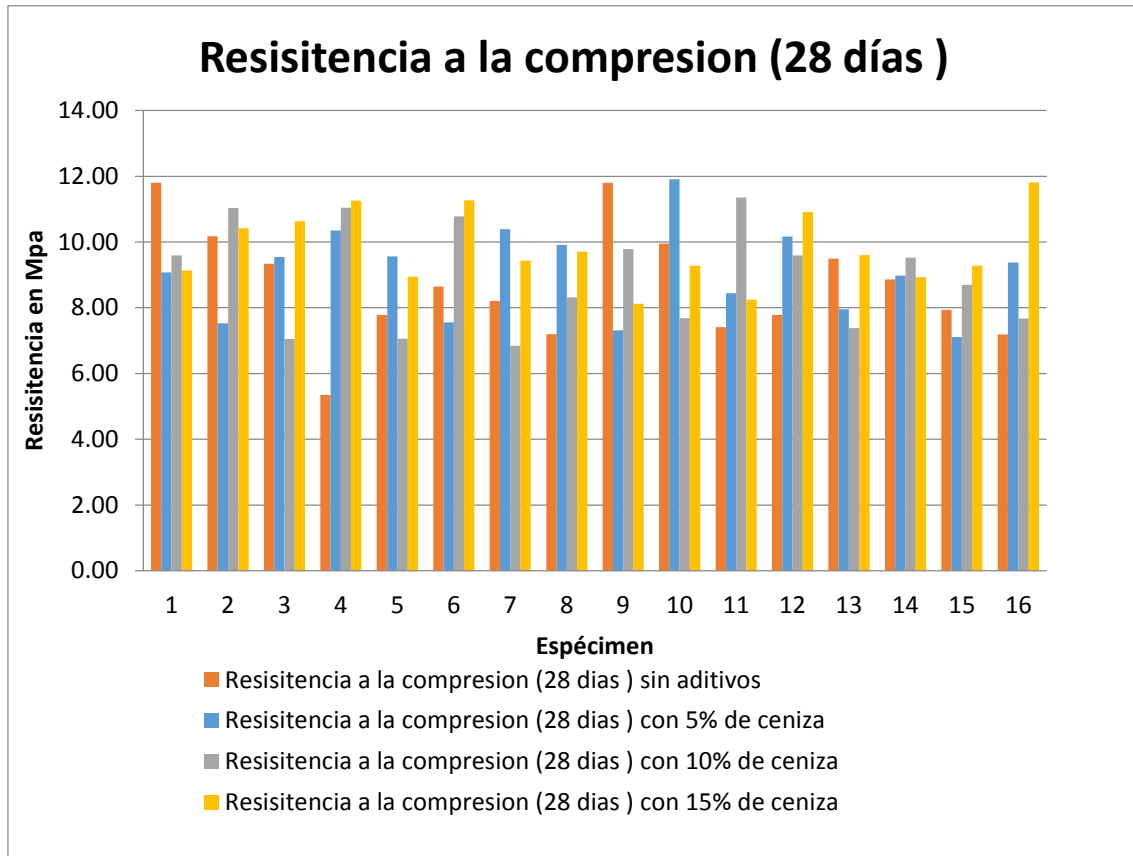
*Fuente: Propia*

Figura 32: Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, diseño número 4, 15% de aditivo.



Fuente: Propia

Figura 33: Resultados de resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, comparación entre cada uno de los diseños.



Fuente: Propia

En el anexo número 13 se encuentran cada uno de los valores de los 64 especímenes fallados con su respectivo valor de resistencia en KN y Mpa con los que se graficaron las anteriores figuras, se encuentran clasificados según el diseño se mezcla con el que se fabricó.

#### 4.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD Y POROSIDAD DE LOS BLOQUES

Los resultados obtenidos para el ensayo de permeabilidad y porosidad, se dieron para 10 bloques escogidos según el ensayo de resistencia a la compresión a los

28 días, los especímenes usados fueron aquellos con adición de ceniza en un porcentaje de 15.

La siguiente tabla muestra el valor de permeabilidad hallado según la metodología de la NTC 4483, donde se relaciona el intervalo de tiempo en que un cauda pasa un espesor determinado, la formula usada es la siguiente:

$$K = (Q \cdot L) / A \cdot h \cdot t$$

Dónde:

A= Área

K= Permeabilidad

h= Altura

Q= Caudal

t= Tiempo

Tabla No. 25 Resultados de la permeabilidad de los bloques con adición de ceniza de 15%.

Ensayo de permeabilidad		
Espécimen	Permeabilidad (m/s)	Resistencia Mpa
1	2.66E-10	9.13
2	3.06E-10	10.42
3	2.72E-10	9.44
4	2.60E-10	8.95
5	3.51E-10	11.26
6	2.75E-10	9.71
7	2.54E-10	8.12
8	3.06E-10	10.63
9	3.38E-10	11.26
10	2.69E-10	9.28
MEDIA	2.90E-10	9.82
$\sigma$	3.21E-11	0.99

$\sigma$  = Desviación estándar

Fuente: Propia

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Para el desarrollo de cada uno de los ensayos descritos anteriormente, se siguió la metodología descrita en las normas pertinentes para cada uno, entre las más utilizadas están la 4024 y la 4026, las cuales también cuentan con tablas de verificación y clasificación para los bloques y sus propiedades mecánicas.

Los ensayos de laboratorio para los materiales que hacen parte de los diseños de mezcla, como también los realizados a los bloques, se hicieron con el fin de obtener un control de calidad adecuado, y de esta forma diseñar una mezcla óptima y favorable para la fabricación de los especímenes, lo que beneficia a la empresa Bloques y Adoquines de Santander, donde se realizó la investigación para este proyecto de grado.

A continuación se detallaran los análisis realizados a los resultados que arrojaron todos los ensayos y pruebas realizadas para cumplir con los objetivos planteados.

### **5.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR Y DEL CEMENTO ESTRUCTURAL**

Los resultados de la caracterización de los agregados se obtuvieron mediante la metodología de la NTC 1522 que detalla el proceso de granulometría por tamizado, las normas que regulan la producción, ensayo y muestreo de bloques de concreto no reforzados, vibro compactados, no estipulan ningún parámetro que deba cumplirse para el diseño de las mezclas para los bloques.

La caracterización que se le realizó al cemento tuvo un resultado normal de 3,05 g/cm<sup>3</sup> para el ensayo de peso específico, las normas no exigen valor alguno para la fabricación de los especímenes.

