

**EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA DE CONCRETO DE 3000 PSI MODIFICADO  
CON RESIDUO DE MINERÍA DE YESO NO TRATADO QUÍMICAMENTE**

**PRESENTADO POR:**

**ANGIE JULIETH CALDERÓN MUÑOZ**

**ID:267272**

**CRISTIAN PALACIOS CARRILLO**

**ID: 273710**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2018**

**EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA DE CONCRETO DE 3000 PSI MODIFICADO  
CON RESIDUO DE MINERÍA DE YESO NO TRATADO QUIMÍCAMENTE**

**PRESENTADO POR:**

**ANGIE JULIETH CALDERÓN MUÑOZ**

**ID:267272**

**CRISTIAN PALACIOS CARRILLO**

**ID: 273710**

**DIRECTOR:**

**Ing. MSc. LUDWING PEREZ BUSTOS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2018**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Firma presidente del Jurado

---

Firma Jurado N°1

---

Firma Jurado N°2

Bucaramanga, 5 Diciembre 2018

***Este proyecto va dedicado primero que todo a Dios  
y a la Santísima Virgen María por haberme iluminado  
durante esta etapa en la cual se cumple una nueva meta;  
a mi padre Héctor Julio Calderón Ortega y a mi madre Jenny  
Lizeth Muñoz por el apoyo incondicional, el amor y enseñanzas  
que me brindaron y a mi hermana María José Calderón  
que siempre estuvo conmigo incondicionalmente.***

**ANGIE JULIETH CALDERÓN MUÑOZ**

*En primer lugar, a Dios y la santísima Virgen que me acompañan en cada instante de mi vida, a mis padres Cristian y Stella por el apoyo constante, incondicional y por la confianza puesta en mi para alcanzar esta meta, a mi hermana Brigith, quien siempre me ha respaldado y acompañado en todo momento y a mis abuelos José (q.e.p.d.), María, Raúl y Eduvigés que siempre han visto en mi un potencial para lograr lo que me propongo, a todos ellos muchas gracias.*

**CRISTIAN PALACIOS CARRILLO**

## AGRADECIMIENTOS

*Queremos agradecer en primer lugar a Dios y a la Virgen María por permitirnos llegar hasta aquí y culminar con éxito nuestros estudios.*

*A nuestros padres, hermanas y abuelos por apoyarnos en este largo camino.*

*A nuestro director Ing. Msc Ludwing Pérez Bustos por el interés demostrado durante la planificación y posterior organización de nuestro proyecto, además por el tiempo dispensado para efecto de asesorías y consultas pertinentes al tema. De igual forma al ingeniero Elkin Mauricio López Morantes e ingeniero Gustavo Andrés Ospina Idárraga por sus comentarios y observaciones presentadas durante la realización de la investigación.*

*Agradezco al Msc. William Mantilla Orduz por el enfoque a la realización de este proyecto para contribuir a diezmar el problema ambiental que se está generando por estos residuos.*

*Al personal del laboratorio Sergio Álvarez Naranjo por su colaboración durante los ensayos realizados para el proyecto.*

**ANGIE JULIETH CALDERÓN MUÑOZ**  
**CRISTIAN PALACIOS CARRILLO**

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCCIÓN.....	19
2. OBJETIVOS .....	21
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3. PLANTEAMIENTO PROBLEMA.....	22
3.1 Definición de problema.....	22
3.2 Alcance .....	23
3.3 Justificación .....	24
4. ESTADO DEL ARTE.....	25
5. MARCO TEORICO.....	29
5.1 Concreto .....	29
5.1.1 Propiedades del concreto fresco.....	29
5.1.2 Las propiedades del concreto en estado endurecido .....	31
5.1.3 Resistencia a compresión del concreto .....	32
5.1.4 Factores que influyen en la resistencia del concreto.....	33
5.2 Materiales para la elaboración del concreto.....	37
5.2.1 Cemento.....	37
5.2.2 Agregados para concreto .....	39
5.2.3 Agua.....	41
5.2.4 Estéril de yeso.....	42
5.3 ESTADISTICA .....	43
5.3.1 Diagram boxplots or box and whiskers .....	43
5.3.2 Media de tendencia central: media aritmética.....	44
5.3.3 Mediana.....	44
5.3.4 Varianza .....	45
5.3.5 Desviación estándar .....	46
5.3.6 Rango .....	46
6. METODOLOGÍA.....	47
6.1 Caracterización de los agregados.....	47

6.1.1	Análisis granulométrico de los agregados gruesos y agregados finos	47
6.1.2	Resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4") por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.	50
6.1.3	Masa unitaria compacta y masa unitaria suelta de los agregados finos y agregados gruesos.	51
6.1.4	Índice de alargamiento e índice de aplanamiento del agregado grueso	52
6.1.5	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.	54
6.1.6	Ensayo de contenido de materia orgánica para agregado fino	56
6.1.7	Densidad del cemento	57
6.1.7	Consistencia normal del cemento	58
6.1.9	Método de ensayo para determinar los tiempos de fraguado de cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.	59
6.1.10	Asentamiento	60
6.1.11	Ensayo de microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscopy)	61
6.1	DISEÑO DE MEZCLA	62
6.2	ENSAYO AL CONCRETO	68
6.3.1	Ensayo de compresión de cilindro de concreto	68
6.3.2	Ensayo de flexión.	70
7.	RESULTADOS	71
7.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	71
7.1.1	Granulometría	71
7.1.2	Gravedad específica y absorción, desgaste en la máquina de los ángeles, masa unitaria suelta y masa unitaria compacta	73
7.1.3	Índice de aplanamiento e índice de alargamiento	74
7.2	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO	76
7.2.1	Densidad del cemento	76
7.2.2	Consistencia normal	77
7.2.3	Tiempos de fraguado	78
7.3	DISEÑO DE MEZCLA	79
7.3.1	Diseño de mezcla convencional y cantidades	79
7.3.2	Diseño de mezcla de 3000 psi con sustitución del agregado grueso con estéril de yeso	82



7.4	Resistencia a la compresión .....	85
7.4.1	Diagrama de caja y bigotes .....	86
7.4.2	Resultados de ensayo de compresión 7, 14,28 días.....	89
7.4.3	Resultados ensayo de flexión 28 días .....	89
7.5	Ensayo de microscopio electrónico de barrio o SEM (Scanning Electron Microscopy).....	90
8.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	92
8.1	Caracterización del agregado grueso (convencional – estéril de yeso) y agregado fino.....	92
8.2	Análisis estadístico, resistencia a la compresión.....	96
1.1	Crecimiento de la resistencia a compresión en las mezclas de concreto. 100	
8.4	Comparación resistencia a compresión de las mezclas de concreto.....	101
8.5	Análisis resultados ensayo de flexión.....	102
9	CONCLUSIONES.....	104
10.	RECOMENDACIONES .....	107
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	108
12.	ANEXOS .....	111
12.1	Resultados de ensayos de compresión en días 7, 14, 28 días .....	111
12.2	Resultados ensayo de flexión 28 días .....	117
12.3	Imágenes ensayos de SEM.....	118
12.4	Crecimiento resistencia a la compresión mezclas de concreto. ....	119
12.5	Prueba de normalidad .....	121
13.	RESPUESTA A OBSERVACIONES.....	128

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Curado del concreto. ....	31
<b>Ilustración 2.</b> Diagrama caja de bigotes. ....	44
<b>Ilustración 3.</b> Análisis granulométrico arena y triturado. ....	49
<b>Ilustración 4.</b> Desgaste de la máquina de los ángeles. ....	51
<b>Ilustración 5.</b> Masa unitaria suelta y compacta de agregados. ....	52
<b>Ilustración 6.</b> Ensayo alargamiento del agregado grueso. ....	54
<b>Ilustración 7.</b> Ensayo densidad del agregado grueso. ....	55
<b>Ilustración 8.</b> Ensayo densidad del agregado fino. ....	55
<b>Ilustración 9.</b> Ensayo de contenido de materia orgánica- arena. ....	56
<b>Ilustración 10.</b> Ensayo densidad del cemento. ....	57
<b>Ilustración 11.</b> Ensayo de consistencia normal del cemento. ....	58
<b>Ilustración 12.</b> Ensayo de tiempos de fraguado del cemento hidráulico. ....	59
<b>Ilustración 13.</b> Ensayo de asentamiento. ....	60
<b>Ilustración 14</b> Ensayo de SEM (estéril de yeso). ....	61
<b>Ilustración 15.</b> Esquema de los modelos de fracturas típicos. ....	69
<b>Ilustración 16.</b> Ensayo a compresión de cilindro. ....	69
<b>Ilustración 17.</b> Ensayo de flexión. ....	70
<b>Ilustración 18.</b> Ensayo de SEM. ....	91
<b>Ilustración 19.</b> Ensayo de SEM (zoom: 1000x) ....	119
<b>Ilustración 20.</b> Ensayo de SEM (zoom: 10000x) ....	119

## LISTADO DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> Resistencia y la relación agua-cemento para concreto con aire y sin aire incluido. ....	33
<b>Gráfica 2.</b> Eficiencia del cemento en kg/cm <sup>3</sup> contra kg/cm <sup>3</sup> . ....	34
<b>Gráfica 3.</b> Curva típica de correspondencia entre la resistencia media a la compresión y la relación agua-cemento del concreto con diferentes edades. ....	36
<b>Gráfica 4.</b> Consistencia normal del cemento. ....	77
<b>Gráfica 5.</b> Diagrama caja-bigotes, ensayo compresión 7 días. ....	86
<b>Gráfica 6.</b> Diagrama caja-bigotes, ensayo compresión 14 días. ....	87
<b>Gráfica 7.</b> Diagrama caja-bigotes, ensayo compresión 28 días. ....	88
<b>Gráfica 8.</b> Muestra Gráfica resultados de ensayo de SEM. ....	91
<b>Gráfica 9.</b> Curva granulométrica del agregado fino. ....	92
<b>Gráfica 10.</b> Granulometría estéril de yeso. ....	93
<b>Gráfica 11.</b> Granulometría agregado grueso convencional. ....	93
<b>Gráfica 12.</b> Comparación de ensayo en la máquina de los ángeles. ....	94
<b>Gráfica 13.</b> Comparación MUC y MUS del agregado grueso convencional y estéril de yeso. ....	95
<b>Gráfica 14.</b> Curvas normales de frecuencia – Resistencia a la compresión, 7 días. ....	97
<b>Gráfica 15.</b> Curvas normales de frecuencia – Resistencia a la compresión, 14 días. ....	98
<b>Gráfica 16.</b> Curvas normales de frecuencia – Resistencia a la compresión, 28 días. ....	99
<b>Gráfica 17.</b> Crecimiento de la resistencia a la compresión en las mezcla convencional y mezclas con sustitución de 100%, 75% y 50% de estéril de yeso	100
<b>Gráfica 18.</b> Comparación resistencia a compresión de las mezclas de concreto.	102
<b>Gráfica 19.</b> Análisis ensayo de flexión. ....	102
<b>Gráfica 20.</b> Crecimiento resistencia a la compresión en mezcla de concreto. ....	119

<b>Gráfica 21.</b> Crecimiento resistencia a la compresión en mezcla de concreto con sustitución 100% estéril de yeso.....	120
<b>Gráfica 22.</b> Crecimiento de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto con sustitución del 75% estéril de yeso. ....	121
<b>Gráfica 23.</b> Crecimiento de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto con sustitución del 50% de estéril de yeso.....	121
<b>Gráfica 24.</b> Prueba de normalidad - convencional 7 días. ....	121
<b>Gráfica 25.</b> Prueba de normalidad- convencional 14 días. ....	122
<b>Gráfica 26.</b> Prueba de normalidad- mezcla convencional 28 días. ....	122
<b>Gráfica 27.</b> Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 100%-7 días. ....	123
<b>Gráfica 28.</b> Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 100%-14 días. ....	123
<b>Gráfica 29.</b> Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 100%-28 días.....	124
<b>Gráfica 30.</b> Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 75%-7 días.....	125
<b>Gráfica 31.</b> Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 75%-14 días.....	125
<b>Gráfica 32.</b> Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 75%-28 días.....	125
<b>Gráfica 33.</b> Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 50%-7 días. ....	126
<b>Gráfica 34.</b> ..Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 50%-14 días. ....	126
<b>Gráfica 35.</b> ..Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 50%-28 días. ....	127

## LISTADO DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> relacion agua-cemento expresada en volumen.....	35
<b>Ecuación 2.</b> Relación agua-cemento expresada logarítmicamente .....	36
<b>Ecuación 3.</b> Ley de Duff Abrams .....	36
<b>Ecuación 4.</b> Reacción química del cemento por Federit Merrit .....	38
<b>Ecuación 5.</b> Reacción química del cemento .....	38
<b>Ecuación 6.</b> Media aritmética .....	44
<b>Ecuación 7.</b> Mediana datos no agrupados .....	45
<b>Ecuación 8.</b> Mediana datos agrupados.....	45
<b>Ecuación 9.</b> Varianza .....	46
<b>Ecuación 10.</b> Desviación estándar .....	46
<b>Ecuación 11.</b> Desviación Estándar simplificada .....	46
<b>Ecuación 12.</b> Rango.....	46
<b>Ecuación 13.</b> Índice de alargamiento. ....	53
<b>Ecuación 14.</b> Índice de aplanamiento. ....	54
<b>Ecuación 15.</b> Densidad del cemento.....	57
<b>Ecuación 16.</b> Cantidad de cemento. ....	66
<b>Ecuación 17.</b> Volumen de cemento.....	66
<b>Ecuación 18.</b> Calculo Bo. ....	67
<b>Ecuación 19.</b> Volumen de grava por metro cubico. ....	67
<b>Ecuación 20.</b> Volumen de arena. ....	67
<b>Ecuación 21.</b> Fuerza. ....	68
<b>Ecuación 22.</b> Esfuerzo.....	68
<b>Ecuación 23.</b> Módulo de rotura. ....	70
<b>Ecuación 24.</b> Consistencia normal del cemento. ....	77
<b>Ecuación 25.</b> Cantidad de cemento.....	80

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los agregados según su tamaño.....	41
<b>Tabla 2.</b> Tamaño de muestras. ....	48
<b>Tabla 3.</b> Tamaño máximo nominal agregado grueso.....	49
<b>Tabla 4.</b> Cantidades de material para ensayo de desgaste dependiendo del tipo de granulometría. ....	50
<b>Tabla 5.</b> Masa mínima de la muestra de ensayo después del rechazo de partículas grandes y pequeñas.....	53
<b>Tabla 6.</b> Tabla de color Gamed. ....	56
<b>Tabla 7.</b> Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colación y compactación.....	63
<b>Tabla 8.</b> Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregados.....	64
<b>Tabla 9.</b> Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido.....	65
<b>Tabla 10.</b> Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar. ....	65
<b>Tabla 11.</b> Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua-cemento para los cementos colombianos, portland tipo I, en concreto sin aire incluido. ....	66
<b>Tabla 12.</b> Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto. ....	67
<b>Tabla 13.</b> Granulometría agregado grueso convencional. ....	71
<b>Tabla 14.</b> Granulometría agregado grueso (estéril de yeso). ....	72
<b>Tabla 15.</b> Granulometría agregado fino.....	72
<b>Tabla 16.</b> Resumen de resultados de la clasificación de los agregados tamaño máximo nominal y módulo de finura de la arena.....	73
<b>Tabla 17.</b> Resultados caracterización agregados.....	74

<b>Tabla 18.</b> Índice de aplanamiento material convencional.....	75
<b>Tabla 19.</b> Índice de alargamiento material convencional.....	75
<b>Tabla 20.</b> Índice de aplanamiento de Estéril de yeso.....	76
<b>Tabla 21.</b> Índice de alargamiento de Estéril de yeso. ....	76
<b>Tabla 22.</b> Datos ensayo de tiempo de fraguado del cemento. ....	78
<b>Tabla 23.</b> Cantidades de diseño de mezcla concreto convencional. ....	81
<b>Tabla 24.</b> Cantidades de diseño de mezcla concreto con estéril de yeso. ....	85
<b>Tabla 25.</b> Datos diagrama caja -bigotes, ensayo compresión 7 días. ....	86
<b>Tabla 26.</b> Datos diagrama caja -bigotes, ensayo compresión 14 días.....	87
<b>Tabla 27.</b> Datos diagrama caja -bigotes, ensayo compresión 28 días.....	88
<b>Tabla 28.</b> Promedio resultados de ensayos de compresión 7, 14,28 días .....	89
<b>Tabla 29.</b> Promedio ensayo de flexión 28 días. ....	89
<b>Tabla 30.</b> Resultados ensayos de SEM, material estéril de yeso .....	90
<b>Tabla 31.</b> Análisis estadístico, mezcla de concreto 7 días. ....	96
<b>Tabla 32.</b> Análisis estadístico mezclas de concreto 14 días.....	97
<b>Tabla 33.</b> Análisis estadístico mezcla de concreto 28 días.....	98
<b>Tabla 34.</b> Ensayo a compresión mezcla convencional- 7 día.....	111
<b>Tabla 35.</b> Ensayo a compresión con sustitución del 100% estéril de yeso- 7 días. .....	111
<b>Tabla 36.</b> Ensayo a compresión con sustitución del 75% estéril de yeso- 7 días. 112	112
<b>Tabla 37.</b> Ensayo a compresión con sustitución del 75% estéril de yeso- 7 días. 112	112
<b>Tabla 38.</b> Ensayo a compresión con sustitución del 50% estéril de yeso- 7 días. 113	113
<b>Tabla 39.</b> Ensayo a compresión mezcla convencional- 14 días.....	113
<b>Tabla 40.</b> Ensayo a compresión con sustitución del 100% estéril de yeso- 14 días. .....	114
<b>Tabla 41.</b> Ensayo a compresión con sustitución del 75% estéril de yeso- 14 días.114	114
<b>Tabla 42.</b> Ensayo a compresión con sustitución del 50% estéril de yeso- 14 días. .....	115
<b>Tabla 43.</b> Ensayo a compresión mezcla convencional- 28 días.....	115
<b>Tabla 44.</b> Ensayo a compresión con sustitución del 100% estéril de yeso- 14 días. .....	116

<b>Tabla 45.</b> Ensayo a compresión con sustitución del 75% estéril de yeso- 14 días. .....	116
<b>Tabla 46.</b> Ensayo a compresión mezcla con sustitución 50% estéril de yeso -28 días. .....	117
<b>Tabla 47.</b> Resultados de ensayo flexión, mezcla convencional .....	117
<b>Tabla 48.</b> Resultados ensayos de flexión, mezcla con sustitución estéril de yeso 100%.....	117
<b>Tabla 49.</b> Resultados ensayos de flexión, mezcla con sustitución 75% estéril de yeso.....	118
<b>Tabla 50.</b> Resultados ensayos de flexión, mezcla con sustitución 50% estéril de yeso.....	118



**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA DE CONCRETO DE 3000 PSI MODIFICADO CON RESIDUO DE MINERÍA DE YESO NO TRATADO QUÍMICAMENTE

**AUTOR(ES):** ANGIE JULIETH CALDERON MUÑOZ  
CRISTIAN PALACIOS CARRILLO

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** MSc. Ing LUDWING PEREZ BUSTOS

**RESUMEN**

El desarrollo sostenible y el cuidado del medio ambiente en la actualidad son temas de gran interés en el mundo, debido a esto surge la necesidad de disminuir el impacto ambiental ocasionado por los diferentes residuos que generan las industrias. En la ingeniería civil una de la materia prima más empleada es el concreto, compuesta por cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y aire; este proyecto planteó sustituir el agregado grueso por residuo de minería de yeso (estéril de yeso) en una mezcla de concreto diseñada para obtener una resistencia a la compresión de 3000 PSI, en porcentajes de 100%, 75% y 50% que fueron comparadas con una mezcla convencional, adicional a esto también se evaluó la resistencia a flexión de los especímenes. Se empleó el estéril de yeso proveniente de los Santos-Santander, ya que actualmente este material es acumulado en series de pilas alrededor de las minas en el municipio, no tiene un uso funcional y genera gran impacto ambiental en la zona. El mejor resultado de las mezclas con adición de estéril de yeso fue en la mezcla que sustituía el 50% del material grueso, obteniendo una resistencia a compresión de 2538,27 PSI y un módulo de rotura de 28,62 kg/cm<sup>2</sup> el cual puede ser empleada en losas, sardineles, andenes.

**PALABRAS CLAVE:**

Estéril de yeso, mezcla, concreto, agregado grueso, impacto ambiental.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** EVALUATION OF A CONCRETE MIXTURE OF 3000 PSI MODIFIED WITH CHEMICALLY NON-TREATED GAS MINING RESIDUE

**AUTHOR(S):** ANGIE JULIETH CALDERON MUÑOZ  
CRISTIAN PALACIOS CARRILLO

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** MSc. Ing LUDWING PEREZ BUSTOS

**ABSTRACT**

Sustainable development and environmental's care are currently issues of great interest in the world, for this reason there is a need to reduce the environmental impact caused by the different waste generated by industries. In civil engineering one of the most used raw material is concrete, composed by cement, fine aggregate, coarse aggregate, water and air; This project proposed replacing coarse aggregate with plaster mining waste (sterile plaster) in a concrete mix designed to obtain a compressive strength of 3000 PSI, in percentages of 100%, 75% and 50% that were compared with a conventional mixture, additionally the flexural strength of the specimens was also evaluated. The sterile plaster from Los Santos-Santander was used, because currently this material is accumulated in series of piles around the mines in the region, it doesn't have a functional use and generates a great environmental impact in the area. The best result of the mixtures with addition of sterile plaster was in the mixture that replaced the 50% of the coarse material, obtaining a resistance to compression of 2538,27 PSI and a rupture's module of 28,62 kg/cm<sup>2</sup> which can be used in slabs, sardine, platforms.

**KEYWORDS:**

Sterile plaster, mix, concrete, coarse aggregate, environmental impact.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible son unos de los temas más usados en la sociedad; el objetivo de esta investigación es evaluar el comportamiento de un material, el cual producto de los procesos de extracción en la minería de yeso, incorporándolo en una mezcla de concreto y determinando, si realmente su uso será de beneficio en el campo de la construcción y con esto lograr una disminución en la carga ambiental que se está produciendo por el abandono de dicho material.

El concreto es uno de los materiales más usados en el campo de la construcción debido a su funcionalidad, es decir uso estructural y no estructural, también su forma (si se puede moldear o no) y por último su factor económico, ya que ha tenido un desarrollo en su tecnología. Gracias a que el concreto posee propiedades como su adaptabilidad se puede usar en los diferentes tipos de estructuras como edificaciones, casas, fábricas, puentes, calles, canales, entre otros. (SANCHEZ DE GUZMAN , 2001)

El concreto u hormigón es una mezcla de un material relleno, que son los agregados o áridos, un material aglutinante cemento, agua y aditivos los cuales forman un todo compacto que se endurece y después de un tiempo determinado, es capaz de soportar grandes esfuerzos a compresión. (Parra & Bautista, 2010)

La reacción del cemento y el agua es indispensable ya que interactúan químicamente uniendo las partículas del agregado para que se forme una masa sólida y poder proporcionar a la mezcla la trabajabilidad necesaria obteniendo la forma deseada antes de que empiece el tiempo de fraguado. (SANCHEZ DE GUZMAN , 2001)

Se estudió e investigó el estéril de yeso; es un material el cual se encuentra ubicado en la mina de yeso del municipio de los Santos, Santander; este producto es generalmente puesto en bancos alrededor de la mina ocupando un volumen

considerable de espacio y produciendo un impacto ambiental en la zona que se encuentra; este residuo se obtiene del procedimiento de extracción, transporte y procesamiento del yeso, este material no sufre modificaciones químicas que afecten la naturaleza de los elementos y está compuesto principalmente por arenisca y lodos calcáreos.

Se han realizado estudios, en el año 2009, se determinó que el material puede ser usado como un material alternativo para la producción de cemento; el estudio hecho en el año 2012 dio como resultado que es viable el reemplazo de un 20% de arcilla por residuo de yeso en la fabricación de bloques cerámicos. (universidad Politécnica de Cataluña, 2010)

Este proyecto realizará la comparación entre el concreto convencional y el concreto con estéril de yeso, caracterizándolo y realizándole ensayos de compresión y flexión. Seguido de esto se encontrará el planteamiento problema donde se estará evaluando y analizando lo que se desea mejorar e incluir al utilizar estéril de yeso como sustitución del agregado grueso en una mezcla de concreto para uso comercial. Continuamente una revisión bibliográfica donde se permiten analizar los diferentes estudios que se han realizado con dicho material y que resultados se han obtenido, a este capítulo es llamado estado del arte. En el capítulo siguiente, marco teórico, se evidencia la teoría sobre el concreto y el estéril de yeso. Posteriormente se describe la metodología usada donde se citan los ensayos que se efectuaron para la caracterización de los materiales amparados bajo la Norma Técnica Colombiana NTC, las normas técnicas INVIAS y los lineamientos del diseño de mezcla de acuerdo con la norma ACI-211. El capítulo de resultados muestra de manera cualitativa y cuantitativa cada uno de los resultados de los ensayos propuestos y por último conclusiones de los resultados obtenidos, dando a conocer si el material usado es apto para emplearlo en el campo de la ingeniería civil.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el comportamiento del residuo proveniente de las minas de yeso en el departamento de Santander como agregado grueso para la elaboración de concretos de 3000 PSI de resistencia, mediante la caracterización físico-mecánica.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el estéril de yeso mediante los ensayos de granulometría, desgaste, aplanamiento y alargamiento de partículas, masa unitaria compacta y masa unitaria suelta para ser usado como sustituto del agregado grueso.
- Diseñar una mezcla de concreto con resistencia a la compresión de 3000 psi con sustitución del 50%, 75% y 100% del agregado grueso por estéril de yeso.
- Elaborar los especímenes a partir del diseño de mezcla para la realización de los ensayos mecánicos.
- Evaluar la resistencia a la compresión de cilindro de concreto modificado con estéril de yeso a edades de 7, 14 y 28 días de curado.
- Evaluar la resistencia última a tensión del concreto modificado con estéril de yeso en una viga mediante ensayos de flexión.

### **3. PLANTEAMIENTO PROBLEMA**

#### **3.1 Definición de problema**

El concreto es uno de los materiales más usados e importantes en el campo de la construcción, diariamente se investiga y se trata de mejorar este producto ya que en este ámbito se presentan retos para que se desarrollen nuevas tecnologías en los fabricantes de los diferentes equipos y productores, esto es realizado para que la producción del concreto sea de una alta calidad, resistencia, manejabilidad y durabilidad, permitiendo obtener resultados óptimos en la construcción de nuevas obras y permitiendo que sean de múltiples aplicaciones. (CONSTRUCCION, 2010)

El proceso de investigación es una parte fundamental en la búsqueda de soluciones a problemas ambientales que causan un gran impacto, es por esto que, hacer un estudio a partir de residuos para la producción de mezclas de concreto, llega a ser viable para implementar la producción.

A resaltar, la minería de yeso, la cual se lleva a cabo por un proceso de extracción del mineral, triturado o cribado, cocción y restauración, producen más de 31.808,7 toneladas de residuos no peligrosos y 132,4 toneladas de residuos peligrosos, teniendo como total 31.941,1 toneladas. (universidad Politécnica de Cataluña, 2010)

En el municipio de los Santos, departamento de Santander se encuentra la mina de yeso donde se ubica una serie de bancos masivos lenticulares de yeso gris con intercalaciones menores de lutitas grises, calcáreas, yesíferas y algunas lutitas grises arenosas. Los proyectos de este sector se relacionan con la extracción, transporte y procesamiento; a partir de ellos se producen residuos, los cuales son

puestos en bancos de materiales en sectores aledaños al lugar de extracción, el estéril está principalmente compuesto por lodos calcáreos.

Teniendo en cuenta que el concreto normalmente está compuesto por elementos como la grava, arena fina, cemento, agua y aire en cantidades determinadas dependiendo su uso, se pretende reemplazar la grava por estéril de yeso no tratado químicamente, para así poder determinar su resistencia a la compresión y su resistencia a la flexión.

Con la utilización del estéril de yeso se disminuirá la cantidad de bancos en el municipio de los Santos, donde se reducirá la contaminación y se brindarán opciones de nuevos materiales para la construcción de obras civiles. Obteniendo resultados en los cuales se puedan plantear alternativas de uso de “residuos”; De igual forma permitir que esta alternativa reduzca el impacto ambiental e incremente el tiempo de servicio de los depósitos.

