

**INCIDENCIA DE LOS ALTOS PORCENTAJES DE AGREGADO PET EN LA
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

**CRISTIAN JULIAN GONZALEZ PATARROYO
JUAN SEBASTIAN RONCANCIO BECERRA**



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ DC**

2015

**INCIDENCIA DE LOS ALTOS PORCENTAJES DE AGREGADO PET EN LA
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

**CRISTIAN JULIAN GONZALEZ PATARROYO
JUAN SEBASTIAN RONCANCIO BECERRA**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR PARA EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**ASESOR DISCIPLINAR
ING. ALFONSO AMÉZQUITA NIETO**

**ASESOR METODOLÓGICO
LAURA MILENA CALA**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ DC
2015**

CONTENIDO

INTRODUCCION -----	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	8
2. JUSTIFICACIÓN -----	9
3. OBJETIVOS -----	10
3.1 OBJETIVO GENERAL	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4. ANTECEDENTES -----	11
5. MARCO REFERENCIAL -----	15
5.1 MARCO CONCEPTUAL	15
5.1.1 CONCRETO	15
5.1.2 CEMENTO Y TIPOS DE CEMENTO:	15
5.1.3 Agua	17
5.1.4 AGREGADOS	17
5.1.4.1 AGREGADO FINO	18
5.1.4.2. AGREGADO GRUESO	18
5.1.5 Propiedades Físicas de los agregados	18
5.1.6. Masa unitaria o peso unitario	22
5.1.7 TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)	23
5.1.8. Aditivos	24
5.1.9. DISEÑO de mezcla realizado por el método ACI	26
5.1.10. Resistencia mecánica del concreto	27
5.1.11. Edad del concreto	28
5.2 MARCO NORMATIVO	28
6. DISEÑO METODOLÓGICO -----	34
6.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	34
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	34
6.3 FASES DE LA INVESTIGACION	34
6.3.1 FASE1: Caracterizar los agregados y cemento que se va a incluir en la mezcla de concreto	34
6.3.2. FASE 2: Determinacion de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto con diferentes porcentajes de agregado pet	36
6.3.2.1 <i>diseño de mezcla de concreto con PET</i>	36
6.3.2.3	37

7. RESULTADOS-----	38
7.1 CARACTERIZAR LOS AGREGADOS Y CEMENTO QUE SE VA A INCLUIR EN LA MEZCLA DE CONCRETO.....	38
7.1.1. granulometrías de los agregados.....	38
7.1.2. DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	46
7.1.2.2. DENSIDAD Y ABSORCION (ARENA)	47
7.1.3. contenido de humedad de los agregados.....	47
7.1.4. masa unitaria de los agregados.....	48
7.1.5. DENSIDAD DEL CEMENTO.....	49
7.2. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE CONCRETO CON DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO PET	50
7.2.1 diseño de mezcla del concreto con PET	50
7.2.2 preparaciones de la mezcla, encofrado y curado de los cilindros	52
7.2.3 Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto	53
7.2.4. Densidad del concreto	57
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS -----	58
8.1. Resistencia a la compresión de las mezclas con diferentes porcentajes de PET	58
8.2 densidad del concreto con los diferentes porcentajes de PET	62
9. CONCLUSIONES -----	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de las Mezclas -----	11
Tabla 2. Diseño de Mezcla de Concreto -----	13
Tabla 3. Diseños de mezcla de concreto -----	13
Tabla 4 Resultados -----	14
Tabla 5. Limites granulométricos (tamices) -----	28
Tabla 6. Análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos -----	30
Tabla 7. Granulometría de la grava -----	38
Tabla 8. Requisitos de gradación para agregado grueso -----	39
Tabla 9. Granulometría de la arena -----	40
Tabla 10 Granulometría de la arena limites -----	42
Tabla 11. Granulometría de PET -----	43
Tabla 12. Granulometría de PET limites -----	44
Tabla 13. Densidad relativa y absorción de la grava -----	46
Tabla 14. Densidad y absorción (arena) -----	47
Tabla 15. Humedad de la (grava) -----	47
Tabla 16. Humedad de la (ARENA) -----	48
Tabla 17. Peso seco suelto y compactado (grava) -----	48
Tabla 18. Peso seco suelto y compactado (arena) -----	49
Tabla 19. Densidad del cemento -----	49
Tabla 20. Parámetros necesarios para el diseño de mezcla -----	50
Tabla 21 pesos secos y corregidos por humedad de los materiales -----	52
Tabla 22. Cantidad de cilindros utilizados -----	52
Tabla 23. De dosificación del acelerante -----	53
Tabla 24. Resultados de la resistencia a compresión a los 3 días -----	53
Tabla 25. Resultado de la resistencia a compresión a los 7 días -----	54
Tabla 26. Resultado de la resistencia a compresión a los 7 días -----	55
Tabla 27. Densidad del concreto -----	57
Tabla 28 resistencia a la compresión a los 3 días de fraguado -----	58
Tabla 29 resistencia a la compresión a los 7 días de fraguado -----	59
Tabla 30 resistencia a la compresión a los 14 días de fraguado -----	60
Tabla 29 densidad del concreto con diferentes % de PET -----	62

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Granulometria (grava) -----	39
Gráfica 2. Granulometría (grava) -----	40
Gráfica 3. Granulometria (arena) -----	41
Gráfica 4. Límites Granulométricos (arena) -----	42
Gráfica 5. Granulometria (PET) -----	44
Gráfica 6. Límites Granulométricos (PET) -----	45
Gráfica 7. Resistencia versus % PET 3 días -----	54
Gráfica 8. Resistencia versus % PET 7 días -----	55
Gráfica 9. Resistencia versus % PET 14 días -----	56
Gráfica 10. Comparacion Resistencia versus % PET -----	56
Gráfica 11. Densidad del concreto vs % de PET -----	57
Gráfica 12. Gráfica general de la resistencia vs % de PET (3 días) -----	59
Gráfica 13. Gráfica general de la resistencia vs % de PET (7 días) -----	60
Gráfica 14. Gráfica general de la resistencia vs % de PET (14 días) -----	61
Gráfica 15. Gráfica general de la resistencia vs % de PET (comparación) -----	62
Gráfica 16. Gráfica densidad del concreto vs % de PET (comparación) -----	63

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1 documento de Excel adjunto en el CD de anexos
- ANEXO 2 documento de Excel adjunto en el CD de anexos

INTRODUCCION

Dentro de los principales problemas que deterioran la ecología del planeta, uno de los más importantes es la producción desmedida y la disposición irresponsable de grandes volúmenes de plástico, resultando esto más grave en las sociedades subdesarrolladas, como desafortunadamente todavía es el caso de países como Colombia.

Por ende como propuesta de investigación se incluye el diseño de mezcla tradicional del concreto agregado PET al cual se realizan los respectivos ensayos como son granulometrías, densidades entre otros. Estos ensayos tomados para realización propia del concreto extrayendo unos porcentajes establecidos (0%,4%,8%,12%,16%,20%) de agregado fino (arena) y cambiándolos por el mismo porcentaje en PET y así realizar los cilindros a las distintas edades como son (3 ,7 y 14) días para determinar el efecto de dichos porcentajes en la resistencia a la compresión en el concreto tradicional.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al alto porcentaje de contaminación causado por desechos plásticos y por su lenta descomposición frente al medio ambiente, los plásticos solo se reciclan en un bajo porcentaje y el porcentaje predominante se encuentra arrojado y mal administrado en rellenos sanitarios o simplemente en alcantarillados causando degradación del ambiente y obstrucción de tuberías y rejillas, esto sin mencionar los malos olores y los gases tóxicos que produce la quema de este material acabando con la capa de ozono.

Teniendo en cuenta que no solo se encierran en esta problemática sino a nivel industrial, la cantidad de energía y procesos mecánicos, hacen que este material tenga un proceso que degrada y aumenta la cantidad de materiales no renovables utilizados en el proceso.

Es de vital importancia conocer que el diseño de mezclas de concretos con agregados PET determina una gran cantidad de ventajas frente al diseño de mezcla de concretos tradicionales ya que ofrece la oportunidad al medio ambiente de descongestionarlo de este residuo, que en su proceso de degradación genera una gran contaminación y también al remplazarlo por materiales tradicionales en la construcción se disminuirían en un gran porcentaje la explotación de estos.

El plástico o PET, se ha implementado con el concreto como un agregado del mismo, dado que le aporta una variación en las propiedades mecánicas, plástica e impermeable; existen estudios que han determinado una disminución en la relación agua cemento por ende baja su resistencia, pero aumenta su impermeabilidad y su capacidad plástica. Dichos estudios solo se han hecho con bajos porcentajes de PET (polietilentereftalato de polietileno). Sin embargo, se desconocen estudios que tomen en cuenta altos porcentajes de PET como los siguientes porcentajes: 4%, 8%,12%,16%,20%.

Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la incidencia de altos porcentajes (4%, 8%,12%,16%, 20%) de PET en la resistencia a compresión del concreto?

2. JUSTIFICACIÓN

Se tiene como propuesta incorporar el agregado PET tanto para mejorar el medio ambiente como para aportar una variación en las propiedades mecánicas a compresión del concreto, además que reemplazaría un cierto porcentaje de agregados pétreos en este caso agregado fino lo cual conlleva a disminuir en un porcentaje el peso de los elementos del concreto y por ende la investigación se enfoca en un pertinente manejo de PET como constituyente del agregado fino, en diferentes porcentajes y así describir los efectos y posibles cambios en el diseño de mezcla de concreto convencional.

Esta investigación posee un enfoque experimental puesto que de acuerdo al objeto general que se plantea en el mismo, se busca determinar el efecto de altos porcentajes (0%,4%,8%,12%,16%,20%) de agregado PET y su influencia en la resistencia a la compresión en los concretos, a través de mediciones directas realizadas en el laboratorio.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar el efecto en la resistencia a la compresión en concretos con altos porcentajes (4%, 8%,12%,16%, 20%) de PET en remplazo de agregado fino, a las edades de madurez de 3, 7 y 14 días, con aditivo acelerante .con el fin de estimar un rango de porcentajes donde sea optimo la inclusión de PET como reemplazo de agregado fino del concreto.

3.2OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los agregados y cemento que se va a incluir en la mezcla de concreto
- Determinar la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto con diferentes porcentajes de agregado PET

4. ANTECEDENTES

El PET es un material muy utilizado en el mundo, tanto así que sus desperdicios se han convertido en un grave problema ambiental alrededor del mundo, por lo cual se han buscado formas y métodos para aplicar este desperdicio en elementos comunes, que sirvan como la reutilización de este producto. En el caso de la ingeniería se ha tratado de aplicar el desperdicio del PET en mezclas de elementos estructurales, como en el caso del mortero o el concreto. No solo para manejar la problemática ambiental, sino para mejorar algunas de las características de estos elementos.

A continuación se presentan algunos estudios realizados sobre mezclas con reciclado de polietilentereftalato (PET).

En la Universidad Central de Venezuela, se generó una investigación realizada por Alesmar Luis, Nalia Rendón, María Eugenia Korody¹, Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) – cemento. En este estudio se evalúa la utilización del PET en varios diseños de mezcla de concreto y mortero. Dando como resultado

Tabla 1. Componentes de las Mezclas

	MEZCLA				
	A	B	C	D	E
PET (Kg)	2,017	2,560	0,00	0,00	1,700
CEMENTO (Kg)	7,645	6,240	6,390	3,750	6,420
ARENA (Kg)	44,013	16,670	35,20	17,750	35,030
PIEDRA (Kg)	0,000	19,620	0,00	17,750	0,00
AGUA (L)	5,275	4,710	4,700	4,300	4,730

En donde:

Mezcla A: Mortero con un 5% de Polietilen Tereftalato Reciclado.

Mezcla B: Concreto con un 15% de Polietileno Tereftalato Reciclado.

¹.Alesmar Luis, Nalia Rendón, María Eugenia Korody , Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) – cemento. En: Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela versión impresa ISSN 0798-4065: 2008. Vol. 13, no 1.

Mezcla C: Mezcla patrón de mortero.
Mezcla D: Mezcla patrón de concreto.
Mezcla E: Mortero con un 10% de Polietileno Tereftalafo
Reciclado con un 10% de Polietileno Tereftalafo reciclado

Como se puede observar en la tabla 1 La elección de la dosificación de los agregados y el cemento no sólo corresponden a valores de resistencia y durabilidad, sino que también debe tomarse en cuenta el factor económico. Al mantener constante la cantidad de cemento y variar la cantidad de arena para agregar el PET, hace que varíe la resistencia a compresión.

Al agregar PET a una mezcla de concreto se pierde un poco de resistencia, aunque con la obtenida se podría utilizar como mezcla para elementos que no requieran de estética o para bloques u otros elementos que no soporten importantes cargas.

La autora menciona que México ha sido uno de los países que más ha estudiado la aplicación de PET en diferentes mezclas de elementos de construcción, en el XX concurso universitario feria de las ciencias se presentó un trabajo realizado por la Universidad Autónoma de México² "AGREGADOS DE PLÁSTICO A UNA MEZCLA DE CONCRETO COMÚN "ECOCRETO".

Por otra parte, en la Universidad La Gran Colombia, se realizaron estudios sobre el uso de mezclas con bajos porcentajes de reciclado de polietilentereftalato(PET) realizado por David Eduardo Antolínez Parrado y otros³ "Efecto de los aditivos acelerante, plastificante y retardante en la resistencia a la flexión en concretos con agregados PET "

En la tabla 2 se muestra como procedieron a la recolección de los materiales plásticos de PE, PET, PP obtenidos a través de bolsas, botellas y las tapas de las mismas, los cuales se obtuvieron a través de colectas individuales, luego se procedió al corte de estos materiales con las herramientas de corte anteriormente nombradas, se utilizaron unos moldes de madera hechos a mano para la

² DOGDI. Agregados de plástico a una mezcla de concreto común "ecocreto. En: xx concurso universitario feria de las ciencias, universidad autónoma de México. AGREGADOS DE PLÁSTICO A UNA MEZCLA DE CONCRETO COMÚN "ECOCRETO.