### **5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS BLOQUES H-14**

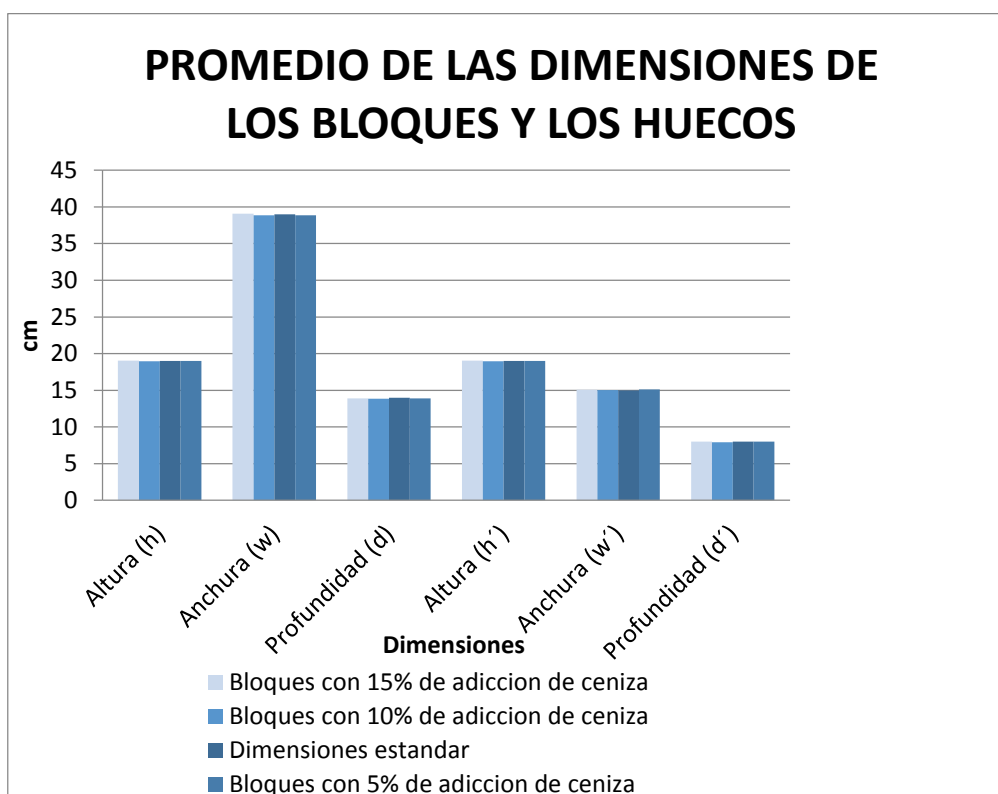
El análisis de las dimensiones reales tomadas para cada uno de los doce bloques H-14 se dio mediante la comparación de las medidas que un bloque debe tener según el molde de fabricación, a continuación se presentan las medidas del prefabricado, y los promedios de las tomadas para los especímenes de las cuatro mezclas diseñadas.

Tabla No.24 Dimensiones de un bloque H-14 según su prefabricado.

Dimensiones (cm)			Huecos (cm)		
Altura (h)	Anchura (w)	Profundidad (d)	Altura (h')	Anchura (w')	Profundidad (d')
19	39	14	19	15	8

Fuente: Propia

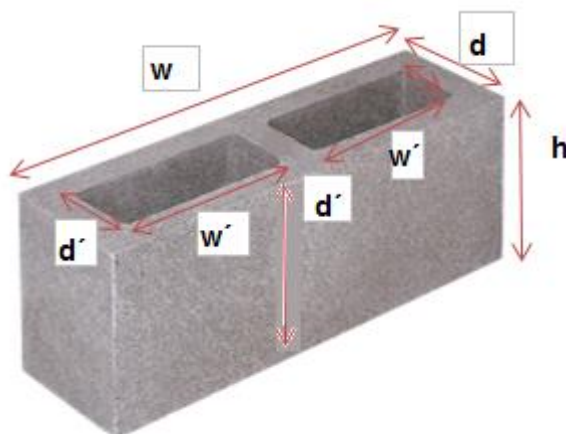
Figura 34: Promedio de las dimensiones de los bloques y sus huecos.



Fuente: Propia

Los resultados al ser comparados demuestran gran similitud al bloque del prefabricado, poseen uniformidad en todas las dimensiones tomadas, tanto de los bloques como tal y sus huecos, como se muestran en la siguiente figura.

Figura 35: Dimensiones de los bloques H-14 y sus huecos.



Fuente: Propia

### 5.3 DENSIDAD DE LOS BLOQUES H-14

Tabla No.25 Clasificación según su densidad.

Resistencia a compresión Mínima a los 28 días, Mpa			Porcentaje de absorción y clasificación del bloque según su densidad		
Clase	Promedio de 3 unidades	Individual	Peso liviano menos de 1 680 kg/m <sup>3</sup>	Peso mediano, de 1 680 kg/m <sup>3</sup> hasta menos de 2 000 kg/m <sup>3</sup>	Peso normal, 2 000 kg/m <sup>3</sup> o más
Alta	13	11	15%	12%	9%
Baja	8	7	18%	15%	12%

Fuente: NTC 4024

El análisis de los bloques según su densidad, fue determinado con los resultados obtenidos de la división entre el volumen del bloque sin contar el de los huecos, sobre el peso de cada uno, esto dio como resultado que los bloques se encuentran dentro de una densidad de 2000 kg/m<sup>3</sup> o mayor a esta, lo que los clasifica como bloques de peso normal.

#### 5.4 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y CONTENIDO DE HUMEDAD

La NTC 4024 establece una clasificación según el porcentaje de absorción, que es relacionado con la resistencia a la compresión obtenida para los especímenes fallados a los 28 días, esta clasificación se da en dos, clase baja y clase alta.

Las siguientes tablas muestran los promedios de porcentaje de absorción y resistencia a la compresión para cada uno de los diseños de mezclas realizados con adición de ceniza.

*Tabla No.26 Porcentaje de absorción y resistencia a la compresión a la edad de 28 días para la mezcla con adición del 5% de ceniza.*

		5%			
		Absorción (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	KN	Mpa
MEDIA		16,02	3251,12	273,42	9,07

*Fuente: Propia*

*Tabla No.27 Porcentaje de absorción y resistencia a la compresión a la edad de 28 días para la mezcla con adición del 10% de ceniza.*

		10%			
		Absorción (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	KN	Mpa
MEDIA		13,83	3211,27	270,13	8,96

*Fuente: Propia*

*Tabla No.28 Porcentaje de absorción y resistencia a la compresión a la edad de 28 días para la mezcla con adición del 15% de ceniza.*

15%				
	Absorción (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	KN	Mpa
MEDIA	12,49	3231,83	295,73	9,81

*Fuente: Propia*

Los bloques ensayados para cada una de las tres dosificaciones que contienen ceniza son de clase baja ya que sus promedios de resistencia son mayores de 8 Mpa y menores a 13Mpa, y cuentan con un promedio de densidad superior a 2000 kg/m<sup>3</sup> esto se establece mediante la NTC 4024.

Las siguientes tablas muestran el contenido de humedad relejado según los datos analizados para cada uno de los bloques ensayados.