### **3.2 Alcance**

A partir del uso de un nuevo material, el cual será reutilizado se planteó una nueva mezcla de concreto con el fin de darle valor agregado a dicho elemento, el cual será de gran ayuda para el medio ambiente, viable económicamente y principalmente un desarrollo en la ingeniería civil en nuevas investigaciones.

Con un material residuo producto de la explotación de la minería de yeso, dicho material se encuentra ubicado en las minas de yeso del municipio de los Santos, departamento de Santander.

Por medio de la evaluación de una mezcla de concreto de 3000 psi convencional y modificado con estéril de yeso, la cual serán comparados en su estudio, caracterización, comportamiento mecánico y físico, utilizando como agregado grueso el nuevo material estéril de yeso en proporciones en donde se diseñaron varias alternativas de mezclas con el 100%, 75% y 50% de dicho material.

Durante el desarrollo de la investigación en el cual se elaboraron y ensayaron por medio de diferentes pruebas realizadas donde se evaluó su resistencia a la compresión de los cilindros a edades de 7,14 y 28 días de curado y la resistencia última a la tensión con ensayos de flexión en vigas a los 28 días, los cuales cada uno de los ensayos fueron respaldados por las Normas Técnicas Colombianas NTC y las especificaciones del INVIAS; durante la fase de mezcla de concreto se realizaron un total de 120 cilindros de 10 x 20 cm y 12 vigas de 15x15x54 cm de longitud donde se realizó respectivamente sus ensayos.

### **3.3 Justificación**

A lo largo del tiempo, Colombia ha tenido en distintos lugares del país yacimientos de yeso que son considerados producto de la minería y el cual ha servido para infinidad de trabajos y estructuras en el sector de la construcción. Los principales lugares donde se encuentra este material son: Mesa de los santos en Santander, Villa de Leyva en Boyacá, La Guajira, e Ibagué, entre otros lugares un poco menos representativos. Estos a su vez, presentan desventajas si los comparamos con yacimientos ubicados en otros países, pues el costo de extracción es elevado y está por encima de países como Estados Unidos, Canadá, Inglaterra. De igual forma, porque su aprovechamiento no es al 100%, ya que genera una serie de materia inservible que resulta siendo apilada sin hallazgo a alguna función.

En las minas de yeso, existe un material clasificado como 'estéril de yeso' que hace referencia al material que permanece luego de la explotación de la mina, es decir el material que no es apto para la comercialización, dicho material es dispuesto en una serie de pilas, adecuadas por la empresa alrededor del área de afectación del proyecto. Este insumo es considerado por las empresas mineras como residuo, debido a que no es empleado para otros usos y no tiene ninguna otra funcionalidad.

De acuerdo con lo anterior, este proyecto de investigación busca emplear dicho 'residuo' en la producción de una mezcla de concreto de 3000 PSI. Los resultados emitidos por los estudios que deben elaborarse podrán beneficiar, tanto a la



industria minera como el propio sector de la construcción. De esta manera, se espera contribuir en la disminución del volumen de residuos sólidos generados en la minería y a su vez, obtener un concreto con óptimas condiciones de calidad a partir del residuo generado en las minas de yeso.

En la misma medida, el estudio no desmerita la posibilidad de aprovechar el estéril de yeso – que en la actualidad no es utilizado para fines comerciales – y darle un valor comercial mayor que el que actualmente tiene. Además de aportar a la conservación y protección del medio ambiente con la disminución de residuos de la mina y en la misma medida, hacer un mejor uso del suelo.

#### **4. ESTADO DEL ARTE**

En este documento se encontrarán las diferentes investigaciones y resultados de la utilización del estéril de yeso en una mezcla de concreto tomando diferentes proporciones.

Actualmente en la construcción se han realizado estudios experimentales a concretos modificados empleando diversos materiales como es el caso de los desechos mineros, en la Universidad Católica del Perú, se analizó la adición de relave de Andaychagua que hace referencia a una mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que son producto de la extracción de minerales sulfurados en el proceso de flotación, esta investigación se llamó “Estudio experimental del empleo de materiales de desechos de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productores cementicos”, el cual se logró determinar que al adicionar una proporción menor al 5% al concreto convencional las características físicas no se verán afectadas, también se puede emplear para la construcción de pavimentos con tránsito liviano o veredas, El concreto elaborado con adición del 10 % de relave de Andaychagua, presentó características de resistencia semejante al concreto convencional, con un 2 % de reemplazo de cemento por el relave la resistencia a la compresión no se verá afectada, si se adicionan cantidades de relave superiores al 15 % influye de manera negativa y reduce las propiedades de resistencia del

concreto convencional y que los relaves usados no adicionan contenido de air significativo a las mezclas de concreto. (Anicama, 2010)

De igual forma se han realizado investigaciones que buscan dar solución a distintos problemas dicho estudio es llamado “características de ingeniería de agregados de residuos mineros, boletín de la asociación internacional de ingeniería n ~ 30” donde se Se ha descrito la ubicación, cantidades y propiedades de los desechos mineros en el contexto de su aplicación en la construcción de carreteras. Evidentemente, a partir de sus propiedades, los materiales se pueden utilizar de manera rentable como sub-base y cursos de superficie. Teniendo en cuenta los problemas que se presentan con su uso, la ubicación y el costo del transporte. Principalmente serán usados para cimientos y capas superficiales; Utilizado de esta manera, se reducirá el agotamiento y la degradación de los recursos, así como el consumo de energía. (HAMMOND, 1984.)

También cabe destacar el estudio realizado nombrado como “use of waste gypsum to replace natural gypsum as set retarders in portland cement”. Esta investigación tuvo como fin la clasificación de la influencia del yeso residual (GW) en la situación del yeso natural (GN) en la producción del cemento portland. El estudio de las propiedades de estas dos se investigó mediante difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X y calorimetría de barrido diferencial / termogravimétrico; para las propiedades mecánicas del cemento se determinaron por medio de los ensayos de tiempos de fraguado, resistencia a la compresión y flexión. Los estudios químicos dieron como resultados la presencia de dihidrato en yeso residual y el yeso natural dihidrato y hemihidrato de 12.45% y 1.61% de himihidrato respectivamente; y para los ensayos de flexión y compresión resultaron relativamente iguales. Teniendo en cuenta los resultados anteriores el yeso residual puede ser usado como un material alternativo en la producción del cemento con el 61% de hemihidrato. (CHANDARA & AZIZLI, 2009)

Del mismo modo el Congreso nacional del medio ambiente, CONAMA en el año 2014, ha investigado sobre el reciclaje del residuo del eso siendo una viabilidad

ambiental; dicho estudio es llamado “Viabilidad ambiental del reciclaje del yeso”. En el cual se evalúa el proceso de producción del yeso, la fase de extracción de materia prima por el método de los explosivos, restauración de la mina, trituración y cocción en el horno, a partir de esto se empieza a estudiar el proceso de reciclaje del yeso en el cual se separan todos los materiales. En el proceso de separación no de materiales no existen grandes diferencias respecto al material del yeso primario como el secundario debido a que el coste energético causado por el proceso de clasificación. En el dicho informe se concluyó que a partir del reciclaje del material del residuo del yeso se reduce el impacto ambiental que se produce al dejarlos sin volverlos a usar, ya que se evita los procesos de extracción de materia prima original y con esto disminuir el uso de explosivos para dicha acción y para el proceso de restauración de la cantera; también es importante resaltar que el reciclaje del yeso se presentan menores impactos en el cual se da con un ahorro del 49.8% de los impactos en la categoría calentamiento ambiental y un ahorro del 50.1% en la categoría de energía no renovable respecto al impacto proveniente de la extracción del yeso; siendo viable en términos ambientales, la producción del yeso cuando se hace a partir de material prima reciclada tanto si los residuos llegan mezclados o separados a la planta donde se va tratar. (universidad Politécnica de Cataluña, 2010)

Otras de los estudios encontrados son “incorporation of gypsum waste in ceramic block production: proposal for a minimal battery of tests to evaluate technical and environmental viability of this recycling process”. El fin de esta investigación es realizar una evaluación de manera física, química y mecánica en diferentes residuos para ser usados en materiales del concreto. Uno de los materiales usados es el residuo de yeso ya que al ser reciclado se puede conservar los diferentes depósitos de yeso y utilizarlas para distintos subproductos residuales en la industria de la construcción civil. Los materiales reciclados usados fueron residuos de arcilla, yeso, arcilla no plástica, arcilla plástica, cemento portland. El estudio de manera física por medio de los ensayos de compresión axial la cual combinados con los costos de producción revelaron cual es el óptimo, la arcilla plástica con un 35% de arcilla no

plástica, 10% de cemento Portland y 20% de yeso, lo que mostró resistencia media de 4.64 MPa. Los estudios químicos y el potencial ecotoxicológico de bloques cerámicos fueron usados en diferentes proporciones de dichos residuos a usar, donde se evalúa la viabilidad de este proceso. Basándonos en los resultados del residuo de minería de yeso muestra que la adición del 20% de yeso a prueba como resultado en el campo de la cerámica y las pruebas aplicadas en este estudio demuestra que es viable y ayuda al impacto ambiental producto a la no reutilización de este material y que sería muy útil en el campo en las construcciones civiles. (CASTRO, TESTOLIN, JANK, CORREA, & RADETSKI, 2012)

Y por último el estudio llamado “Beneficio de minerales de yeso provenientes de la mina la nacuma “municipio de los santos”. Dicha investigación realizada en la mina “la nacuma” ubicada en el municipio de los santos, departamento de Santander el cual tiene afloramientos de yeso en la base de la formación rosablanca, esta tiene una vida útil de 21 años y con una reserva aproximada de 650.000 toneladas. El estudio realizado tenía como objetivo aumentar el %SO<sub>3</sub> en la minería de yeso, obteniéndola por medio de la eliminación de las impurezas que están presentes en el mineral al cual se le aplicara cuatro procesos que son Mesa Wilfley, Espiral Humphreys, Hidrociclón y flotación; obteniendo cada uno de los resultados fue escogido el óptimo es decir el mejor índice de concentración representado por el % Recuperación y % SO<sub>3</sub>. El proceso seleccionado por el beneficio que se brinda fue el de flotación, este proceso se le analizaron los principales características del mineral donde se determinaron cada una de las variables , se empleó un diseño experimental 2<sup>3</sup> este se trata de analizar y estudiar variables de entrada y variables dependientes , las tres variables de entrada fueron ( tiempo de acondicionamiento, cantidad de colector y Ph) y las variables dependientes: diámetro de partícula, la temperatura de flotación, el % sólidos en la pulpa, el tiempo de residencia y la agitación de la pulpa, esto con el propósito de determinar las mejores condiciones del proceso empleado. Teniendo como resultados en la mezcla de los mantos con una proporción de (2:1) con un Ph de flotación de 9, 1350 gr colector/ton mineral y acondicionamiento de 6 min. (Pardave, 2007)

## **5. MARCO TEORICO**

### **5.1 Concreto**

El concreto es uno de los materiales para la construcción más utilizado en el mundo, debido a características como su manejabilidad, su alta resistencia a la compresión, resistencia al fuego, penetración del agua y una de las más importantes es su versatilidad en cuanto a su función es decir uso estructural y no estructural, también su forma si se puede moldear o no y por último la economía ya que ha tenido un desarrollo en su tecnología.

El concreto, así como los agregados naturales nos brinda una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y aunque puede ser muy escasa a tracción; es por esto que es inadecuada si se usa especialmente para formar piezas que tengan que resistir tracciones o flexiones.

Es una mezcla compuesta de cemento, agregado fino, agregado grueso, cemento, aire y agua que reacciona químicamente generando que las partículas de los agregados se unan y así constituyan un material homogéneo, algunas veces se adicionan sustancias o aditivo cumpliendo la función de mejorar o modificar las propiedades del concreto.

#### **5.1.1 Propiedades del concreto fresco**

##### **5.1.1.1 Manejabilidad**

La manejabilidad hace referencia a la facilidad con el que el concreto puede ser: mezclado, manejado, transportado, colocado, compactado y terminado sin que pierda su homogeneidad. (RIVERA G. , 2013).

##### **5.1.1.2 Plasticidad**

Se describe como la consistencia del concreto que le permite ser moldeado y cambiar de forma si se induce a un molde. (Parra & Bautista, 2010).

#### **5.1.1.3 Consistencia**

A pesar de estar relacionada con la manejabilidad la consistencia no es el sinónimo de esta. La consistencia hace referencia al estado de fluidez del concreto, es decir que tan dura o blanda es la mezcla en estado plástico.

También se puede decir que hace referencia al grado de humedad de la mezcla.

#### **5.1.1.4 Segregación**

Está definida como la separación de los componentes del hormigón luego de mezclado, causando que el concreto en su estado fresco, no logre obtener una distribución uniforme de todos sus componentes. Una buena resistencia a la segregación indica una distribución uniforme, es decir que las partículas están bien distribuidas horizontal y verticalmente, evitando de esta manera porosidades o imperfecciones denominadas coqueras, causadas por la ausencia de arena y mortero en la mezcla, descartando que se vea afectado el acabado visible.

#### **5.1.1.5 Exudación**

También denominada sangrado del concreto, es el fenómeno que se produce cuando el agua de la mezcla asciende durante el periodo de su fraguado. El concreto fresco después de su vertimiento está compuesto por distintos materiales de diferentes densidades, se produce una decantación del material más pesado y un ascenso del material más denso que es el agua.

#### **5.1.1.6 La exudación y el contenido de cemento**

La pérdida de agua que se produce por la exudación del concreto fresco reduce la relación agua/cemento generando un efecto positivo sobre la resistencia a compresión. A pesar de esto, con la ascensión de agua en el interior se van formando una especie de tubos capilares que reducen la impermeabilidad del concreto.

Cuando el agua sube a la superficie arrastra con ella partículas de cemento que forman una lámina débil que debe ser eliminada cuando se requiera la adhesión del concreto con otro material.

El sangrado del concreto depende del tipo de cemento empleado para la mezcla y la cantidad que se le agregue, la exudación será menor cuando el cemento empleado posea partículas más finas y cuando la proporción de cemento para la mezcla de concreto sea más grande (Sanchez de Guzmán, 2001).

## 5.1.2 Las propiedades del concreto en estado endurecido

### 5.1.2.1 Curado del concreto

Procedimiento basado en mantener la humedad y temperatura después de realizado el vertimiento de la mezcla para lograr obtener la resistencia inicialmente deseada. Existen diferentes métodos para la realización del curado del concreto:

- a) **Curado con Aplicación continua de agua:** Procedimiento en el cual los especímenes o elementos de concreto son inmersos en agua, ya sea en pilas o tanques donde la temperatura es controlada evitando que el material se vea afectado por agentes externos. (Sánchez de Guzman, 2001)



**Ilustración 1.**Curado del concreto.

Fuente: Propia

- b) **Rociado de Niebla:**

Se basa en un proceso de rociado en un cuarto sellado a través de boquillas de gota fina que mantienen los especímenes con una humedad y temperatura específica, el rociado debe realizarse con precaución y evitando el rociado con chorros para que los elementos de concreto no presenten un desgaste con el impacto del agua (Sánchez de Guzman, 2001).

#### **5.1.2.2 Velocidad de secado del concreto**

El cemento en la mezcla requiere hidratarse para lograr un estado de endurecimiento, el hecho de que el concreto este seco no indica que este bien hidratado, y esto podría afectar considerablemente las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla.

El concreto en estado fresco posee abundante agua, pero con el paso del tiempo, el secado progresa desde la superficie hasta el interior. Se debe procurar mantener una humedad relativa del 80% para evitar que se afecte la resistencia y la condición física de los elementos (Sánchez de Guzman, 2001).

#### **5.1.3 Resistencia a compresión del concreto**

Para determinar la resistencia a la compresión inicialmente se debe partir de la realización de un diseño de mezcla con características específicas, cuando se plantea una dosificación de los materiales que componen el concreto se debe estudiar la variación de sus propiedades mecánicas de manera tal, que se cumpla con los requerimientos de diseño.

La resistencia a compresión del concreto se evalúa a través de un ensayo realizado a especímenes cilíndricos sometidos a una carga axial, empleando una máquina de compresión. El ensayo realiza pruebas mecánicas a una cantidad específica de especímenes de concreto que pueden ser destructivas y estudia la variación de la resistencia a lo largo del tiempo, más específicamente a los 7, 14 y 28 días de edad del concreto.

Se dice que la resistencia aumenta con la edad del concreto y en los primeros días es donde se presenta un aumento de la resistencia rápidamente, al transcurrir el tiempo la resistencia seguirá aumentando gradualmente.



A los 28 días con un correcto curado y seguimiento de las normas técnicas para la realización de los especímenes, la resistencia obtenida será definida como el índice de calidad o resistencia del concreto, debido a que transcurrido los 28 días la resistencia puede aumentar, pero no de manera significativa. (Sánchez de Guzmán, 2001).

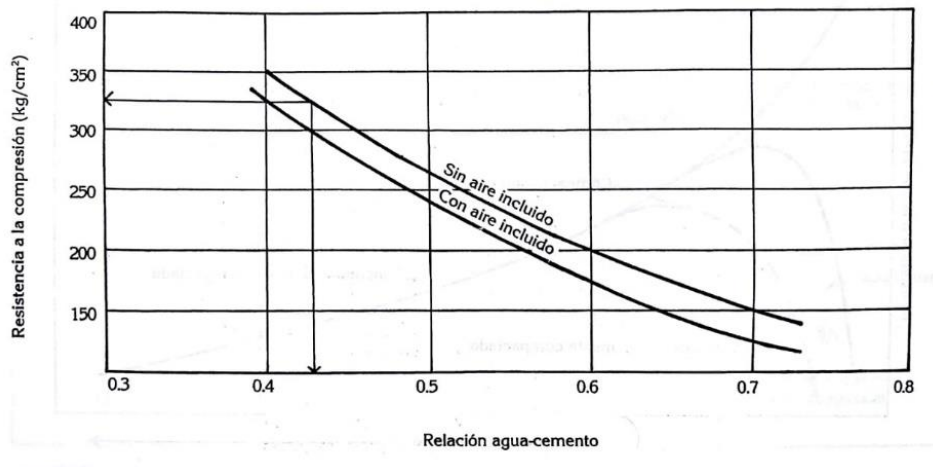
#### 5.1.4 Factores que influyen en la resistencia del concreto

La resistencia del concreto en estado endurecido se puede ver afectada por múltiples factores externos, especialmente de la calidad y el tipo de material empleado para la realización de la mezcla, entre estos factores tenemos:

##### 5.1.4.1 Contenido de cemento

La resistencia del concreto se considera de suma importancia la proporción dentro de la mezcla ya que tiene una relación directamente proporcional con la resistencia, es decir a mayor cantidad de cemento mayor será la resistencia que se obtenga.

Las relaciones agua/cemento en la cuales el cemento es extremadamente alto (superior a 470 kg/m<sup>3</sup>) presentan un retroceso de resistencia, especialmente cuando se emplea agregados de gran tamaño, producto de la contracción de la pasta que ocasiona pérdida de adherencia o agrietamiento (NEVILLE, 1979).



**Gráfica 1.** Resistencia y la relación agua-cemento para concreto con aire y sin aire incluido.

(Guzmán, 2001)

### 5.1.4.2 Influencia del agregado grueso

Algunas de las propiedades de los agregados que más influencia tienen en la resistencia del concreto son:

- La granulometría: Permite la máxima compactación del concreto en estado fresco es decir la densidad máxima en estado endurecido con la máxima resistencia.
- La forma y textura: Los agregados de formas rugosas y cúbicas permiten una mejor adherencia a diferencia de los materiales de forma redonda y lisa.

Resistencia y rigidez del agregado: Pueden ser de poca densidad y porosos o viceversa y llegan a afectar la resistencia del concreto ( Gutiérrez de López, 2003).

### 5.1.4.3 Tamaño máximo del agregado grueso

La resistencia puede variar respecto al tamaño máximo del agregado a emplearse debido a que puede llegarse a necesitar mayor cantidad de cemento para producir una resistencia a la compresión máxima.



**Gráfica 2.** Eficiencia del cemento en kg/cm<sup>3</sup> contra kg/cm<sup>3</sup>.

(Guzmán, 2001)

El emplear tamaños más grandes reduce el área superficial y los vacíos en el agregado grueso, de tal forma que se requerirá menos cemento para obtener una mejor manejabilidad

#### 5.1.4.4 Relación agua-cemento

La relación agua-cemento es muy importante ya que a partir de ella se determina la resistencia del concreto es quiere decir que es la cantidad neta de agua usada por una cantidad unitaria de cemento para un conjunto de materiales y ciertas condiciones, y en el cual está dada en el peso de esta.

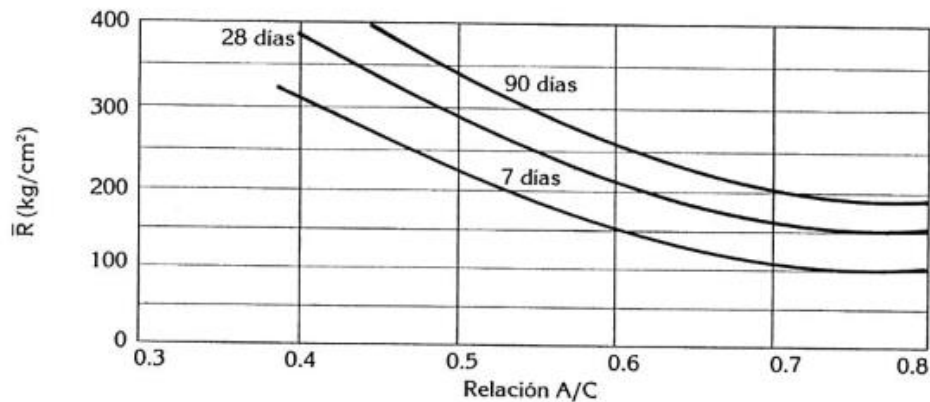
Teniendo en cuenta la anterior en el año 1918 el Duff Abrams formulo una ley para las mismas condiciones de ensayo y materiales dados, la resistencia de un concreto compactado, a cierta edad dada, es inversamente proporcional a la llamada relación agua-cemento el cual se debe expresar en volumen, Abrams realizo la ecuación de tipo exponencial (SanchezdeGuzman, 1984.):

$$R = \frac{A}{B^a}$$

**Ecuación (1)**

En la ecuación (1), donde:

A y B son constantes empíricas en el cual se depende el tipo de cemento y de su calidad, también las propiedades de los aditivos, los agregados y condiciones de los diferentes ensayos. R es la resistencia media a la compresión en Kg/cm<sup>2</sup>. a es la llamada relación agua-cemento en peso.



**Gráfica 3.** Curva típica de correspondencia entre la resistencia media a la compresión y la relación agua-cemento del concreto con diferentes edades.

(Guzmán ,2001)

También esta ecuación 2. Se puede expresar de manera logarítmica:

$$\log R = \log A - a \log B$$

**Ecuación (2)**

La ecuación (2) corresponde a la ecuación de la recta teniendo como variables son  $\log R$  y  $a$ .

La relación agua-cemento es uno de los factores más importantes en la resistencia del concreto cuando está completamente compactado, aunque es imposible tenerlo totalmente compactado a pesar de lo distintos procesos de consolidación ya que durante el mezclado y la fundida el aire queda atrapado en la mezcla. En la regla de 1896 realizada por Feret incluye el volumen no solo del agua y de cemento sino también del aire natural es decir el volumen de porosidad del material endurecido; es por esto que la ley de Duff Abrams es un caso especial.

$$R = \frac{K \cdot (c)^2}{c + w + a}$$

**Ecuación (3)**

En la ecuación (3), donde K es una de las constantes que depende de los agregados y del cemento que se usa; R es la resistencia media del concreto; w, a, c son los volúmenes absolutos respectivamente del agua, aire y cemento. (PORRERO, RAMOS, & GRASES, 1979)

## **5.2 Materiales para la elaboración del concreto**

### **5.2.1 Cemento**

Por cemento, según lo define la ASTM (C219 TerminologyRelatedHydraulicCement), es un material que endurece por reacciones químicas con el agua. El más conocido es el cemento portland, el cual se produce por la pulverización de Clinker que es formado por silicatos de calcio y concentraciones controladas del sulfato de calcio.

Básicamente el cemento se compone de Cal (CaO) proveniente de la piedra caliza natural, Silicio (SiO<sub>2</sub>) y Aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de la arcilla y bajos porcentajes de MgO y algunas veces álcalis. En ocasiones se adiciona óxido de hierro para ayudar a controlar su composición (ASTM , 2014).

#### **5.2.1.1 Etapas de fabricación**

El proceso de fabricación del cemento tiene las siguientes etapas:

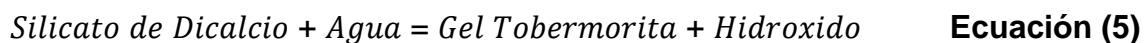
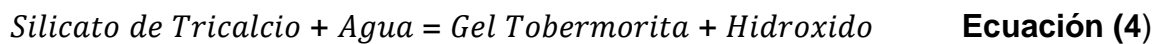
- Explotación: Se da la explotación de diferentes materias primas las cuales serán explotadas con procedimientos normales; para la explotación de calizas en el caso de que sean de gran dureza se exige el uso de explosivos y luego al proceso de trituración del material. para el caso de las arcillas se realiza el proceso por arrastre es decir por palas mecánicas, traíllas y cargadores.
- Preparación y dosificación de materiales primas: Una vez la arcilla y las calizas estén trituradas serán mezcladas del cual depende de su pureza de los materiales, inmediatamente ocurra el proceso la mezcla será llevada a un molino de crudo que lleva el material a un tamaño de 0.05mm.
- Homogenización: La pasta hecha es bombeada a tanques de homogeneización las cuales son llamadas “balsas” son unos tanques cilíndricos de gran dimensión con un equipo el cual gira en un torno a un eje

central; posteriormente será puesta la mezcla en silos de almacenamiento (Merritt, 2003)

### 5.2.1.2 Hidratación del cemento

En el medio de la construcción existen materiales cementosos los cuales son clasificados en varias formas. Uno de los más usados son los cementos de silicato y aluminato que se constituye por agentes químicos que ocasionan un rápido fraguado o endurecimiento en su uso, los cuales son silicatos y aluminatos de calcio. Otro material cementoso, pero es usado poco por su lento proceso de fraguado, es aquel que está compuesto por cales donde se debe hacer una transformación de hidróxidos en carbonos, pero los cuales, si son útiles en plastificar los cementos y agregar un poco más de elasticidad a morteros, al igual es favorable usarlo en superficie finas. También se pueden encontrar con material de yeso calcinado los cuales su uso varía en la utilización de repellado de interiores y fabricación de bloques y principalmente se usa en climas secos. No solo estos existen en el mercado estos materiales también se pueden encontrar polímeros, cenizas finas y gas de sílice. (Merritt, 2003)

El cemento es hidratado por medio del agua el cual reacciona químicamente los cuales se transforman en nuevos compuestos, según Federit Merritt reacciona de la siguiente manera:



### 5.2.1.3 Tipos de cemento

Existen diferentes tipos de cemento que se encuentran en el mercado dependiendo su uso, la selección de dicho material será dependiendo su implementación en lo que se requiere construir:

- **Cemento Tipo I:** El cemento portland tipo I es un cemento normal el cual es usado en diferentes obras de construcción especialmente en fines estructurales como también hormigón para viviendas, edificaciones, etc.
- **Cemento Tipo II:** Este tipo de cemento tiene una característica especial el cual su resistencia es media a los ataques de sulfatos, al limitar el contenido de aluminato de tricálcico ( $C_3A$ ) y silicato tricálcico ( $C_3S$ ) se usa principalmente en construcciones que son expuestas a la acción moderna de los sulfatos, también en la realización de tuberías de hormigón y puentes.
- **Cemento tipo III:** Sus componentes hacen que tenga una alta resistencia inicial y desarrollarlas a los 28 días, este tipo de cemento es usado cuando se necesita desencofrar el hormigón antes de los 28 días y dicho reciba cargas muy pronto.
- **Cemento tipo IV:** Este tipo de cemento contiene baja calor de hidratación sin que produzca dilataciones durante la etapa de fraguado; el cual ha sido desarrollado para usarse en concretos masivos como estructuras de hormigón de grandes dimensiones.
- **Cemento tipo V:** Este tipo de cemento es usada cuando se necesite una resistencia elevada al estar expuesta al ataque concentrado de sulfato y álcalis. (CANAL CONSTRUCCION, 2013)

### 5.2.2 Agregados para concreto

Los agregados para concreto o también denominados agregados para la construcción son el conjunto de componentes o partículas inertes derivadas de la trituración natural o artificial las cuales con adición de agua y cemento portland forman el concreto (Rivera, 2013).