³ PARRADO ANTOLÍNEZ y otros. Efecto de los aditivos acelerante, plastificante y retardante en la resistencia a la flexión en concretos con agregados PET. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá: Universidad la Gran Colombia. Facultad de ingeniería. 2014 pág. 20.

realización de las muestras, se mezclaron los distintos componentes del concreto y los plásticos en la siguiente proporción:

Tabla 2. Diseño de Mezcla de Concreto

usos	cemento bulto 50 kg	arena botes	grava botes	agua botes	agregados plásticos botes
estructuras ligeras	1	1 1/2	2 1/2	2	1
BOTE: equivale a aproximadamente 15 kg					

Se realizaron 9 mezclas luego de la anterior con distintos porcentajes de materiales representados en la Tabla 3.

Tabla 3. Diseños de mezcla de concreto

No de prueba	CEMENTO Kg	ARENA BOTES	GRAVA BOTES	AGUA LITROS	AGREGADOS PLASTICOS g
1	3	1/7 botes	1/10 botes	1,5	300g
2	1.2	1/5 botes	1/12 botes	1.5	250g
3	1.5	1/6 botes		1.5	300g
4	1.5	1/6 botes	1/20 botes	2	350g
5	2	1/8 botes		2	400g
6	2	1/20 botes	1/30 botes	1.5	300g
7	2	1/18 botes		2	300g
8	2	1/20 botes	1/20 botes	2	300g
9	2.5	1/4 botes	1/8 botes	2	500g

Para determinar la resistencia de los diferentes concretos realizados se procedió con la realización de ensayos empíricos, que consistían en dejar caer los elementos a una altura de 2 m, uno sin plástico y el otro con plástico, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4 Resultados

NUMERO DE PRUEBA	RESULTADOS
PRUEBA 1	Los modelos soportaron la caída
PRUEBA 2	El modelo de agregados plásticos se fracturó por Completo en comparación con el otro. .
PRUEBA 3	El modelo sin agregados plásticos resultó con mayores Grietas en comparación al de agregados plásticos.
PRUEBA 4	El modelo sin agregados plásticos resultó con mayores grietas en comparación al modelo de agregados plásticos.
PRUEBA 5	El modelo sin agregados plásticos resultó con mayor Resistencia.
PRUEBA 6	El modelo con agregados plásticos resultó con mayor Resistencia.
PRUEBA 7	El modelo sin agregados plásticos resultó con mayor Resistencia.
PRUEBA 8	El modelo con agregados plásticos resultó con mayor Resistencia.
PRUEBA 9	El modelo con agregados plásticos resultó con mayor Resistencia.

Para el análisis de resultados que se muestra en la tabla 4. Obtuvieron que en las pruebas: 1, 3, 4, 6, 8,9. Predomina la relación de que a mayor cantidad de cemento mayor es la resistencia y la cantidad de agregados plásticos va aumentando en relación a la pruebas.

También se aplicó la prueba de piso firme, la cual se analizó a los 5 meses dando que el piso con concreto puro y el piso con concreto con agregados plásticos, puestos a la intemperie no tuvieron mucha diferencia en cuestión de forma y uniformidad, teniendo presente en las dos simples y pequeñas grietas, soportando los cambios de temperatura y el constante paso de personas.

Como conclusión, el concreto con agregado plástico es una forma viable de utilizar los desperdicios de plásticos, ayudando a la disminución de estos desechos en las calles y parques, lo cual ayuda a mejorar la problemática ambiental.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 CONCRETO

Cuando el cemento se dosifica y se mezcla apropiadamente con agua y áridos, se produce concreto, que conserva su trabajabilidad durante un tiempo logrando una buena resistencia y una estabilidad de volumen a largo plazo. El concreto se fabrica mezclando homogéneamente: cemento, agua, aditivos, arena y grava.

5.1.2 CEMENTO Y TIPOS DE CEMENTO:

Cemento: Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice, alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta que es capaz de endurecer tanto el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos (NTC-31, 1982).

Cemento Portland: Producto que se obtiene de la pulverización del clinker portland con la adición de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionados deben ser pulverizados conjuntamente con el clinker (NTC-121, 1982).

El cemento Portland se obtiene de la trituración, molienda, dosificación, calcinación y sintonización de mezclas homogéneas de caliza y arcilla, que producen un material conocido como clinker, constituido por silicatos y aluminatos de calcio anhidros, el cual se mezcla y muele con el yeso. El cemento Portland es un conglomerante hidráulico que tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, experimentando una reacción química debido a la hidratación, por lo cual son llamados cementos hidráulicos⁴.

⁴ PERILLA JORGE: estudio comparativo de las características físico-mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo 1. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. 2014 pág. 16.

Clasificación de los cementos Colombianos:

En Colombia los cementos Portland se han clasificado en varios tipos según la composición química que está muy ligada a las propiedades físico-mecánicas; además, con el uso de las adiciones de ceniza volante, puzolanas naturales o escoria de alto horno, se pueden obtener diferentes características cuando este se Hidrata. La norma NTC 30 ha clasificado los cementos Portland de la siguiente manera:

- Cemento Portland tipo 1: Se destina a obras de hormigón en general, y que no estén en contacto con sulfatos ni cloruros. (Álvarez, 2007).
- Cemento Portland tipo 1 M: Es usado en cualquier obra de hormigón, al que no se le exigen propiedades especiales, con resistencias superiores al cemento Tipo 1.
- Cemento Portland tipo 2: Es apropiado para obras de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos y cuando se requiera moderado calor de hidratación. En el proceso de fabricación se reduce el C3A, C3S y se aumenta el C2S y C4AF.
- Cemento Portland tipo 3: Se usa en estructuras que necesitan un desencofrado rápido, y que requieren altas resistencias iniciales. Los componentes son similares al tipo I, con mayor finura y por consiguiente mayor contenido de C3S, pero sin adiciones.
- Cemento Portland tipo 4: Para aquellas obras que requieren, bajo calor de hidratación como los concretos masivos. En el proceso de fabricación se reducen los contenidos de C3A, C3S y se aumenta el C2S, este tipo de cemento es poco usado ya que el calor se puede controlar más fácilmente con la incorporación de adiciones (cemento-ICPC, 1995).
- Cemento Portland tipo 5: Ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos, álcalis y cloruros. En su fabricación se reduce al máximo el C3A y se aumenta el C4AF, (cemento-ICPC, 1995). El cemento se obtiene a partir de la pulverización del Clinker, que se produce por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos⁵.

⁵ PERILLA JORGE: estudio comparativo de las características físico-mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo 1. . Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de ingeniería. 2014 pág. 17.

5.1.3 AGUA

El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto.

El agua para elaborar el concreto puede tomarse de fuentes naturales y, por lo tanto puede contener elementos orgánicos indeseables o contenidos inaceptables de sales inorgánicas, Las aguas superficiales, en particular, a menudo contienen materia en suspensión, como aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales, y puede ser inadecuado emplearlas sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para que dicha materia en suspensión se elimine⁶.

5.1.4 AGREGADOS

⁷Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante. Por ejemplo el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96%, en los pavimentos del 75% al 90%. Por lo anterior el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas cobra especial importancia para su adecuada y eficiente utilización.

- Agregado o árido: conjunto de materiales de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inertes, usados en la construcción de obras civiles.
- Agregado grueso o grava: material retenido en el tamiz No. 4, con un tamaño entre 7.6 cm y 4.76 mm.
- Agregado fino o arena: material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4.76 mm y 74 Mieras (0.074 mm.).
- Agregados Finos: son partículas pasantes del tamiz No. 200 con tamaños entre 0.074 mm y 0.002 mm.
- Sucio de río: término empleado para denominar en su totalidad el material de arrastre de un río sin separación de tamaños, y tal como se puede extraer de un depósito natural. En algunas regiones del país a este material se llama Champurreado.

⁶ norma técnica colombiana 3459. agua para la elaboración de concreto, Bogotá, D.C. 2001-10-31

⁷ GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, LIBIA. El Concreto y otros Materiales para la Construcción. Manizales, Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales., 2003, Segunda edición., I.S.B.N 958-9322-82-4. pag.9.

- Gravilla: material de río o de cantera, separado en la fuente en tamaños pasantes del tamiz 3/4" y retenido en el No.4, con tamaños entre 19.1 mm y 4.76 mm.
- Arenón: arena natural de río o de veta, con tamaños pasantes del tamiz 3/8" y retenidos en el tamiz No.40, es decir con tamaños entre 9.51 mm y 0.420 mm.
- Cascajo: hace referencia exclusivamente al agregado rodado pasante del tamiz 1 1/2" y retenido en el tamiz No.4, con tamaños entre 38.1 mm y 4.76 mm.

5.1.4.1 AGREGADO FINO

Es arena natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño comprendido entre setenta y cinco (75) micrómetros (malla N°200) y cuatro coma setenta y cinco (4,75) milímetros (malla N°4), pudiendo contener finos de menor tamaño, dentro de las proporciones establecidas en esta Norma.

5.1.4.2. AGREGADO GRUESO

Para el objeto de la presente Sección, se denominará agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla. No se permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.

5.1.5 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

5.1.5.1 Granulometría:

⁸La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor. Los tamices se disponen de acuerdo a la utilización. Así por ejemplo la serie de tamices que se usa para los agregados del concreto se ha

⁸ Ibíd., p. 16

escogido de tal forma que la abertura del tamiz esté en relación de 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz.

La operación de tamizado debe realizarse según la norma NTC No.77 en la cual se describe el tamaño de la muestra a ensayar y los procedimientos adecuados para realizar un análisis granulométrico. Los resultados se consignan en una tabla en la que deben aparecer: Peso de la muestra ensayada, peso del material retenido en cada malla, % del material retenido, % retenido acumulado y % que pasa.

5.1.5.2 Curvas granulométricas:

⁹Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices. Una curva tendida indica un material bien gradado o con todos los tamaños y corresponde a una gradación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado. En cambio una curva casi vertical indica un material mal gradado, en el que predominan solo unos pocos tamaños y corresponde a una gradación abierta donde aumentan los espacios vacíos. Parámetros que se obtienen del análisis granulométrico Además de determinar la distribución de los tamaños y la ausencia o exceso de los mismos dentro de una masa de agregados, de un análisis granulométrico se pueden sacar valores que luego son usados como parámetros en los diseños o como factores de calidad, ellos son:

5.1.5.3. Tamaño Máximo:

Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra, indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

5.1.5.4. Tamaño Máximo Nominal

Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado.

Por lo general, un análisis granulométrico, el tamaño máximo y el máximo nominal no coinciden. Por lo tanto, en las especificaciones debe indicarse claramente de cuál de los dos se trata. Los términos tamaño máximo y tamaño máximo nominal se aplican exclusivamente al agregado grueso.

⁹ Ibíd. 18

5.1.5.5. Módulo de finura

¹⁰Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material; se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los porcentajes retenidos acumulados en los siguientes tamices Icontec empleados al efectuar un análisis granulométrico: No. 100, 50, 30, 16, 8, 4 3/8", 3/4", 1 1/2" y los tamices siguientes cuya relación de abertura sea de 1 a 2. El uso del módulo de finura se ha restringido al agregado fino y según este módulo las arenas se clasifican en:

- Arenas finas Módulo de finura entre 0.5-1.5
- Arenas medias Módulo de finura entre 1.5-2.5
- Arenas gruesas Módulo de finura entre 2.5 - 3.5

Cuando la arena está mezclada con grava se obtienen módulos de finura mayores y a mayor proporción de grava en la arena mayor es el módulo de finura, en este caso la clasificación se hace así:

- Arenas finas Módulo de finura entre 2.2 - 2.6
- Arenas medias Módulo de finura entre 2.6-2.9
- Arenas gruesas Módulo de finura entre >2.9

5.1.5.6. Porcentaje de Finos

Se define como el % que pasa el tamiz Icontec No. 200 (0.074 mm.).

5.1.5.7 Formas de las partículas del agregado:

Para determinar la forma de las partículas en los agregados es necesario definir:

- Redondez: Se aplica a la forma del filo; si la partícula tiene aristas bien definidas se dice que es angular, si por el contrario sus aristas están gastadas por la erosión o el rozamiento del agua se habla de partículas redondeadas.
- Esfericidad: Es función de la relación entre área superficial y volumen. Esta relación es menor en partículas esféricas incrementándose en partículas planas y alargadas, según la esfericidad las partículas pueden ser esféricas, cúbicas, tetraédricas, laminares y alargadas.

¹⁰ Ibid.p.19

5.1.5.8. Textura

¹¹Esta propiedad del agregado se deriva indirectamente de la roca madre y es responsable de la adherencia del agregado y de la fluidez de las mezclas de concreto.

Según la textura superficial podemos decir que el agregado es liso o pulido (material de río) o áspero (material triturado). Esta textura está relacionada con la dureza, forma, tamaño y estructura de la roca original.

5.1.5.9 Densidad

Esta propiedad depende directamente de la roca que dio origen al agregado. La densidad se define como la relación de peso a volumen de una masa determinada. Pero como las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según la permeabilidad interna, es necesario hacer diferenciación entre los distintos tipos de densidad.

- Densidad absoluta: Es la relación entre el peso de la masa de agregado y el volumen que ocupan solo sus partículas sólidas.

$$DA = \frac{Ps}{V_m - V_v}$$

Ps = peso del material seco.
Vm = volumen de la masa.
Vv = volumen de vacíos

- Densidad nominal: Es la relación que existe entre el peso de la masa del agregado y el volumen que ocupan las partículas del material incluidos los poros no saturables.

$$DN = \frac{Ps}{V_m - V_{vs}}$$

Ps = peso de la muestra seca
Vm = volumen ocupado por la muestra
Vvs = volumen de los poros saturables.

- Densidad aparente: Está definida por la relación entre el peso y el volumen de las partículas de ese material incluidos todos los poros, saturables y no saturables.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{Ps}{V_m}$$

donde: Ps = peso seco de la masa
Vm = volumen ocupado por la masa.