*Tabla No.29 Contenido de humedad para cada uno de los bloques con adición de ceniza.*

Bloques con 5% de adición de ceniza												
Espécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% Contenido de humedad	6,6	5,7	4,9	3,9	4,7	6,0	3,4	3,3	6,0	6,0	4,8	4,8

Bloques con 10% de adición de ceniza												
Espécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% Contenido de humedad	12,1	7,8	9,8	6,3	6,5	9,5	10,1	5,5	4,5	9,9	6,3	7,1

Bloques con 15% de adición de ceniza												
Espécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% Contenido de humedad	9,2	7,8	5,4	10,5	4,6	6,3	1,6	9,1	8,5	5,8	6,1	3,4

*Fuente: Propia*

La máxima obtenida fue de 12,07% para un bloque de 10% de adición de ceniza, y la mínima fue de 1,64 para un bloque de 15% de adición de ceniza.

## 5.5 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES

El proyecto de investigación contó con cuatro diseños de mezcla, tres de estos con adición de cenizas de locaciones petroleras, esta adición en tres diferentes porcentajes, con el fin de analizar las propiedades mecánicas de los bloques de concreto H-14 y conocer cual diseño sería el más eficaz para el uso como material de mampostería fabricado por la empresa Bloques y Adoquines de Santander.

Las siguientes tablas describen en detalle las cantidades usadas para cada diseño de mezcla incluyendo el piloto.

*Tabla No.30 Diseño de mezcla piloto.*

b =	0,420
bo =	0,557
B =	0,234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0,85
Cantidad de agua	180

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0,0695
Agregado Fino	625	2672	0,2337
Agregado Grueso	1368	2648	0,5168
Agua	180	1000	0,1800

*Fuente: Propia*

Tabla No.31 Diseño de mezcla adición 5% de ceniza.

b =	0,420
bo =	0,557
B =	0,234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0,85
Cantidad de agua	180
Ceniza (%)	5%

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0,0695
Agregado Fino	625	2672	0,2337
Agregado Grueso	1353	2648	0,5108
Agua	180	1000	0,1800
Ceniza	11	1764	0,0060

Fuente: Propia

Tabla No.32 Diseño de mezcla adición 10% de ceniza.

b =	0,420
bo =	0,557
B =	0,234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0,85
Cantidad de agua	180
Ceniza (%)	10%

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0,0695
Agregado Fino	625	2672	0,2337
Agregado Grueso	1337	2648	0,5048
Agua	180	1000	0,1800
Ceniza	21	1764	0,0120

Fuente: Propia

Tabla No.33 Diseño de mezcla adición 15% de ceniza.

b =	0,420
bo =	0,557
B =	0,234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0,85
Cantidad de agua	180
Ceniza (%)	15%

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0,0695
Agregado Fino	625	2672	0,2337
Agregado Grueso	1321	2648	0,4988
Agua	180	1000	0,1800
Ceniza	32	1764	0,0180

Fuente: Propia

Tabla No.34 Promedio de resistencia a la compresión de los bloques H-14 a los 28 días, de cada una de los cuatro diseños.

Piloto 0%				
	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m3)	KN	Mpa
MEDIA	11,81	3265,02	261,68	8,68

5%				
	Peso	Densidad (Kg/m3)	KN	Mpa
MEDIA	11,76	3251,12	273,42	9,07

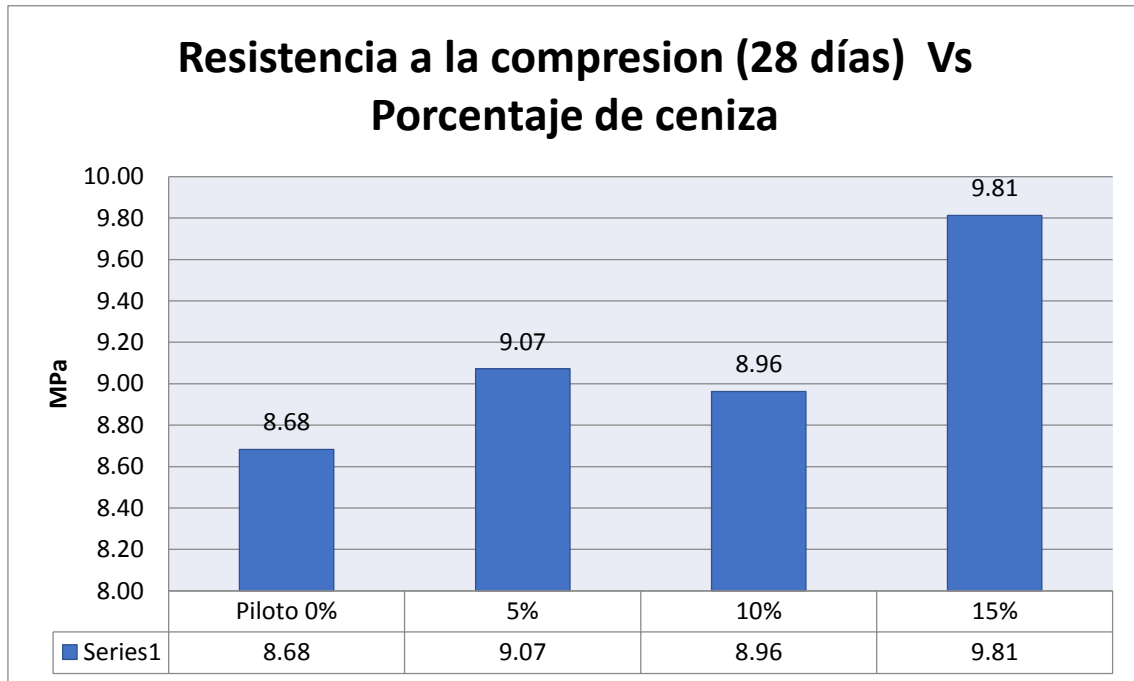
10%				
	Peso	Densidad (Kg/m3)	KN	Mpa
MEDIA	11,61	3211,27	270,13	8,96

15%				
	Peso	Densidad (Kg/m3)	KN	Mpa
MEDIA	11,69	3231,83	295,73	9,81

Fuente: Propia

Figura 38: Comparación de la resistencia promedio a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, para cada uno de los diseños.



*Fuente: Propia*

Claramente se puede ver que la adición de ceniza que se realizó a la mezcla piloto, incremento la resistencia del bloque a compresión al edad de 28 días, teniendo un mayor crecimiento de la propiedad en el diseño de mezcla número 4, que es el que cuenta con una adición de ceniza del 15% respecto a la cantidad de cemento.

Basados en la NTC 4024, los resultados que arrojaron los ensayos de resistencia a compresión de los bloques H-14 a la edad de 28 días, cumplen con el parámetro establecido para bloques de clase baja con resistencia individual mínima de 7 y promedio para tres bloques de 8, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla No.35 Verificación de la resistencia individual y promedio de la resistencia a compresión de los bloques H-14 a los 28 días, para cada uno de los diseños.