### 5.2.2.1 Clasificación según su procedencia

De acuerdo con el origen de los agregados, según su procedencia producto de extracción de canteras o procesos industriales se pueden clasificar de la siguiente manera. ( Gutiérrez de López, 2003).

#### a) Agregados naturales

Producto de la explotación a fuentes naturales o depósitos de roca, se extrae el agregado de origen natural, de acuerdo con la forma en la cual son extraídos pueden denominarse de río o de cantera, cabe resaltar esta particularidad ya que el material de río se caracteriza por tener una superficie redondeada y textura lisa producto del arrastre de la fuente hídrica a diferencia del material de cantera que por el proceso de explotación tiene forma angulosa y una superficie no tan uniforme.

#### b) Agregados artificiales

Producto de procesos industriales como escorias de altos hornos, limadura de metales, arcillas expandidas, etc. Es empleado para concretos que no requieren una alta resistencia y pueden ser mezclados con agregados naturales para reducir costos tanto de concreto como de mortero.

### 5.2.2.2 Clasificación según su tamaño

Se denomina agregado fino al material que pasa 100 % por el tamiz N.º 4 (4.75 milímetros) y queda retenido en la malla N.º 200 (0.075 milímetros), y es reconocido como arena fina o gruesa, este es empleado como llenante dentro de la mezcla de concreto y tiene como función brindar una mejor manejabilidad, el agregado grueso es aquel material que es retenido el 100 % en el tamiz N.º 4 o superior. El agregado grueso ocupa un volumen del 70 – 80 % del concreto y depende en gran parte de la calidad de este ( Gutiérrez de López, 2003).

Tamaño de las partículas en mm (pulg.)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Inferior a 0.002	Arcilla		No recomendable



Entre 0.002-0.074 (No. 200)	Limo	Fracción muy fina	Material apto para producir concreto
Entre 0.0074 - 4.76 (No. 200)- (No. 4)	Arena	Agregado fino	
Entre 4.76 - 19.1 (No.4)-(3/4")	Gravilla	Agregado grueso	
Entre 19.1 - 50.8 (3/4")-(2")	Grava		
Entre 50.8 - 152.4 (2")-(6")	Piedra		
Superior a 152.4 (6")	Rajón, Piedra bola		

**Tabla 1.** Clasificación de los agregados según su tamaño.  
(Gutiérrez,2003)

### 5.2.3 Agua

El agua es uno de los elementos importantes en la mezcla de concreto, cumple dos funciones esenciales, dar manejabilidad e hidratar el cemento. Un porcentaje de agua es el encargado de realizar la hidratación y el restante no perjudica el concreto si no que se evapora con el tiempo.

La cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación se encuentra alrededor del 25% al 30% de la masa del cemento, pero con esta cantidad la mezcla no es manejable, para que la mezcla empiece a dejarse trabajar, se requiere mínimo una cantidad de agua en el orden de 40% de la masa del cemento. (RIVERA G. , 2013).

#### 5.2.3.1 Clasificación del agua

##### a) AGUA DE MEZCLADO:

Es la cantidad de agua necesaria por volumen unitario de concreto la cual necesita el cemento, para producir una pasta completamente hidratada, que tenga una buena fluidez que permita que al mezclarse con los agregados y aditivos en la mezcla que se encuentra en estado plástico.

##### b) AGUA DE HIDRATACIÓN:

El agua de hidratación es la cantidad o parte de agua que en el mezclado tiene la capacidad de reaccionar químicamente con el cemento para pasar a la fase sólida de la mezcla; en este proceso el agua no es evaporable ya que la pasta al estar hidratada se conserva a 0% de la humedad que está el ambiente.

c) AGUA EVAPORABLE

El agua evaporable es el agua restante al realizar la mezcla que se evapora a 0% de humedad relativa del ambiente, pero aquella no se encuentra libre en su totalidad.

d) AGUA DE ABSORCIÓN:

El agua de absorción o también llamada “agua activa” gracias a su influencia en su comportamiento del concreto bajo una carga. Esta es una capa molecular que se encuentra fuertemente adherida a las superficies del gel por fuerzas intermoleculares de atracción. (SánchezdeGuzmán, 2001)

#### 5.2.4 Estéril de yeso

La explotación del yeso se encuentra en diferentes zonas del país como en la mesa de los Santos villa de Leiva, la Guajira, la región de Girardot-Tocaima, Sutamarchan, la chapa, Guáchala y Macanal. Estas minas se encuentran con una producción anual estimada entre 40000 y 60000 toneladas; haciendo una comparación con los diferentes yacimientos que se encuentran en otros países sus volúmenes y calidades no son tan grandes sus depósitos.

Los medios que son indicados para las intensificaciones de los trabajos en las minas con diferentes técnicas modernas y mayores explotaciones en nuevos yacimientos en el cual con una organización adecuada de la minería y una buena distribución del producto. (Wakittlel, 2014)

Se denomina estéril de yeso al material que luego de la comercialización e implementación del material extraído por la industria minera, es acumulado en pilas aledañas al área de afectación de la mina y no ha sufrido modificaciones químicas

que afecten la naturaleza de los elementos, dicho material está compuesto principalmente por arenisca y lodos calcáreos.

### 5.3 ESTADISTICA

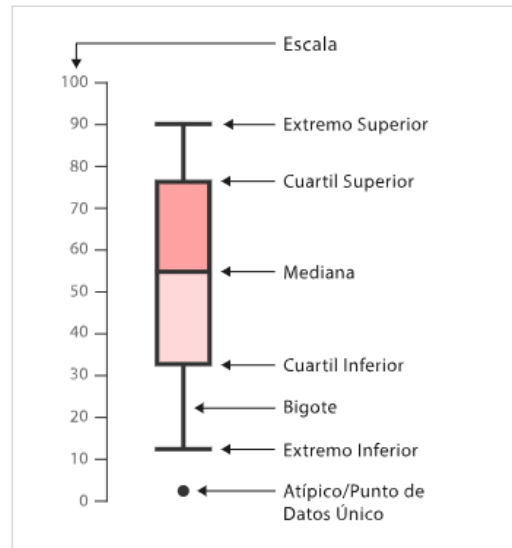
#### 5.3.1 Diagram boxplots or box and whiskers

Es una representación gráfica que describe características como la dispersión y simetría de una serie de datos. Para su realización se deben tener en cuenta tres cuartiles, el valor mínimo y máximo. Esta representación gráfica está compuesta por una caja de lados largos, los cuales muestran el recorrido intercuartílico. Este rectángulo se encuentra dividido por una línea, la cual indica donde se posiciona la mediana.

Esta caja se ubica sobre un segmento donde están definidos el valor máximo y mínimo de la serie de datos. Las líneas que sobre salen del rectángulo son conocidas como bigotes, los cuales tienen un límite de prolongación, de manera que cualquier dato que no esté dentro de este rango definido es marcado e identificado individualmente.

Procedimiento para la realización de diagrama de cajas y bigotes:

- a) Ordenar los datos: Los datos deben ser ordenados de manera ascendente.
- b) Definir N o la cantidad de datos de la serie: Se define la cantidad de datos a evaluar.
- c) Calculo de Q1= Es el valor mayor que el 25% de los valores de la serie ordenados  $\left(\frac{N}{4}\right)$ ; el primer cuartil es la media de dicho valor y el siguiente.
- d) Calculo de Q2= Corresponde a la mediana de distribución, es decir a la variable que ocupa el valor central en la serie de datos agrupados, la mediana es la media aritmética del valor en  $\left(\frac{N}{2}\right)$  y el siguiente.
- e) Calculo de Q3= Es el valor mayor que el 75% de los valores de la serie ordenados  $\left(\frac{3N}{4}\right)$ ; el tercer cuartil es la media de dicho valor y el siguiente (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).



**Ilustración 2.** Diagrama caja de bigotes.

(Levin,2004)

### 5.3.2 Media de tendencia central: media aritmética

La media es la medida más importante de localización, como su nombre lo indica es la media o valor promedio de una variable, esta proporciona una medida de localización central de los datos.

$$x = \frac{\sum xi}{n}$$

**Ecuación (6)**

En la ecuación (6), donde la x es la media de la muestra, xi es cada uno de los datos de la muestra y n es el número de elementos de la muestra es decir la cantidad de datos. (Williams, 2008)

### 5.3.3 Mediana

También es una medida de localización central, la mediana es un valor en medio de los datos obtenidos el cual están ordenadas de menor a mayor (en forma ascendente). Cuando se tiene una cantidad de observaciones es par, no se encuentra número en medio y cuando se encuentra que el número de

observaciones es impar la mediana es el valor que se encuentra en medio. (Levin, 2004).

Mediana a partir de datos no agrupados.

$$Mediana = \left( \frac{n + 1}{2} \right) \quad \text{Ecuación (7)}$$

En la ecuación (7), Donde:

n: Cantidad total de elementos de la muestra

Mediana de la muestra para datos agrupados:

$$Mediana = \left( \frac{\frac{n+1}{2} - (F+1)}{fm} \right) * w + Lm \quad \text{Ecuación (8)}$$

En la ecuación (8), donde:

n: Cantidad total de elementos de la muestra

F: Es la suma total de las frecuencias de clase hasta la clase de la mediana

fm: Frecuencia de clase

w: Medida de ancho de intervalo de clase

Lm: Es el límite inferior

#### 5.3.4 Varianza

Es una medida de estadística, de variabilidad que utiliza cada uno de los datos, esta varianza se basa en la diferencia entre la media de la muestra y valor de cada una de las observaciones (Xi).

La varianza muestral la cual es obtenida como un estimador no sesgado de la varianza de población. Con la ecuación 9. (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008)

$$s^2 = \left( \frac{\sum (xi - x)}{n - 1} \right)$$

**Ecuación (9)**

En la ecuación (9), donde:

S<sup>2</sup>: Varianza muestral

Xi: Valor de cada muestra

n: Cantidad total de elementos de la muestra.

### **5.3.5 Desviación estándar**

Es definida como la raíz cuadrada positiva de la varianza, la desviación estándar es denominada por “s” (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).

$$S = \sqrt{\left( \frac{\sum (xi - x)}{n - 1} \right)}$$

**Ecuación (10)**

$$S = \sqrt{S^2}$$

**Ecuación (11)**

### **5.3.6 Rango**

El rango es llamado a la diferencia que hay entre el valor más alto y el más pequeño de todo lo valores observados (Levin, 2004)

El rango se halla con la siguiente ecuación:

$$Rango = Vlr \text{ más grande} - Vlr \text{ más pequeño}$$

**Ecuación (12)**

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1 Caracterización de los agregados**

La caracterización del agregado grueso (convencional y estéril de yeso) y agregado fino (arena) incluye el análisis granulométrico, masa unitaria compacta y masa unitaria suelta, desgaste en la máquina de los ángeles, densidades e índices de alargamiento y aplanamiento.

#### **6.1.1 Análisis granulométrico de los agregados gruesos y agregados finos**

Se realiza el estudio granulométrico de los agregados a usar en la mezcla con el fin de determinar de forma cuantitativa los diferentes tamaños o proporciones que tienen las partículas del material por medio del tamizado. Es empleado para determinar y suministrar los datos necesarios para el control en las mezclas usadas.

La muestra usada en cada análisis granulométrico de los diferentes agregados es obtenida de acuerdo con la norma INV E-201-13 (TABLA 1). (INV E-201, 2013)

TAMAÑO DEL AGREGADO	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE CAMPO (Kg)	VOLUMEN DE LA MUESTRA DE CAMPO LITRO (Galones)
<b>Agregado fino</b>		
2,36 mm (No.8)	10	8
4,75 mm (No,4)	10	8
<b>Agregado grueso</b>		
9,5 mm (3/8")	10	8
12,5 mm (1/2")	15	12
19 mm (3/4")	25	20
25 mm (1")	50	40
37,5 mm (1 1/2")	75	60
50 mm (2")	100	80
63 mm (2 1/2")	125	100
75 mm (3")	150	120
90 mm (3 1/2")	175	140

**Tabla 2.**Tamaño de muestras.

(INV-E-201-13, 2003)

La muestra después de ser secada debe tener un mínimo de masa de acuerdo con lo establecido en la norma INV-E-213-13, la cual para agregado fino indica que debe tener una masa mínima de 300 g y para el agregado grueso depende del tamaño máximo nominal (Tabla 2).

Se toma un porcentaje de masa para cada material necesario para realizar el estudio, se lleva el material al horno durante 24 horas a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5$  C° hasta obtener una masa constante; luego de este proceso los materiales , se pesan y se sacan las cantidades necesarias colocando los tamices requeridos en el INV-E-213-13 en orden descendente por tamaño de abertura, haciendo el tamizado por un periodo suficiente de tal forma que después de terminado, no más del 1% de



la masa de material retenido en un tamiz pasa por ese tamiz y pesando el material retenido en cada uno de los ellos. Al terminar el proceso de tamizado se debe realizar los cálculos para determinar el tamaño máximo nominal de los agregados gruesos y el módulo de finura partículas del agregado fino.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL TAMICES CON ABERTURAS CUADRADAS (mm)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (kg)
9,5 (3/8")	1
12,5(1/2")	2
19(3/4")	5
25(1")	10
37,5 (1 1/2")	1
50 (2")	20
63(2 1/2")	35
75(3")	6
90 (3 1/2")	100
100 (4")	150
125 (5")	300

**Tabla 3.** Tamaño máximo nominal agregado grueso.  
(INV-E-201-13, 2003)



**Ilustración 3.** Análisis granulométrico arena y triturado.

Fuente: Propia.

### 6.1.2 Resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4") por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.

Este método es un indicador de la calidad o la competencia del agregado el cual nos permite determinar la resistencia a la degradación de los agregados gruesos bajo la acción de una carga abrasiva. La máquina de los ángeles está formada por una serie de 12 esferas metálicas creando un efecto de impacto y trituración; el número determinado para cada ensayo debe estar sujeto por el tipo de granulometría del agregado.

Este ensayo se lleva a cabo mediante la norma de INV-E-219 -13 la cual nos indica el siguiente procedimiento, después de ser lavada y secada la muestra a una temperatura de  $110 \pm 5$  C ° y realizar la granulometría se escoge la cantidad más adecuada de acuerdo con la tabla (4) (INV E-219, 2013).

TAMAÑO		GRADACIÓN TIPO Y PESO DE CADA FRACCIÓN (g)						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					2500	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	No 3			2500				
No 3	No 4			2500				
No 4	No 8				5000			

**Tabla 4.** Cantidades de material para ensayo de desgaste dependiendo del tipo de granulometría.

(INV-E-219-13,2013)

Se debe comprobar que la máquina de los ángeles este limpia para así colocar la muestra con su respectiva carga y esferas; el tambor gira a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/ min (30 y 33 rpm) hasta completar 1000 revoluciones, una vez termine de dar las vueltas necesarias se debe separar la muestra ensayada empleando un tamiz No 12 (1.70 mm). El material que queda en el tamiz se lava, se seca en el horno a una temperatura  $110 \pm 5 \text{ C}^\circ$  y luego se dará paso a determinar la masa.



**Ilustración 4.** Desgaste de la máquina de los ángeles.

Fuente: Propia.

### **6.1.3 Masa unitaria compacta y masa unitaria suelta de los agregados finos y agregados gruesos.**

Este ensayo se realizará siguiendo la norma NTC 92, la cual tiene como objeto determinar la masa unitaria en condición de suelta y compacta de los agregados gruesos y fino y también el vacío de estas partículas. Su procedimiento es el siguiente el tamaño de la muestra a usar es del aproximadamente de 125% a 200% de la cantidad requerida para usar, la muestra debe estar seca a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ C}^\circ$  hasta que la masa este constante, la masa compacta se llevará a cabo por el procedimiento de apisonamiento tanto para agregados gruesos y agregados finos, se llenará el molde en una tercera parte y se apisona la capa con 25 golpes con una varilla, debe ser distribuido uniformemente por la superficie y continúa haciendo lo mismo en dos capas más hasta llenar el molde , en este se debe

determinar la masa del molde más su contenido y la masa del molde por separado. Y la masa unitaria suelta se llevará a cabo por el procedimiento por paleo, se debe llenar el molde completamente con una cuchara o pala y el material debe ser descargado a una altura de 50 mm no más arriba del borde, luego se nivela para no dejar agregado sobresaliente del molde. (NTC 92, 1995).



**Ilustración 5.** Masa unitaria suelta y compacta de agregados.

Fuente: Propia

#### **6.1.4 Índice de alargamiento e índice de aplanamiento del agregado grueso**

Este ensayo se realizará siguiendo la norma INV-E-230-13, la forma de las partículas es importante ya que si son muy defectuosas generan inconvenientes; las partículas las cuales tienden a ser planas y alargadas pueden producir mezclas de concreto poco trabajables y esto puede llegar a generar daños en la duración del concreto. (INV-E-230, 2013)

Para determinar la masa mínima para cada ensayo se debe tener en cuenta la (Tabla 5).

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO (pulg.)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO DEL ÍNDICE DE APLANAMIENTO (kg).	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO DEL ÍNDICE DE ALARGAMIENTO (kg)
2"	35	-
1 1/2"	15	15
1"	5	2
3/4"	2	2
1/2"	1	1
3/8"	0,5	0,5

**Tabla 5.** Masa mínima de la muestra de ensayo después del rechazo de partículas grandes y pequeñas.

(INV-E-230-13,2013)

En el ensayo de índice de alargamiento se lleva a cabo; primero dividiendo la muestra por medio de tamices, luego de esto cada fracción será analizada con un calibrador de longitudes, este tiene barras verticales que son separadas; aquellas que son retenidas se consideran alargadas, luego se determinará su masa para sacar el porcentaje de índice de alargamiento.

Teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$IL = \frac{ni}{Ri} * 100$$

**Ecuación (13)**

En la ecuación 13, donde ni, es la masa de las partículas alargadas de la fracción, Ri es la masa de la fracción.

En el ensayo de índice de aplanamiento igualmente se divide la muestra por medio de tamices, cada una de ellas se criba empleando para eso un tamiz de barras

paralelas colocadas a separaciones, aquella partícula que pase es considerada como plana. Luego se determinará la masa de partículas planas.

Teniendo en cuenta la ecuación (14).

$$IA = \frac{m_i}{R_i} * 100$$

**Ecuación (14)**

En la ecuación (14), donde,  $R_i$  es la masa de la fracción y  $m_i$  masa de las partículas planas de la fracción.



**Ilustración 6.** Ensayo alargamiento del agregado grueso.  
Fuente: Propia.

### **6.1.5 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.**

Este ensayo se realizará con base a la norma INV-E-223-13; la densidad relativa es una de las características, que se usa para determinar el volumen ocupado por el agregado grueso en mezclas de concreto, también es usada para el cálculo de vacíos del agregado; la densidad aparente y la densidad relativa son aquellas partículas del agregado. Y los valores de absorción son usados para calcular el



cambio de masa producido por el agua al ser absorbida por los poros permeables de cada una de las partículas del material y compararla con la masa del agregado seco.

El procedimiento empleado es el siguiente, la muestra a usar debe dejarse en agua durante  $24 \pm 4$  horas para que sus poros estén permeables, cuando el tiempo se haya cumplido el material se debe secar superficialmente y se determina su masa, posteriormente se determina el volumen por el método de desplazamiento de agua; luego la muestra debe secarse en el horno y se pesa determinando así su masa seca. (INV E-223, 2013).



**Ilustración 7.** Ensayo densidad del agregado grueso.

Fuente: Propia.



**Ilustración 8.** Ensayo densidad del agregado

Fuente: Propia.

### 6.1.6 Ensayo de contenido de materia orgánica para agregado fino

Este ensayo está basado en la norma INV-E-212-13 Presencia de impurezas orgánicas en arenas usadas para la preparación de mortero o concreto, este es usado para determinar si existe impurezas orgánicas nocivas en el agregado fino evitando el daño en la mezcla de concreto. Se toma cierto porcentaje de la muestra, colocando en la botella un porcentaje de 130 ml de arena, se añade solución de hidróxido de sodio hasta que su volumen se de 200 ml, se tapa la botella, se agita hasta que no tenga burbujas de aire y se deja reposar por 24 horas. Luego de esto se compara con la barra de colores y teniendo en cuenta la escala de la (Tabla 6). (INV E-212, 2013)

COLOR GARDNER DE REFERENCIA No	PLACA ORGANICA No.
5	1
8	2
11	3 (referencia)
14	4
16	5

**Tabla 6.** Tabla de color Garded.

(INV-E-212-13, 2013)



**Ilustración 9.** Ensayo de contenido de materia orgánica- arena.

Fuente: Propia.



### 6.1.7 Densidad del cemento

Este ensayo se realizó con base a la norma INV-E-307-13, el cual describe el procedimiento de esta manera, se llena el frasco de Le Chatelier con kerosene (ACPM) hasta que esté en un punto inicial que estará de 0 y 1 mililitros tomando su lectura inicial, luego se agrega una masa de 64 gramos de cemento tipo 1 en pequeñas cantidades evitando que se adhiera en el frasco, después de esto se tapa y se gira en posición inclinada, rotándolo lentamente para que se liberen el aire que tiene el cemento con el agua, cuando no tenga burbujas de aire se introduce en un balde con agua y se deja a temperatura constante por periodos suficientes para evitar variaciones. (INV-E-307, 2013)

Calculándose la densidad del cemento como:

$$\rho \left( \frac{Mg}{m^3} \right) \text{ o } \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{masa de cemento (gramos)}}{\text{volumen desplazado}(cm^3)} \quad \text{Ecuación (15)}$$



**Ilustración 10.** Ensayo densidad del cemento.

Fuente: Propia.

### 6.1.7 Consistencia normal del cemento

Este ensayo se realizó con referencia a la NTC 110, método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico; siguiendo el procedimiento, se determina una mezcla de 650 gramos de cemento con agua limpia para ser mezclado, formada la pasta se moldea rápidamente como una bola, lanzándose de una mano a otra 6 veces teniendo como mínimo una distancia de 1.5 centímetros con el fin de que sea una mezcla homogénea y esférica para que sea fácil insertarse dentro del molde de Vicat, posteriormente se coloca el anillo con su base mayor sobre la placa y se quita el exceso de pasta delicadamente evitando movimientos bastos. Para determinar la consistencia se hace descender el embolo hasta que tenga un contacto con la superficie de la pasta y se fija por medio del tornillo, se empieza desplazar el índice hasta que coincida con el cero superior y se comienza a tomar las lecturas, es necesario que el aparato no se someta a tipo de vibración o movimiento durante el ensayo. (NTC110, 1991)



**Ilustración 11.** Ensayo de consistencia normal del cemento.

Fuente: Propia.

### 6.1.9 Método de ensayo para determinar los tiempos de fraguado de cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.

El ensayo de tiempos de fraguado para el cemento hidráulico basado en la NTC 118, cuyo objetivo es determinar el periodo necesario para que dicha mezcla pase del estado fluido al sólido, este ensayo indica si realmente la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación normal; es importante el aparato de Vicat, la cual consiste en un soporte que sostiene un vástago móvil que pesa 300 gramos, de material no absorbente y vidrio.

La temperatura del ambiente en la zona donde se realizará el mezclado debe estar entre el 20°C y 27.5°C;

Para su preparación debe ser de 650 gramos de cemento con porcentaje de agua de amasado requerida en la consistencia normal. Al realizar la pasta de cemento se le debe dar forma esférica, lanzándose de una mano a la otra repitiendo este proceso 6 veces a una distancia de 150 milímetros aproximadamente, luego de esto se inserta la bola de pasta en el molde completamente por el lado de la base mayor. Posteriormente se debe mantener en la cámara de 30 minutos sin efectuar ninguna alteración donde se debe penetrar 1 mm la aguja, esto se repetirá cada 15 minutos hasta que se obtenga una penetración completa (NTC 118, 1991).



**Ilustración 12.** Ensayo de tiempos de fraguado del cemento hidráulico.

Fuente: Propia.

### 6.1.10 Asentamiento

Este ensayo se realizó teniendo en cuenta la norma del instituto nacional de vías INV-404-13 el cual tiene como objetivo establecer el método a usar en la determinación del asentamiento del concreto tanto su uso en el laboratorio como en obra.

Para la realización de la práctica se debe humedecer el molde que tiene una forma de cono, el cual se coloca sobre una superficie horizontal rígida plana, húmeda y no absorbente; con ayuda de los pies se mantienen estático el molde y se llena en tres capas cada una de ellas se compactara con 25 golpes proporcionados con la varilla, que serán distribuidos uniformemente; para la última capa se rebosara la cantidad de concreto, después de esto se enrasará. Para el alzado del molde se realizará por un lapso de  $5 \pm 2$  segundos, mediante un movimiento uniforme hacia arriba para no afectar los resultados (INV E-404, 2013).

Dado los resultados se deben anotar el asentamiento del espécimen con aproximación al medio centímetro.

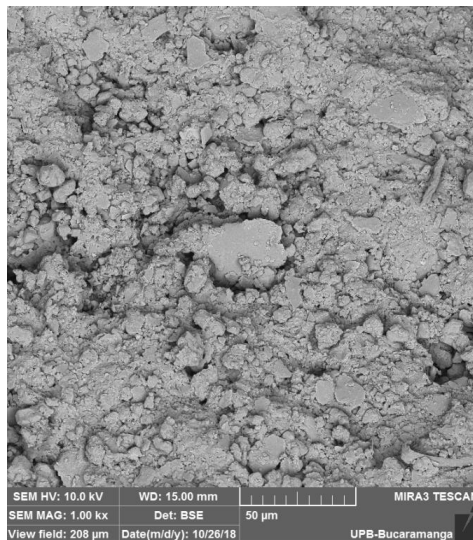


**Ilustración 13.** Ensayo de asentamiento.

Fuente: Propia.

### 6.1.11 Ensayo de microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscopy)

El microscopio electrónico de barrido emplea un grupo de electrones para lograr una imagen aumentada de la superficie de un objeto, permite la caracterización superficial de elementos orgánicos e inorgánicos. El ensayo hace incidir un haz de electrones sobre la muestra, la cual generalmente es recubierta por una capa muy fina de oro o carbón, con el objetivo de que obtenga propiedades conductoras, este proceso es denominado pulverización catódica o “sputtering”. Luego de hacer incidir el haz de electrones y alcanzar la superficie de la muestra se generan principalmente partículas de electrones secundarios, retrodispersados y radiación electromagnética (rayos X), el detector de electrones secundarios y retrodispersados son los encargados de emitir las imágenes de alta resolución y obtener un mayor contraste de la superficie de la muestra, mientras que el detector de energía dispersiva, detecta los rayos X y permite realizar el análisis espectrográfico de la composición de la muestra. Este ensayo es utilizado en concretos y morteros para evaluar su microestructura, impurezas, identificación de sales, microfisuración entre otros y en la geología de los agregados para identificar la composición mineralógica, petrología y composición de arcillas. (PATOLOGIA, CONSTRUCCION Y REHABILITACION, 2014)



**Ilustración 14** Ensayo de SEM (estéril de yeso).

## 6.1 DISEÑO DE MEZCLA

Los criterios de dosificación incluyen los siguientes pasos:

1. Selección del asentamiento
2. Tamaño máximo nominal (TMN)
3. Determinación del contenido del aire
4. Determinación de la cantidad de agua de mezclado
5. Selección de la relación del agua-cemento
6. Calculo de la cantidad de cemento y volumen de cemento
7. Calculo de contenido de grava
8. Calculo de contenido de cemento.

a) **ASENTAMIENTO**= El asentamiento de acuerdo con la (tabla 7).

Consistencia	Asentamiento (mm)	Tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta concretos de proyección neumática (lanzado).	Secciones sujetas a vibración extrema, pueda requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Semiseca	35-50	Pavimentos fundaciones en concreto simple.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas.	Colocación manual.	Secciones medianamente reforzadas sin vibración.
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas sin vibración.
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos pilotes fundidos "in situ".	Tubo-embudo.	Secciones altamente reforzadas sin vibraciones (normalmente no adecuados para vibrarse).

**Tabla 7.** Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.

(Guzmán,2001)

**b) TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN):** De acuerdo con el análisis granulométrico de los agregados es el tamiz siguiente a aquel cuyo porcentaje retenido es mayor o igual al 15%.