¹¹ Ibid.p.21

La norma NTC No. 237 indica la forma de determinar las diferentes densidades del agregado fino y No. 176 la forma de obtener las diferentes densidades para el agregado grueso.

5.1.5.10. Porosidad y absorción

¹²La porosidad del agregado es una cualidad muy importante, directamente relacionada con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas, así como a su comportamiento frente a problemas de congelamiento, deshielo e intemperismo.

La porosidad está asociada a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que tienen los agregados, capacidad que depende del número y tamaño de los poros y de la continuidad de los mismos.

Para determinar la absorción en agregados finos y gruesos se siguen las indicaciones que aparecen en las normas NTC 237 y 176 respectivamente.

$$\% \text{ absorción} = \frac{P_{ss} - P_s}{P_s} \times 100$$

P_{ss} = Peso saturado y superficialmente seco

P_s = Peso seco.

5.1.6. MASA UNITARIA O PESO UNITARIO

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el mayor peso unitario se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado.

Existen dos tipos de masa unitaria a saber:

5.1.6.1. Peso unitario o compactado:

Se define como el peso compactado del material dividido entre el volumen que ocupa. La determinación de la masa unitaria compactada se hace según la norma NTC No. 92. El valor de la masa unitaria compactada se utiliza para determinar el volumen absoluto de agregado grueso en las mezclas de concreto.

¹² Ibid.p.22

5.1.6.2. Peso unitario suelto:

¹³Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa. El peso unitario suelto es menor que el peso unitario compactado porque el material en estado suelto ocupa un volumen mayor.

En el manejo del material se debe tener en cuenta el peso unitario suelto por cuanto el transporte se hace en volumen y en estado suelto, y por lo tanto el volumen del agregado para transportar y almacenar siempre es mayor que el volumen del material colocado y compactado en la obra¹⁴.

5.1.7 TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)

El PET es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases, reciclable 100% y con posibilidad de producir envases reutilizables, lo cual ha llevado a desplazar a otros materiales, como por ejemplo, el PVC, el cual presenta una demanda creciente en todo el mundo. El PET es el material plástico con el cual se elaboran los envases de bebidas gaseosas y aguas minerales, entre otras. Las botellas son desechables, por lo que su destino suele ser la bolsa de basura y, por extensión, los rellenos sanitarios donde se depositan los residuos domiciliarios.

El PET es producido a partir del petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico¹⁵.

¹³ Ibid.p.23

¹⁴ GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, LIBIA. El Concreto y otros Materiales para la Construcción. Manizales, Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales., 2003, Segunda edición., I.S.B.N 958-9322-82-4. pag.9-23.

¹⁵ ALESMAR, Luis, Nalia Rendón, María Eugenia Korody , Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) – cemento. En: Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela versión impresa ISSN 0798-4065: 2008. Vol. 13, no 1.

5.1.8. ADITIVOS

Las mezclas trabajables de hormigón hechas con agregados satisfactorios, cemento suficiente y la cantidad correcta de agua para producir el revenimiento requerido normalmente no necesitan que se les agreguen aditivos para tener la trabajabilidad satisfactoria. Sin embargo, los aditivos son útiles en las mezclas pobres y ásperas, de mala trabajabilidad y en donde se tienen condiciones difíciles de vaciado, los aditivos utilizados para mejorar la trabajabilidad son: los Fluidificantes o plastificantes y los inclusores de aire.

Y los aditivos, inclusores *de aire*, al mismo tiempo que, sin ser su propósito, mejora la trabajabilidad de las mezclas de hormigón, pueden causar problemas relacionados con el acabado de superficies horizontales. Debido a la marcada reducción en la exudación del hormigón con aire incluido, este suele requerir que el acabado se realice con mucha mayor rapidez que para el hormigón que no contiene ese aditivo. Además para aumentar la trabajabilidad de un hormigón pobre es necesario aumentar el área superficial de los sólidos por unidad de volumen de agua. Esto se puede llevar a cabo al agregar aditivos.

No obstante los aditivos para concreto, han jugado un papel central en la moderna tecnología de los materiales. Junto con las adiciones minerales, los aditivos han permitido avanzar en la tecnología del concreto y han mejorado muchas de las propiedades de este material, en particular, la resistencia a compresión y la durabilidad.

Gracias a estos aditivos se ha promovido también el uso de materiales industriales secundarios (escoria de alto horno, cenizas volantes) en los sistemas cementosos, contribuyendo a la conservación de los recursos y a optimizar su utilización.

No debemos olvidar que la utilización de aditivos ha generado un avance y desarrollo exponencial en la tecnología del concreto mejorando de cierta medida la funcionalidad de este y generando un avance en la construcción de tal medida que ya podemos decir que muchas de las obras civiles son procesos industriales por su gran cantidad y rapidez de desarrollo¹⁶

¹⁶ PARRADO ANTOLÍNEZ y otros. Efecto de los aditivos acelerante, plastificante y retardante en la resistencia a la flexión en concretos con agregados PET. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá: Universidad la Gran Colombia. Facultad de ingeniería. 2014p.35

5.1.8.1 Acelerante

Todo los aditivos acelerante se utilizan con el objetivo de lograr que el concreto desarrolle resistencia rápidamente .esto se puede dar si se desea descimbrar rápido para acelerar el proceso constructivo, también se puede utilizar cuando se tiene que colar en un ambiente frío para contrarrestar los efectos de las bajas temperaturas, porque normalmente retrasan el fraguado del concreto, teniendo en cuenta que se puede llegar a congelarse el concreto.¹⁷

5.1.8.1.1. Tipos de acelerante

- Acelerantes basados en el cloruro de calcio (CaCl_2),
- Acelerantes sin cloruros.

Acelerantes basados en el cloruro de calcio (CaCl_2),

El cloruro de calcio reacciona de una forma muy especial con el agua y el cemento, este fenómeno de reacción aún no es muy claro para los investigadores, pero por lo que se conoce el cloruro se involucra con las reacciones del C3A, el yeso y el C4AF y también participa en la canalización del C3S y del C2S acelerando la formación del gel. El cloruro de calcio se adiciona en porcentajes no mayores al 2 % por peso del cemento.

El acelerante también genera un aumento de resistencia a edades tempranas y se presentan los siguientes efectos secundarios:

- Aumenta ligeramente la contracción por secado del concreto.
- Disminuye la durabilidad a largo plazo.
- Disminuye la resistencia a los sulfatos en el largo plazo.
- Después de la ganancia rápida en resistencia hay una baja en la evolución de la misma.
- Aumenta un poco la trabajabilidad.
- Combinado con un aditivo inclusor de aire provoca un aumento del contenido de aire.
- Retiene la humedad en los agregados disminuyendo el sangrado.
- Favorece la corrosión del concreto reforzado, no se debe usar en el concreto pre esforzado.

¹⁷ Ibid.pag.36

Los aditivos acelerantes sin cloruros

Presentan una gran ventaja puesto que no provocan corrosión, el cloruro de calcio llega a corroer no solamente al concreto reforzado sino también cualquier superficie metálica con la que pueda tener contacto, como por ejemplo el dispensario donde se almacena el propio aditivo. Dependiendo de la marca, el acelerante sin cloruros se puede dosificar para usos normales de 6.5 a 52 ml. por cada kilogramo de cemento¹⁸.

5.1.8.2. aditivo utilizado acelerante, toxemet accelguard he

Es un aditivo acelerante de fraguado para concreto y mortero. Es un compuesto líquido formulado para acelerar de manera controlada el tiempo de fraguado de concretos o morteros generando resistencias mecánicas tempranas y finales más rápidamente, en concordancia con las normas ASTM C-494 Tipo C e ICONTEC 1299.

5.1.8.2.1. INFORMACION TECNICA

Densidad: 1,29 kg/l +/- 0,015 kg/l

Apariencia: Líquido de color ámbar

Contiene cloruros

5.1.9. DISEÑO DE MEZCLA REALIZADO POR EL MÉTODO ACI

El método ACI es utilizado para elaborar diseños de mezcla de concreto con agregados que cumplan las normas correspondientes, hecho que no siempre se da en nuestro medio, ya que los agregados utilizados no se encuentran completamente limpios; ni tampoco se cuenta con unas granulometrías correctas. Es por esta causa que en general el método ACI nos da mezclas más secas de lo previsto y pedregosas, pero afortunadamente existen correcciones, las cuales no sólo son de agua, sino también de agregados.¹⁹

Este método tiene una gran limitación, y es que no distingue las distintas formas en las que se presentan los agregados (redondeados, chancados, angulosos, etc.). Una de las alternativas para la corrección de slump es:

¹⁸ Ibid.,p.37

¹⁹ capítulo iii diseño de mezclas de concreto.,2015,
http://www.academia.edu/9513380/CAPITULO_III_DISEÑO_DE_MEZCLAS_DE_CONCRETO

- Corregir la cantidad de agua, pero al tratar de conservar la misma relación agua/cemento involucraba que la cantidad de agregado grueso se mantenga constante y en algunos casos ya se obtiene mucha piedra.
- Otra alternativa, mencionada anteriormente es modificar la cantidad de agregado grueso; es decir, disminuir la cantidad de agregado grueso en un rango de 5% a 10% y compensar con la cantidad de arena. Cabe mencionar que no se ha profundizado mucho en esta alternativa ya que esta es muy parecida al método de Pesos Unitarios Compactados usado y detallado a continuación.

El documento ACI 211.1 resume el procedimiento de diseño de mezclas de concreto, en 9 pasos que son:

- Elección del asentamiento
- Elección del tamaño máximo de agregado
- Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire
- Selección de la relación agua- cemento
- Cálculo del contenido de cemento
- Estimación del contenido de agregado grueso
- Estimación del contenido de agregado fino
- Ajuste por humedad del agregado
- Ajustes en las mezclas de prueba

5.1.10. RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO

Esta resistencia mecánica del concreto comienza una vez que los granos de cemento inician el proceso de hidratación porque en ese momento es el punto de partida a las reacciones de endurecimiento, las cuales comienzan con el denominado “atiesamiento” del fraguado, luego de esto continua ganado resistencias, lo cual sucede a principio con una velocidad alta pero que a través del tiempo disminuye.

La velocidad en la que el concreto aumenta su resistencia mecánica depende de numerosas variables, entre ellas se destacan la composición química del cemento, la finura de este, la relación agua cemento, que siendo está más baja favorece a la velocidad, también existen factores que afectan la resistencia mecánica del concreto.

5.1.11. EDAD DEL CONCRETO.

Para los concretos convencionales la máxima resistencia se alcanza a los 28 días, después de este tiempo el aumento de la resistencia es muy mínimo. Los concretos considerados de alta y ultra alta resistencia alcanzan su máxima resistencia entre los 56 y 90 días por que el aumento después de los 28 días es considerable, aunque estos son de gran densidad, impermeabilidad y resistencia, son más propensos al agrietamiento debido a la mayor contracción por fraguado y menor extensibilidad.

5.2 MARCO NORMATIVO

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 174

Esta norma también es para uso en especificaciones de proyectos, para definir la calidad del agregado, su tamaño máximo y otros requisitos de gradación específicos. Las personas responsables de seleccionar las proporciones de la mezcla de concreto también deben determinar las proporciones de agregado fino y grueso y la adición de una mezcla de agregados de diferente tamaño, si se requieren o aprueban.

NTC 32: 1991, Ingeniería Civil y Arquitectura. Tamices de tejido de alambre para ensayos (ASTM E 11).

El agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o una combinación de éstas.

a) En el caso de arena triturada, si el material que pasa el tamiz 75 μm (No. 200) contiene polvo de trituración libre de arcilla o esquistos, estos límites pueden incrementarse al 5 % y 7 %, respectivamente.

GRADACIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. El agregado fino debe estar clasificado dentro de los siguientes límites como se indica en la tabla 5:

Tabla 5. Límites granulométricos (tamices)

Tamiz NTC 32 (ASTM E 11)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	10 a 30
150 μm	2 a 10

AGREGADO GRUESO

CARACTERÍSTICAS GENERALES

El agregado grueso debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico o una combinación de ellos, conforme a los requisitos de esta norma.

Nota 5. Aunque el concreto de cemento hidráulico triturado ha sido usado como agregado con resultados satisfactorios, su uso puede requerir algunas precauciones adicionales. La necesidad de agua de la mezcla puede incrementarse debido a la rugosidad del agregado. El concreto parcialmente deteriorado, usado como agregado, puede reducir la resistencia al ciclo hielo-deshielo, afectar las propiedades de los vacíos de aire o sufrir degradación durante la manipulación, mezclado o colocación. El concreto triturado puede tener componentes susceptibles a la reactividad álcali-agregado o al ataque por sulfatos en el concreto nuevo, o pueden contener sulfatos, cloruros o material orgánico en los poros, los cuales pueden incorporar a la nueva estructura.

GRADACIÓN:

El agregado grueso debe cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla 2 para el número de tamaño especificado.

Nota 6. Los intervalos mostrados en la Tabla 2 son necesariamente muy amplios con el fin de cobijar las condiciones variables del país. Para realizar el control de calidad de cualquier obra específica, el productor puede desarrollar una gradación promedio de una fuente particular e instalaciones de producción, y controlar la gradación con unas tolerancias razonables de este mismo promedio. Cuando se utilicen agregados gruesos de números 357 o 467, es recomendable suministrar dichos agregados al menos en dos tamaños separados²⁰.