<b>Resistencia a la compresión a los 28 d (<math>R_{c28}</math>)<sup>B</sup>, evaluada sobre el área neta promedio (<math>A_{np}</math>)</b>		
<b>Mínimo<sup>B</sup>, MPa</b>		
<b>Clase</b>	<b>Promedio de 3 unidades</b>	<b>Individual</b>
Alta	13	11
Baja	8	7

Fuente: NTC 4024

Las siguientes tablas muestran la información individual de cada uno de los bloques H-14 fallados a los 28 días de edad, se puede observar que cumplen con el mínimo exigido en la norma NTC 4024 para ser clasificados como bloques de clase baja.

Tabla No.36 Verificación de la resistencia compresión, individual y promedio de los bloques H-14 a los 28 días, mezcla sin aditivo.

Piloto 0%	
Espécimen	Mpa
1	11.80
2	10.18
3	9.34
4	5.35
5	7.78
6	8.65
7	8.21
8	7.19
9	11.81
10	9.95
11	7.41
12	7.78
13	9.49
14	8.86
15	7.93
16	7.19
MEDIA	8.68
$\sigma$	1.71

$\sigma$  = Desviación estándar

*Fuente: Propia*

Tabla No.37 Verificación de la resistencia a compresión, individual y promedio de los bloques H-14 a los 28 días, mezcla con 5% adición de ceniza

5%	
Espécimen	Mpa
1	9.07
2	7.53
3	9.54
4	10.35
5	9.57
6	7.56
7	10.39
8	9.91
9	7.32
10	11.91
11	8.44
12	10.17
13	7.95
14	8.98
15	7.11
16	9.38
MEDIA	9.07
$\sigma$	1.30

$\sigma$  = Desviación estándar

*Fuente: Propia*

Tabla No.38 Verificación de la resistencia a compresión, individual y promedio de los bloques H-14 a los 28 días, mezcla con 10% adición de ceniza

10%	
Espécimen	Mpa
1	9.59
2	11.03
3	7.05
4	11.04
5	7.06
6	10.78
7	6.85
8	8.32
9	9.79
10	7.68
11	11.35
12	9.59
13	7.38
14	9.53
15	8.70
16	7.67
MEDIA	8.96
$\sigma$	1.58

$\sigma$  = Desviación estándar

*Fuente: Propia*

Tabla No 39. Verificación de la resistencia a compresión, individual y promedio de los bloques H-14 a los 28 días, mezcla con 15% adición de ceniza

15%	
Espécimen	Mpa
1	9.13
2	10.42
3	10.63
4	11.26
5	8.95
6	11.26
7	9.44
8	9.71
9	8.12
10	9.28
11	8.25
12	10.91
13	9.60
14	8.93
15	9.28
16	11.82
MEDIA	9.81
$\sigma$	1.11

$\sigma$  = Desviación estándar

Fuente: Propia

## 5.6 PERMEABILIDAD Y POROSIDAD DE LOS BLOQUES

En la tabla número 40 se relaciona el coeficiente de permeabilidad del concreto con la profundidad de penetración del agua en el ensayo. Los 10 bloques ensayados con contenido de 15% de ceniza, tuvieron una profundidad de 30 mm de penetración y el promedio del coeficiente permeabilidad fue de  $2,89847E-10$ , lo que los clasifica como bloques de permeabilidad media.

*Tabla No 40. Relación de la permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad y la profundidad de penetración.*

Determinación	Unidades	Permeabilidad		
		Baja	Media	Alta
Coeficiente de permeabilidad	m/s	$<10^{-12}$	$10^{-12}$ a $10^{-10}$	$>10^{-10}$
Profundidad de penetración	Mm	<30	30 a 60	>60

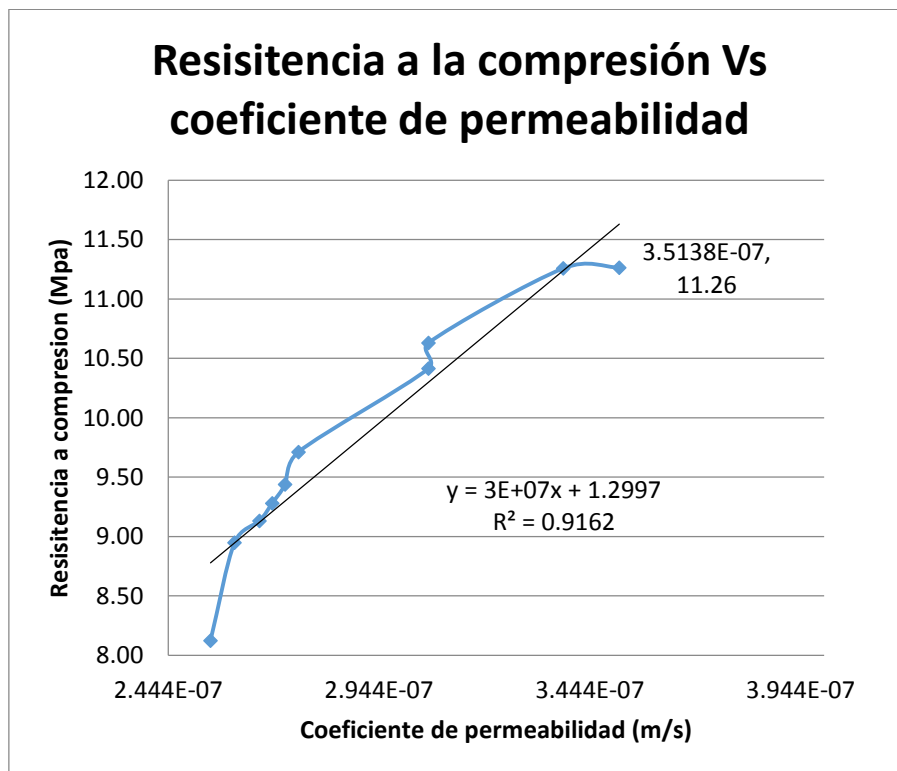
*Fuente: NTC 4483*

La porosidad es uno de los factores principales que influyen en la resistencia y durabilidad del concreto; mientras más poroso sea el concreto menor es su resistencia mecánica y tendrá mayor vulnerabilidad ante la agresividad del medioambiente (Mehta y Monteiro, 1998).

La permeabilidad es un factor en el concreto que está controlado principalmente por la porosidad del cemento, pero esta no significa que sea controlado por esta, ya que para los mismos niveles de porosidad el concreto puede tener diferentes valores de permeabilidad.

Con la siguiente figura se puede observar la relación entre la resistencia a la compresión y la permeabilidad hallada en los bloques, como se mencionó anteriormente entre menos poroso sea el bloque, mayor es su resistencia a la compresión.