**c) CONTENIDO DE AIRE:** Para determinar el contenido de aire teniendo en cuenta la (Tabla 8).



TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CONTENIDO DE AIRE EN PORCENTAJE (por volumen)			
mm	Pulg.	Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
9,51	3/8	3,0	4,5	6,0	7,5
12,7	1/2	2,5	4,0	5,5	7,0
19	0,75	2,0	3,5	5,0	6,0
25,4	1	1,5	3,0	4,5	6,0
38,1	1 1/2	1,0	2,5	4,5	5,5
50,8	2	0,5	2,0	4,0	5,0
76,1	3	0,3	1,5	3,5	4,5
152	6	0,2	1,0	3,0	4,0

**Tabla 8.** Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregados.

(Guzmán,2001)

- d) **CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO:** De acuerdo con la (Tabla 9) el requerimiento aproximado de agua de mezclado para un asentamiento y un tamaño máximo nominal” se debe escoger la cantidad necesaria para la mezcla.

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9,51 3/4"	12,7 1/2"	19,0 3/4"	25,4 1"	38,1 1 1/2"	50,8 2"	64,0 2 1/2"	76,1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado en Kg/m <sup>3</sup> de concreto							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168



**Tabla 9.** Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido.

(Guzmán,2001)

**e) RELACIÓN AGUA-CEMENTO:** Según la (Tabla 10) la resistencia requerida de diseño cuando no existen datos para determinar la desviación estándar debe aumentar de acuerdo con la resistencia especificada.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	RELACIÓN AGUA-CEMENTO EN PESO		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,7	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,4	0,38

**Tabla 10.** Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar.

(Guzmán,2001)

De acuerdo con lo anterior:

Según la (Tabla 11.) sobre la correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua-cemento para los cementos colombianos sin aire incluido en un estudio realizado por la Universidad Javeriana la relación agua cemento en peso de acuerdo con la línea media, realizando la interpolación correspondiente, para un valor de 295 kg/cm<sup>2</sup> es igual a 0,4628.

RESISTENCIA ESPECIFICADA $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA DE DISEÑO DE LA MEZCLA $f'cr$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Menos de 210 kg/cm <sup>2</sup>	$f'c+70$ kg/cm <sup>2</sup>
De 210 kg/cm <sup>2</sup> a 350 kg/cm <sup>2</sup>	$f'c+85$ kg/cm <sup>2</sup>
Más de 350 kg/cm <sup>2</sup>	$f'c+100$ kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 11.** Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua-cemento para los cementos colombianos, portland tipo I, en concreto sin aire incluido.

(Guzmán,2001)

**f) CANTIDAD DE CEMENTO:**

$$Cantidad\ de\ cemento = \frac{Cantidad\ de\ Agua\ (kg)}{Relación\ Agua - Cemento} \quad \text{Ecuación (16)}$$

**g) VOLUMEN DE CEMENTO:** Para realizar la cantidad de volumen de cemento.

$$Volumen\ de\ cemento = \frac{Cantidad\ de\ cemento(kg)}{Densidad\ del\ cemento(\frac{kg}{m^3})} \quad \text{Ecuación (17)}$$

**h) CONTENIDO DE GRAVA (b/bo):** De acuerdo con la Tabla 12. el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, para un tamaño máximo nominal y realizando la interpolación para un módulo de finura del agregado fino.

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		MODULO DE FINURA DE LA ARENA			
mm	pulg	2,4	2,6	2,8	3.0
9,51	3/8	0,5	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,75	0,66	0,64	0,62	0,6
25,4	1,00	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2,00	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3,00	0,82	0,8	0,78	0,76
152	6,00	0,87	0,85	0,83	0,81

**Tabla 12.** Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

(Guzmán, 2001)

- i) **CALCULO DE  $B_o$ :** Hace referencia al volumen absoluto del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de grava.

$$B_o = \frac{\text{Masa unitaria compacta (kg)}}{\text{Densidad aparente seca } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

**Ecuación (18)**

- j) **VOLUMEN DE GRAVA POR  $\text{M}^3$ :**

$$\text{Volumen de grava (m}^3\text{)} = \left(\frac{b}{b_o}\right) * B_o$$

**Ecuación (19)**

- k) **ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE ARENA:**

$$Vol. ar (m^3) = 1 - (Vol\ aire + Vol\ agua + Vol\ Cem + Vol\ grava) \quad \text{Ecuación (20)}$$

## 6.2 ENSAYO AL CONCRETO

### 6.3.1 Ensayo de compresión de cilindro de concreto

El dicho ensayo de compresión está regido en la norma Técnica Colombiana, NTC 673, su objetivo es la determinación de la resistencia a compresión de los especímenes hechos con concreto, donde consiste en aplicar una carga axial de compresión, la resistencia a compresión es calculada dividiendo la carga máxima durante el ensayo por la sección transversal del área del espécimen.

Cada uno de los valores obtenidos en los ensayos depende del tamaño, la dosificación la forma del espécimen, los procedimientos del mezclado, a la temperatura a la que se realizaron, la edad y las condiciones que se presentan durante el curado.

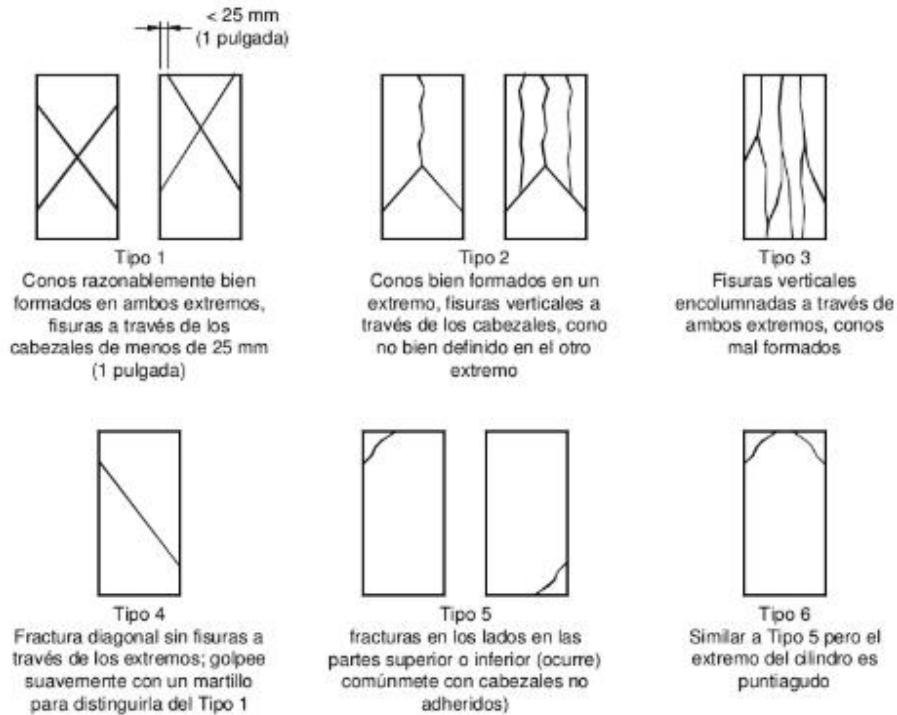
El procedimiento el cual se debe llevar para la realización del ensayo es el siguiente, los especímenes deben estar curados en aire húmedo inmediatamente desencofrados, luego se dispone a ser llevada a la máquina de ensayos de compresión, donde la carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento, será medida desde la platina a la cruceta y corresponde a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de 0.25 Mpa/s  $\pm$  0.05 Mpa/s (NTC 673, 1991).

El valor registrado por la máquina de ensayo de compresión, se le realizará un cambio de unidades para obtener su valor en psi.

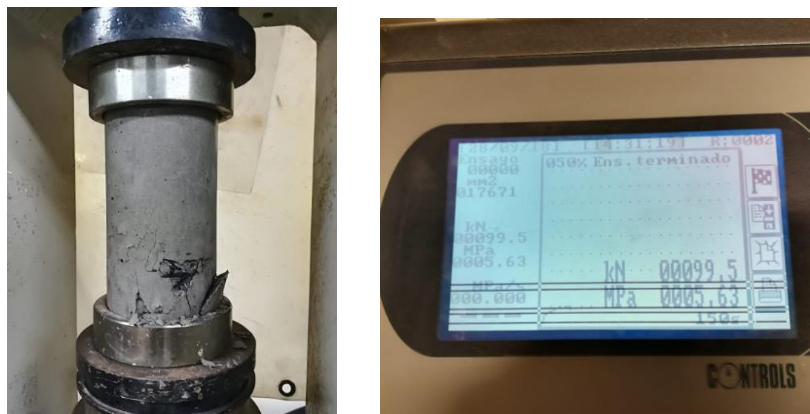
$$FUERZA = 1KN * \frac{224.81lb}{1kn} \quad \text{Ecuación (21)}$$

$$ESFUERZO = \frac{FUERZA (lb)}{AREA (pulg)} \quad \text{Ecuación (22)}$$

Al terminar el ensayo cada cilindro obtiene ciertas fracturas las cuales se clarificarán de la siguiente manera teniendo en cuenta el NTC 504.



**Ilustración 15.** Esquema de los modelos de fracturas típicos.  
(NTC 504,1995)



**Ilustración 16.** Ensayo a compresión de cilindro.

Fuente: Propia.

### 6.3.2 Ensayo de flexión.

Este ensayo se realizó basado en la especificación técnica INVIAS, INV-E-414-13 Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada cargada en el tercio de la luz libre; este ensayo tiene como fin determinar la resistencia a la flexión de especímenes los cuales son preparados y curados para dicha acción.

El procedimiento que se debe realizar en el ensayo comienza después que se hayan curado en húmedo por 28 días, luego de eso se secan las superficie del espécimen y se dirigen a la máquina de flexión, donde la carga se debe aplicar de manera continua sin que ocurran cambios en la velocidad, esta debe incrementar constante con un esfuerzo en las caras entre 0.9 y 1.2 Mpa/min hasta que la viga sufra la rotura; esta velocidad de carga se calcula con la siguiente ecuación. (INV E-414, 2013)

$$r = \frac{s * b * d^2}{L}$$

**Ecuación (23)**

En la ecuación (23), donde r es la velocidad de carga N/min (lbf/min), s es la tasa de crecimiento del esfuerzo máximo sobre la cara de tensión Mpa/min, b es el ancho promedio del espécimen en milímetros, d es la altura promedio del espécimen en milímetros, y L la longitud de la luz libre del espécimen en milímetros.



**Ilustración 17.** Ensayo de flexión.

Fuente: Propia.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

#### 7.1.1 Granulometría

A cada uno de los agregados usados en el proyecto de investigación, se les realizó el ensayo de granulometría con el fin de determinar el tamaño máximo nominal para los agregados gruesos (estéril de yeso y triturado), al igual que el módulo de finura para el agregado fino (arena), verificando que cumpla lo establecido en la norma del INV-E-213-13.

En las tablas 13, 14 y 15 nos presentan la granulometría de cada uno de los materiales.

<b>GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO</b>					
<b>LAB. RESISTENCIA DE MATERIALES-UPB</b>					
<b>INV-E-213-13</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO</b>			
		<b>RETENIDO</b>			<b>PASA (%)</b>
		<b>PARCIAL (gr)</b>	<b>PARCIAL (%)</b>	<b>ACUMULADO (%)</b>	
1	25,40	24,00	0,44	0,44	99,56
3/4	19,05	2440,00	44,36	44,80	55,20
1/2	12,70	2719,00	49,44	94,24	5,76
3/8	9,52	280,00	5,09	99,33	0,67
4	4,75	34,00	0,62	99,95	0,05
<b>FONDO</b>		3,00	0,05	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>5500,00</b>	100,00		

**Tabla 13.** Granulometría agregado grueso convencional.

GRANULOMETRÍA ESTERIL DE YESO					
LAB. RESISTENCIA DE MATERIALES-UPB					
INV-E-213-13					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			
		RETENIDO			PASA (%)
		PARCIAL (gr)	PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)	
1,5	38,10	98,00	0,98	0,98	99,02
1	25,40	2512,00	25,12	26,10	73,90
3/4	19,05	2517,00	25,17	51,27	48,73
1/2	12,70	2532,00	25,32	76,59	23,41
3/8	9,52	966,00	9,66	86,25	13,75
1/4	6,30	788,00	7,88	94,13	5,87
4	4,75	328,00	3,28	97,41	2,59
<b>FONDO</b>		254,00	2,54	99,95	0,05
<b>TOTAL</b>		<b>10000,00</b>	100,00		

**Tabla 14.** Granulometría agregado grueso (estéril de yeso).

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO					
LAB. RESISTENCIA DE MATERIALES-UPB					
INV-E-213-13					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			
		RETENIDO			PASA (%)
		PARCIAL (gr)	PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)	
4	4,75	2,00	0,20	0,20	99,80
8	2,36	68,00	6,80	7,00	93,00
16	1,18	184,00	18,40	25,40	74,60
30	0,60	214,00	21,40	46,80	53,20
50	0,30	316,00	31,60	78,40	21,60
100	0,15	142,00	14,20	92,60	7,40
<b>FONDO</b>		72,00	7,20	99,80	0,20
<b>TOTAL</b>		<b>1000,00</b>	100,0		

**Tabla 15.** Granulometría agregado fino.



ANÁLISIS GRANULOMETRICO (INV-E-213-13)	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	ESTÉRIL DE YESO
Tamaño máximo nominal	1"	-	1 1/2"
Módulo de finura	-	2,504	-

**Tabla 16.** Resumen de resultados de la clasificación de los agregados tamaño máximo nominal y módulo de finura de la arena.

- Tamaño máximo nominal es aquella abertura del tamiz anterior a la abertura en la cual su porcentaje retenido es del más de 15%.
- El módulo de finura del agregado fino es aquella suma total de los porcentajes del material de la muestra retenido en los tamices No 200, No 100, No 50, No 30, No 16, No 8, No 4, dividido la suma en 100 (INV E-201, 2013).

### 7.1.2 Gravedad específica y absorción, desgaste en la máquina de los ángeles, masa unitaria suelta y masa unitaria compacta

ENSAYOS		MATERIAL		
		AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	ESTERIL DE YESO
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION</b>	D. APARENTE BULK (kg/dm <sup>3</sup> )	2,57	2,58	2,55
	D. APARENTE SSS (kg/dm <sup>3</sup> )	2,59	1,72	2,61
	D. NOMINAL (kg/dm <sup>3</sup> )	2,62	2.7	2,71
	% VACIOS MUS	41,25%	15.099%	40,39%
	%VACIOS MUC	39,40%	11.94%	35,14%
	% ABSORCION	0,74%	1.21%	2,39%

ENSAYOS		MATERIAL		
		AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	ESTERIL DE YESO
MASA UNITARIA	SUELTA	1504,86 kg/m <sup>3</sup>	2186.052 kg/m <sup>3</sup>	1553,77 kg/m <sup>3</sup>
	COMPACTA	1552,327 kg/m <sup>3</sup>	2267.39 kg/m <sup>3</sup>	1690,78 kg/m <sup>3</sup>
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA		-	1	-
DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (%)		24,08%	-	40,44%-43,04%

**Tabla 17.** Resultados caracterización agregados.

La (Tabla 17.) presentan resultados de la caracterización de los agregados empleados en la investigación, los cuales se utiliza en el proyecto teniendo en cuenta cada una de las normas que los rige; el estéril de yeso proveniente de la mina de yeso en los Santos-Santander, agregado grueso y agregado fino.

### 7.1.3 Índice de aplanamiento e índice de alargamiento

#### 7.1.3.1 Material convencional

Tomándose el 30% de todas las muestras de granulometría se realizó el ensayo, con un total de muestra de 2799 gramos.

**Índice de aplanamiento:**

ABERTURA DEL TAMIZ	INDICE DE APLANAMIENTO %
1"	69.39
3/4"	58.94
1/2"	25,92
3/8"	36,21
1/4"	44.32

**Tabla 18.** Índice de aplanamiento material convencional.

Índice de aplanamiento global del 49,20%

#### Índice de alargamiento

ABERTURA DEL TAMIZ	INDICE DE ALARGAMIENTO %
1"	15,17
3/4"	29,93
1/2"	30,00
3/8"	39,66
1/4"	27,18

**Tabla 19.** Índice de alargamiento material convencional

Índice de alargamiento global del 26.72%

#### 7.1.3.2 Material sustituyente (estéril de yeso)

De igual forma se consideró 30% de cada una de las muestras de granulometría.

#### Índice de aplanamiento:

ABERTURA DEL TAMIZ	INDICE DE ALARGAMIENTO %
1 1/2"	32,5
1"	20,5
3/4"	18,9
1/2"	29,5
3/8"	40,5
1/4"	31,8

**Tabla 20.** Índice de aplanamiento de Estéril de yeso

Índice de aplanamiento global: 32.59%

**Índice de alargamiento:**

ABERTURA DEL TAMIZ	INDICE DE APLANAMIENTO %
1 1/2"	75,6
1"	89,5
3/4"	81,9
1/2"	23,5
3/8"	29,8
1/4"	38,7

**Tabla 21.** Índice de alargamiento de Estéril de yeso.

Índice de alargamiento global: 60%

## 7.2 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

### 7.2.1 Densidad del cemento

La densidad del cemento obtenida de acuerdo con la norma INV-E-307-13, el cemento utilizado en el proyecto es de marca CEMEX TIPO I; teniendo en cuenta Ecuación (15).

$$\rho \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \left( \frac{64g}{(22,3 - 0,2)cm^3} \right)$$

$$\rho \left( \frac{g}{cm^3} \right) = 2,90 \text{ g/cm}^3$$

Densidad es de 2.90 g/cm<sup>3</sup>.

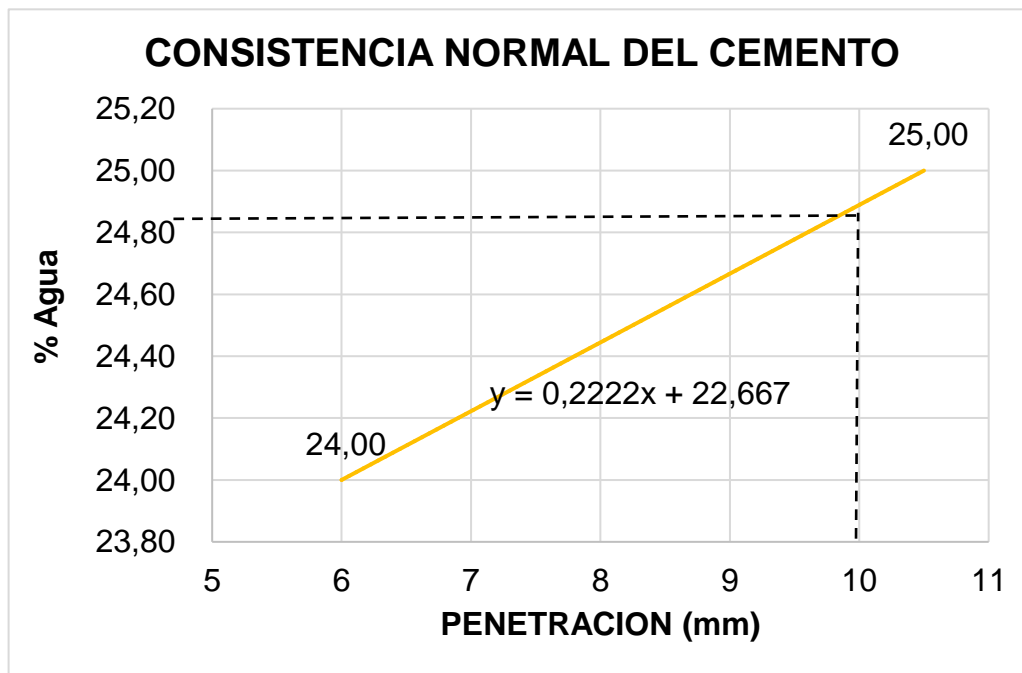
### 7.2.2 Consistencia normal

Se realizaron dos pruebas, en las cuales se buscaba obtener dos puntos, uno por encima y otro por debajo de los 10mm, para luego con ayuda de la interpolación lineal y la ecuación de la recta, determinar qué porcentaje de agua es el adecuado para obtener la penetración de 10 milímetros.

$$\%agua = 0,2222(Penetración(mm)) + 22,667$$

**Ecuación (24)**

Reemplazando la penetración por 10 mm, tenemos que el porcentaje de agua óptimo para la consistencia normal es de 24,889 %, es decir, 124.45 mililitros.



**Gráfica 4.** Consistencia normal del cemento.

### 7.2.3 Tiempos de fraguado

Se realizó el respectivo ensayo dando lo siguientes resultados:

LECTURA (No)	TIEMPOS (min)	PENETRACIÓN (mm)
1	30	39
2	45	39
3	60	39
4	75	39
5	90	38
6	105	38
7	120	37
8	135	37
9	150	37
10	165	35
11	180	35
12	195	32
13	210	31
14	225	29
15	240	27
16	255	21
17	270	19
18	285	2
19	300	1
20	315	0

**Tabla 22.** Datos ensayo de tiempo de fraguado del cemento.

El ensayo se realizó con el cemento Cemex tipo I el cual tuvo un tiempo de fraguado inicial de 75 minutos con una penetración de 39 mm, y un tiempo de fraguado final de 315 minutos con una penetración 0 milímetros, el cual indica que realmente la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación normal.

### 7.3 DISEÑO DE MEZCLA

#### 7.3.1 Diseño de mezcla convencional y cantidades

- a) **ASENTAMIENTO**= El asentamiento de acuerdo con la (Tabla 7.) será entre 50-100 mm para una consistencia Media. El asentamiento seleccionado es de 75 mm.
- b) **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)**: De acuerdo con el análisis granulométrico de los agregados es el tamiz siguiente a aquel cuyo porcentaje retenido es mayor o igual al 15%.

**TMN:** 1" (pulgada).

- c) **CONTENIDO DE AIRE**: Para determinar el contenido de aire teniendo en cuenta la (Tabla 8.) se escoge una exposición ligera, para un tamaño máximo nominal de 1" el contenido de aire en porcentaje es de 3,0.

**Contenido de aire**= 0,03.

- d) **CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO**: De acuerdo con la (Tabla 9) el requerimiento aproximado de agua de mezclado para un asentamiento de 75 mm y un tamaño máximo nominal de 1" con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido equivale a 188 kg/m<sup>3</sup> equivalente a 0,188 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.
- e) **RELACIÓN AGUA-CEMENTO**: Según la (Tabla 10.) la resistencia requerida de diseño cuando no existen datos para determinar la desviación estándar debe aumentar de acuerdo con la resistencia especificada, para resistencias entre 210 kg/cm<sup>2</sup> (3000psi) y 350 (5000 psi) se debe realizar el diseño de mezcla según  $f'c+85$  kg/cm<sup>2</sup>.

De acuerdo con lo anterior:

Según la (Tabla 11.) sobre la correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua-cemento para los cementos colombianos sin aire incluido en un estudio realizado por la Universidad Javeriana la relación agua

cemento en peso de acuerdo con la línea media, realizando la interpolación correspondiente, para un valor de 295 kg/cm<sup>2</sup> es igual a 0,4628.

**f) CANTIDAD DE CEMENTO:**

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Cantidad de Agua}}{\text{Relación Agua - Cemento}} \quad \text{Ecuación (25)}$$

$$\frac{188 \text{ kg}}{0,4628} = 406,22 \approx 406 \text{ kg}$$

La cantidad de cemento es 406 kg.

**g) VOLUMEN DE CEMENTO:**

Teniendo en cuenta la (Ecuación 17.) se determina el volumen del cemento.

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{406 \text{ kg}}{2895,9 \text{ kg/m}^3} = 0,14019 \text{ m}^3$$

**h) CONTENIDO DE GRAVA (b/bo):** De acuerdo con la (Tabla 12.) el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, para un tamaño máximo nominal de 1" y realizando la interpolación para un módulo de finura del agregado fino de 2,504 el contenido de grava es de 0,6996.

**i) CALCULO DE Bo:** Hace referencia al volumen absoluto del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de grava. De acuerdo con la Ecuación (18).

$$Bo = \frac{1552,327 \text{ kg}}{2567 \text{ kg/m}^3} = 0,6047 \text{ m}^3$$

**j) VOLUMEN DE GRAVA POR M<sup>3</sup>:**



Se calcula el volumen de la grava por metro cúbico teniendo en cuenta la Ecuación (19).

$$\text{Volumen de grava} = 0,6996 * 0,6047m^3 = 0,4230m^3$$

El volumen de grava por m<sup>3</sup> es 0,4230.

### k) ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE ARENA:

Para determinar el contenido de arena se realiza de acuerdo con la (Ecuación 20.)

$$\text{Volumen de arena} = 1 - (0,03m^3 + 0,188m^3 + 0,14019m^3 + 0,4230m^3)$$

El volumen de arena por m<sup>3</sup> es 0.22.

MATERIAL	PESO Kg/m3	Densidad Kg/m3	Volumen m3/m3
Cemento	406	2896	0,14
Arena	566	2586	0,22
Grava	1086	2567	0,42
Agua	188	1000	0,19
Aire	0	0	0,03

**Tabla 23.** Cantidades de diseño de mezcla concreto convencional.

**Proporciones:**

$$\frac{\text{Peso cemento (kg)}}{\text{Peso cemento(kg)}} = \frac{406}{406} = 1$$

$$\frac{\text{Peso arena (kg)}}{\text{Peso cemento(kg)}} = \frac{566}{406} = 1,39 \approx 1$$

$$\frac{\text{Peso grava (kg)}}{\text{Peso cemento (kg)}} = \frac{1086}{406} = 2,67 \approx 3$$

**PROPORCIÓN= 1:1:3**

### **7.3.2 Diseño de mezcla de 3000 psi con sustitución del agregado grueso con estéril de yeso**

Este diseño de mezcla se realizó con el objetivo de determinar las cantidades necesarias para realizar concreto de 3000 psi empleando el estéril de yeso como agregado grueso, de acuerdo con las características propias del material.

- a) **ASENTAMIENTO=** El asentamiento de acuerdo con la (Tabla 7.) será entre 50-100 mm para una consistencia Media. El asentamiento seleccionado es de 75 mm.
- b) **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN):** De acuerdo con el análisis granulométrico de los agregados es el tamiz siguiente a aquel cuyo porcentaje retenido es mayor o igual al 15%.

**TMN:** 1 1/2" (pulgada).

- c) **CONTENIDO DE AIRE:** Para determinar el contenido de aire teniendo en cuenta la (Tabla 8.) se escoge una exposición ligera, para un tamaño máximo nominal de 1 1/2" el contenido de aire en porcentaje es de 2,50.

**Contenido de aire=** 0,025.

- d) **CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO:** De acuerdo con la (Tabla 9.) el requerimiento aproximado de agua de mezclado para un asentamiento de 75 mm y un tamaño máximo nominal de 1 1/2" con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido equivale a 175 kg/m<sup>3</sup> equivalente a 0,175 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

**e) RELACIÓN AGUA-CEMENTO:** Según la (Tabla 10.) a resistencia requerida de diseño cuando no existen datos para determinar la desviación estándar debe aumentar de acuerdo con la resistencia especificada, para resistencias entre 210 kg/cm<sup>2</sup> (3000psi) y 350 (5000 psi) se debe realizar el diseño de mezcla según  $f'c+85$  kg/cm<sup>2</sup>.

De acuerdo con lo anterior:

Según la (Tabla 11.) sobre la correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua-cemento para los cementos colombianos sin aire incluido en un estudio realizado por la Universidad Javeriana la relación agua cemento en peso de acuerdo con la línea media, realizando la interpolación correspondiente, para un valor de 295 kg/cm<sup>2</sup> es igual a 0,4628.

**f) CANTIDAD DE CEMENTO:**

Se determina la cantidad de cemento con la (Ecuación 16.).

$$\frac{175kg}{0,4628} = 378.13 \approx 378 kg$$

La cantidad de cemento es 378 kg

**g) VOLUMEN DE CEMENTO:**

Teniendo en cuenta la (Ecuación 17.) se determina el volumen del cemento.

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{378kg}{2895,9 kg/m^3} = 0,14019m^3$$

El volumen del cemento por metro cúbico es 0.14019.

**h) CONTENIDO DE GRAVA (b/bo):** De acuerdo con la (Tabla 12.) el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, para un tamaño máximo nominal de 1 1/2" y realizando la interpolación para un módulo de finura del agregado fino de 2,504 el contenido de grava es de 0,7396.

**i) CALCULO DE Bo:** Hace referencia al volumen absoluto del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de grava. De acuerdo con la (Ecuación 18.)

$$Bo = \frac{1690.785kg}{2551kg/m^3} = 0,6627 m^3$$

**j) VOLUMEN DE GRAVA POR M<sup>3</sup>:**

Se calcula el volumen de la grava por metro cúbico teniendo en cuenta la (Ecuación 19.).

$$Volumen\ de\ grava = 0,7696 * 0,6627 = 0,49 m^3/m^3$$

El volumen de grava por m<sup>3</sup> es 0,49.