En la tabla 6. Podemos encontrar los límites superiores e inferiores necesarios para introducirlos a una mezcla de concreto, si los resultados del tamizado del material, no está entre estos límites no es apto para introducirse en el diseño de mezcla para una resistencia optima y comportamiento eficaz de los materiales de mezclado al momento de fundir, por esta razón se busca y se requiere que todo agregado que se vaya incluir en una mezcla de concreto entre en estos límites

²⁰ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 174, concretos. especificaciones de los agregados para concreto, Bogotá .D.C. 2000-06-21. P. 5

Superiores e inferiores mostrados en la tabla ya mencionada

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 174 (Quinta actualización)

Tabla 2. Requisitos de gradación para agregado grueso

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25- 60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0- 5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0- 5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0- 5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10- 30	0- 5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0- 10	0- 5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40- 85	10-40	0- 15	0- 5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0- 5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20 - 55	0- 15	0- 5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20 - 55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	40 - 70	0- 15	0- 5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 - 100	10- 30	0- 10	0- 5

Tabla 6. Análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos

NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 174 2000-06-21 CONCRETO. ESPECIFICACIONE DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO pág. 8.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 77 (MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS)

Esta norma abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado. Algunas especificaciones para agregados que se referencian en esta norma contienen requisitos de gradación que abarcan tanto la fracción gruesa como la fina. Se incluyen, por tanto las instrucciones para el análisis por tamizado de estos agregados. Los valores se rigen de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. Véase la NTC 1000 (ISO 1000). La especificación NTC 32 (ASTM E11) designa el tamaño del marco de los tamices en pulgadas como una norma, pero en este método de ensayo el tamaño del marco designado en el sistema internacional de unidades es exactamente equivalente a las unidades en pulgadas. Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de las regulaciones primordiales por usar.²¹

²¹ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 77, concretos. método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos., Bogotá, 2007-09-26 p.4

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1776(MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR POR SECADO EL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS)

Esta norma es específicamente precisa para los propósitos usuales, como el ajuste de los pesos de los ingredientes para una fachada de concreto. Generalmente, la determinación de la humedad en la muestra de ensayo es más confiable de lo que puede ser la toma de la muestra para representar el agregado suministrado. Cuando el agregado es alterado por el calor, o cuando se requieren mediciones más precisas, se debe llevar a cabo el ensayo utilizando un horno ventilado de temperatura controlada.

Las partículas grandes del agregado grueso, especialmente aquellas mayores de 50 mm, requieren un tiempo más prolongado para que la humedad viaje desde el interior hacia la superficie de las partículas. El usuario de esta norma, puede determinar por tanteo si los métodos de secado rápido presentan suficiente precisión para el uso deseado, cuando se secan partículas de gran tamaño²².

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 237 (MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO)

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad aparente y nominal, a una condición de temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la absorción del agregado fino. Este método de ensayo determina (después de 24 h en agua) la densidad aparente, la densidad nominal y la absorción según se define en la NTC 385 Terminología del Cemento y Concreto. Los valores se registrarán de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. NTC 1000 "Metrología". Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si hay alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas de seguridad y salud²³.

²² NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 1776, ingeniería civil y arquitectura. método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados. Bogotá D.C.,1994-10-19 p.4

²³ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 237, ingeniería civil y arquitectura. método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino., Bogotá D.C.,1995-11-29 p.6

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 92 (DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS DE AGREGADOS)

Esta norma determina la masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos entre las partículas de agregados finos, gruesos o mezclados. Esta norma se aplica a agregados que no exceden los 150 mm de tamaño máximo nominal.

Nota. La masa unitaria es el término usado tradicionalmente para describir la propiedad determinada en esta norma. Aunque algunos consideran que los términos peso unitario, densidad o densidad volumétrica resultan más apropiados, no existe aún un acuerdo general sobre el tema. Los valores se registrarán de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. NTC 1000. Metrología. Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.²⁴

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 221 (CEMENTOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO)

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto. La densidad del cemento hidráulico se define como la masa del volumen unitario de sólidos. Los valores se deben registrar de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. Véase la NTC 1000 (ISO 1000). Esta norma puede involucrar materiales, maniobras y equipos peligrosos, sin embargo no implica referirse a los problemas de seguridad asociados con su empleo. Es responsabilidad del usuario constatar antes de su empleo las prácticas y condiciones tanto de seguridad como de sanidad, así como determinar su aplicación.²⁵

²⁴ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 92, ingeniería civil y arquitectura. determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados., Bogotá D.C., 1995-02-15 p.5

²⁵ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 221, ingeniería civil y arquitectura. Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico, Bogotá D.C., 2011-10-19 p.4.

NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 673. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen.²⁶

²⁶ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 673, concretos. ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto., Bogotá D.C., 2010-02-17

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación posee un enfoque cuantitativo puesto que de acuerdo al objeto general que se plantea en el mismo, se busca determinar la incidencia de los altos porcentajes de agregado PET en la resistencia a compresión en los concretos, a través de mediciones directas realizadas en el laboratorio, recolección de datos y estudios anteriores sobre el mismo tipos de concreto con agregado PET, a través de toda la recopilación de datos junto con los resultados que pueden obtener en laboratorio, se pueda realizar una caracterización específica de las propiedades mecánicas del material en las cuales se hará énfasis en la resistencia que este posee a la compresión.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es experimental, puesto que la resistencia de este tipo de concreto se ha estudiado con bajos porcentajes de agregado PET, esto conlleva a que la información existente sobre parámetros mecánicos resultan insuficientes, así que se considera necesaria la descripción y comparación con estándares de concretos ya establecidos por la norma NRS-10 para obtener nuevos elementos y datos para complementar resultados ya existentes.

6.3 FASES DE LA INVESTIGACION

6.3.1 FASE1: CARACTERIZAR LOS AGREGADOS Y CEMENTO QUE SE VA A INCLUIR EN LA MEZCLA DE CONCRETO.

6.3.1.1 granulometrías de los agregados

Para la gradación de los agregados se utilizan una serie de tamices que están especificados en la Norma Técnica Colombiana NTC 32, 174, 77 los cuales se seleccionarán los tamaños y por medio de unos procedimientos hallaremos su módulo de finura, para el agregado fino y el tamaño máximo nominal y absoluto para el agregado grueso.

6.3.1.2 densidad y absorción de los agregados

Agregado grueso (grava): Lo primero es extraer el material, Se coge una muestra de agregado grueso, ahora tomamos una muestra, el cual se procede a lavarla hasta que el agua alcance una transparencia (lo que indica que se elimina la suciedad contenida) y luego se deja sumergida en agua durante 24 horas, ahora se tomó sólo una parte de la muestra y la otra será eliminada. Debido a las partículas grandes del agregado sólo es necesario secarla con una franela o trapo. Así obtendremos la muestra parcialmente seca. Una vez secada (parcialmente seca, se procede a pesar la muestra secada con la balanza de estabilidad, no sin antes tarar la balanza. Luego anotar dicho valor. Después de haber pasado las 24 horas en el horno, se secó la muestra y se pesó. Se tomaron los respectivos datos y calcular los resultados para el porcentaje de absorción.

Agregado fino (arena): se escoge una muestra del material obtenido, enseguida empezamos a tamizar entre la malla N°04 y N°200 (series de tamices de agregado fino correcto y adecuado). Considerando que el material que atraviesa la malla N° 200 no es apta para la elaboración de Concreto, y ésta se eliminará.

Después de igual manera que el agregado grueso procedemos a lavar el agregado fino, una vez de haber lavado el agregado fino, se procedió a coger un balde con agua y agregamos hasta el tope al recipiente con la muestra contenida (Esto se realiza para que la muestra quede totalmente saturada). Y dejarla sumergida por 24 horas. Se tomó la mitad de la muestra saturada (agregado) y se procede a secarla con la ayuda de periódicos se secó dicho agregado hasta que quedo superficialmente seco. Una vez secado el agregado, realizamos un pequeño ensayo del conito de absorción, introducimos la muestra en el molde cónico, luego apisona unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1cm. Todo esto para corroborar si el material se encuentra superficialmente seco posteriormente se nivela y si al quitar el molde la muestra se deja caer a lo mucho 1/3 de la muestra, es porque ha alcanzado la condición requerida y no existe humedad libre, de lo contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que se cumpla con la condición. Después se pesó una muestra de 300 gramos del agregado y se introdujo en el picnómetro antes pesado, también se agregó agua (a 20°C) hasta el ras indicado más o menos 500 ml, Se procede a cuantificar el peso del picnómetro (con la muestra y el agua mezcladas) en la balanza anotando su respectivo valor, Para terminar, por último se lleva la muestra de agregado fino (después de 24 horas) a una balanza, y hacen los respectivos cálculos.

6.3.1.3 contenido de humedad de los agregados

El contenido de humedad de un suelo, es la suma de sus aguas. En mecánica de suelos el contenido de humedad W está referido al peso del material seco todo esto especificado en la NTC 1776.

6.3.1.4 masa unitaria de los agregados

En un recipiente metálico (balde) con dimensiones y pesos conocidos se introducen los agregados por separado, en tres capas todo esto especificado en la NTC 92.

6.3.1.5 densidades del cemento

En un picnómetro con queroseno (varsol) se le agrega el cemento de una cantidad ya pesada, esto está referido en la NTC 221.

6.3.2. FASE 2: DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE CONCRETO CON DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO PET

6.3.2.1 diseño de mezcla de concreto con PET

El diseño se realizó por el método ACI y su procedimiento de se puede hacer ya sea mezclando los materiales por volumen absoluto y luego calculando los pesos de cada uno de los componentes, directamente, calculando el peso del hormigón y deduciendo luego el peso de cada uno de los ingredientes, siempre para obtener un metro cubico de hormigón. Ambas formas de cálculo de la mezcla tienen en cuenta toda. Relacionado con la facilidad de colocación, resistencia a la compresión o a la flexión, durabilidad y economía; además tiene una gran ventaja; se puede programar con facilidad para un rápido y práctico manejo del método.

6.3.2.2 preparaciones de la mezcla, encofrado y curado de los cilindros

Se prepara las dosificaciones exactas dadas en el diseño para continuar con el respectivo mezclado de estos materiales, antes se deben alistar las camisas que encofrarán el concreto, después de tener el mezclas se procede a vaciar la mezcla en las camisas de a tres capas apisonadas 25 veces cada una, luego se vibra y se hace el enrase. Se desencofra alas 24h y se introduce en una piscina con agua a 23°C y cal, para hacer el respectivo curado de los cilindros

6.3.2.3. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto

Con este se determina la carga máxima que resiste cada uno de los especímenes, después de 3, 7, 14 días de curado respectivamente; con el fin de determinar la resistencia a la compresión de los cilindros testigo. Después de cumplido el tiempo de curado de cada cilindro (3, 7, 14), estos son extraídos de la pila con agua saturada en cal, se dejan secar un corto lapso de tiempo, para disponerse a tomar y registrar las dimensiones (diámetro y altura) y peso de cada uno de los especímenes. Consignados estos datos, se procede a realizar el ensayo en la prensa hidráulica, la cual se adecua para el correcto funcionamiento de la misma, para ello se pone el espécimen en el mismo sentido en que se hizo (sus caras superior e inferior deben conservar su posición inicial) sobre un plato metálico el cual tiene en su interior una sección circular de neopreno (este fue el material utilizado para este proyecto) que ofrece una mejor distribución de la carga sobre las caras del cilindro testigo.

La máquina esta calibrada a una velocidad para mantener una carga continua y sin impactos, esto con el fin de acoplar el cilindro a la carga de manera paulatina y No abrupta; en el tablero digital de la prensa se registra la máxima carga, la cual es consignada en una hoja de datos para calcular la presión máxima resistida por El espécimen en cualquiera de sus diferentes edades.

7. RESULTADOS

7.1 CARACTERIZAR LOS AGREGADOS Y CEMENTO QUE SE VA A INCLUIR EN LA MEZCLA DE CONCRETO.

7.1.1. GRANULOMETRÍAS DE LOS AGREGADOS

7.1.1.1 *granulometrías de la grava*

La tabla.7 muestran los resultados obtenidos del tamizado realizado al agregado grueso y cálculos requeridos por la NTC 174.

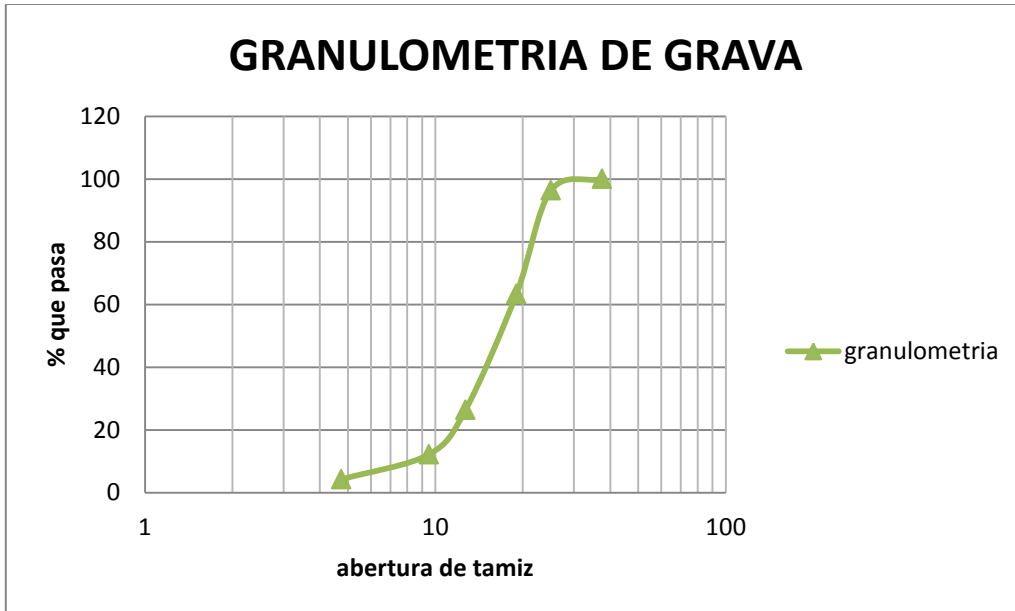
Tabla 7. Granulometría de la grava

Tabla7 granulometría grava				
TAMIZ N°	peso retenido gr.	porcentaje retenido %	porcentaje retenido acumulado %	porcentaje que pasa %
1 1/2"	0	0	0	100
1"	110	3,67	3,67	96,33
3/4"	990	33,04	36,72	63,28
1/2"	1105	36,88	73,60	26,40
3/8"	425	14,19	87,78	12,22
N°4	238	7,94	95,73	4,27
fondo	128	4,27	100,00	0,00
Σ	2996	100,00		

tamaño máximo nominal 1"

En la gráfica 1. Podemos ver el comportamiento logarítmico que se tiene entre la abertura del tamiz, valor que se da en milímetros Vs el porcentaje que pasa en cada tamiz vistos en la tabla 7.