Figura 39. Resistencia a la compresión Vs coeficiente de permeabilidad



Fuente: Propia

## 6. CONCLUSIONES

Los bloques fabricados con las mezclas con contenido de cenizas procedentes de locaciones petroleras, tuvieron un incremento en la resistencia a compresión a una edad de 28 días, comparado con la mezcla sin aditivos, el incremento más significativo fue para los bloques con 15% de adición de ceniza.

Referente a las mezclas diseñadas con los tres porcentajes de adición de ceniza, se obtuvieron valores dentro de los rangos aceptados para los bloques elaborados con estas, según las Normas Técnicas Colombianas. La elaboración de estas mezclas, se llevó a cabo según el procedimiento técnico empleado en la empresa, lo que no altero la producción y dio el rendimiento promedio para las cantidades diseñadas, y un aumento en la resistencia a compresión. Lo anteriormente dicho comprueba que el beneficio no fue solamente técnico al mejorar la resistencia de los bloques con adición de ceniza, comparada con la mezcla piloto, sino que al incorporarse un nuevo material a la mezcla, las cantidades de los otros disminuyen, y al ser las cenizas un material residual, no incrementan los costos directos en la producción. Además, no solo la empresa Bloques y Adoquines de Santander obtiene la ventaja económica con los diseños de mezclas con adición de ceniza, ya que ECOPETOL reducirá costos al no tener que llevar a cabo el manejo de residuos.

La NTC 4024 establece por medio de una tabla, la clasificación para los bloques, según su peso, en liviano, mediano y normal, en esta clasificación se verifica que el valor individual de la densidad de un bloque, y el promedio para tres, este en el rango. El dato más bajo para la densidad de los bloques analizados fue de 3038,80 kg/m<sup>3</sup> lo que clasifica a los especímenes como bloques de peso normal (2000 kg/m<sup>3</sup> o más).

La clasificación que se encontró para los bloques según su resistencia a la compresión a los 28 días fue de clase baja, esta clasificación se relaciona con el valor de absorción. Dentro de la NTC 4024 el menor valor promedio de tres bloques de clase baja es de 12%, para los bloques ensayados el valor promedio supera el máximo ya que para las mezclas de 5%, 10% y 15% los valores fueron 16,02 13,83 y 12,49 respectivamente.

Respecto a la humedad encontrada en los bloques, se puede decir que estos cuentan con un control de calidad tipo II, ya que no tienen un estricto seguimiento de la humedad, su curado se maneja con riego, y son almacenados a la intemperie, cuantitativamente el porcentaje de humedad promedio para los especímenes de 5% de adición de ceniza fue de 4,99%, para los de 10 % 7,93 y para los de 15% 6,51%.

Al comparar los resultados obtenidos de las dimensiones de los bloques fabricados, con las dimensiones reales para un bloque H-14, se encontró que los valores tienen una gran similitud, lo que a consideración los hace ser bloques de calidad según su dimensionamiento.

Concerniente a la permeabilidad y porosidad de los bloques, la NTC 4483 clasifica en tres niveles la permeabilidad, en baja, media y alta según el coeficiente de permeabilidad hallado con la ley de Darcy y el espesor penetrado por el agua. Los bloques de máxima resistencia promedio escogidos fueron los de 15 % de adición de ceniza, contaron con una clasificación de permeabilidad media, y se encontró que la relación de permeabilidad y porosidad contra la resistencia a la compresión es directamente proporcional.

Por ultimo al acoplar todos los análisis obtenidos para los bloques elaborados con adición de cenizas, se encontró que la mezcla diseñada con relación a/c de 0,85 y 15% de adición de ceniza respecto a la cantidad de cemento, es la óptima, ya que cumple todos los parámetros exigidos por las Normas Técnicas Colombianas, y supera los niveles de parámetros de calidad comparados con la mezcla piloto.

## **7. RECOMENDACIONES PARA LA EMPRESA BLOQUES Y ADOQUINES DE SANTANDER**

Al momento de diseñar las mezclas se debe tener en cuenta la humedad de cada uno de los agregados, ya que estos se encuentran almacenados a la intemperie, se aconseja usar en la tolva de agregados un sensor que controle la humedad y la relacione con la cantidad de agua para cada diseño.

Se sugiere mantener un control estricto de humedad tipo I donde se protejan los bloques con láminas de plástico para que no reciba humedad proveniente de la lluvia o de otras actividades de construcción, con el propósito de reducir al mínimo o eliminar completamente las fisuras.

Se recomienda considerar las normas NTC 4024 y NTC 4026 para el control de calidad de los bloques, y el cumplimiento de los porcentajes de absorción, humedad y dimensionamiento.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aberdeen Group. Mortero: Como especificar y utilizar mortero para mampostería - Addison A.G 1994 63p. [En línea]. [www.planospara.com/planos4/mamposteria-de-concreto-11632.pdf+&cd=3&hl=en&ct=clnk&gl=co](http://www.planospara.com/planos4/mamposteria-de-concreto-11632.pdf+&cd=3&hl=en&ct=clnk&gl=co). [consulta: 20 de Mayo, 2015].
- Bloques y Adoquines de Santander. [En línea] <http://bloquesyadoquines.com/nosotros>. [consulta: 20 de Mayo, 2015].
- Carlos Alberto Sánchez Cantillo. Metodologías de diseño para edificaciones en mampostería estructural basadas en la norma colombiana de diseño y construcción sismo -resistente, NSR 98. [En línea].
- Carlos Sarmiento, Julián Arenas. Universidad Pontificia Bolivariana. Evaluación del comportamiento mecánico de morteros modificados con cenizas de locaciones petroleras.2012 [Disponible en línea]: <http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/handle/123456789/2201>. [Consultado:] 21 de mayo del 2015. <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1720/2/112659.pdf>. [consulta: 20 de Mayo, 2015].
- Hernán Darío Agredo. Universidad Industrial de Santander. Informe de los análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB) de una (1) muestra de ceniza. 2014. [Consultado:] 10 de Junio del 2015.
- Jaramillo Jiménez, José Oscar. Ingeniería Estructural – Universidad Nacional de Colombia. En Línea [consulta: 20 de Mayo, 2015].
- Leonardo Virviescas. Manual para el proceso de elaboración de los bloques, máquina productora QFT 8-15. [consulta: 11 de Mayo, 2015].
- Ligia M Vélez. Facultad de Tecnologías, INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO. Permeabilidad y porosidad en el concreto. [Disponible en línea]. [http://bibliotecadigital.itm.edu.co/jspui/bitstream/123456789/190/1/Permeabilidad\\_Porosidad\\_Concreto.pdf](http://bibliotecadigital.itm.edu.co/jspui/bitstream/123456789/190/1/Permeabilidad_Porosidad_Concreto.pdf). [Consulta: 20 Mayo del 2015].
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Comisión Asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes (Ley 400 de 1997). Reglamento colombiano de Construcción sismo Resistente NSR-10. Bogotá, s.e., 2010. [Consultado 10 de junio de 2015]
- Norma Técnica Colombiana. NTC 92. Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados, 1995. [Consultado 7 de Abril del 2015]
- Norma Técnica Colombiana, NTC 127. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto, 2000. [Consultado 7 de Abril del 2015]