Cantidad de grava es 1249.99 kg/m<sup>3</sup>

**k) ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE ARENA:**

Para determinar el contenido de arena se realiza de acuerdo con la (Ecuación 20.)

$$Volumen\ de\ arena = 1 - (0.025m^3 + 0.175m^3 + 0.1305m^3 + 0.49m^3)$$

El volumen de arena es de 0.1795 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

MATERIAL	PESO Kg/m3	Densidad Kg/m3	Volumen m3/m3
Cemento	378	2895.9	0.13
Arena	464	2586	0.18
Grava	1249.99	2551	0.49
Agua	175	1000	0.18
Aire	0	0	0.025

**Tabla 24.** Cantidades de diseño de mezcla concreto con estéril de yeso.

**Proporciones:**

$$\frac{\text{Peso cemento (kg)}}{\text{Peso cemento (kg)}} = \frac{378}{378} = 1$$

$$\frac{\text{Peso arena (kg)}}{\text{Peso cemento (kg)}} = \frac{464}{378} = 1,39 \approx 1$$

$$\frac{\text{Peso grava (kg)}}{\text{Peso cemento (kg)}} = \frac{1250}{378} = 3.31 \approx 3$$

**PROPORCION= 1:1:3**

#### 7.4 Resistencia a la compresión

Se elaboraron 120 cilindros de dimensiones 10 cm de diámetro por 20 cm de alto; este ensayo consiste en aplicar sobre los especímenes una carga axial y a partir de esto una resistencia máxima alcanzada dividida en el área de la sección transversal. Los valores que fueron registrados en la máquina de compresión se someten a un cambio de unidades para obtener Psi.

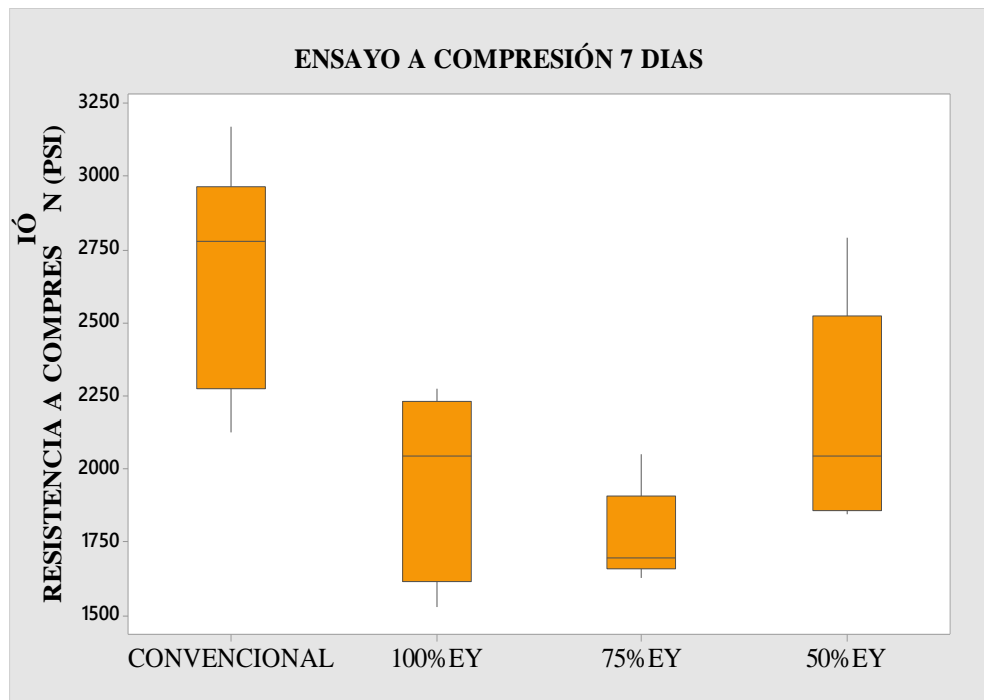
### 7.4.1 Diagrama de caja y bigotes

Se realizó para cada grupo de datos el diagrama por medio del programa Minitab 18, determinando los datos agrupados para realizar el respectivo análisis.

- **Ensayo de compresión 7 días**

	CONVENCIONAL	100% EY	75% EY	50%EY
Q1 (psi)	3213,6	1932,34	1659,94	1858,55
MEDIANA (psi)	3776,51	2080,84	1700,33	2045,57
Q3 (psi)	3852,82	2362,94	1908,67	2525,73
RANGO INTERCUARTIL (psi)	649,217	430,598	248,735	667,177
BIGOTES (psi)	3027,52-4031,74	178198-2852,96	1629,77-2054,85	1846,95-2791,77

**Tabla 25.** Datos diagrama caja -bigotes, ensayo compresión 7 días.

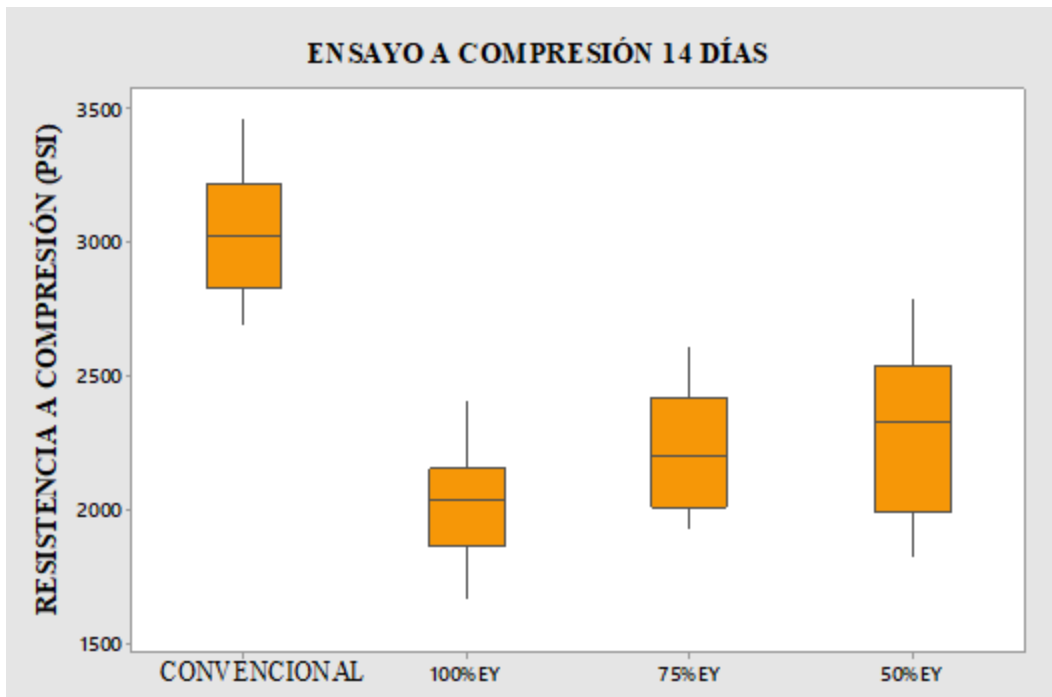


**Gráfica 5.** Diagrama caja-bigotes, ensayo compresión 7 días.

- Ensayo de compresión 14 días

	CONVENCIONAL	100% EY	75% EY	50%EY
<b>Q1 (psi)</b>	2833,27	1863,19	2008,26	1992,2
<b>MEDIANA (psi)</b>	3026,7	2040	2203,39	2330,5
<b>Q3(psi)</b>	3218,76	2155,07	2420,53	2538,86
<b>RANGO INTERCUARTIL (psi)</b>	385,494	291,879	412,269	546,661
<b>BIGOTES (psi)</b>	2694,30-3468,06	1661,33-2411,25	1923,7-2611,53	1824,68-2795,30

Tabla 26. Datos diagrama caja -bigotes, ensayo compresión 14 días.

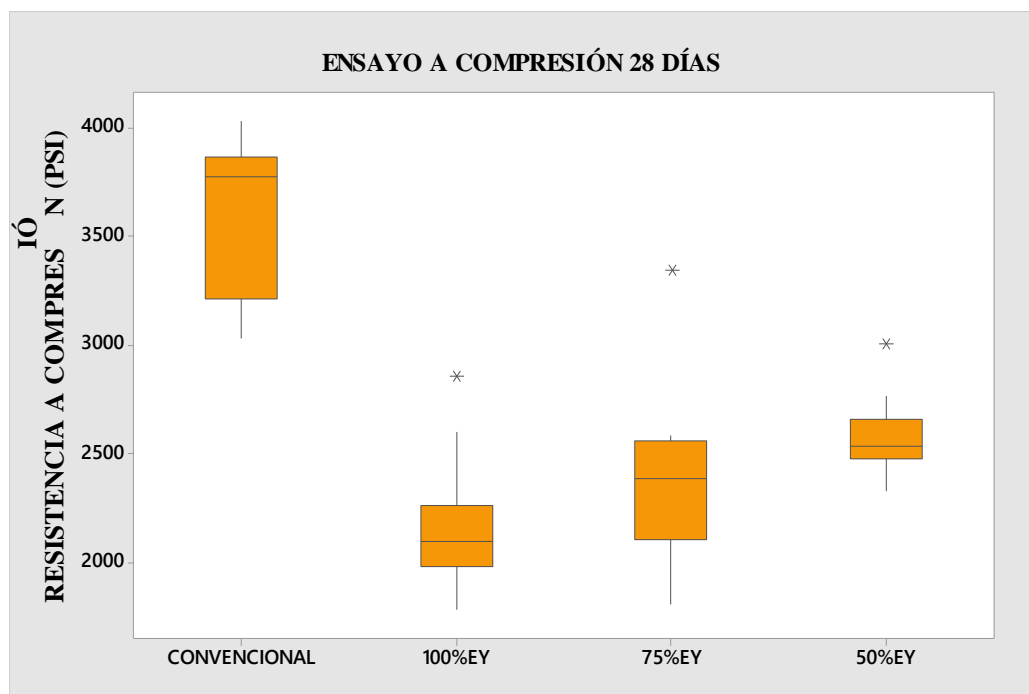


Gráfica 6. Diagrama caja-bigotes, ensayo compresión 14 días.

- Ensayo de compresión 28 días

	CONVENCIONAL	100% EY	75% EY	50%EY
Q1 (psi)	3213,6	1978,74	2106,4	2480
MEDIANA (psi)	3776,51	2097,54	2387,12	2538,67
Q3 (psi)	3862,82	2261,82	2558,65	2656,24
RANGO INTERCUARTIL (psi)	649,217	283,076	452,25	176,242
BIGOTES (psi)	3027,52-4031,74	1781,98-2598,73	1807,2587	2325-2767,64

**Tabla 27.**Datos diagrama caja -bigotes, ensayo compresión 28 días



**Gráfica 7.**Diagrama caja-bigotes, ensayo compresión 28 días.

Los datos que se encuentran fuera del rango que es definido por los bigotes o líneas de prolongación que se observan en la (Grafica 8.) representados por asteriscos, son identificados individualmente y no se tienen en cuenta, ya que afectan la dispersión y simetría de la serie de datos.



#### 7.4.2 Resultados de ensayo de compresión 7, 14,28 días

Teniendo en cuenta el diagrama de caja – bigotes se tomaron los datos para realizar el promedio de los ensayos que están descritos en el Anexo (12.1) y en la Tabla (28.) El resumen de los datos de la desviación estándar, media, numero de datos y valor p, empleados para la prueba de normalidad se encuentran en el anexo (12.5).

MEZCLA	7 DÍAS Resistencia (PSI)	14 DÍAS Resistencia (PSI)	28 DÍAS Resistencia (PSI)
CONVENCIONAL	2671,96	3032,61	3622,81
100%	1779,76	2013,08	2091,83
75%	1944,72	2240,21	2259,29
50%	2186,62	2307,47	2538,27

**Tabla 28.** Promedio resultados de ensayos de compresión 7, 14,28 días

#### 7.4.3 Resultados ensayo de flexión 28 días

En la (Tabla 29.) se encuentran los resultados promediados de las tres vigas realizadas para cada muestra, R hace referencia al módulo de rotura promedio.

ENSAYO FLEXION 28 DIAS	
VIGAS	R (kg/cm <sup>2</sup> )
CONVENCIONAL	34.28
100%	25.95
75%	28.19
50%	28.62

**Tabla 29.** Promedio ensayo de flexión 28 días.

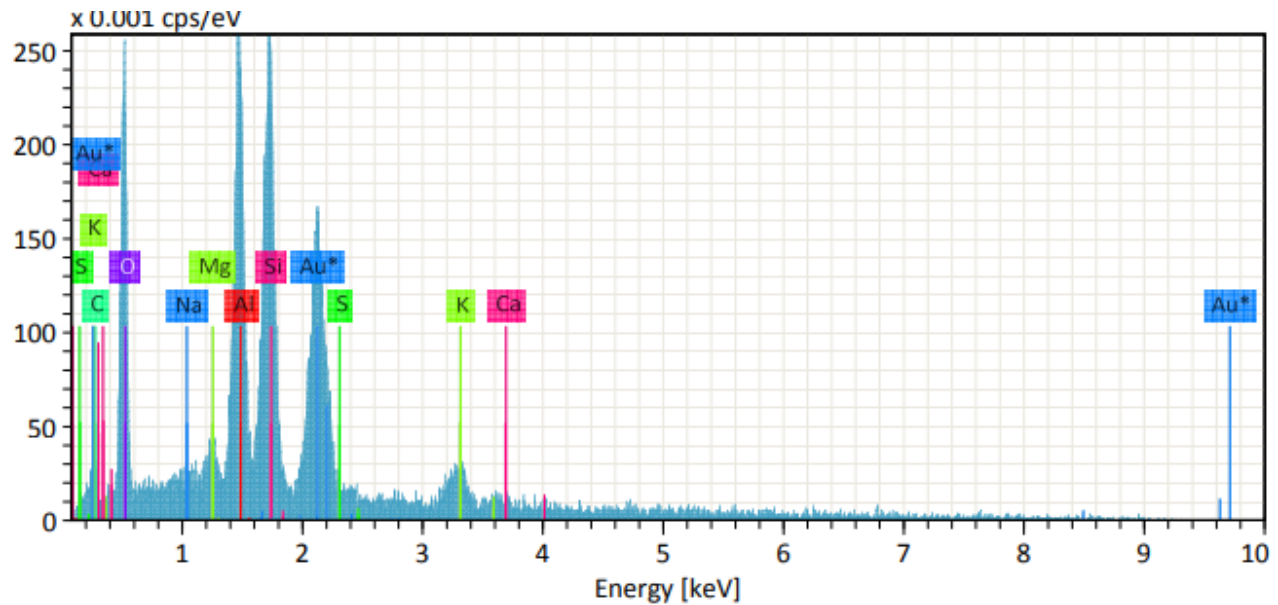
### 7.5 Ensayo de microscopio electrónico de barrio o SEM (Scanning Electron Microscopy)

Se sometió el estéril de yeso al ensayo de nanotecnología, en el laboratorio de nanotecnología de la Universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga, donde se revisó la conformación química.

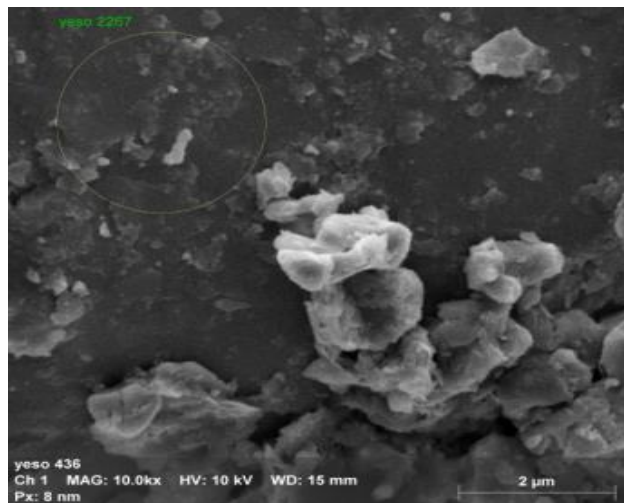
Se realizaron tres imágenes en el material sustituyente en la mezcla de concreto con el fin de evaluar su composición química dando como resultado lo expuesto en la (Tabla 29.) De igual forma en el (Anexo 12.3) se muestran imágenes tomadas a dicho material en diferentes ángulos y enfoques.

Element	At. No.	Line s.	Netto	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)	abs. error [%] (2 sigma)	abs. error [%] (3 sigma)
Carbon	6	K-Serie	53	0.32	1.23	2.26	0.23	0.47	0.70
Oxygen	8	K-Serie	3628	9.09	34.67	47.78	1.54	3.08	4.61
Silicon	14	K-Serie	5995	8.95	34.12	26.79	0.42	0.85	1.27
Potassium	19	K-Serie	610	1.34	5.11	2.88	0.10	0.21	0.31
Sulfur	16	K-Serie	273	0.40	1.53	1.05	0.06	0.11	0.17
Calcium	20	K-Serie	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aluminium	13	K-Serie	5491	5.70	21.72	17.75	0.30	0.61	0.91
Magnesium	12	K-Serie	303	0.32	1.21	1.10	0.05	0.11	0.16
Sodium	11	K-Serie	85	0.11	0.41	0.39	0.04	0.08	0.12
			<b>Sum</b>	<b>26.23</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>			

**Tabla 30.** Resultados ensayos de SEM, material estéril de yeso



**Gráfica 8.** Muestra Gráfica resultados de ensayo de SEM.



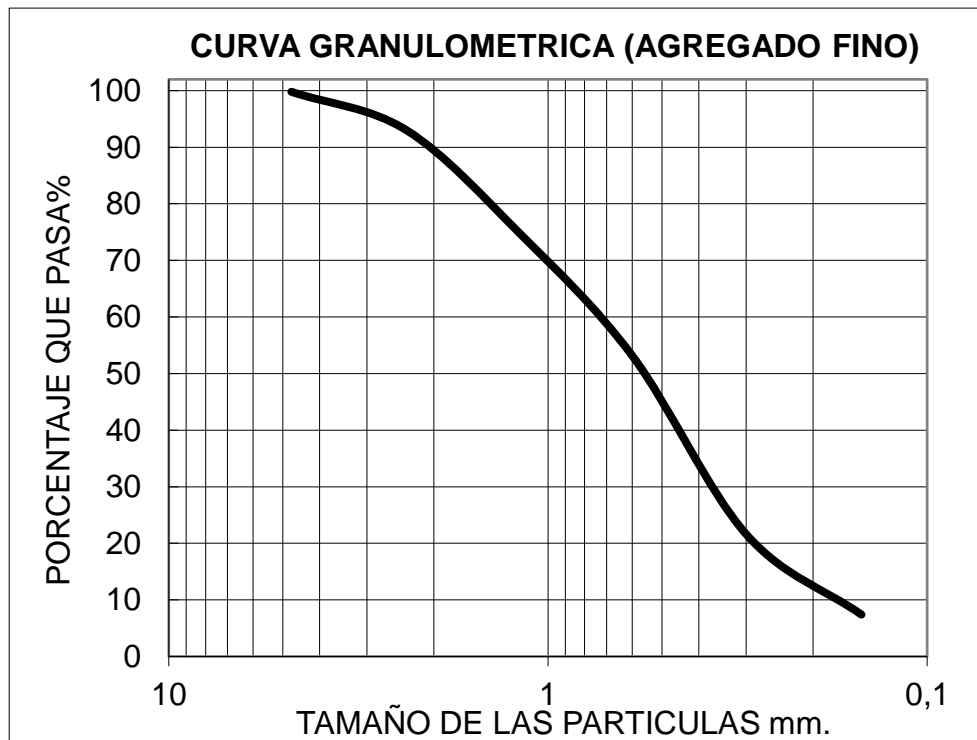
**Ilustración 18.** Ensayo de SEM.

En la gráfica (9) se muestra la composición química de una partícula de estéril de yeso, donde el eje x mide los kiloelectrovolts de cada uno de los compuestos que inciden por cada ciclo por segundo.

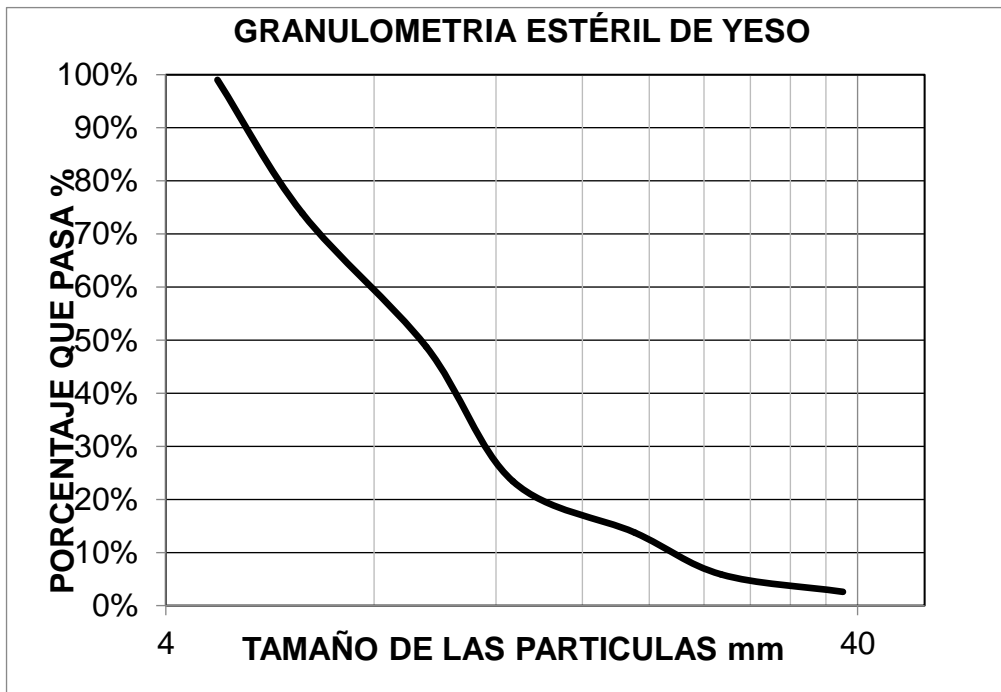
## 8. ANALISIS DE RESULTADOS

### 8.1 Caracterización del agregado grueso (convencional – estéril de yeso) y agregado fino.

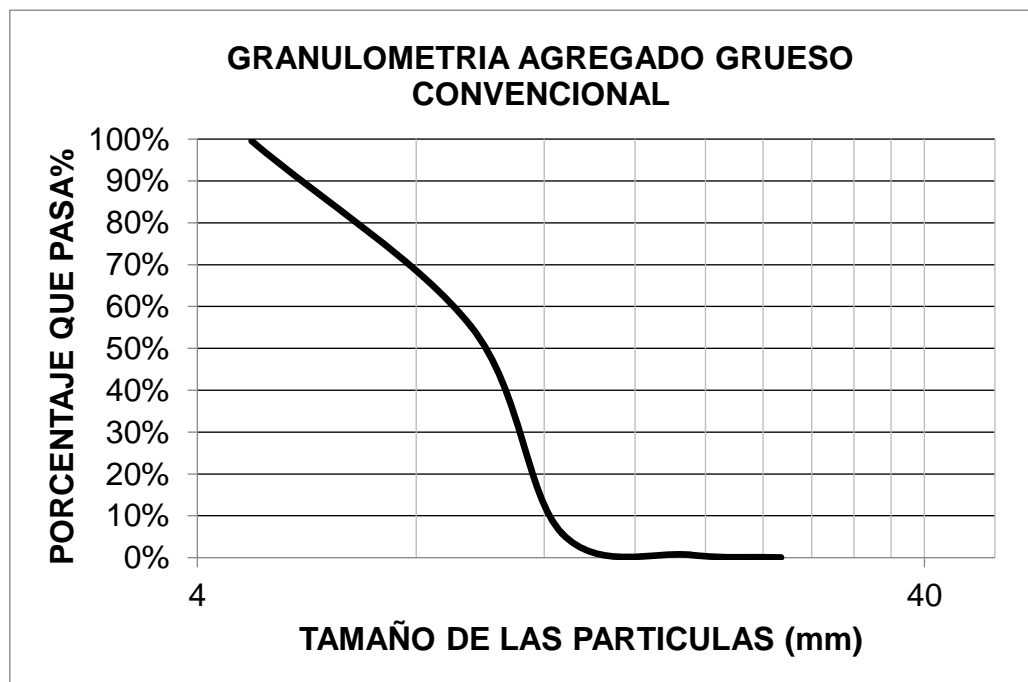
- Se realizó la granulometría tanto para el agregado de fino (arena) y el agregado grueso triturado convencional y el estéril de yeso la cual se observa en la (Tabla 12.) y (Tabla 13.) Dando como tamaño nominal 1" y 1 1/2" respectivamente y con un módulo de finura de 2.5 para el agregado fino, el cual cumple con los requerimientos de la norma INV-213-13.



**Gráfica 9.** Curva granulométrica del agregado fino.



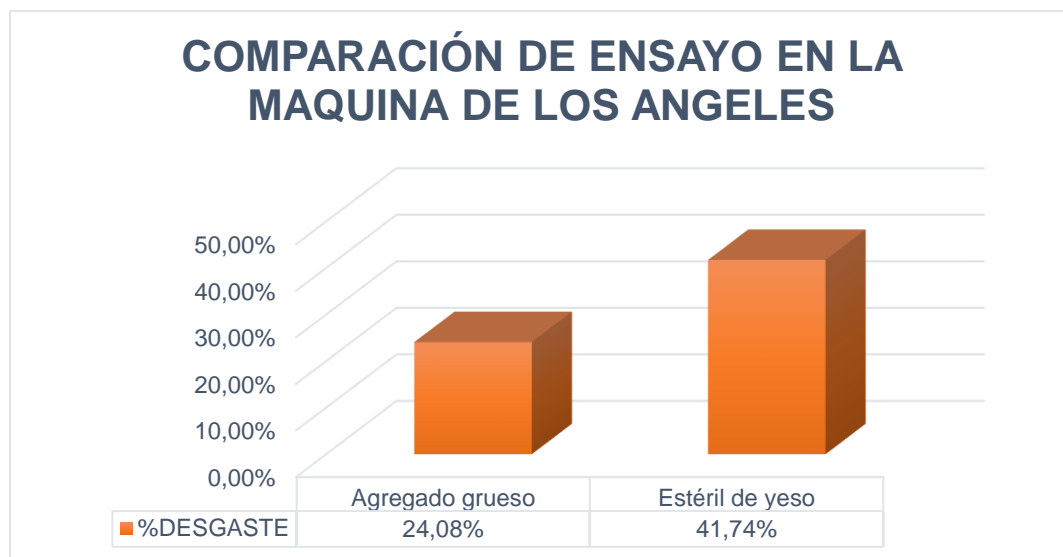
**Gráfica 10.**Granulometría estéril de yeso.



**Gráfica 11.**Granulometría agregado grueso convencional.

- Los resultados obtenidos del ensayo de colorimetría del agregado fino (Tabla 6.) color Gardner de referencia, dio como resultado correspondiente a la placa orgánica No 1, lo que indica que el material usado para las diferentes mezclas de concreto indica que posee bajas cantidades, no afectando la resistencia de los concretos elaborados.
- El ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles realizado al agregado grueso empleado en la mezcla convencional, triturado y extraído de canteras regionales presenta un desgaste del 24,08%; y en el estéril de yeso un desgaste de 41.74%. Según la NTC 98, el desgaste en la máquina de los ángeles no puede ser mayor al 50%, es decir los materiales cumplen con este requerimiento.

Estos porcentajes dados en la (Tabla 16.), nos indican la calidad del material, es decir que el agregado grueso convencional presenta una mayor calidad ya que tiene un menor porcentaje de desgaste, indicando la capacidad de este para producir un concreto resistente.