Gráfica 1. Granulometría (grava)



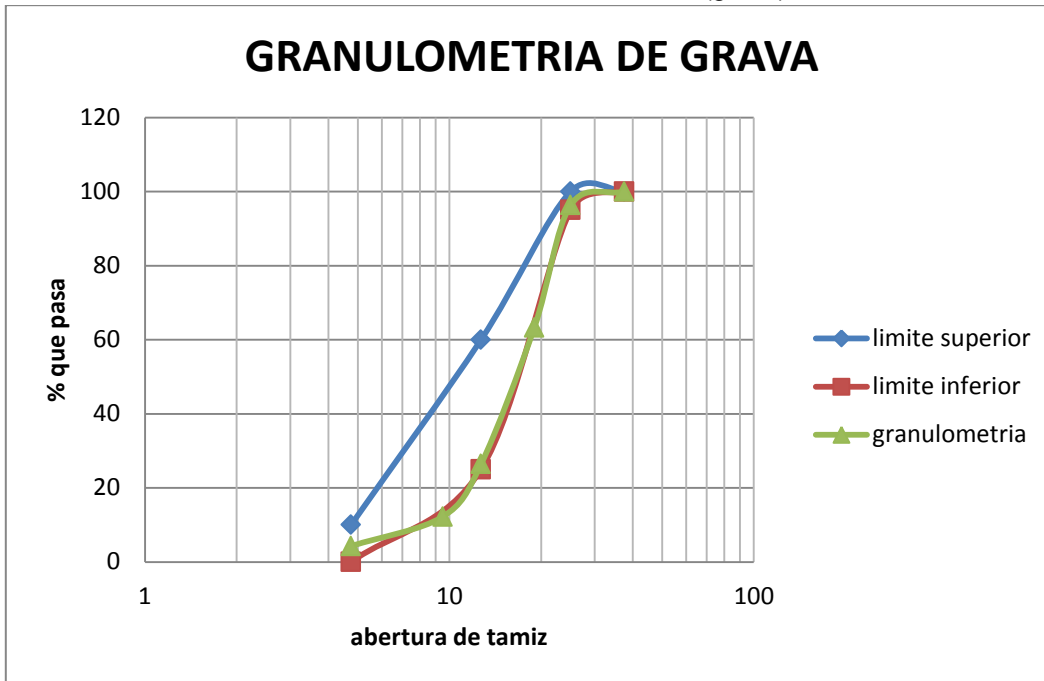
Según la NTC 174 los agregados deben cumplir con unos límites de aceptación, por esto en la tabla 8. Vemos los límites superiores e inferiores para un tamaño máximo nominal de 1" obtenidos de la tabla 6. Para introducir los valores de la granulometría anterior.

Tabla 8. Requisitos de gradación para agregado grueso

Tamiz	Abertura (mm)	Límite Superior	Límite Inferior	grueso
1 1/2"	37,5	100	100	100
1"	25	100	95	96,33
3/4"	19	-	-	63,28
1/2"	12,7	60	25	26,40
3/8"	9,5	-	-	12,22
N°4	4,75	10	0	4,27

La grafica 2. Muestra cómo se ajusta la granulometría de la grava con respecto a los límites inferior y superior.

Gráfica 2. Granulometría (grava)



7.1.1.2 granulometrías de la arena

En la tabla 9. Se observan los resultados del tamizado hecho a la arena, con el mismo procedimiento de la grava

Tabla 9. Granulometría de la arena

granulometría arena				
TAMIZ N°	peso retenido gr.	porcentaje retenido %	porcentaje retenido acumulado %	porcentaje que pasa %
3/8"	8	0,279	0,28	99,72
N°4	127	4,427	4,71	95,29
N°8	423	14,744	19,45	80,55
N°16	411	14,326	33,77	66,23
N°30	757	26,386	60,16	39,84
N°50	753	26,246	86,41	13,59
N°100	320	11,154	97,56	2,44
N°200	64	2,231	99,79	0,21
fondo	6	0,209	100,00	0,00
Σ	2869	100,000		

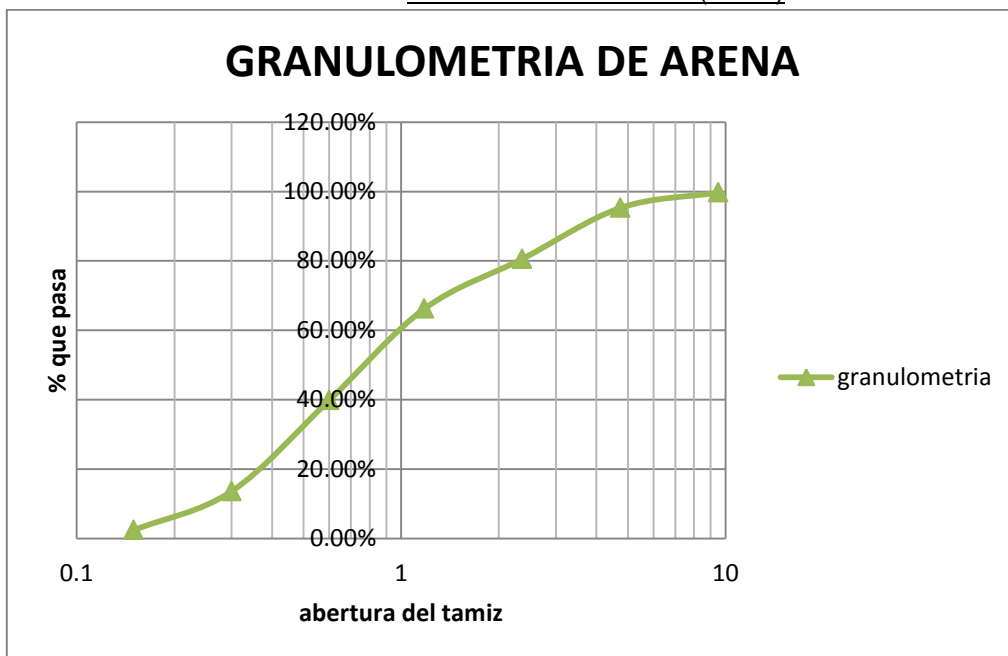
Σ %R.acum	302,335
Mf.	3,02

Sumatoria de los porcentajes acumulados desde el tamiz 3/8" hasta el tamiz N°100

Mf= módulo de finura de la arena

En la gráfica 3. Podemos ver la gráfica logarítmica entre la abertura del tamiz en mm y el % que pasa

Gráfica 3. Granulometria (arena)



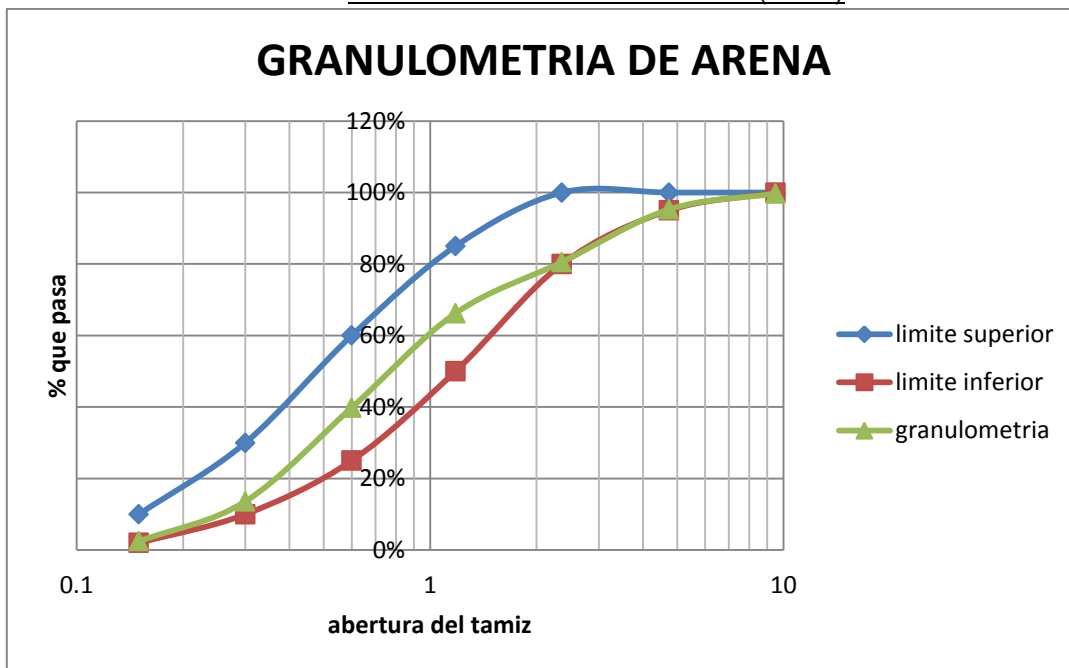
En la tabla 10. Se tienen los límites inferiores y superiores de la arena según la tabla 6. De la NTC 174 para el tamaño máximo nominal, la granulometría se ajustara a estos parámetros.

Tabla 10 Granulometría de la arena limites

Tamiz	Abertura del tamiz	Límite Superior	Límite Inferior	granulometría
3/8 "	9,5	100%	100%	99,72%
N°4	4,75	100%	95%	95,29%
N°8	2,36	100%	80%	80,55%
N°16	1,18	85%	50%	66,23%
N°30	0,6	60%	25%	39,84%
N°50	0,3	30%	10%	13,59%
N°100	0,15	10%	2%	2,44%

En la gráfica 4. Se ve el comportamiento de la granulometría de la arena con respecto a los límites superiores e inferiores los cuales son parámetros de la norma

Gráfica 4.Limites Granulométricos (arena)



7.1.1.3 granulometrías de la arena

Como vimos en las anteriores tablas la tabla 11. Con tiene la granulometría del PET cumpliendo el respectivo procedimiento.

Tabla 11. Granulometría de PET

granulometría PET				
TAMIZ N°	peso retenido gr.	porcentaje retenido %	porcentaje retenido acumulado %	porcentaje que pasa %
3/8"	0	0,000	0,00	100,00
N°4	131	13,179	13,18	86,82
N°8	706	71,026	84,21	15,79
N°10	75	7,545	91,75	8,25
N°16	71	7,143	98,89	1,11
N°30	10	1,006	99,90	0,10
N°50	0	0,000	99,90	0,10
N°100	0	0,000	99,90	0,10
N°200	0	0,000	99,90	0,10
fondo	1	0,101	100,00	0,00
Σ	994	34,646		

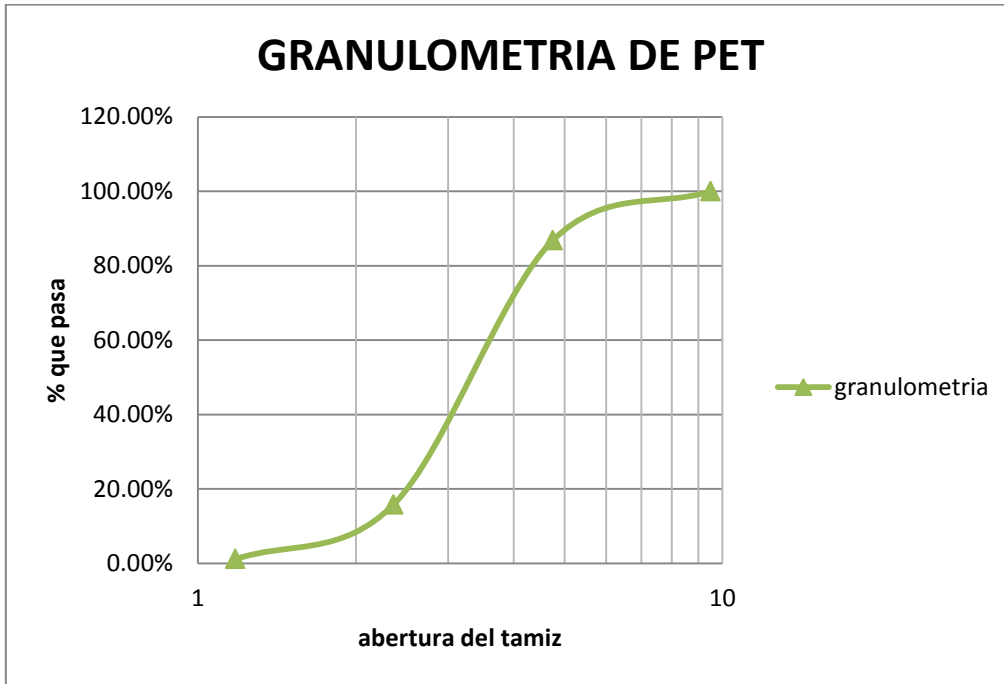
Σ %R.acum	203,625
Mr.	2,04

Σ %R.acum = Sumatoria de los porcentajes acumulados desde el tamiz 3/8" hasta el tamiz N°100

Mr = módulo de finura de la arena

En la gráfica 5. Muestra la gráfica granulométrica del PET según los resultados de la tabla 11.