- Norma Técnica Colombiana. NTC 174. Especificaciones de los agregados para concreto, 2000. [Consultado 7 de Abril del 2015]
- Norma Técnica Colombiana, NTC 221. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico, 2011. [Consultado 7 de Abril del 2015]
- Norma Técnica Colombiana, NTC 237. Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y absorción del agregado fino, 1995. [Consultado 7 de Abril del 2015]
- Norma Técnica Colombiana, NTC 3493. Ingeniería civil y arquitectura. Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento portland.1993. [Consultado 20 Mayo 2015].
- Norma Técnica Colombiana, NTC 4024. Prefabricados de concreto. Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibro compactados, 2001. [Consultado 7 de Abril del 2015]
- Norma Técnica Colombiana 4026. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto para mampostería estructural. [Consulta: 9 de enero de 2014], 1997. [Consultado 7 de Abril del 2015]
- Norma Técnica Colombiana 4483. Ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua. [Consultado 7 de Abril del 2015]

## 9. ANEXOS

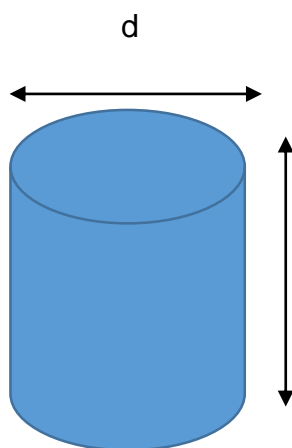
Anexo 1. Análisis granulométrico de los agregados finos.

MATERIAL:	CAPILLA		ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS FINOS		
PESO INICIAL:	3475	g			
PESO FINAL:	3466	g			
Malla No.	Abertura (mm)	Material retenido (g)	Retenido parcial (%)	Acumulado	% Pasa
1	25,4	33	0,95%	0,95%	99,05%
3/4	19	79	2,28%	3,23%	96,77%
1/2	12,7	137	3,95%	7,18%	92,82%
3/8	9,51	149	4,30%	11,48%	88,52%
4	4,76	735	21,21%	32,69%	67,31%
8	2,38	976	28,16%	60,85%	39,15%
16	1,19	737	21,26%	82,11%	17,89%
30	0,595	426	12,29%	94,40%	5,60%
50	0,297	144	4,15%	98,56%	1,44%
100	0,149	30	0,87%	99,42%	0,58%
200	0,074	16	0,46%	99,88%	0,12%
Fondo		4	0,12%	100,00%	0,00%

Anexo 2. Análisis granulométrico de los agregados gruesos.

Malla No.	Abertura (mm)	Material retenido (g)	Retenido parcial (%)	Acumulado	% Pasa
1	25,4		0,00%	0,00%	100,00%
3/4	19		0,00%	0,00%	100,00%
1/2	12,7	13	0,32%	0,32%	99,68%
3/8	9,51	9	0,22%	0,55%	99,45%
4	4,76	370	9,19%	9,74%	90,26%
8	2,38	544	13,51%	23,25%	76,75%
16	1,19	488	12,12%	35,37%	64,63%
30	0,595	868	21,56%	56,93%	43,07%
50	0,297	1315	32,66%	89,59%	10,41%
100	0,149	288	7,15%	96,75%	3,25%
200	0,074	108	2,68%	99,43%	0,57%
Fondo		23	0,57%	100,00%	0,00%

Anexo 3. Resultados ensayo masa unitaria suelta del agregado fino.



h =	15,63	Cm
d =	7,68	Cm
Peso =	1841	G

Volumen =	188,56	cm <sup>3</sup>
	0,02	m <sup>3</sup>

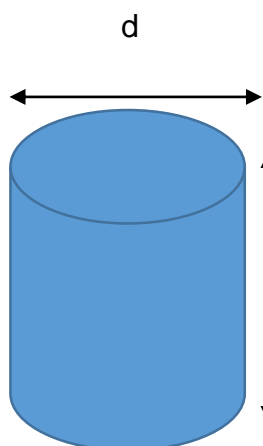
MATERIAL	CAPILLA
----------	---------

<b>SUELTA + MOLDE (g)</b>
2763,00
2800,00
2798,00

PROMEDIO	2787,00
----------	---------

M (g/cm <sup>3</sup> )	5,02
------------------------	------

Resultados ensayo masa unitaria suelta del agregado grueso.



h

h =	15,63	Cm
d =	7,68	Cm
Peso =	1841	G

Volumen =	188,56	cm <sup>3</sup>
	0,02	m <sup>3</sup>

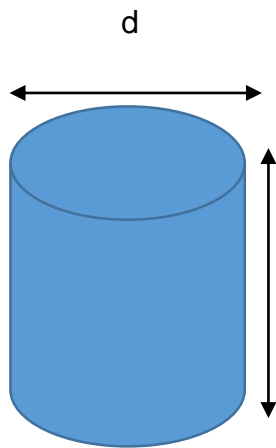
MATERIAL	PESCADERO
----------	-----------

<b>SUELTA+ MOLDE(g)</b>
2942,00
2936,00
2939,00

PROMEDIO	2939,00
----------	---------

M (g/cm <sup>3</sup> )	5,82
------------------------	------

Resultados ensayo masa unitaria compacta del agregado fino.



H

h =	15,63	Cm
d =	7,68	Cm
Peso =	1841	G

Volumen =	188,56	cm <sup>3</sup>
	0,02	m <sup>3</sup>

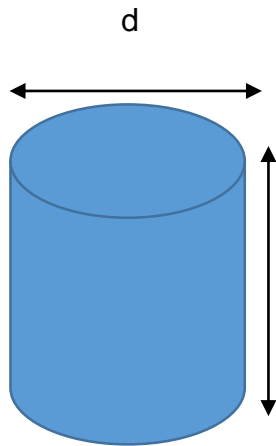
MATERIAL	CAPILLA
----------	---------

COMPACTADA + MOLDE (g)
2904
2917
2931

PROMEDIO	2917,33
----------	---------

M (g/cm <sup>3</sup> )	5,71
------------------------	------

Resultados ensayo masa unitaria compacta del agregado grueso.



h

h =	15,63	Cm
d =	7,68	Cm
Peso =	1841	G

Volumen =	188,56	cm <sup>3</sup>
	0,02	m <sup>3</sup>

MATERIAL	PESCADERO
----------	-----------

COMPACTADA+ MOLDE (g)
3073
3080
3078

PROMEDIO	3077
----------	------

M (g/cm <sup>3</sup> )	6,56
------------------------	------

Anexo 4. Resultados ensayo gravedad específica aparente del agregado fino.