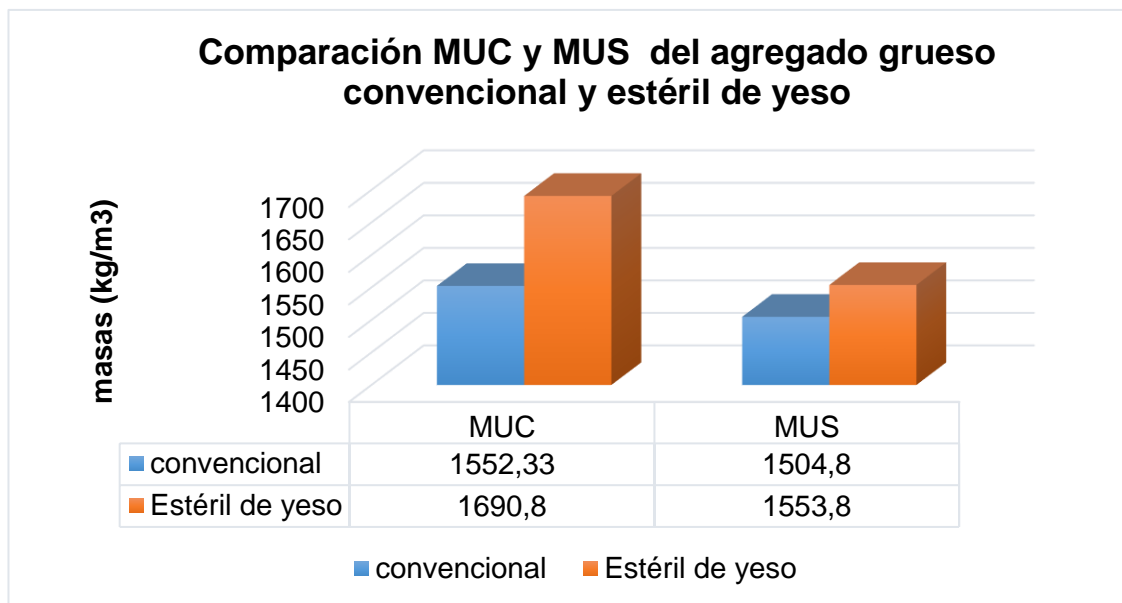


**Gráfica 12.** Comparación de ensayo en la máquina de los ángeles.

- Para el ensayo de índice de aplanamiento e índice de alargamiento se determinó por la norma NTC 174 la cual limita la cantidad total de partículas aplanadas y alargadas presentes en el agregado a máximo 50%, para el agregado grueso convencional cumple con los requerimientos establecidos con un porcentaje del 49.20% y para aplanamiento 26.72%.

El estéril de yeso un porcentaje de 60% para aplanamiento y 32,59% para el ensayo de alargamiento, por lo cual se determinó que el índice de alargamiento no cumplió con lo establecido con la norma (<50%), por estar cerca del valor permitido no afectara drásticamente la manejabilidad, durabilidad ni la trabajabilidad de la mezcla.

- Para los ensayos de masas unitarias compactas (M.U.C) y masas unitarias sueltas (M.U.S), teniendo en cuenta la norma NTC 92, el valor para agregados normales varía entre 1300 y 1800 kg/m<sup>3</sup>; el agregado grueso convencional y el estéril de yeso cumplen dichos requerimientos.



**Gráfica 13.** Comparación MUC y MUS del agregado grueso convencional y estéril de yeso.

- La densidad aparente no es considerada una medida de calidad para los agregados; teniendo en cuenta la norma NTC 176, establece que la densidad puede variar entre 2.4 y 2.8 kg/ dm<sup>3</sup>; el agregado grueso convencional y el estéril de yeso con valores 2.62 y 2.71 kg/ dm<sup>3</sup> respectivamente, es decir, )

## 8.2 Análisis estadístico, resistencia a la compresión

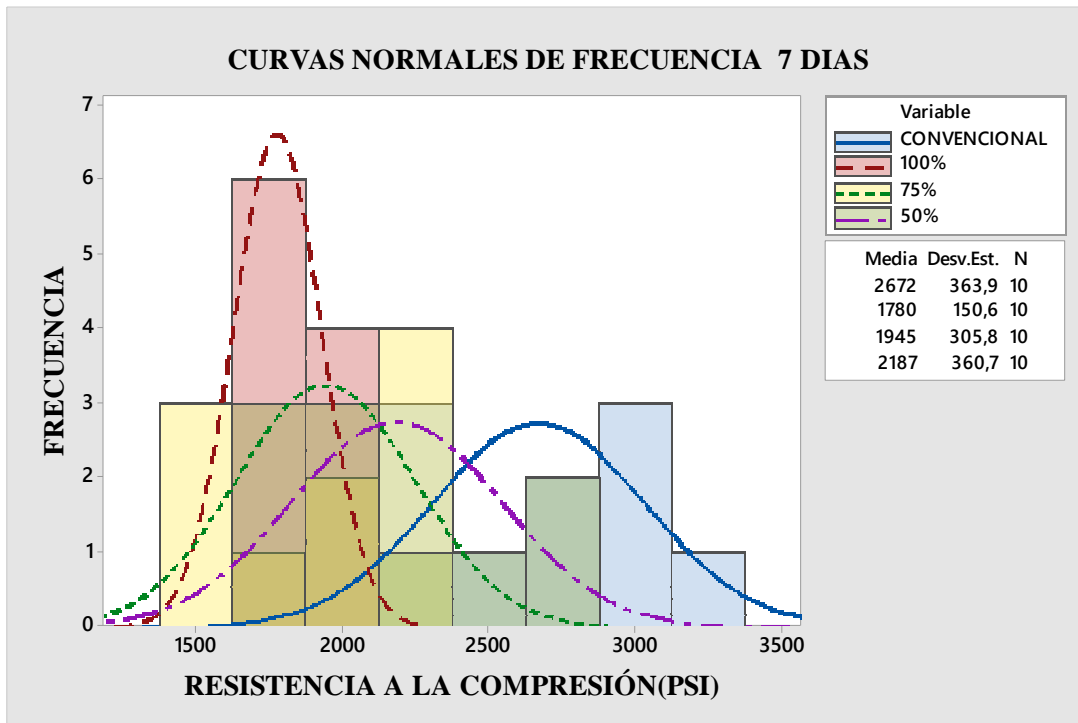
Las gráficas que se muestran a continuación fueron realizadas en los programas de EXCEL y MINITAB 18.

- **Mezclas de concreto a los 7 días.**

ANÁLISIS ESTADÍSTICO, -M.C. 7 DÍAS	M. CONVENCIONAL	100% ESTÉRIL YESO	75% ESTÉRIL YESO	50% ESTÉRIL YESO
Media (psi)	2671,96	1779,76	1944,72	2186,62
Mediana (psi)	2780,17	1700,33	2045,45	2045,55
Desviación Estándar (psi)	363,87	150,57	305,84	360,73
Varianza de la muestra (psi <sup>2</sup> )	132404,75	22671,08	93539,96	130123,61
Rango (psi)	1047,07	425,08	746,02	944,82
Resistencia Mínima (psi)	2125,53	1629,77	1531,39	1846,95
Resistencia Máximo (psi)	3172,59	2054,85	2277,41	2791,77

**Tabla 31.** Análisis estadístico, mezcla de concreto 7 días.



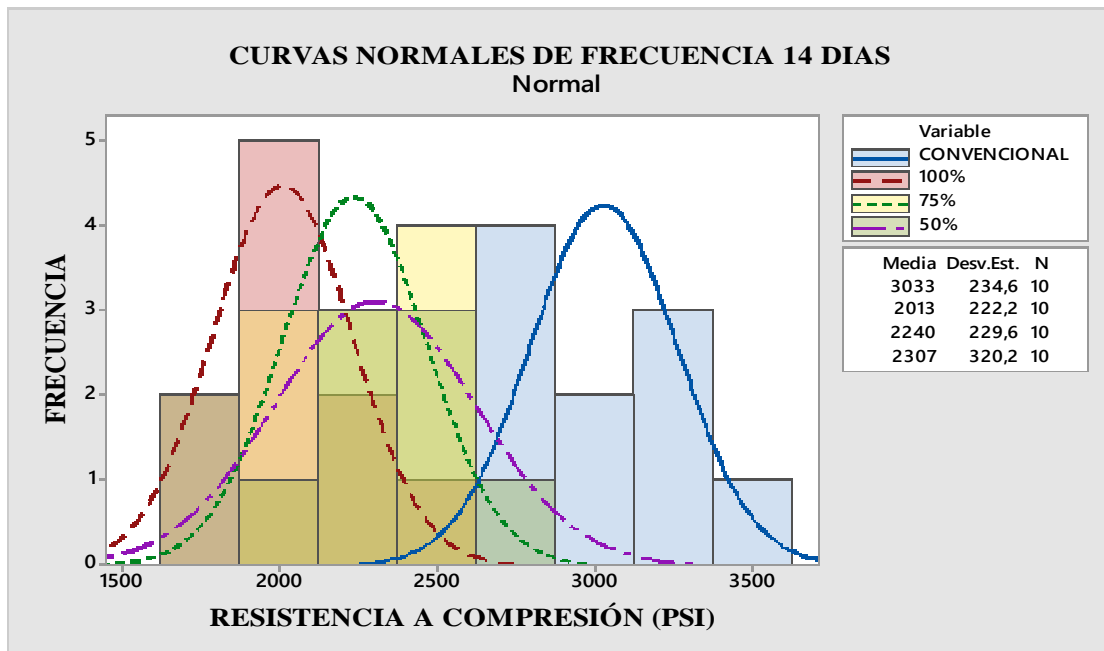


**Gráfica 14.** Curvas normales de frecuencia – Resistencia a la compresión,7 días.

- **Mezclas de concreto a los 14 días.**

14 DÍAS	M. CONVENCIONAL	100% ESTÉRIL YESO	75% ESTÉRIL YESO	50% ESTÉRIL YESO
<b>Media (psi)</b>	3011,32	2013,08	2240,21	2311,61
<b>Mediana (psi)</b>	2984,23	2040,00	2203,41	2337,00
<b>Desviación Estándar (psi)</b>	238,33	222,23	229,56	339,29
<b>Varianza de la muestra (psi<sup>2</sup>)</b>	56800,61	49385,09	52697,25	115115,74
<b>Rango (psi)</b>	2694,30	1661,33	1926,77	1824,68
<b>Resistencia Mínima (psi)</b>	3468,06	2411,25	2611,53	2795,30
<b>Resistencia Máxima (psi)</b>	2710,18	2013,08	2240,21	2080,45

**Tabla 32.** Análisis estadístico mezclas de concreto 14 días.

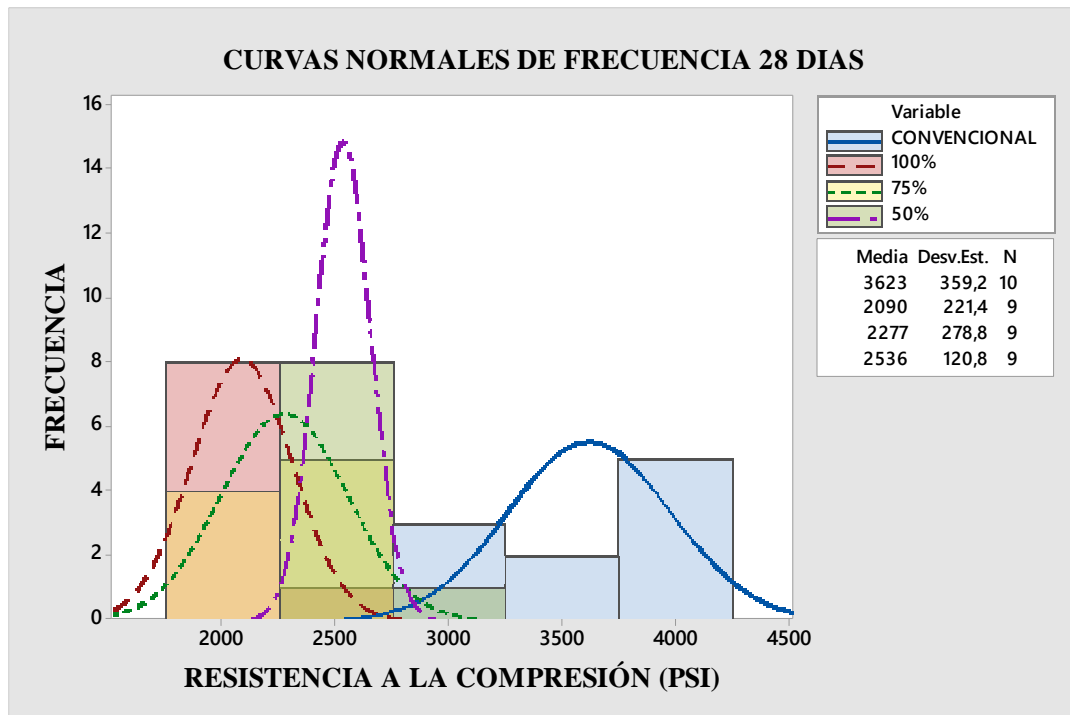


**Gráfica 15.** Curvas normales de frecuencia – Resistencia a la compresión, 14 días.

- **Mezclas de concreto a los 28 días**

ANÁLISIS ESTADÍSTICO, M.C.28 DÍAS	M. CONVENCIONAL	100% ESTÉRIL YESO	75% ESTÉRIL YESO	50% ESTÉRIL YESO
Media (psi)	3622,81	2090,16	2242,93	2535,65
Mediana (psi)	3776,51	2088,26	2310,63	2528,66
Desviación estándar (psi)	359,21	221,43	277,35	120,83
Varianza de la muestra (psi <sup>2</sup> )	129029,36	49032,72	76922,24	14599,70
Rango (psi)	1004,22	816,74	780,00	442,64
Resistencia Mínima (psi)	3027,52	1781,98	1807,00	2325,00
Resistencia Máxima (psi)	4031,74	2598,73	2587,00	2767,64

**Tabla 33.** Análisis estadístico mezcla de concreto 28 días.



**Gráfica 16.** Curvas normales de frecuencia – Resistencia a la compresión, 28 días.

El análisis estadístico realizado para cada una de las muestras da resultados de media, mediana, desviación estándar, rango, resistencia mínima y resistencia máxima, los cuales son importantes para detectar cómo se comporta la resistencia a la compresión de los cilindros ensayados.

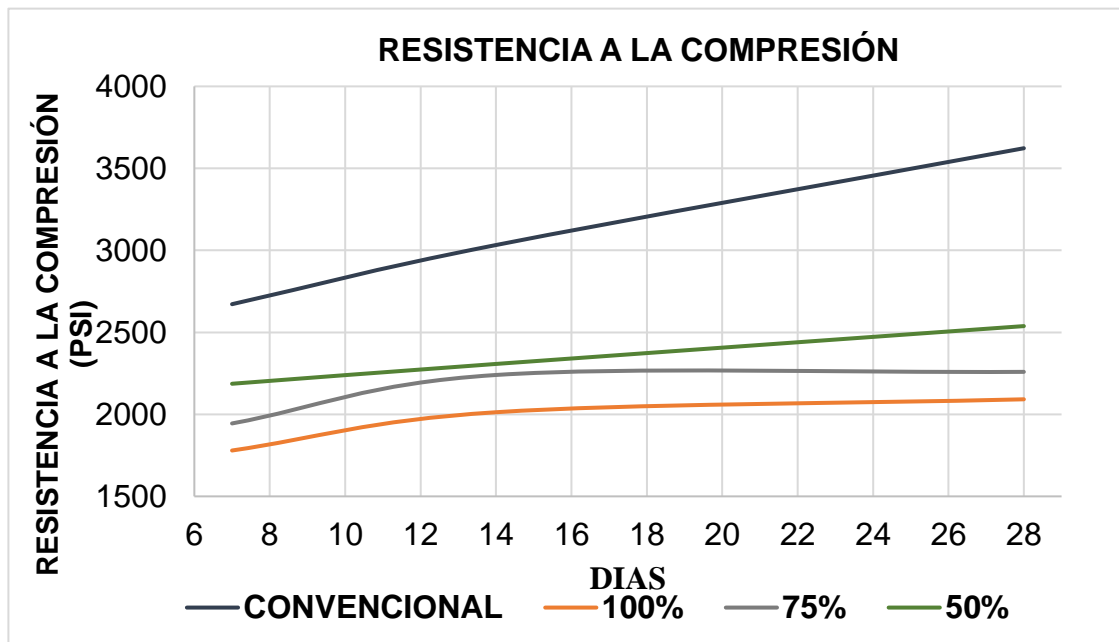
Cada grafica de distribución normal, representa una valoración de los resultados obtenidos (estadística descriptiva), para realizar posteriormente un análisis con los resultados de resistencia a la compresión.

En el (Anexo 12.5), se encuentran las pruebas de normalidad realizadas a las series de resultados obtenidos a los 7,14 y 28 días de las diferentes mezclas de concreto, teniendo como resultados valores de probabilidad (valores P) mayores a 0.01 lo que indica que los datos están dentro de una población normal y pueden ser empleados para realizar la distribución normal.

La distribución normal obtenida en la (Grafica 14.), se realizó para los 30 especímenes de mezcla de concreto ensayados en la máquina de compresión después de los 7 días de desencofrado y su respectivo curado, tanto para la mezcla convencional como para las mezclas con sustitución de estéril de yeso, la cual la curva que mayor presenta altura la correspondiente a la mezcla con el 100% de estéril de yeso. En la (Grafica 15) correspondiente al ensayo a los 14 días los comportamientos de las mezclas fueron similares lo que indica que los valores fueron acertados. Y por último en la (Grafica 16.), la mezcla con material convencional presenta una curva más extendida, producto de valores que se encuentran lejanos a la media, esto se presentó como consecuencia de los posibles errores cometidos al momento de la realización de la mezcla de concreto.

### 1.1 Crecimiento de la resistencia a compresión en las mezclas de concreto.

En el (Anexo 12.4) se encuentran las gráficas representando el crecimiento de la resistencia a compresión de su respectiva mezcla de concreto.



**Gráfica 17.** Crecimiento de la resistencia a la compresión en las mezcla convencional y mezclas con sustitución de 100%,75% y 50% de estéril de yeso

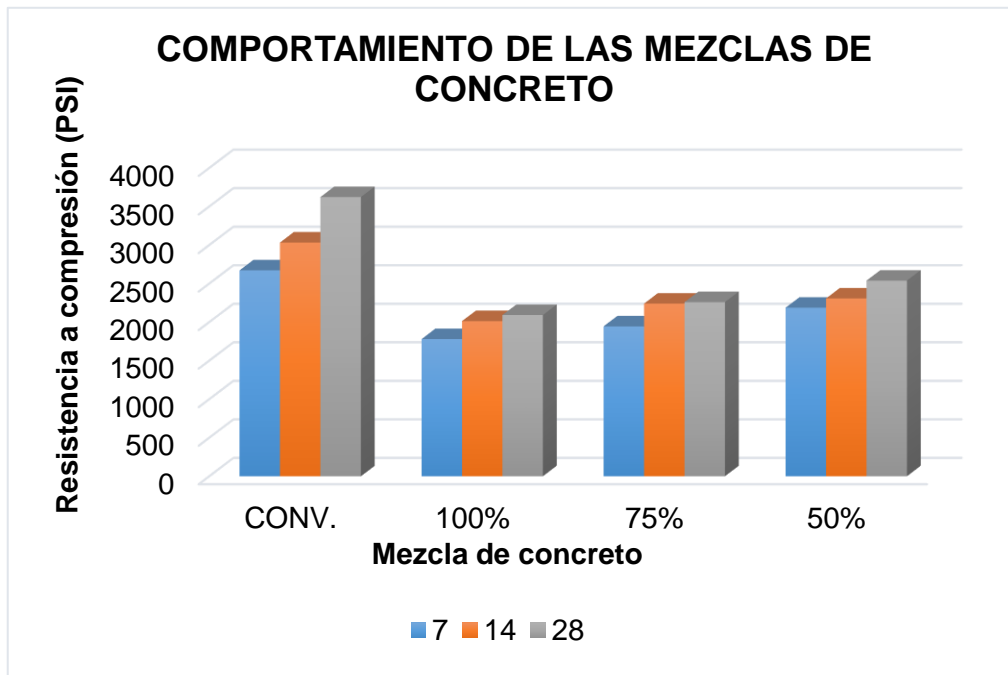
Para la mezcla con el material convencional, la resistencia a la compresión aumenta con un ritmo constante, es decir a mayor tiempo de fraguado, mayor es la resistencia a compresión hasta el día 28, donde obtendremos la resistencia máxima. A los 7 días los especímenes mostraban un aumento de la resistencia a la compresión del 89,1 % (2671,96 PSI) de la deseada, a los 14 días el aumento respecto a los 7 días fue del 12,02%(3032,61 PSI), es decir se contaba con el 101,1% de la resistencia inicial, lo que indicaba que los especímenes ya superaban la resistencia para la cual habían sido diseñados, la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días fue de 3622,81 PSI, superando la de diseño en un 20,76%.

Para las mezclas que sustituían el 100% y 75% del agregado grueso por estéril de yeso, la resistencia a la compresión a los 28 días no tuvo un aumento constante a lo largo del tiempo, la resistencia máxima a la compresión para la mezcla de 100% fue de 2091,83 PSI y para la mezcla de 75% fue de 2259,29 PSI, llegando a un 69,72 % y 75,3% respectivamente de la resistencia la compresión de diseño. La mezcla que sustituía el 50% de agregado grueso por estéril de yeso y el restante por material convencional, fue constante, en cuanto al aumento de la resistencia a la compresión, teniendo como resultado a los 28 días, una resistencia máxima a la compresión de 2538,27 PSI, lo que representa un 84,6 % de la resistencia de diseño.

En la (Gráfica 14), se evidencia que para las mezclas que contienen adición de estéril de yeso la resistencia a la compresión no es directamente proporcional, es decir que, a menor porcentaje de estéril de yeso añadido, mayor es su resistencia a la compresión.

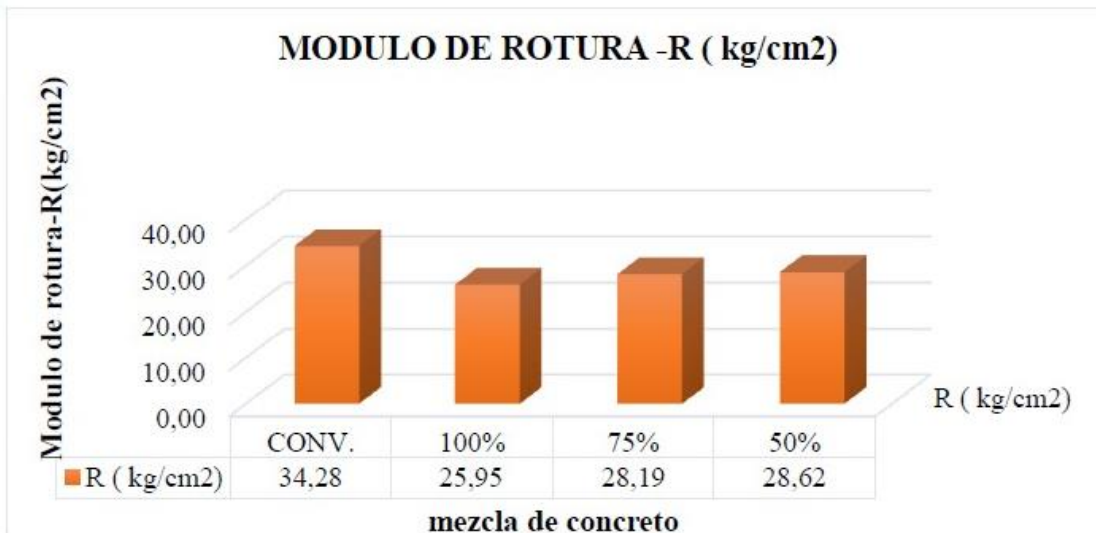
#### **8.4 Comparación resistencia a compresión de las mezclas de concreto**

En la (Grafica 1) se muestra el comportamiento de las mezclas de concreto en cuanto al aumento de la resistencia; con los diferentes porcentajes de sustitución del estéril de yeso, siendo el resultado máximo en las mezclas con estéril de yeso el cual contiene 50% del agregado.



**Gráfica 18.** Comparación resistencia a compresión de las mezclas de concreto.

### 8.5 Análisis resultados ensayo de flexión



**Gráfica 19.** Análisis ensayo de flexión.

En la gráfica 19, Resultados del ensayo a flexión para los concretos elaborados con materiales convencional y con sustitución de estéril de yeso al 100%, 75% y 50%.

Para la evaluación del módulo de rotura se debe verificar que los resultados obtenidos estén en un rango de un 10% al 20% de la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto a los 28 días; para la mezcla de concreto convencional se obtuvo un 13.46%, la mezcla de concreto con sustitución del 100% estéril de yeso 17.64%, la mezcla de concreto con sustitución del 75% estéril de yeso 17.74% y se obtuvo un 15,84% para la mezcla de concreto con 50% de agregado cabe destacar que el módulo de rotura fue 28.62 kg/cm<sup>2</sup>(402.07 PSI), es decir que cada una de las mezclas cumplieron.

## 9 CONCLUSIONES

- Los agregados usados para realizar las diferentes mezclas de concreto cumplen con las normas establecidas (Norma técnica colombiana e Instituto nacional de Vías) para la selección de materiales granulares. Se destacan características del estéril de yeso, tales como, el porcentaje de absorción, que es mayor un 1.65% que del agregado grueso convencional, el cual influye en la cantidad de agua requerida para la mezcla de concreto ; de igual forma un mayor porcentaje de desgaste en la máquina de los ángeles el cual permitió conocer el comportamiento que este sufrirá en condiciones de movimiento y roce continuo de las partículas, su granulometría aun teniendo un tamaño nominal mayor tiene un comportamiento similar al agregado grueso convencional.
- La mezcla convencional y la mezcla con adición de estéril de yeso fueron diseñadas con el método ACI 211, de las cuales sus cantidades próximas fueron 1:1:3, dichas mezclas constaron con fluidez, consistencia adecuada, manejabilidad, plasticidad.
- Los resultados obtenidos fueron analizados por el método de cajas para hallar la dispersión y simetría de las series de datos obtenidos luego de realizar cada uno de los ensayos a compresión y así definir qué información realmente podía ser empleada para el análisis de resultados; dicho análisis se realizó con los datos de los 132 especímenes de concreto, 120 cilindros de dimensiones de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto y 12 vigas de 15 x 15 x 54 cm.
- La inclusión de estéril de yeso en reemplazo parcial de agregado grueso al 50 % en la mezcla de concreto, es aquel que presenta el mejor



comportamiento mecánico en las pruebas realizadas de resistencia a la compresión y flexión, que la resistencia a la compresión obtenida corresponde a un 84,6 % de la resistencia de diseño(3000PSI).

- Cuando se disminuye los porcentajes utilizados de estéril de yeso empleado para el diseño de la mezcla se obtiene una relación inversamente proporcional respecto a la resistencia a la compresión, cuando se reduce el contenido de estéril de yeso en la mezcla, se incrementa la resistencia a la compresión.
- En los Santos-Santander de acuerdo con los operadores de la mina existen alrededor de 31.942 toneladas de estéril de yeso, las cuales son dispuestas en sectores aledaños a la mina, el estéril de yeso no tiene un control estandarizado que garantice la homogeneidad, proporcionalidad y uniformidad del material, lo que hace que este insumo sea más difícil de reutilizar; por lo cual se hace necesario un proceso de trituración como con el agregado grueso comercial.
- La prueba de normalidad realizada a la serie de datos obtenidos a los 7,14 y 28 días indica que los resultados están dentro de una población normal, luego de esto, se emplearon los diagramas de caja y bigotes, descartándose los datos que se encuentran fuera de los bigotes o líneas de aceptación, debido a que afectan la dispersión y la simetría de la serie de datos. Las curvas normales se realizaron teniendo en cuenta lo anterior donde se obtuvieron los resultados de la media y la desviación estándar que representan los conjuntos de datos y son aceptables según la estadística descriptiva.
- El uso de estéril de yeso como agregado grueso para concreto contribuye con la reducción de la acumulación de este material en la serie de pilas,

además ayuda a disminuir el impacto ambiental como la pérdida de flora, dificultades para la agricultura y el deterioro del paisaje. A sí mismo, brinda la posibilidad de dar un mejor uso al suelo que actualmente ocupan los residuos.

- La mezcla con inclusión del 50% de estéril de yeso como agregado grueso puede ser empleado como concreto de uso no estructural por su resistencia a compresión de 2538,27 PSI, usado en losas, andenes, entre otros.
- Los valores obtenidos de módulo de rotura de cada una de las mezclas de concreto se encuentran dentro de los porcentajes del 10% al 20% de la resistencia a compresión de acuerdo con la norma.