Gráfica 5. Granulometria (PET)



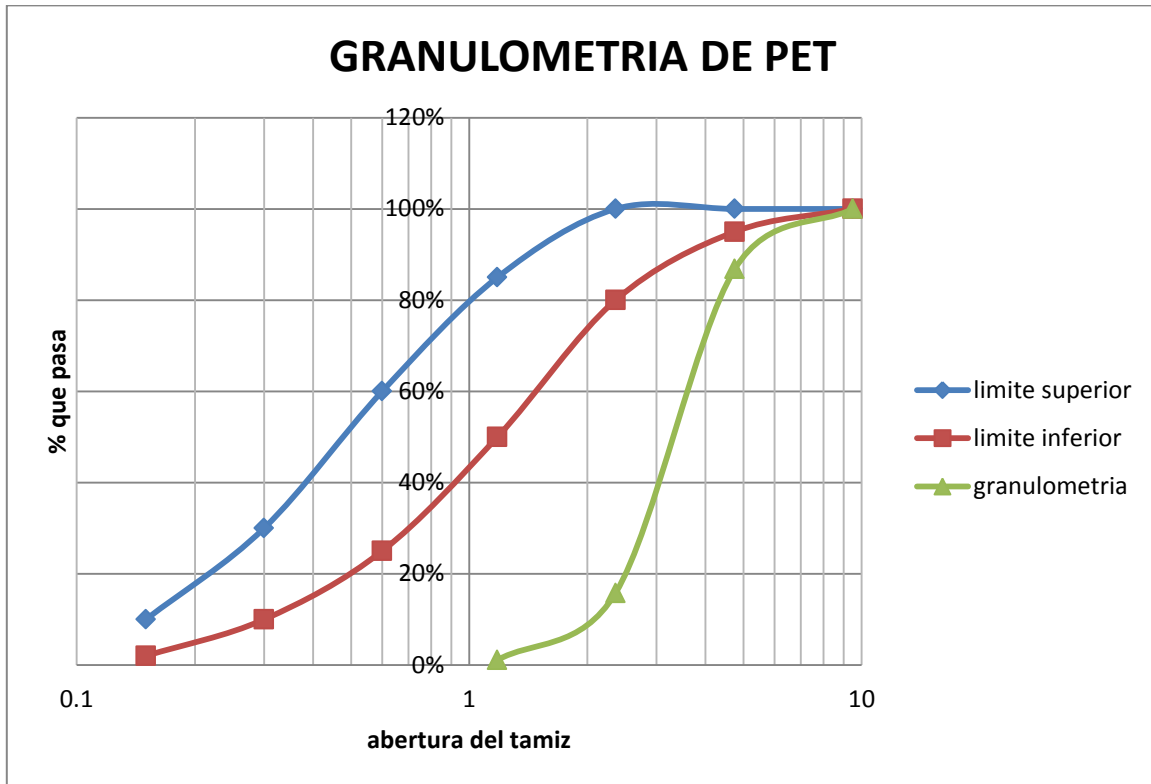
En la tabla 12. Se tienen los límites inferiores y superiores del PET esto parámetros de los límites inferiores y superiores son iguales a los de la arena ya que este agregado será un remplazo del agregado fino.

Tabla 12. Granulometría de PET límites

Tamiz	Abertura del Tamiz	Límite Superior	Límite Inferior	granulometría
3/8 "	9,5	100%	100%	100,00%
N°4	4,75	100%	95%	86,82%
N°8	2,36	100%	80%	15,79%
N°16	1,18	85%	50%	1,11%
N°30	0,6	60%	25%	0,10%
N°50	0,3	30%	10%	0,10%
N°100	0,15	10%	2%	0,10%

En la gráfica 6. Se puede ver claramente la granulometría del PET respecto a los límites del agregado fino.

Gráfica 6.Limites Granulométricos (PET)



7.1.2. DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

7.1.2.1 densidades de la grava

La tabla 13. Muestra los resultados obtenidos en el laboratorio del ensayo para hallar la densidad y absorción de los agregados, siguiendo los parámetros y cálculos según la según la NTC 237

Tabla 13. Densidad relativa y absorción de la grava

	ensayo 1	ensayo 2	ensayo 3	
A	482,8	472,4	475,4	
B	499,3	491	494,2	
C	315,8	301,3	295,5	promedio
B-C	183,5	189,7	198,7	190,63
A-C	167,00	171,10	179,90	172,67
B-A	16,5	18,6	18,8	17,97
G.s,BULK=A/(B-C)	2,631	2,490	2,393	2,50
GS, BULKsss=B/(B-C)	2,721	2,588	2,487	2,60
GS APARENTE=A/(A-C)	2,89	2,76	2,64	2,76
ABSORCION %= (B-A/A)*100	3,417564209	3,937341236	3,954564577	3,77
A= peso en el aire, de la muestra seca gr				
B= peso en el aire de la muestra saturada, superficie seca gr				
C= peso en el agua de la muestra saturada superficie seca gr				
GS= peso específico				

7.1.2.2. DENSIDAD Y ABSORCION (ARENA)

Se especifica el proceso de cálculo y los datos obtenidos en el laboratorio para hallar la gravedad específica de la arena y su absorción, en la tabla 12. según parámetros de la NTC 237.

Tabla 14. Densidad y absorción (arena)

W_{sss} =peso saturado y superficialmente seco en gr	500
W_s = peso seco de muestra en gr	494.7
W_{mwa} = Se pesa el matraz + agua + arena en gr	980.4
W_{mw} =peso del matraz + agua en gr	673

G.S.	2,57
absorción%	1,07

G.S.= gravedad específica o densidad relativa

$$\text{Absorción} = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

7.1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

7.1.3.1. Humedad de la grava

La tabla 15. Enseña los resultados y cálculos del ensayo de humedad que se realizó a los agregados gruesos basados en la NTC 1776 siguiendo los parámetros y cálculos.

Tabla 15. Humedad de la (grava)

humedad grava	
peso húmedo de la grava	3560,8
peso seco de la grava	3463,3
peso del agua	97,5
W%	2,82

Formula de la humedad

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{\text{Peso.de.agua}}{\text{Peso.de.arena.sec a}} \times 100$$

7.1.3.1. Humedad de la arena

La tabla 16. Enseña los resultados y cálculos del ensayo de humedad que se realizó a los agregados gruesos. Este procedimiento y cálculo es similar al proceso que se hizo con la arena y posteriores cálculos según NTC 1776.

Tabla 16. Humedad de la (ARENA)

humedad arena	
peso húmedo	4583,6
peso seco	4492,7
peso agua	90,9
W%	2,02

7.1.4. MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS

7.1.4.1 peso seco suelto y compactado (grava)

Se tiene en la tabla 17. Los resultados del ensayo de masa unitaria compactada y suelta que se realizó siguiendo los parámetros y cálculos expuestos en la NTC 92.

Tabla 17. Peso seco suelto y compactado (grava)

peso molde	2540 gr
vol. molde	2841 gr
peso suelto grava+molde	6056,2 gr
peso compactado grava+molde	6538,1 gr
peso suelto grava	3516,2 gr
peso compactado grava	3998,1 gr

peso unitario suelto g/cm3	peso unitario compactado g/cm3
1.24	1.41
peso unitario suelto kg/m3	peso unitario compactado kg/m3
1237.66	1407.29

7.1.4.2. Peso seco suelto y compactado (arena)

Se tiene en la tabla 18. Los resultados del ensayo de masa unitaria compactada y suelta que se realizó siguiendo los parámetros y cálculos expuestos en la NTC 92.

Tabla 18. Peso seco suelto y compactado (arena)

peso molde	2540
vol. molde	2841
peso suelto arena+molde	7248,7
peso compactado arena+molde	7457,4
peso arena grava	4708,7
peso compactado arena	4917,4

peso unitario suelto g/cm³	peso unitario compactado g/cm³
1.66	1.73
peso unitario suelto kg/m³	peso unitario compactado kg/m³
1657.41	1730.87

7.1.5. DENSIDAD DEL CEMENTO

Siguiendo los procesos y cálculos pautados en la NTC 221 para hallar la densidad del cemento. La tabla 19. Nos muestra los resultados de la prueba.

Tabla 19. Densidad del cemento

peso gr	64
volumen inicial en cm³	0.8
volumen final en cm³	22.15
densidad del cemento en g/cm³	3.00

7.2. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE CONCRETO CON DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO PET

7.2.1 DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON PET

7.2.1.1 parámetros para el diseño de mezcla

Se realiza un diseño de mezcla para un concreto de 21Mpa o 210 Kg/cm³ Donde se obtiene un valor de tamaño máximo nomina 1" de los ensayos de granulometría, Y los datos de peso unitario compactado suelto, humedad, absorción, gravedades específicas, módulo de finura ilustrados en la tabla

Tabla 20. Parámetros necesarios para el diseño de mezcla

	G.S	Mf	peso seco compactado (kg/m3)	peso seco suelto (kg/m3)	Humedad (%)	Absorción (%)	densidad (kg/m3)
grava	2.76		1237.66	1407.29	2.82	3.77	2760
arena	2.57	3.02	1657.41	1730.87	2.02	1.07	2570
cemento							3000

7.2.1.2 diseño de mezcla del concreto según método ACI

Pasos para el diseño de mezcla para un concreto de 210 kg/cm³ según el método ACI. Cada paso está basado en el método mencionado y por ende los resultados obtenidos son de las tablas y cálculos sugeridos por este.

Paso 1. selección de asentamientos

	min	max
asentamiento	100 mm	25 mm

Paso 2. Tamaño máximo nominal del agregado

1"	25mm
----	------

Paso 3. cálculo de agua de mezclado y contenido de aire

agua litros	193
% aire atrapado	1.5

Paso 4. Selección de la relación agua cemento

f'c Mpa=	21
----------	----

f'cr	29.4
------	------

A/C	0.55
-----	------

Paso 5. hallar cantidad de cemento

cantidad de cemento Kg	350.9
------------------------	-------

Paso 6. Estimación de la grava

volumen de agregado grueso	0.65
peso grava	0.00

Paso 7 estimación del agregado fino

peso del concreto kg/m ³	2380
-------------------------------------	------

$\text{arena} = \text{concreto} - (\text{cemento} + \text{agua} + \text{grava})$
--

arena Kg=	1836.09
-----------	---------

Paso 8 correcciones por humedad

Tabla 21 pesos secos y corregidos por humedad de los materiales

material	Peso seco kg	W%	ABS%	peso húmedo	W%-ABS%	aporte de humedad	pesos corregidos kg
agua	193						192.96
cemento	350.9						350.9
grava	914.74	2.82	3.77	940.49	-0.95	-8.73	940.49
arena	921.35	2.02	1.07	940.00	0.95	8.77	940.00
aporte de humedad de los agregados						0.04	

7.2.1.2 diseño de mezcla del concreto con diferentes % de PET

Todas las tablas de diseño de mezcla con PET para 3 cilindros por cada porcentaje de PET y a diferentes días de fraguados se ilustraran en el ANEXO 1. Adjunto al trabajo.

7.2.2 PREPARACIONES DE LA MEZCLA, ENCOFRADO Y CURADO DE LOS CILINDROS

Se trabajó el diseño de mezcla para 3 cilindros por porcentaje de PET y en cada edad del concreto por lo tanto tenemos la tabla 22. Que nos muestra la cantidad de cilindros a trabajar.

Tabla 22. Cantidad de cilindros utilizados

% de PET	día3	día 7	día 14	cantidad de cilindros
0	3	3	3	9
4	3	3	3	9
8	3	3	3	9
12	3	3	3	9
16	3	3	3	9
20	3	3	3	9
total cilindros =				54

volumen de un cilindro en m3	0,0016	1,6 L
volumen de 3 cilindros + 15% de desperdicios en m3	0,00552	5,52 L

Ya que el diseño de mezcla requerida un aditivo acelerante la tabla 23. Nos muestra la dosificación utilizada de acelerante en cada tiempo de fraguado del concreto, independiente mente de la cantidad de PET

Tabla 23. De dosificación del acelerante

Tabla 23. de dosificación del acelerante	
Días	% del cemento
14	1- 1.5
7	1,5-2
3	2-2,2

7.2.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO

Todas las tablas de cada resultado obtenido de los ensayos a compresión y densidad de los cilindros se mostraran en el ANEXO 2. Adjunto al trabajo.

7.2.3.1. Resultados de los cilindros fallados a los 3 días

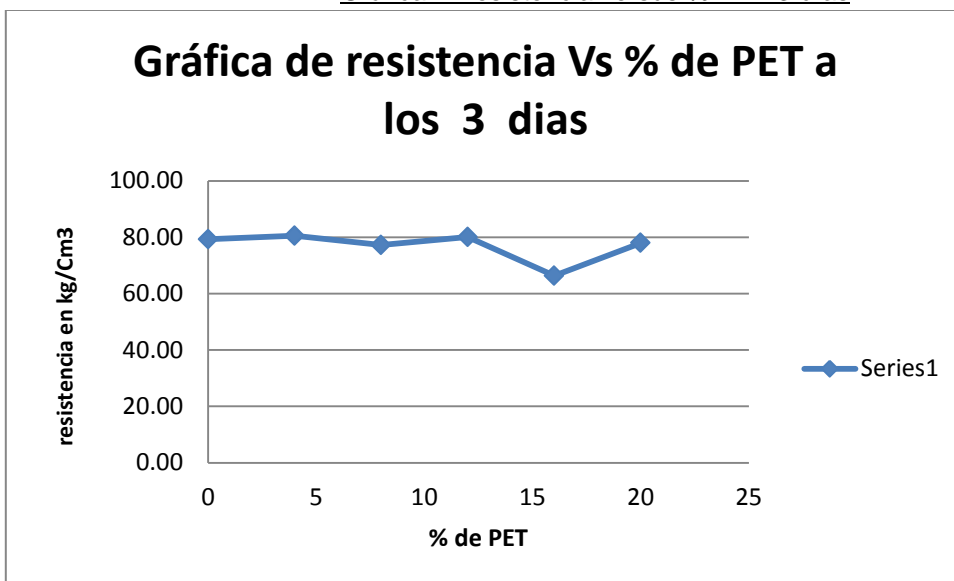
En la tabla 24. Se da un breve resumen de todos los resultados obtenidos del ensayo de la resistencia a la compresión, todos los resultados se pueden observar en el anexo 2. Adjunto al trabajo.

Tabla 24. Resultados de la resistencia a compresión a los 3 días

Tabla 24 resumen 3 DIAS	
% PET	Resistencia promedio
0	79,30
4	80,56
8	77,23
12	80,08
16	66,32
20	78,00

Como resultado de estos ensayos a la compresión a los 3 días de fraguado podemos observar en la gráfica 7. La cual nos muestra los porcentajes de PET vs los valores de la resistencia a la compresión de cada uno, en esta grafica podemos ver qué porcentaje tubo mejores resultados y cual tubo menores resultados, así también nos detalla el comportamiento de las mezclas con PET.