Muestra =	CAPILLA
Frasco vacío (g) =	161
Frasco + agua (g) =	690
Frasco + Agua + Arena (g) =	985
Tazón (g) =	184
Muestra final =	658

Peso específico del agregado fino	
Picnómetro + Agua (g)	Picnómetro + Agua + Arena (g)
B. 690	C. 985
Masa inicial del suelo (g)	Masa final del suelo seco (g)
S. 500	A. 474
Gravedad específica Bulk	
Gsb 23/23 °C sp gr =	2,312
Gravedad específica Bulk Saturada	
Gsbsss 23/23 °C sp gr =	2,439
Gravedad específica Aparente	
Gsa 23/23 °C sp gr =	2,648
Absorción (%)	5,49

Anexo 5. Resultados ensayo gravedad específica aparente del agregado grueso.

Muestra =	
Frasco vacío (g) =	161
Frasco + agua (g) =	690
Frasco + Agua + Arena (g)=	996
Tazón (g) =	211
Muestra final (g)=	700

Peso específico del agregado grueso	
Picnómetro + Agua (g)	Picnómetro + Agua + Arena (g)
B. 690	C. 996
Masa inicial del suelo (g)	Masa final del suelo seco (g)
S. 500	A. 489
Gravedad específica Bulk	
Gsb 23/23 °C sp gr =	2,521
Gravedad específica Bulk Saturada	
Gsbsss 23/23 °C sp gr =	2,577
Gravedad específica Aparente	
Gsa 23/23 °C sp gr =	2,672
Absorción (%)	2,25

Anexo 6. Resultados del ensayo de porcentaje de absorción.

Bloques con 5% de adición de ceniza					
Espéimen	Peso natural (Pm)	Peso saturado (Ph)	Peso sumergido (Pss)	Peso seco (Ps)	Absorción (%)
1	11.1	11.81	6.57	11.05	14.5
2	11.31	11.97	6.74	11.27	13.38
3	11.15	11.92	6.66	11.11	15.4
4	11	11.75	6.84	10.97	15.89
5	11.13	11.94	6.69	11.09	16.19
6	11.28	12.06	6.93	11.23	16.18
7	11.1	11.95	6.73	11.07	16.86
8	11.12	12.01	6.92	11.09	18.07
9	11.24	12.03	6.95	11.19	16.54
10	11.45	12.24	7.05	11.4	16.18
11	11.33	12.13	7.01	11.29	16.41
12	11.3	12.1	7.04	11.26	16.6
MEDIA					16.02
$\sigma$					1.18

$\sigma$  = Desviación estándar

Bloques con 10% de adición de ceniza					
Espécimen	Peso natural (Pm)	Peso saturado (Ph)	Peso sumergido (Pss)	Peso seco (Ps)	Absorción (%)
1	12	12.51	7.15	11.93	10.82
2	11.11	11.82	6.92	11.05	15.71
3	11.67	12.22	7.03	11.61	11.75
4	11.42	12.02	6.97	11.38	12.67
5	11.14	11.86	6.7	11.09	14.92
6	11.1	11.77	6.88	11.03	15.13
7	12.3	12.92	7.2	12.23	12.06
8	10.64	11.5	6.3	10.59	17.5
9	11.51	12.15	6.98	11.48	12.96
10	11.39	12.03	6.89	11.32	13.81
11	11.41	12.01	6.92	11.37	12.57
12	10.93	11.72	6.42	10.87	16.04
MEDIA					13.83
$\sigma$					2.02

$\sigma$  = Desviación estándar

Bloques con 15% de adición de ceniza					
Espécimen	Peso natural (Pm)	Peso saturado (Ph)	Peso sumergido (Pss)	Peso seco (Ps)	Absorción (%)
1	11.71	12.3	6.9	11.65	12.04
2	11.53	12.12	6.78	11.48	11.99
3	11.6	12.3	6.8	11.56	13.45
4	11.57	12.17	6.81	11.5	12.5
5	11.7	12.33	6.85	11.67	12.04
6	11.43	12.03	6.65	11.39	11.9
7	11.64	12.24	6.85	11.63	11.32
8	11.67	12.27	6.89	11.61	12.27
9	11.36	12.01	6.61	11.3	13.15
10	11.02	11.84	6.41	10.97	16.02
11	11.49	12.11	6.69	11.45	12.18
12	11.7	12.27	6.91	11.68	11.01
MEDIA					12.49
$\sigma$					1.30

$\sigma$  = Desviación estándar

Anexo 7. Resultados del ensayo de contenido de humedad.

Bloques con 5% de adición de ceniza					
Espécimen	Peso natural (Pm)	Peso saturado (Ph)	Peso sumergido (Pss)	Peso seco (Ps)	% Contenido de humedad
1	11.10	11.81	6.57	11.05	6.58
2	11.31	11.97	6.74	11.27	5.71
3	11.15	11.92	6.66	11.11	4.94
4	11.00	11.75	6.84	10.97	3.85
5	11.13	11.94	6.69	11.09	4.71
6	11.28	12.06	6.93	11.23	6.02
7	11.10	11.95	6.73	11.07	3.41
8	11.12	12.01	6.92	11.09	3.26
9	11.24	12.03	6.95	11.19	5.95
10	11.45	12.24	7.05	11.40	5.95
11	11.33	12.13	7.01	11.29	4.76
12	11.30	12.10	7.04	11.26	4.76
MEDIA					4.99
$\sigma$					1.08

$\sigma$  = Desviación estándar

Bloques con 10% de adición de ceniza					
Espécimen	Peso natural (Pm)	Peso saturado (Ph)	Peso sumergido (Pss)	Peso seco (Ps)	% Contenido de humedad
1	12.00	12.51	7.15	11.93	12.07
2	11.11	11.82	6.92	11.05	7.79
3	11.67	12.22	7.03	11.61	9.84
4	11.42	12.02	6.97	11.38	6.25
5	11.14	11.86	6.70	11.09	6.49
6	11.10	11.77	6.88	11.03	9.46
7	12.30	12.92	7.20	12.23	10.14
8	10.64	11.50	6.30	10.59	5.49
9	11.51	12.15	6.98	11.48	4.48
10	11.39	12.03	6.89	11.32	9.86
11	11.41	12.01	6.92	11.37	6.25
12	10.93	11.72	6.42	10.87	7.06
MEDIA					7.93
$\sigma$					2.30

$\sigma$  = Desviación estándar

Bloques con 15% de adición de ceniza					
Espécimen	Peso natural (Pm)	Peso saturado (Ph)	Peso sumergido (Pss)	Peso seco (Ps)	% Contenido de humedad
1	11.71	12.30	6.90	11.65	9.23
2	11.53	12.12	6.78	11.48	7.81
3	11.60	12.30	6.80	11.56	5.41
4	11.57	12.17	6.81	11.50	10.45
5	11.70	12.33	6.85	11.67	4.55
6	11.43	12.03	6.65	11.39	6.25
7	11.64	12.24	6.85	11.63	1.64
8	11.67	12.27	6.89	11.61	9.09
9	11.36	12.01	6.61	11.30	8.45
10	11.02	11.84	6.41	10.97	5.75
11	11.49	12.11	6.69	11.45	6.06
12	11.70	12.27	6.91	11.68	3.39
MEDIA					6.51
$\sigma$					2.60

$\sigma$  = Desviación estándar

Anexo 8. Resultados del ensayo de densidad.