## 10.RECOMENDACIONES

- Realizar una mejor clasificación y separación del estéril de yeso en las pilas de material para dar un control de la composición y clasificación del agregado, así mismo realizar la trituración adecuada para el tamaño máximo nominal del estéril de yeso.
- Se recomienda realizar ensayos a compresión sustituyendo el agregado grueso en menores porcentajes por estéril de yeso para evaluar el comportamiento de los materiales e identificar si puede ser empleado como concreto estructural.
- Realizar ensayos adicionales como resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, permeabilidad, meteorización ente otras propiedades.
- Realizar un análisis al agregado para indagar la composición química, geológica y mineralógica del estéril de yeso e identificar que reacciones se presentan al momento de realizar la mezcla de concreto.
- Se recomienda realizar el diseño de mezcla para el estéril de yeso con un tamaño máximo nominal inferior y evaluar como varia la resistencia a la compresión.
- Se recomienda para cada mezcla de concreto realizar 90 especímenes para los ensayos de la resistencia a compresión, y así lograr resultados estadísticos viables.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2008). “ *Estadística para administración y economía*”, *estadística descriptiva: medias de las formas de la distribución, de la posición relativa y de la detección de observaciones atípicas, capítulo 3.3, pp 106*. CENGAG LEARNING.
- Anicama, G. (2010). “Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicos”. *Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- ASTM . (2014). (*C219 TerminologyRelatedHydraulicCement*).
- CANAL CONSTRUCCION. (2013). Obtenido de <http://canalconstruccion.com/cemento-portland-usos-y-tipos.html>
- CASTRO, G., TESTOLIN, A., JANK, R., CORREA, L., & RADETSKI, A. (2012). *Proposal for a minimal battery of tests to evaluate technical and environmental*. Incorporation of gypsum waste in ceramic block production.
- CHANDARA, C., & AZIZLI, K. (2009). *Use of waste gypsum to replace natural gypsum as set retarders in portland cement*.
- CONSTRUCCION. (2010). Obtenido de <<<https://www.construccion-pa.com/productos-y-tecnologia/el-concreto-en-la-vida-moderna/>>> .
- Gutiérrez de López, L. (2003). “ *El concreto y otros materiales para la construcción*”, *Agregados, Capítulo 1,pp 16*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales .
- GUZMAN, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero, (pag 30-31)*. Quito: Biblioteca de la construcción.
- GUZMAN, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero; cap: EL CONCRETO*. Quito: Biblioteca de la construcción.
- HAMMOND, A. (1984.). “*ENGINEERING CHARACTERISTICS OF MINING WASTE AGGREGATES*”. PARIS: International Association of ENGINEERING N ~ 3.
- INV E-201. (2013). *Analisis granulometrico de los agregados gruesos y los agregados finos*. Bogota: Invias.
- INV E-212. (2013). *Ensayo de contenido de materia organica para agregado fino*. Bogota: INVIAS.

- INV E-219. (2013). *RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES DE 19 mm POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES*. Bogota: INVIAS.
- INV E-223. (2013). *Densidad relativa y absorcion del agregado grueso*. Bogota: INVIAS.
- INV E-404. (2013). *Asentamiento*. Bogota: INVIAS.
- INV E-414. (2013). *Ensayo a flexion*. Bogota: INVIAS.
- INV-E-230. (2013). *Indice de aplanamiento e indice de alargamiento del agregado grueso*. Bogota: INVIAS.
- INV-E-307. (2013). *Densidad el cemento*. Bogota: INVIAS.
- Levin, R. (2004). *“Estadística para administración y economía”, edición séptima estadística descriptiva: rango , capítulo 3, pp 78-80*. Person.
- Merritt, F. (2003). *” Manual del ingeniero civil”, edición cuarta, tomo 1, materiales cementosos, capítulo 5-5.1, pp 122-123*.
- NEVILLE, A. (1979). *Tecnología del concreto*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
- NTC 118. (1991). *Metodo de ensayo para determinar los tiempos de fraguado de cemento hidraulico mediante el aparato de Vicatt*. Icontec.
- NTC 673. (1991). *Ensayo de compresion de cilindro de concreto*. Icontec.
- NTC 92. (1995). *Masa unitaria compacta y masa unitaria suelta de los agregados gruesos y finos*. Bogota: ICONTEC.
- NTC110. (1991). *Consistencia normal del cemento*. ICONTEC.
- Pardave, W. (2007). *“BENEFICIO DE MINERALES DE YESO PROVENIENTES DE LA MINA LA NACUMA “MUNICIPIO DE LOS SANTOS”*. Pereira: Universidad tecnológica .
- Parra, K., & Bautista, M. (2010). *Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros*. Bucramanga: tesis pregrado, universidad pontificia bolivariana .
- PATOLOGIA, CONSTRUCCION Y REHABILITACION*. (2014). Obtenido de <https://www.patologiasconstruccion.net/2012/12/la-microscopia-electronica-de-barrido-sem-i-concepto-y-usos/>
- PORRERO, J., RAMOS, C., & GRASES, J. (1979). *Manual del concreto fresco*. Caracas: Asociación Venezolana de sistemas de paredes estructurale-AVESIPE.
- Rivera, G. (2013). *” Concreto Simple”, Agregados para mortero o concreto, Capitulo 2,pp 41-43*. Cauca: Facultad de Ingeniería Civil Universidad del Cauca.

- RIVERA, G. (2013). " *Concreto Simple*", *Agua de Mezcla, Capitulo 3*, pp 77-78. Cauca: Facultad de Ingeniería Civil Universidad del Cauca .
- RIVERA, G. (2013). " *Concreto Simple*", *Manejabilidad del Concreto, Capitulo 4*, pp 84-85. Cauca: Facultad de Ingeniería Civil Universidad del Cauca.
- SANCHEZ DE GUZMAN , D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* ( pag 56-57). Quito: Biblioteca de la construcción.
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). " *Tecnología del concreto y el mortero*", *Resistencia del concreto, Capitulo 6*, pp 133. Quito: Biblioteca de la construcción.
- Sanchez de Guzmán, D. (2001). D. Sánchez de Guzmán," *Tecnología del concreto y el mortero*", *cemento portlad, Capitulo 6*, pp 28-30-31. Quito: Biblioteca de la construcción.
- Sánchez de Guzman, D. (2001). *DIEGO GUZMAN, En tecnología del concreto y del mortero, EL CONCRETO*. Quito: Biblioteca de la construcción.
- SanchezdeGuzman, D. (1984.). *Manual de diseño de mezclas de concreto*. Bogotá: Universidad de los Andes, CIFI.
- SánchezdeGuzmán, D. (2001). " *Tecnología del concreto y el mortero*", *El agua, Capitulo 3*, pp 57,58. Quito: Biblioteca de la construcción.
- universidad Politécnica de Cataluña. (2010). *VIABILIDAD AMBIENTAL EN EL RECICLAJE DEL YESO. CONAMA, Congreso Nacional del Medio Ambiente*.
- Wakittl, R. (2014). " *Situacion del yeso en Colombia*". Obtenido de [http://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac\\_detail.pl?biblionumber=11072](http://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac_detail.pl?biblionumber=11072).
- Williams, T. (2008). " *Estadística para administración y economía*", *estadística descriptiva: medias numéricas, capitulo 3*, pp 83. CENGAGE LEARNING.

## 12. ANEXOS

### 12.1 Resultados de ensayos de compresión en días 7, 14, 28 días

- Ensayo de compresión 7 días

ENSAYO A COMPRESION MEZCLA CONVENCIONAL -7 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	159,8	20346,4	2951,0	TIPO 6
2	157,1	20002,6	2901,1	TIPO 2
3	115,1	14655,0	2125,5	TIPO 6
4	123,7	15750,0	2284,3	TIPO 5
5	171,8	21874,3	3172,6	TIPO 5
6	121,7	15495,3	2247,4	TIPO 1
7	152,2	19378,7	2810,6	TIPO 3
8	148,9	18958,5	2749,7	TIPO 5
9	133,6	17010,5	2467,2	TIPO 6
10	163	20753,8	3010,1	TIPO 1

**Tabla 34.** Ensayo a compresión mezcla convencional- 7 día

ENSAYO A COMPRESION 100% ESTERIL DE YESO -7 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	110,7	11291,4	2054,85	6
2	102,8	10485,6	1908,21	4
3	102,8	10485,6	1908,21	3
4	89,2	9098,4	1655,76	2
5	89,9	9169,8	1668,75	6
6	102,9	10495,8	1910,06	5
7	87,8	8955,6	1629,77	3
8	90,1	9190,2	1672,50	4
9	89,50	9129,01	1661,33	3
10	93,10	9496,18	1728,15	4

**Tabla 35.** Ensayo a compresión con sustitución del 100% estéril de yeso- 7 días.

ENSAYO A COMPRESION 75% ESTERIL DE YESO -7 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	82,5	8415,0	1531,4	TIPO 3
2	89,0	9078,0	1652,1	TIPO 5
3	95,7	8874,0	1614,9	TIPO 3
4	112,2	11443,4	2082,5	TIPO 2
5	122,7	12514,4	2277,4	TIPO3
6	122,1	12453,2	2266,3	TIPO 4
7	119,5	11985,0	2218,2	TIPO 6
8	117,5	11985,0	2181,2	TIPO 4
9	108,20	11036,158	2008,4	TIPO 3
10	87,00	8873,8755	1614,9	TIPO 6

**Tabla 36.** Ensayo a compresión con sustitución del 75% estéril de yeso- 7 días.

ENSAYO A COMPRESION 50% ESTERIL DE YESO -7 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	105,6	10771,2	1960,2	TIPO 2
2	99,5	10149,0	1847,0	TIPO 3
3	122,3	12474,6	2270,2	TIPO 2
4	132,3	13493,6	2455,6	TIPO 1
5	147,4	15034,8	2736,1	TIPO5
6	150,4	15340,8	2791,8	TIPO 6
7	110,6	11281,2	2053,0	TIPO 4
8	100,2	10220,4	1859,9	TIPO1
9	109,8	11199,4	2038,1	TIPO 6
10	99,9	10189,9	1854,4	TIPO 6

**Tabla 37.** Ensayo a compresión con sustitución del 75% estéril de yeso- 7 días.



ENSAYO A COMPRESION 50% ESTERIL DE YESO -7 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	105,6	10771,2	1960,2	TIPO 2
2	99,5	10149,0	1847,0	TIPO 3
3	122,3	12474,6	2270,2	TIPO 2
4	132,3	13493,6	2455,6	TIPO 1
5	147,4	15034,8	2736,1	TIPO5
6	150,4	15340,8	2791,8	TIPO 6
7	110,6	11281,2	2053,0	TIPO 4
8	100,2	10220,4	1859,9	TIPO1
9	109,8	11199,4	2038,1	TIPO 6
10	99,9	10189,9	1854,4	TIPO 6

**Tabla 38.** Ensayo a compresión con sustitución del 50% estéril de yeso- 7 días.

- **Ensayo de compresión 14 días**

ENSAYO A COMPRESION MEZCLA CONVENCIONAL -14 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	174,2	22179,8	3216,9	TIPO 1
2	153,5	19544,2	2834,7	TIPO 4
3	169,7	21606,9	3133,8	TIPO 5
4	187,8	23911,4	3468,1	TIPO 5
5	145,9	18576,6	2694,3	TIPO 4
6	161,6	20575,6	2984,2	TIPO 4
7	166,2	21161,2	3069,2	TIPO 4
8	153,2	19506,0	2829,1	TIPO 5
9	155,5	19798,9	2871,6	TIPO 6
10	174,6	22230,8	3224,3	TIPO 3

**Tabla 39.** Ensayo a compresión mezcla convencional- 14 días.

ENSAYO A COMPRESION 100% ESTERIL DE YESO -14 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	89,5	9129	1661,3285	5
2	107,3	10944,6	1991,7379	2
3	93,1	9496,2	1728,1529	2
4	113,7	11597,4	2110,5369	2
5	117	11934	2171,7925	1
6	129,9	13249,8	2411,2466	3
7	112,5	11475	2088,2621	3
8	115,8	11811,6	2149,5	5
9	102,90	10495,78	1910,06	6
10	102,80	10485,61	1908,21	5

**Tabla 40.** Ensayo a compresión con sustitución del 100% estéril de yeso- 14 días.

ENSAYO A COMPRESION 75% ESTERIL DE YESO -14 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	128,7	13127,4	2389,0	TIPO1
2	140,7	14350,4	2611,5	TIPO 5
3	103,8	10587,6	1926,8	TIPO 5
4	108,2	11036,4	2008,4	TIPO 3
5	115,9	11821,8	2151,4	TIPO 6
6	108,2	11032,3	2007,7	TIPO 5
7	119,9	12229,8	2225,6	TIPO 4
8	135,5	13821,0	2515,2	TIPO 1
9	128,5	13107,0	2385,3	TIPO 1
10	117,5	11985,7	2181,2	TIPO6

**Tabla 41.** Ensayo a compresión con sustitución del 75% estéril de yeso- 14 días.

ENSAYO A COMPRESION 50% ESTERIL DE YESO -14 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	150,6	15360,2	2795,3	TIPO 5
2	139,7	14249,4	2593,2	TIPO 6
3	98,3	10026,6	1824,7	TIPO 5
4	99,9	10189,8	1854,4	TIPO 1
5	125,2	12770,4	2324,0	TIPO 4
6	135,6	13831,2	2517,1	TIPO 5
7	125,9	12841,8	2337,0	TIPO 5
8	109,8	11199,6	2038,1	TIPO 3
9	135,8	13851,6	2520,8	TIPO 6
10	122,3	12474,7	2270,2	TIPO 6

**Tabla 42.** Ensayo a compresión con sustitución del 50% estéril de yeso- 14 días.

- **Ensayo de compresión 28 días**

ENSAYO A COMPRESION MEZCLA CONVENCIONAL -28 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	169,0	17238,0	3137,0	TIPO 3
2	174,5	17799,0	3239,1	TIPO 3
3	217,2	22154,4	4031,7	TIPO 4
4	205,0	20910,0	3805,3	TIPO 2
5	214,4	21868,8	3979,8	TIPO 1
6	194,7	19859,4	3614,1	TIPO 1
7	201,9	20593,8	3747,7	TIPO 6
8	205,9	21001,8	3822,0	TIPO 6
9	163,1	16636,2	3027,5	TIPO 5
10	206,0	21012,0	3823,8	TIPO 5

**Tabla 43.** Ensayo a compresión mezcla convencional- 28 días.

ENSAYO A COMPRESION 100% ESTERIL DE YESO -28 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	113,5	11577,0	2106,8	TIPO 6
2	104,5	10659,0	1939,8	TIPO 6
3	140,0	14280,0	2598,7	TIPO 5
4	96,0	9792,0	1782,0	TIPO 1
5	ERROR			
6	107,3	10944,6	1991,7	TIPO 3
7	112,5	11475	2088,3	TIPO 3
8	115,8	11811,6	2149,5	TIPO 4
9	113,7	11597,4	2110,5	TIPO 4
10	110,1	11232,2	2044,0764	TIPO 2

**Tabla 44.** Ensayo a compresión con sustitución del 100% estéril de yeso- 14 días.

ENSAYO A COMPRESION 50% ESTERIL DE YESO -28 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	137,3	14005,0	2548,7	TIPO 6
2	135,3	13800,0	2511,4	TIPO 3
3	138,9	14168,0	2578,3	TIPO 6
4	ERROR			
5	141,1	14392,0	2619,1	TIPO 4
6	149,1	15208,2	2767,6	TIPO 6
7	136,2	13895,0	2528,7	TIPO 2
8	132,1	13479,2	2453,0	TIPO 5
9	125,3	12775,9	2325,0	TIPO 5
10	134,1	13677,1	2489,0	TIPO 6

**Tabla 45.** Ensayo a compresión con sustitución del 75% estéril de yeso- 14 días.

ENSAYO A COMPRESION 75% ESTERIL DE YESO -7 DIAS				
No ESPECIMEN	KN	KPS	PSI	TIPO FALLA
1	133,4	13605,6	2476,0	TIPO1
2	97,3	9929,5	1807,0	TIPO 5
3	101,4	10341,6	1882,0	TIPO 5
4	120,5	12286,8	2236,0	TIPO 6
5	ERROR			
6	139,4	14215,6	2587,0	TIPO 6
7	128,5	13107,0	2385,3	TIPO 3
8	117,5	11985,7	2181,2	TIPO 3
9	128,7	13127,4	2389,0	TIPO 6
10	137,3	14007,9	2549,2	TIPO1

**Tabla 46.** Ensayo a compresión mezcla con sustitución 50% estéril de yeso -28 días.

## 12.2 Resultados ensayo de flexión 28 días

	ANCHO	ALTO	LARGO	LONG. LIBRE DE APOYO	KN	KG	R (kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA DENTRO DEL 3 MEDIO
<b>VIGA 1</b>	15,4	15,3	53,4	45,2	26,9	2661,4	33,37	SI
<b>VIGA 2</b>	15,4	15,2	53,2	45	24,9	2548,8	32,23	SI
<b>VIGA 3</b>	15,4	15,1	53,4	45,2	28,3	2892,7	37,23	SI

**Tabla 47.** Resultados de ensayo flexión, mezcla convencional

	ANCHO	ALTO	LARGO	LONGITUD LIBRE DE APOYO	KN	KG	R(kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA DENTRO DEL 3 MEDIO
<b>VIGA 1</b>	15,5	15,3	53,4	45,2	20,487	2089,09	26,02	SI
<b>VIGA 2</b>	15,4	15,2	53,3	45,1	18,15	1936,44	24,55	SI
<b>VIGA 3</b>	15,3	15,1	53,4	45,2	20,652	2105,92	27,29	SI

**Tabla 48.** Resultados ensayos de flexión, mezcla con sustitución estéril de yeso 100%

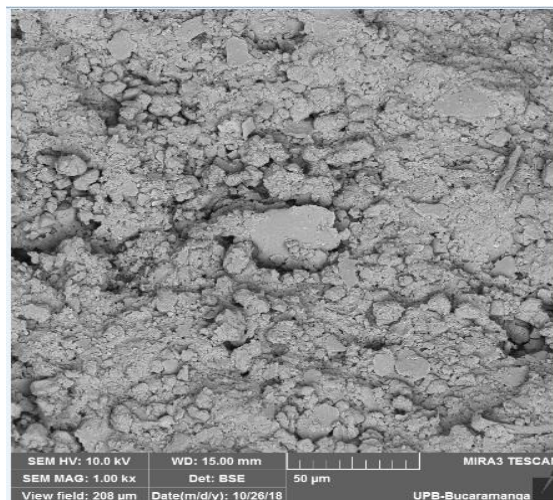
	ANCHO	ALTO	LARGO	LONGITUD LIBRE DE APOYO	KN	KG	R(kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA DENTRO DEL 3 MEDIO
<b>VIGA 1</b>	15,4	15,3	53,4	45,2	21,62	2204,83	27,65	SI
<b>VIGA 2</b>	15,4	15,2	53,4	45,2	21,38	2180,36	27,69	SI
<b>VIGA 3</b>	15,4	15,2	53,4	45,2	22,56	2300,28	29,22	SI

**Tabla 49.** Resultados ensayos de flexión, mezcla con sustitución 75% estéril de yeso.

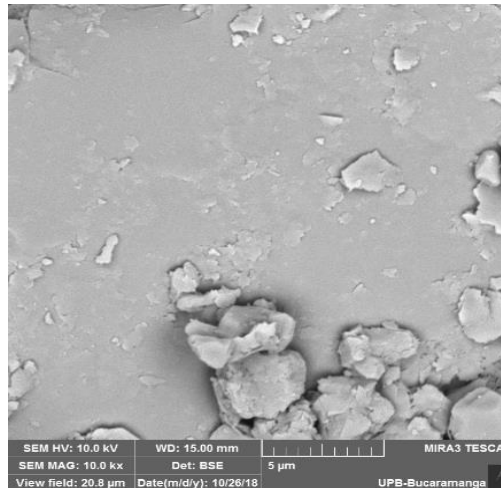
	ANCHO	ALTO	LARGO	LONGITUD LIBRE DE APOYO	KN	KG	R	FALLA DENTRO DEL 3 MEDIO
<b>VIGA 1</b>	15,2	15,2	53,4	45,2	21,865	2229,61	28,697	SI
<b>VIGA 2</b>	15,2	15,2	53,4	45,2	22,436	2287,83	29,45	SI
<b>VIGA 3</b>	15,1	15,2	53,4	45,2	20,975	2138,85	27,71	SI

**Tabla 50.** Resultados ensayos de flexión, mezcla con sustitución 50% estéril de yeso.

### 12.3 Imágenes ensayos de SEM



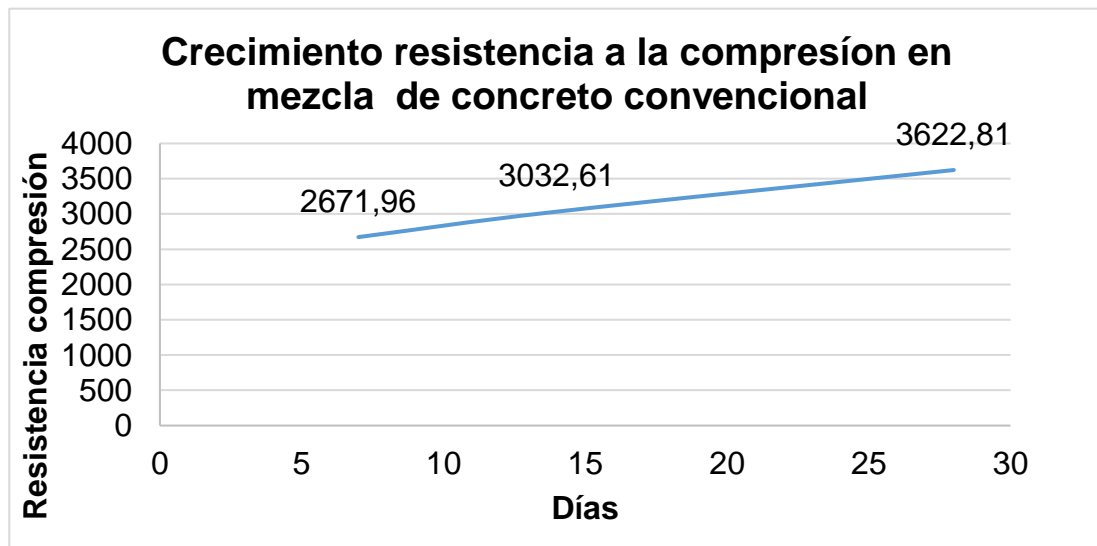
**Ilustración 19.** Ensayo de SEM (zoom: 1000x)



**Ilustración 20.** Ensayo de SEM (zoom: 10000x)

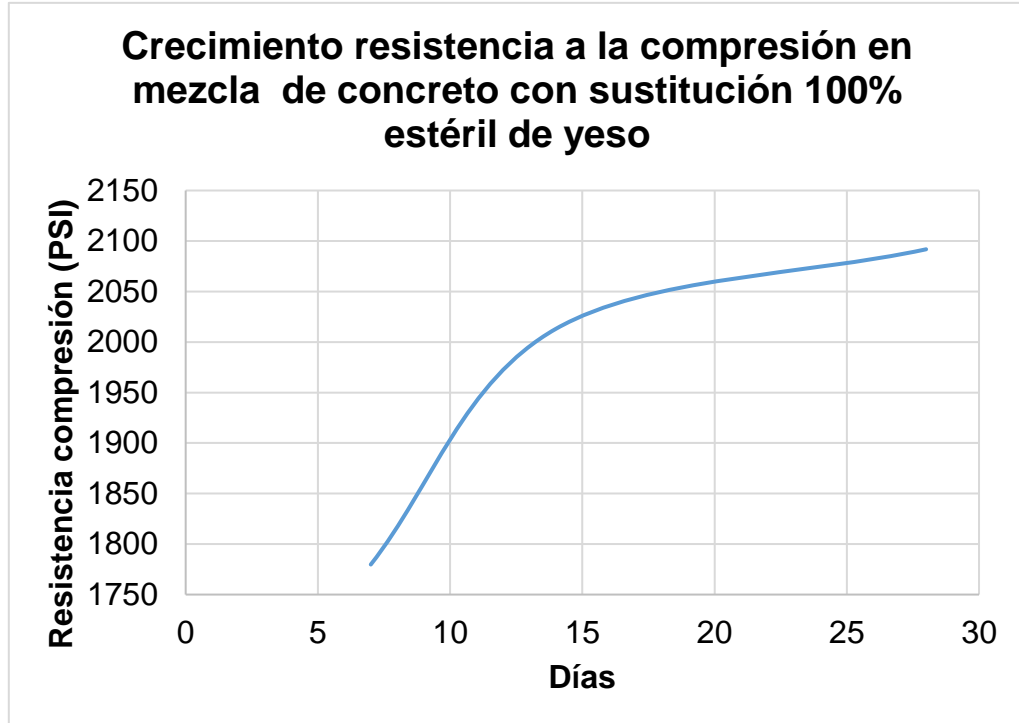
#### 12.4 Crecimiento resistencia a la compresión mezclas de concreto.

- Mezcla de concreto convencional.



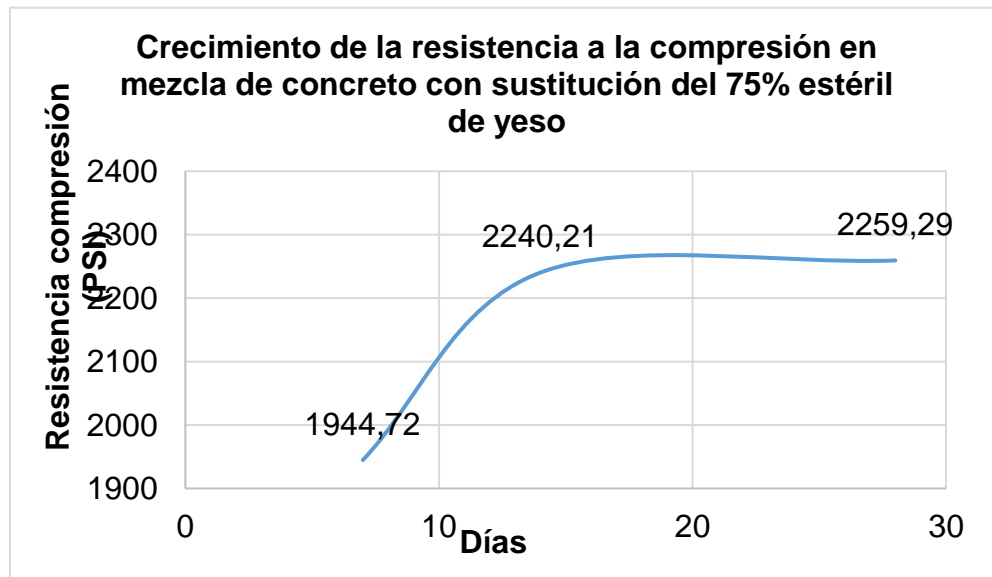
**Gráfica 20.** Crecimiento resistencia a la compresión en mezcla de concreto.

- Mezcla de concreto con sustitución del 100% de agregado grueso con estéril de yeso.



**Gráfica 21.** Crecimiento resistencia a la compresión en mezcla de concreto con sustitución 100% estéril de yeso.

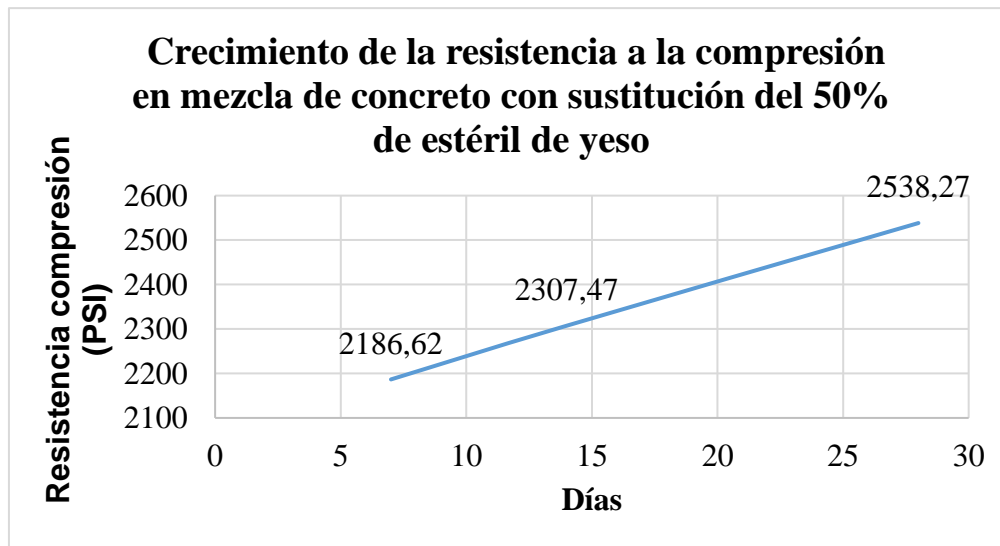
- Mezcla de concreto con sustitución del 75% de agregado grueso con estéril de yeso.