Gráfica 7. Resistencia versus % PET 3 días



7.2.3.2. Resultados de los cilindros fallados a los 3 días

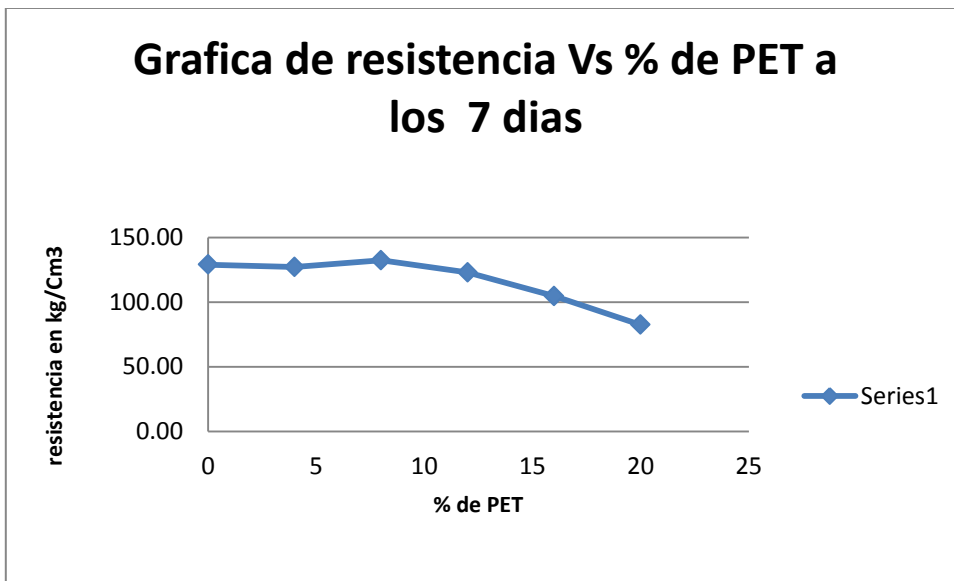
En la tabla 25. Muestra el resumen de todos los resultados obtenidos del ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días de fraguado, todos los resultados se pueden observar en el anexo 2. Adjunto al trabajo.

Tabla 25. Resultado de la resistencia a compresión a los 7 días

Tabla 25. resumen 7 días	
% PET	Resistencia promedio
0	129,05
4	127,15
8	132,30
12	123,00
16	104,57
20	82,42

La grafica 8. Muestra los resultados del ensayo ala compresión con las diferentes mezclas falladas a los 7 días de fraguado se ven los picos y las bajas en estos resultados.

Gráfica 8. Resistencia versus % PET 7 días



7.2.3.3. Resultados de los cilindros fallados a los 3 días

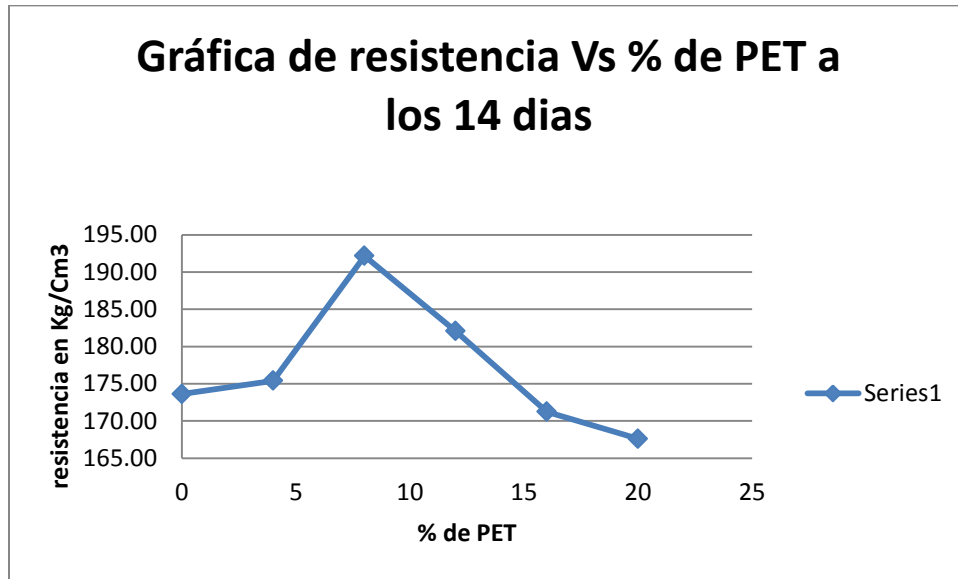
En la tabla 26. Muestra el resumen de todos los resultados obtenidos del ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días de fraguado, todos los resultados se pueden observar en el anexo 2. Adjunto al trabajo.

Tabla 26. Resultado de la resistencia a compresión a los 7 días

% PET	Resistencia promedio
0	173,62
4	175,39
8	192,18
12	182,05
16	171,24
20	167,60

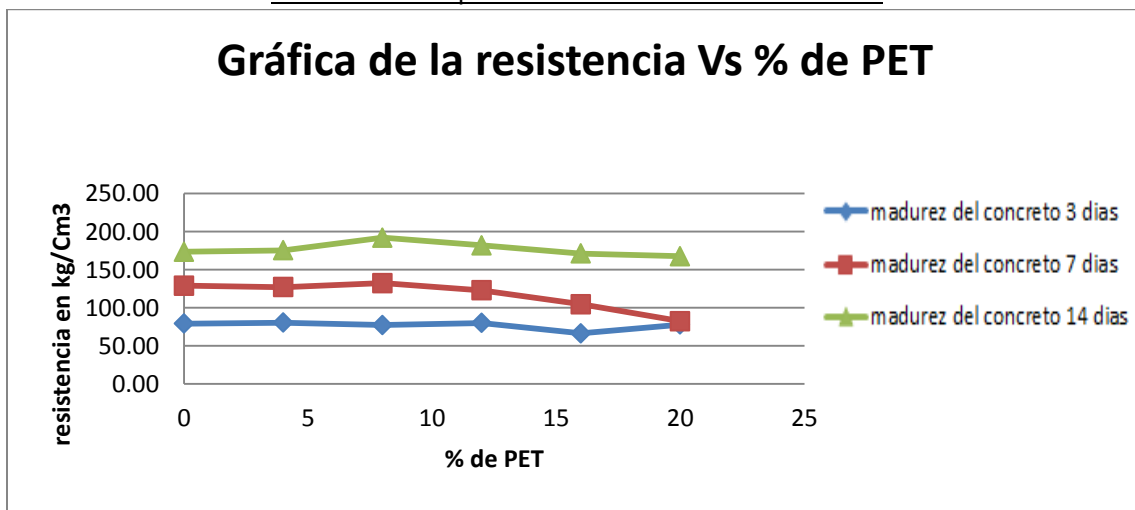
La grafica 8. Muestra los resultados del ensayo a la compresión con las diferentes mezclas falladas a los 7 días de fraguado se ven los picos y las bajas en estos resultados.

Gráfica 9. Resistencia versus % PET 14 días



La grafica 10. Es una gráfica que combina las gráficas 7, 8 y 9 donde se muestra el comportamiento en los resultados de cada muestra con el respectivo porcentaje de PET esta grafica nos muestra las mezclas que obtuvieron una mayor resistencia a la compresión.

Gráfica 10. Comparacion Resistencia versus % PET



7.2.4. Densidad del concreto

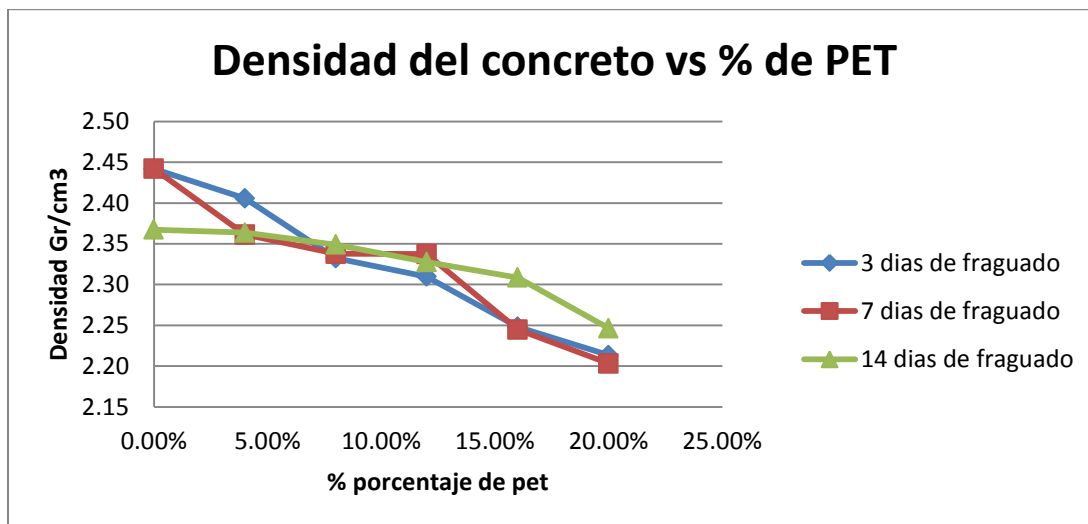
Mientras se realizaban las pruebas del ensayo a compresión previamente se realizaron la medición de las dimensiones de cada cilindro y se pesaron cada uno para como resultado obtener la densidad del concreto de cada uno y así obtener un promedio de cada mezcla con agregado PET los resultados está en el ANEXO 2. Adjunto al trabajo. La tabla 27. Muestra los resultados promedio de cada una de las mezclas en los diferentes días de fraguado.

Tabla 27. Densidad del concreto

%	3 días de fraguado	7 días de fraguado	14 días de fraguado
	densidad promedio	densidad promedio	densidad promedio
20,00%	2,21	2,20	2,25
16,00%	2,25	2,24	2,31
12,00%	2,31	2,34	2,33
8,00%	2,33	2,34	2,35
4,00%	2,41	2,36	2,36
0,00%	2,44	2,44	2,37

La grafica 11. Es la gracias de porcentaje de mezcla de PET vs la Densidad esta grafica muestra el cambio que genera el porcentaje de PET en la densidad.

Gráfica 11. Densidad del concreto vs % de PET



8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. Resistencia a la compresión de las mezclas con diferentes porcentajes de PET

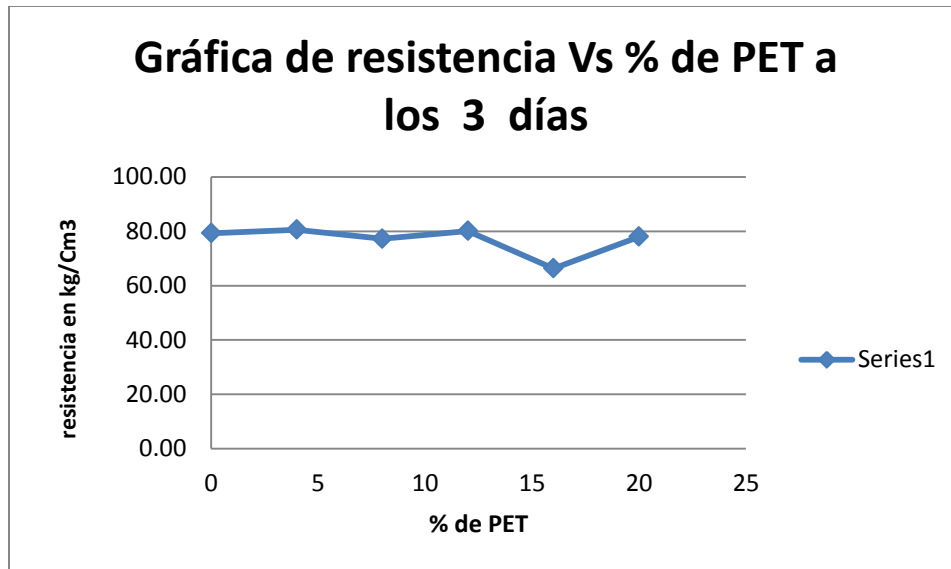
El diseño de mezcla inicial se hizo para 210Kg/cm^3 para una edad de fraguado a los 28 días, por ende tenemos que la resistencia requerida para el diseño es de 210 kg/cm^3 que sería el 100% esperado en la tabla 28. Podemos ver las resistencias obtenidas de cada mezcla con diferentes porcentajes de PET y el porcentaje alcanzado de cada una con relación a la resistencia de diseño ya mencionada

Tabla 28 resistencia a la compresión a los 3 días de fraguado

3 DIAS DE FRAGUADO		
% PET	resistencia a la compresión	porcentaje alcanzado de la resistencia requerida
20	78	37,14%
16	66,32	31,58%
12	80,08	38,13%
8	77,23	36,77%
4	80,56	38,36%
0	79,30	37,76%

Para los 3 días de fraguado como lo muestra la gráfica 12. Los resultados de los ensayos a compresión como se puede observar en la “Gráfica de resistencia vs % de Pete a los 3 días”, se muestra que a excepción de la mezcla con porcentaje de 16% la cual bajo su resistencia considerablemente, la resistencia a la compresión se mantuvo en un rango entre los 77 kg/cm^3 y los 80 kg/cm^3 estos resultados en relación con la resistencia requerida tuvieron un porcentaje 31% y 38%. Las mezclas con 4% y 12% generan mayores resistencias a la compresión que la mezcla sin PET.