Dimensiones del prefabricado		mm		M	
		390	140	0,39	0,14
Huecos:		81	151	0,081	0,151
Áreas	Área neta m <sup>2</sup>	Área bruta m <sup>2</sup>		Área Afectada mm <sup>2</sup>	
	0,006552	0,00361656		30138	

Piloto 0%		
Espécimen	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
1	11.40	3152.17
2	11.41	3154.93
3	11.47	3171.52
4	11.60	3207.47
5	11.62	3213.00
6	11.65	3221.29
7	11.68	3229.59
8	11.78	3257.24
9	11.80	3262.77
10	11.89	3287.65
11	12.00	3318.07
12	12.00	3318.07
13	12.00	3318.07
14	12.15	3359.55
15	12.24	3384.43
16	12.24	3384.43
MEDIA	11.81	3265.02
$\sigma$	0.28	77.14

$\sigma$  = Desviación estándar

Piloto 5%		
Espécimen	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m3)
1	11.33	3132.81
2	11.55	3193.64
3	11.60	3207.47
4	11.65	3221.29
5	11.66	3224.06
6	11.69	3231.25
7	11.73	3243.41
8	11.74	3246.18
9	11.76	3251.71
10	11.81	3265.53
11	11.85	3276.59
12	11.88	3284.89
13	11.93	3298.71
14	11.95	3304.24
15	12.00	3318.07
16	12.00	3318.07
MEDIA	11.76	3251.12
$\sigma$	0.18	49.90

$\sigma$  = Desviación estándar

Piloto 10%		
Espécimen	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
1	10.99	3038.8
2	11.28	3118.99
3	11.36	3141.11
4	11.41	3154.93
5	11.41	3154.93
6	11.46	3168.76
7	11.46	3168.76
8	11.54	3190.88
9	11.54	3190.88
10	11.73	3243.41
11	11.82	3268.3
12	11.87	3282.12
13	11.91	3293.18
14	11.92	3295.95
15	12.02	3323.6
16	12.1	3345.72
MEDIA	11.61	3211.27
$\sigma$	0.31	84.80

$\sigma$  = Desviación estándar

Piloto 15%		
Espécimen	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m3)
1	11.31	3127.28
2	11.33	3132.81
3	11.36	3141.11
4	11.40	3152.17
5	11.50	3179.82
6	11.55	3193.64
7	11.64	3218.53
8	11.74	3246.18
9	11.76	3251.71
10	11.77	3254.47
11	11.86	3279.36
12	11.88	3284.89
13	11.89	3287.65
14	11.92	3295.95
15	11.98	3312.54
16	12.12	3351.25
MEDIA	11.69	3231.84
$\sigma$	0.25	70.16

$\sigma$  = Desviación estándar

Anexo 9. Diseños de las mezclas realizadas.

MEZCLA PILOTO 0% CENIZA	
b =	0,420
bo =	0,557
B =	0,234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0,85
Cantidad de agua	180

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0,0695
Agregado Fino	625	2672	0,2337
Agregado Grueso	1368	2648	0,5168
Agua	180	1000	0,1800

MEZCLA CON 5% DE CENIZA	
b =	0,420
bo =	0,557
B =	0,234

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0,85
Cantidad de agua	180
Ceniza (%)	5%

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0,0695
Agregado Fino	625	2672	0,2337
Agregado Grueso	1353	2648	0,5108
Agua	180	1000	0,1800
Ceniza	11	1764	0,0060

**MEZCLA CON 10 % DE CENIZA**

b =	0,420
bo =	0,557
B =	0,234

**Agregado Grueso**

Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0,85
Cantidad de agua	180
Ceniza (%)	10%

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0,0695
Agregado Fino	625	2672	0,2337
Agregado Grueso	1337	2648	0,5048
Agua	180	1000	0,1800
Ceniza	21	1764	0,0120

**MEZCLA CON 15% DE CENIZA**

b =	0,420
bo =	0,557
B =	0,234

**Agregado Grueso**

Masa Unitaria Compacta	1487
Gravedad Especifica Aparente	2672

Relación A/C	0,85
Cantidad de agua	180
Ceniza (%)	15%

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	212	3047	0,0695
Agregado Fino	625	2672	0,2337
Agregado Grueso	1321	2648	0,4988
Agua	180	1000	0,1800
Ceniza	32	1764	0,0180

Anexo 10. Resultados del ensayo de permeabilidad y porosidad de los bloques.

Dimensiones					
Bloques (m)			Huecos (m)		
Altura (h)	Anchura (w)	Profundidad (d)	Altura (h')	Anchura (w')	Profundidad (d')
0,19	0,39	0,14	0,19	0,15	0,08
Espesor del bloque		0,03	Área 2 huecos (m <sup>2</sup> )	Volumen 2 huecos (m <sup>3</sup> )	Volumen de H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> )
			0,024	0,00456	0,00456

Ensayo de Permeabilidad								
Espécimen	Hora de inicio	Hora final	Tiempo transcurrido	Tiempo en segundos	Q (m <sup>3</sup> )	H (m)	L (m)	Permeabilidad (m/s)
1	09:06 a.m.	12:03:00 p.m.	2:57	10620	4.29E-04	0.19	0.03	2.66E-05
2	09:08 a.m.	11:53:00 a.m.	2:45	9900	4.61E-04	0.19	0.03	3.06E-05
3	09:10 a.m.	12:05:00 p.m.	2:55	10500	4.34E-04	0.19	0.03	2.72E-05
4	09:12 a.m.	12:11:00 p.m.	2:59	10740	4.25E-04	0.19	0.03	2.60E-05
5	09:14 a.m.	11:48:00 a.m.	2:34	9240	4.94E-04	0.19	0.03	3.51E-06
6	09:16 a.m.	12:10:00 p.m.	2:54	10440	4.37E-04	0.19	0.03	2.75E-05
7	09:18 a.m.	12:19:00 p.m.	3:01	10860	4.20E-04	0.19	0.03	2.54E-05
8	09:20 a.m.	12:05:00 p.m.	2:45	9900	4.61E-04	0.19	0.03	3.06E-05
9	09:22 a.m.	11:59:00 a.m.	2:37	9420	4.84E-04	0.19	0.03	3.38E-06
10	09:24 a.m.	12:20:00 p.m.	2:56	10560	4.32E-04	0.19	0.03	2.69E-05
PROMEDIO			2:50	10218	4.48E-04	0.19	0.03	2.28E-05
σ			0:09	566.427	2.58E-05	0	0	1.03E-05