**Gráfica 22.** Crecimiento de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto con sustitución del 75% estéril de yeso.

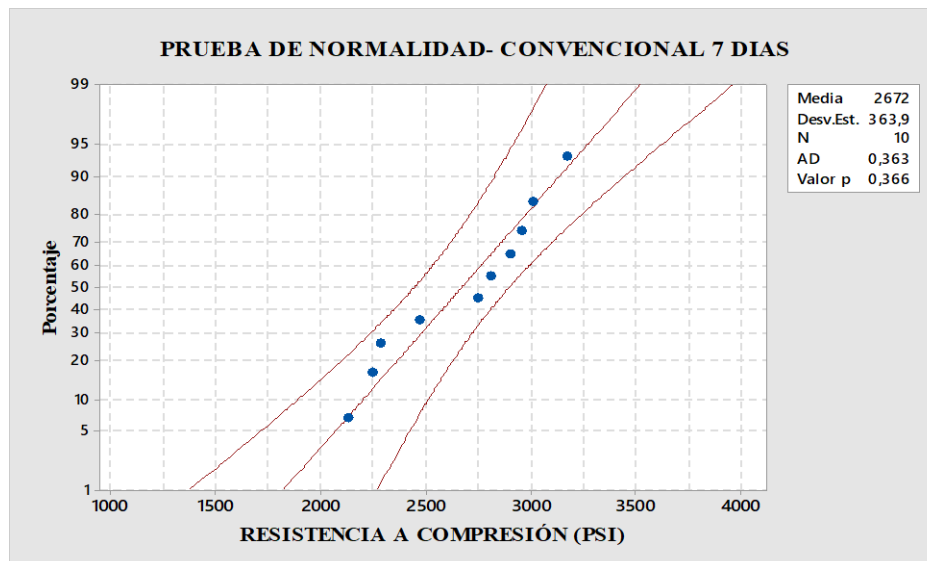
- Mezcla de concreto con sustitución del 50% de agregado grueso con estéril de yeso.



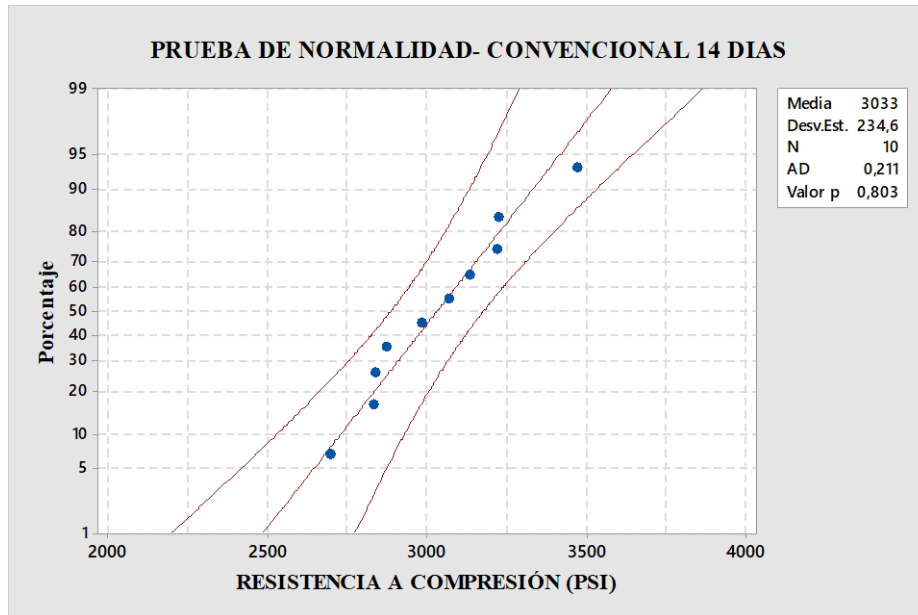
**Gráfica 23.** Crecimiento de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto con sustitución del 50% de estéril de yeso.

### 12.5 Prueba de normalidad

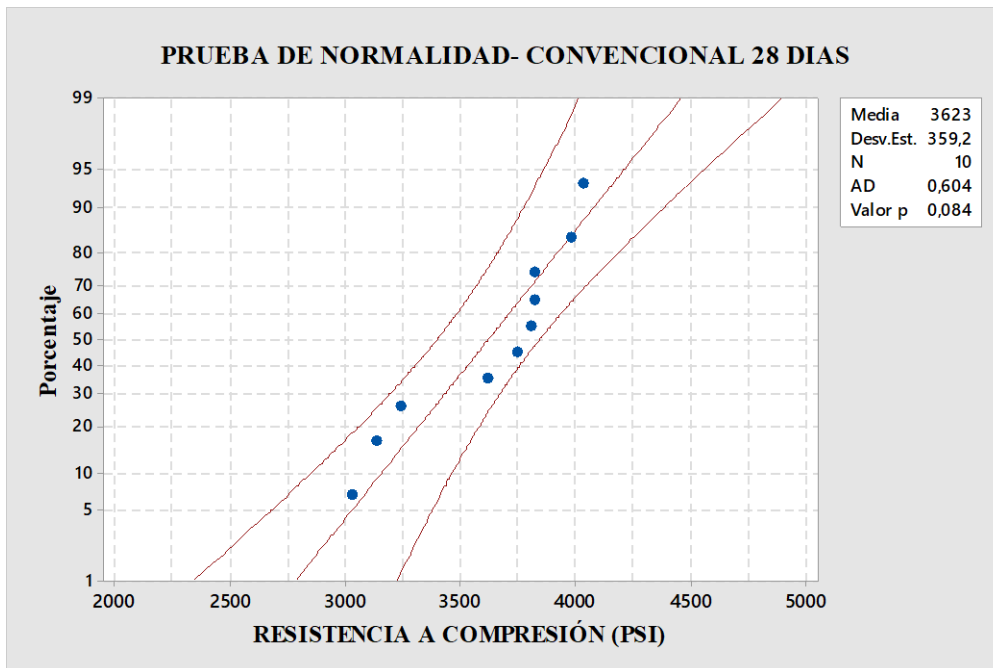
- MEZCLA CONVENCIONAL



**Gráfica 24.** Prueba de normalidad - convencional 7 días.

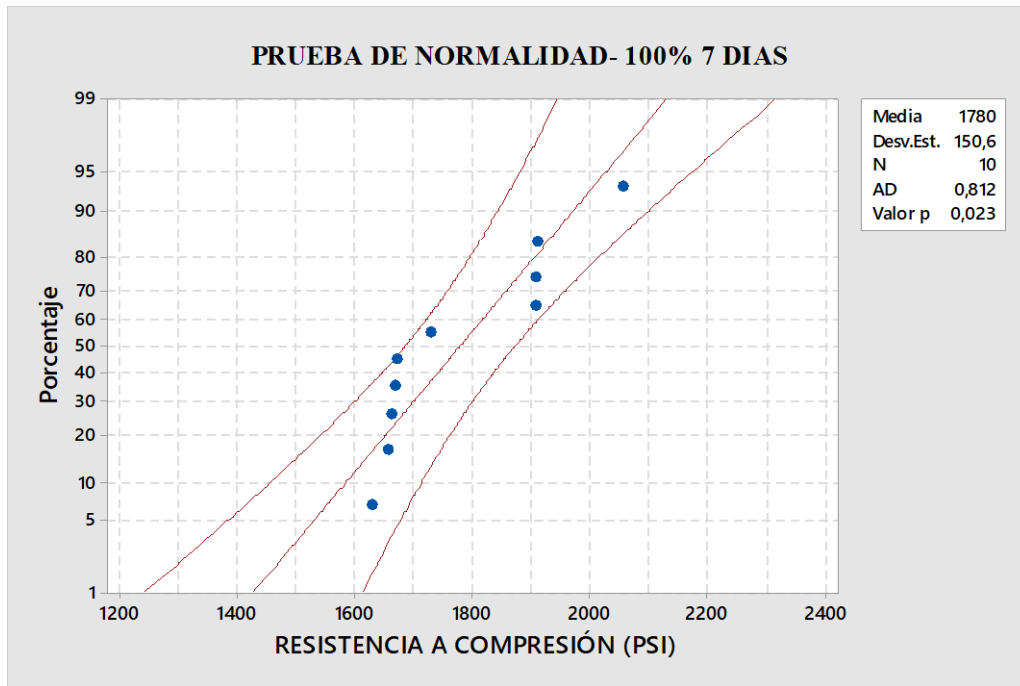


**Gráfica 25.** Prueba de normalidad- convencional 14 días.

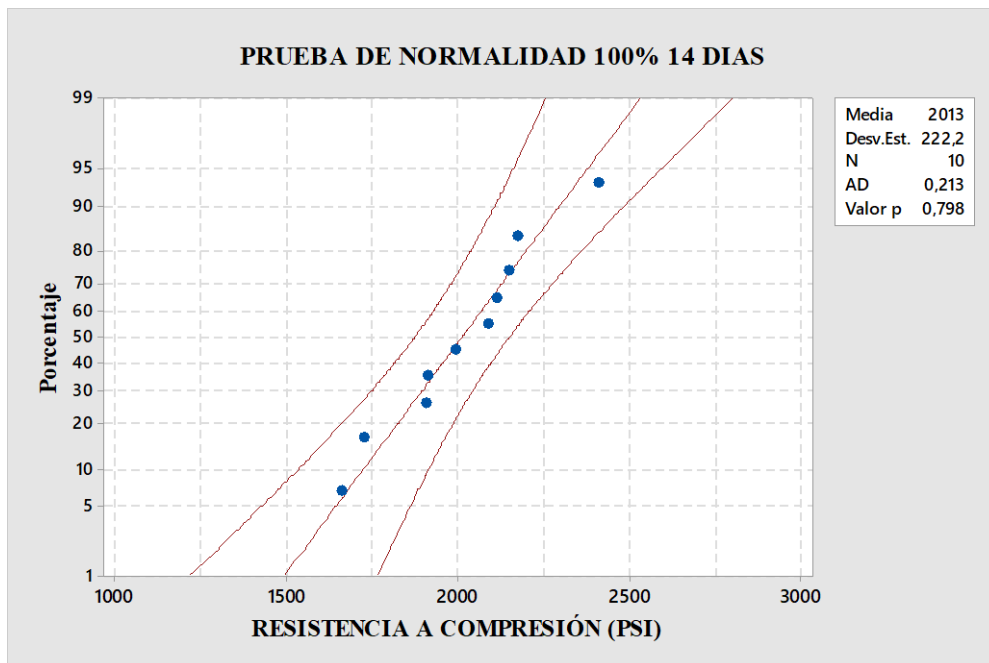


**Gráfica 26.** Prueba de normalidad- mezcla convencional 28 días.

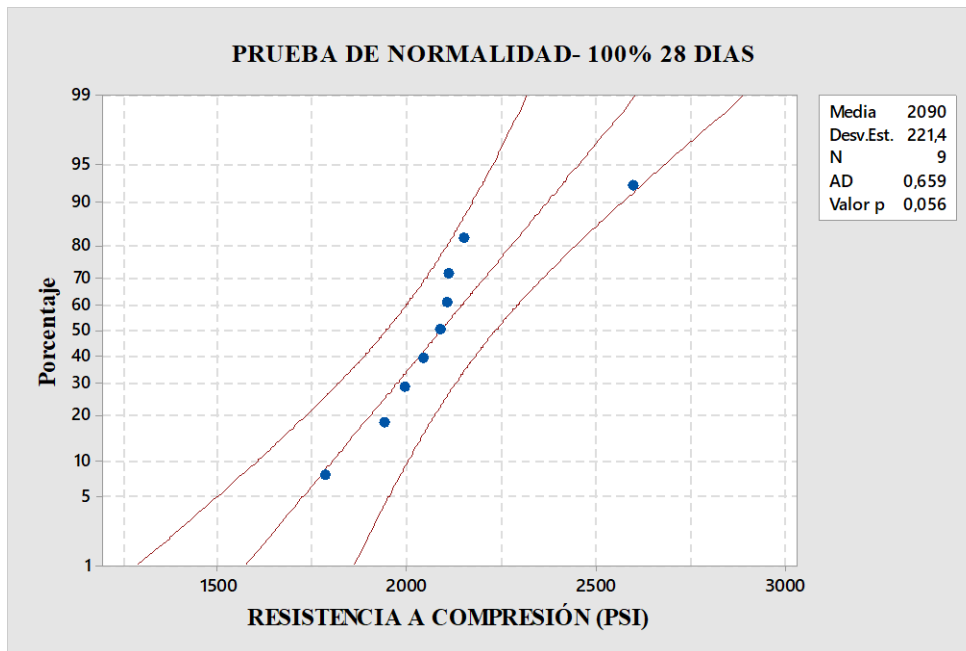
- MEZCLA DE CONCRETO CON ESTÉRIL DE YESO 100%



**Gráfica 27.** Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 100%-7 días.

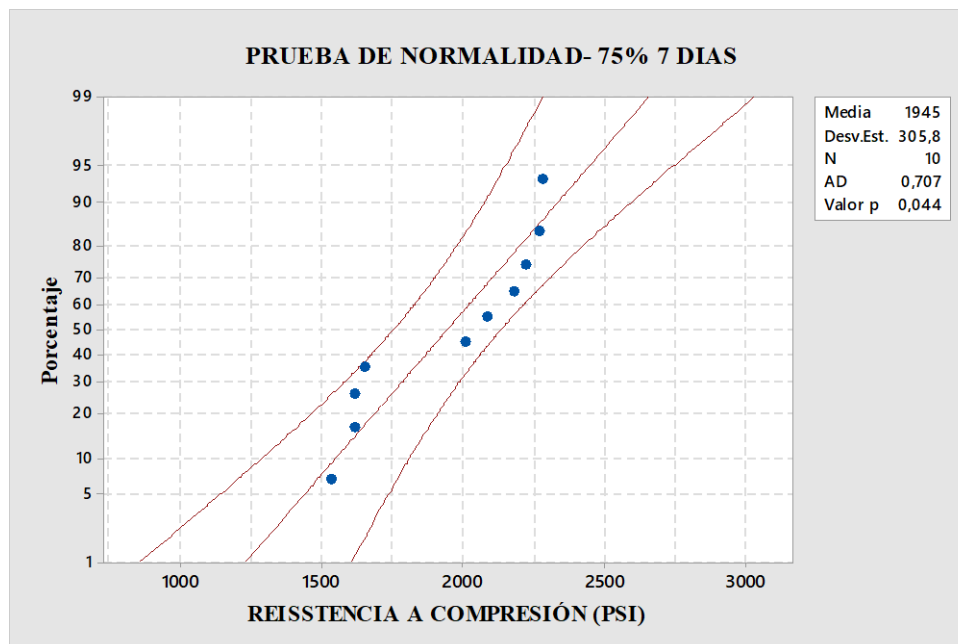


**Gráfica 28.** Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 100%-14 días.

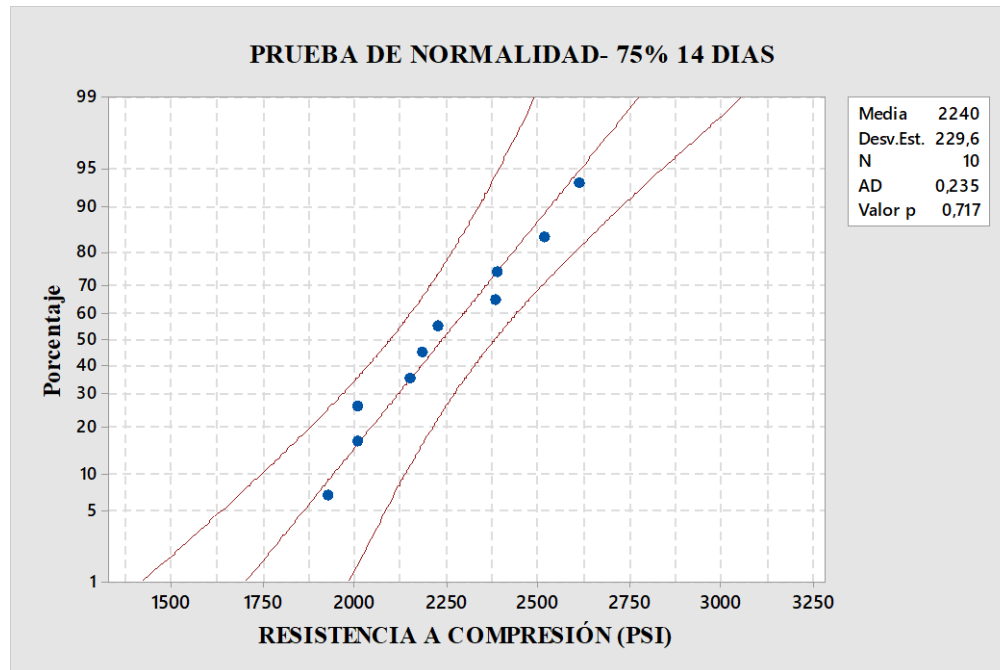


**Gráfica 29.** Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 100%-28 días

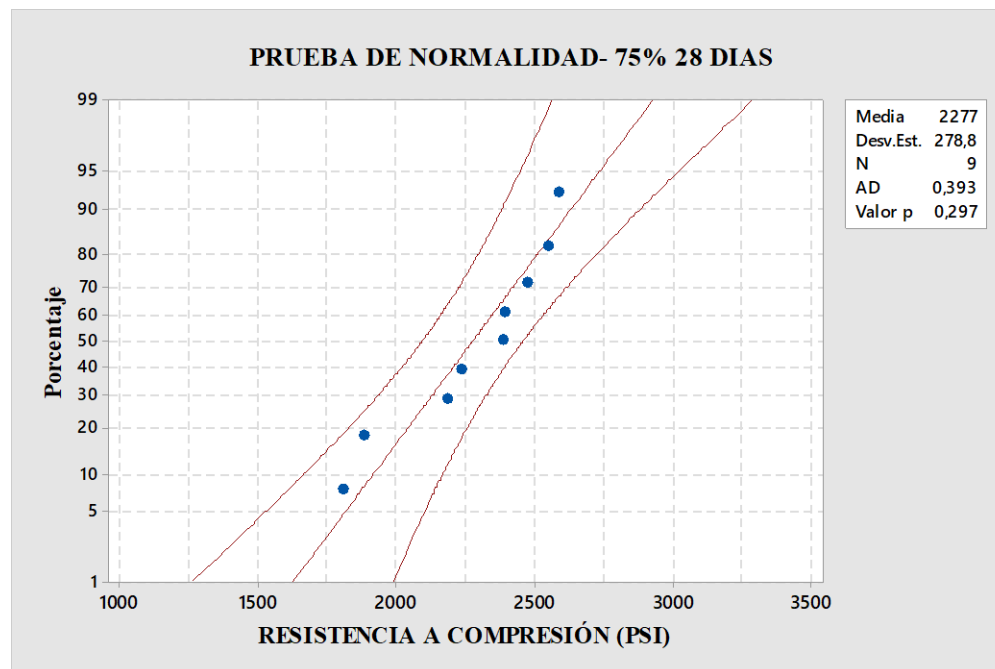
- **MEZCLA DE CONCRETO CON SUSTITUCIÓN ESTÉRIL DE YESO-75%**



**Gráfica 30.** Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 75%-7 días

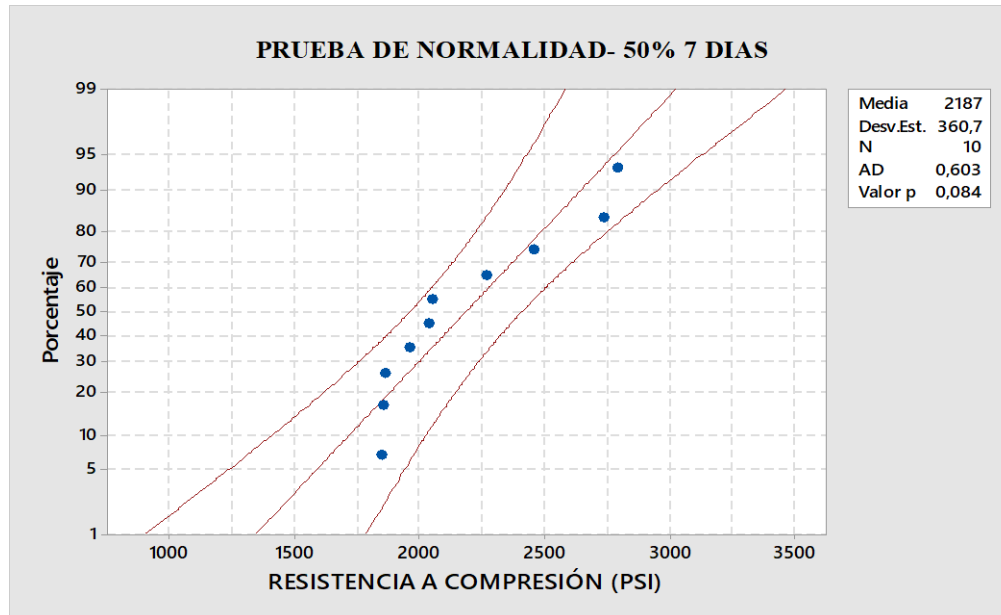


**Gráfica 31.** Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 75%-14

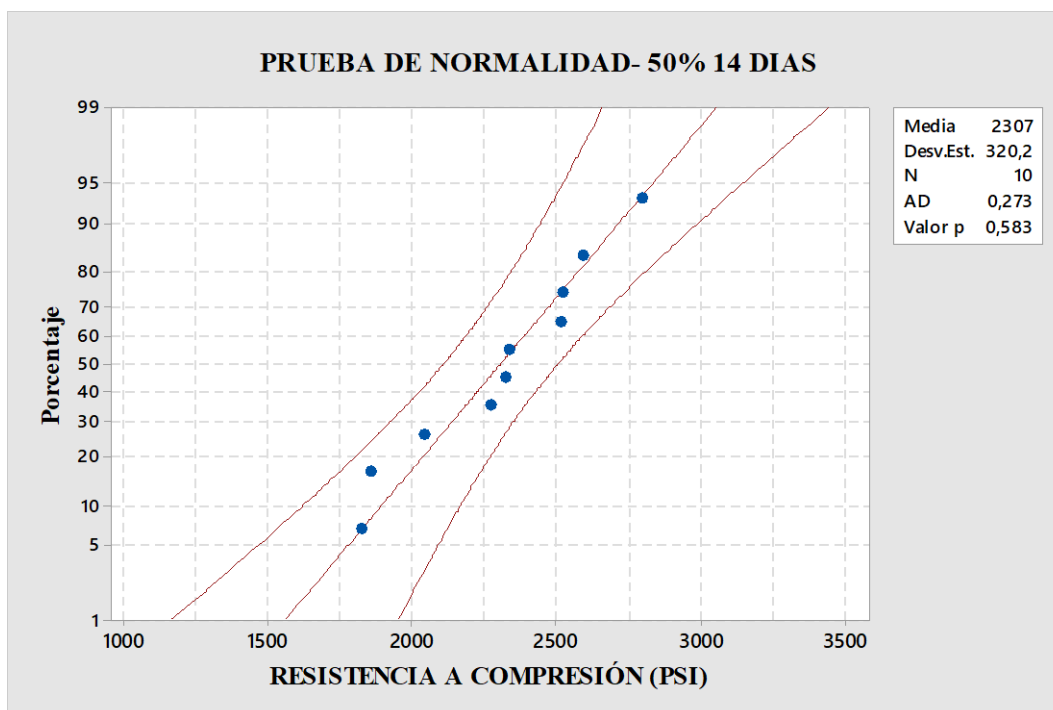


**Gráfica 32.** Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 75%-28 días

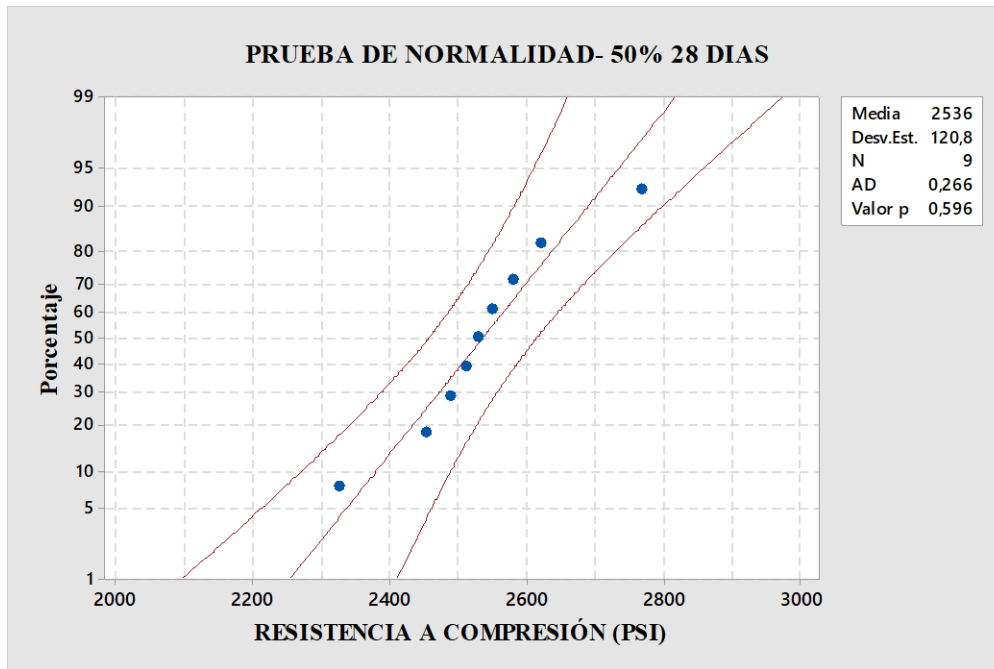
- MEZCLA DE CONCRETO CON SUSTITUCIÓN ESTÉRIL DE YESO-50%



**Gráfica 33.**Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 50%-7 días.



**Gráfica 34.**Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 50%-14 días.



**Gráfica 35.** Prueba de normalidad- mezcla con sustitución estéril de yeso 50%-28 días.

### 13. RESPUESTA A OBSERVACIONES

- Se realiza la modificación de todas las tablas, ecuaciones e imágenes para cumplir con las normas APA.
- Según sugerencia se cambian los tamaños de las imágenes para reducir el espacio ocupado por estas y no salirse de los márgenes establecidos.
- Se realizó las modificaciones a la bibliografía, cambiando su referencia IEEE a normas APA.
- Se realizó la debida descripción de las ecuaciones, tablas, imágenes y gráficas, enumerando cada una de ellas.
- A las tablas se les realizó su respectivo cambio, completándolas con sus unidades y descripciones necesarias para el buen entendimiento.
- Las tablas se ubicaron de tal manera que no perdieran su continuidad al pasar de hoja.
- En la tabla (8), Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregados. Se realizaron los cambios necesarios para lograr la consistencia en las cifras significativas.
- A los resultados dados durante todo el informe se adicionaron las unidades correspondientes a cada valor.
- De acuerdo con la ecuación (21) Fuerza, se describe la conversión de Kn a lbf.
- Se hicieron correcciones en la ortografía de gráficas, textos y tablas.
- Cuando se emplean referencias de uso de tablas, imágenes, gráficas y ecuaciones, se corrigieron de tal manera que coincidan con lo descrito en el texto.
- En la tabla (29) Promedio ensayo de flexión 28 días. Se aclaró que  $R(\text{kg}/\text{cm}^2)$  es la media de los resultados de rotura en los ensayos de flexión a vigas; cabe destacar que a estos datos por la cantidad de especímenes no se realizó desviación estándar.



- En la Grafica (8) Muestra Gráfica resultados de ensayo de SEM. Se explico a que hace referencia cada eje; dejando claro que solo el ensayo se realizó con una partícula del estéril de yeso.
- En la conclusión donde se describe que existen alrededor de 31.942 toneladas de residuos de minería de yeso, se hace la corrección resaltado que dicho valor estimado fue suministrado por los operadores de la mina, además es solo un valor aproximado ya que la política de privacidad de la empresa no permite conocer el valor exacto del estéril de yeso.
- Respecto a la conclusión que hace referencia a los análisis estadísticos realizados, se explica detalladamente el proceso efectuado con la ayuda de la estadística descriptiva para determinar las series de datos que se analizaron en el ensayo de la resistencia a la compresión y determinar que valores no eran aceptables para el análisis.