Gráfica 12. Gráfica general de la resistencia vs % de PET (3 días)



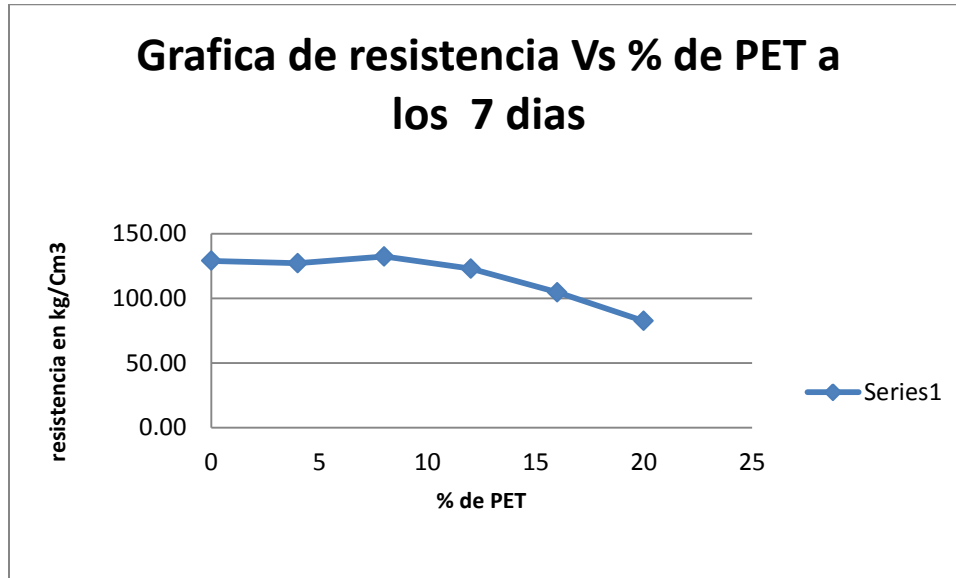
Ya visto en la tabla 28 la siguiente, la tabla 28. Podemos ver las resistencias obtenidas de cada mezcla con diferentes porcentajes de PET y el porcentaje alcanzado de cada una con relación a la resistencia de diseño 210 kg/cm^3 para los 7 días de fraguado.

Tabla 29 resistencia a la compresión a los 7 días de fraguado

7 DIAS DE FRAGUADO		
% PET	resistencia a la compresión	porcentaje alcanzado de la resistencia requerida
20	82,42	39,25%
16	104,57	49,79%
12	123,00	58,57%
8	132,30	63,00%
4	127,15	60,55%
0	129,05	61,45%

Los resultados a los 7 días de fraguado visualizados en la gráfica 13. son muy dispersos, como podemos ver la resistencia de las mezclas con 20% y con 16% son muy bajas son tan solo del 39% y 49%, en comparación con las otras que suben considerablemente su resistencias, teniendo así con la mezcla de 8% que tiene la mejor resistencia de un 63%. En comparación con la muestra sin PET que tiene un 61,45%

Gráfica 13. Gráfica general de la resistencia vs % de PET (7 días)



En la tabla 30. Podemos ver las resistencias obtenidas de cada mezcla con diferentes porcentajes de PET y el porcentaje alcanzado de cada una con relación a la resistencia de diseño 210 kg/cm^3 para los 14 días de fraguado.

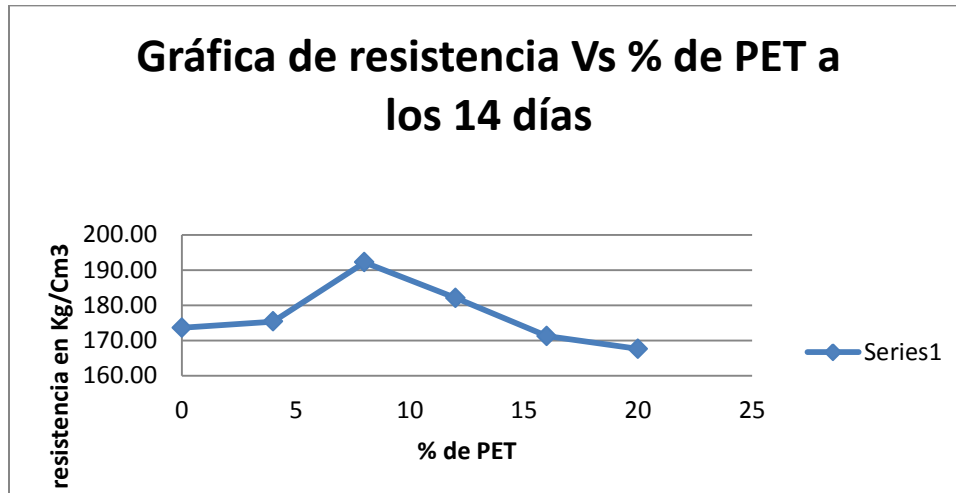
Tabla 30 resistencia a la compresión a los 14 días de fraguado

14 DIAS DE FRAGUADO		
% PET	resistencia a la compresión	porcentaje alcanzado de la resistencia requerida
20	167,60	79,81%
16	171,24	81,54%
12	182,05	86,69%
8	192,18	91,51%
4	175,39	83,52%
0	173,62	82,67%

Los resultados del ensayo a la compresión de los cilindros con 14 días de fraguado y curado no son muy dispersos a diferencia de los cilindros de 7 días de fraguado, por lo que podemos ver en la tabla la resistencia más alta la tiene la mezcla de 8% adquiriendo 91,51% por encima de la mezcla sin PET que solo tuvo un 82,67%, también las mezclas con 4% y 12% superan en poca cantidad la

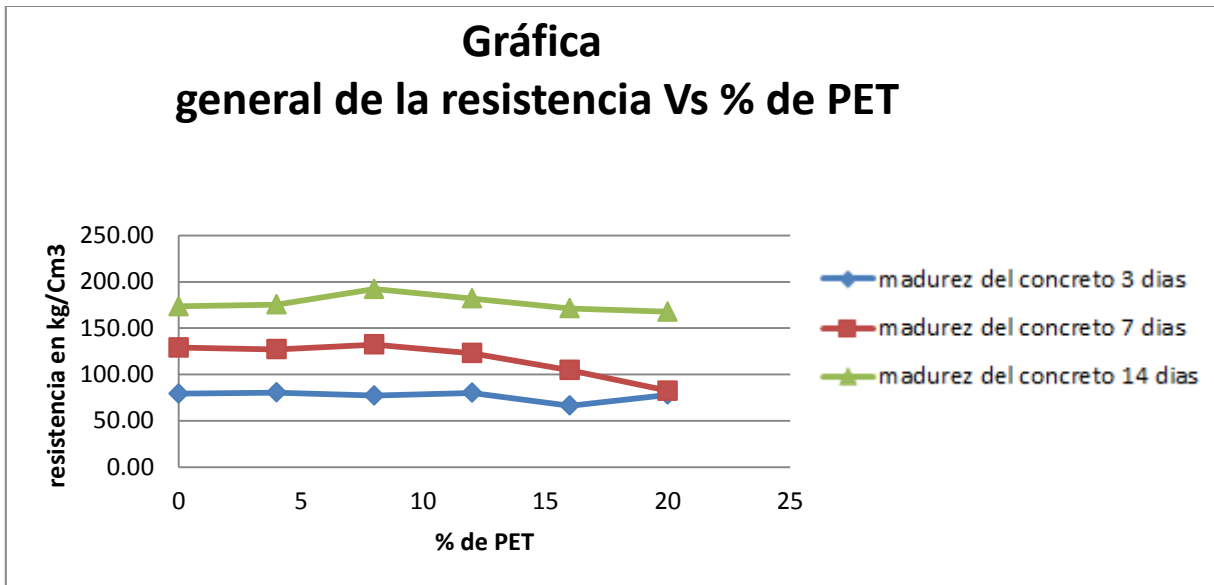
resistencia de los cilindros con 0% de PET dejando ver que el peor comportamiento es el de la mezcla con 20% de PET.

Gráfica 14. Gráfica general de la resistencia vs % de PET (14 días)



Uniando las gráficas de los diferentes días de fraguado en la gráfica 15 podemos ver que la mezcla con la que logro mejores resistencia a la compresión fue con las de 4%, 8 %, 12%. Esto nos podría dar una idea de que este podría ser un rango de porcentajes óptimo para hacer el remplazo de agregado fino por PET. También analizamos que la mezcla con 20% de PET es la que peor se comporta, podemos ver que los porcentajes más bajos de PET, superan en la gráfica de los 14 días a la mezcla sin PET.

Gráfica 15. Gráfica general de la resistencia vs % de PET (comparación)



8.2 densidad del concreto con los diferentes porcentajes de PET

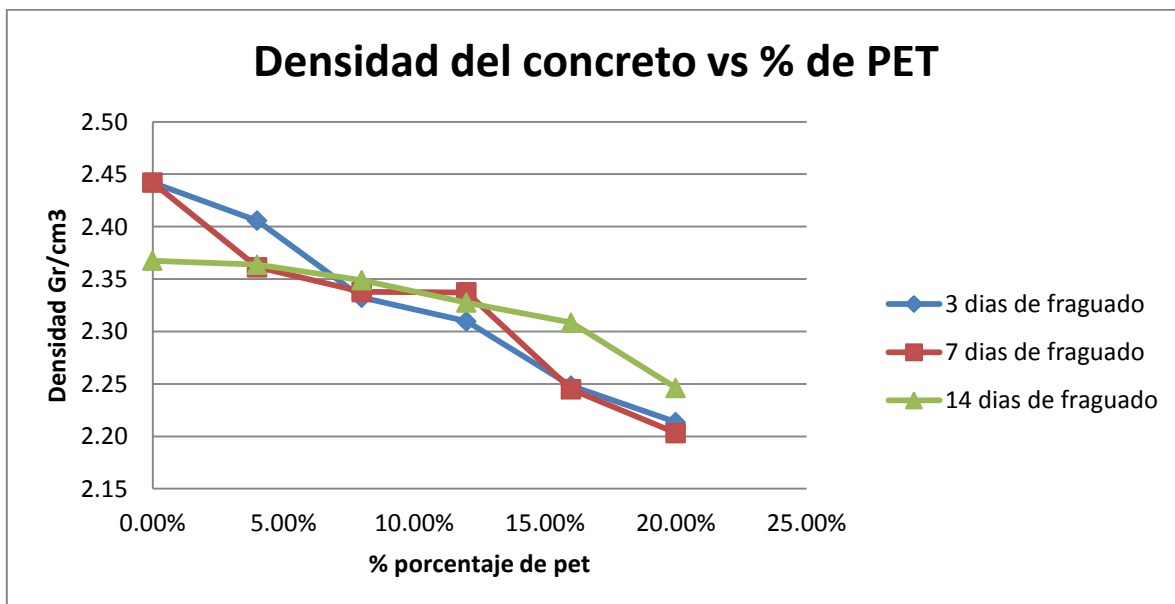
Teniendo en cuenta la densidad del concreto requerida 2.38 g/cm^3 obtenida del método ACI se puede observar que el promedio de las densidad de los cilindros fallados en cada día de fraguado la tabla 29. Nos deja ver los resultados que se obtuvieron de cada tipo de mezcla en los diferentes días de fraguado. Los resultados del promedio de la densidad están dados en g/cm^3

Tabla 29 densidad del concreto con diferentes % de PET

%	3 días de fraguado	7 días de fraguado	14 días de fraguado
	densidad promedio	densidad promedio	densidad promedio
20,00%	2,21	2,20	2,25
16,00%	2,25	2,24	2,31
12,00%	2,31	2,34	2,33
8,00%	2,33	2,34	2,35
4,00%	2,41	2,36	2,36
0,00%	2,44	2,44	2,37

Se puede ver en la gráfica 16 que el comportamiento de la densidad es inversamente proporción al contenido de PET en la mezcla, ya que se observa que entre más % de PET en la mezcla de concreto se reduce la densidad. Debido a que la densidad requerida para el diseño de mezcla era de 2.38 g/cm^3 observamos que en las mezclas con 20% de agregado PET. Se tenían densidades promedio de 2.2 a 2.25 g/cm^3 , se puede observar que el promedio de las mezclas sin PET o con 0% de agregado PET superaron en los 3 y 7 días de fraguado dando densidades de 2.44 g/cm^3

Gráfica 16. Gráfica densidad del concreto vs % de PET (comparación)



9. CONCLUSIONES

En la caracterización de los agregados se concluyó que la grava y la arena cumplían con los límites establecidos en la NTC 174, por el contrario el agregado PET no se ajustó a dichos límites establecidos en la norma. En el caso del ensayo que se le realizó al cemento los resultados estuvieron en el rango requerido por la NTC 221.

La densidad del concreto con PET es inversamente proporcional a la cantidad de PET en la mezcla, ya que entre más porcentaje de PET se tenga, la densidad disminuirá. La mezcla con 8% de contenido de PET fue la que tuvo un mejor comportamiento en la resistencia a la compresión durante los diferentes días de fraguado, ganado una resistencia mayor que la mezcla sin PET, en el caso opuesto las mezclas de 16% y 20% tuvieron una resistencia a la compresión menor a la mezcla sin PET.

El rango donde hay mejor comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto es de 4% a 12% de remplazo de agregado fino por PET, ya que entre porcentajes, la prueba de la resistencia a la compresión arrojó valores similares o superiores a los obtenidos de la mezcla sin agregado PET.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALESMAR Luis, RENDÓN Nalia, KORODY María Eugenia, Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) – cemento. En: Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela versión impresa ISSN 0798-4065: 2008. Vol. 13, no 1.
- DOGDI. Agregados de plástico a una mezcla de concreto común “ECOCRETO”. Trabajo XX concurso universitario feria de las ciencias. Universidad Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. 13p.
- E. MARTÍNEZ SOTO, C. J. MENDOZA ESCOBEDO. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. Ingeniería. Investigación y Tecnología, vol. VII, núm. 3, Universidad Nacional Autónoma de México. México. julio-septiembre, 2006, pp. 151-164.
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios). NTC 2871. Bogotá D.C.: ICONTEC. 2000.
- PARRADO ANTOLÍNEZ y otros. Efecto de los aditivos acelerante, plastificante y retardante en la resistencia a la flexión en concretos con agregados PET. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá: Universidad la Gran Colombia. Facultad de ingeniería. 2014
- PERILLA JORGE: estudio comparativo de las características físico-mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo 1. . Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de ingeniería. 2014 pág. 17.
- SANCHEZ DE GUZMAN, DIEGO AUTOR. tecnología del concreto y del mortero. Bogotá D.C. Pontificia Universidad Javeriana, 2001 - 349 páginas