

**EVALUACION MECANICA DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE
POLIETILENO RETICULADO REUTILIZADO.**

JULIO ALEJANDRO TRILLOS ARIZA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2018

**EVALUACION MECANICA DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE
POLIETILENO RETICULADO REUTILIZADO.**

JULIO ALEJANDRO TRILLOS ARIZA

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR: Ing. Msc. LUZ MARINA TORRADO GOMEZ.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN

BUCARAMANGA

2018

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, de Agosto 9 de 2018.

Dedico este proyecto al Todopoderoso quien me ha permitido
llegar hasta donde hoy me encuentro, a mi madre y
mi hermano por acompañarme, guiarme y apoyarme
en el día a día, durante este caminar.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida y con ella la oportunidad de alcanzar este título profesional, con el apoyo de mi madre Victoria Ariza y mi hermano Andrés Trillos quienes me han acompañado en todo el proceso de planeación, ejecución y resultados de todas las etapas de mi vida ; a Monseñor Primitivo Sierra Cano, Doctora Elsa Beatriz, Doctora María Antonia e Ingeniero Aldemar Remolina quienes apoyaron mi gestión para titularme como profesional; agradezco de igual manera a mi directora de proyecto Ingeniera Luz Marina Torrado quien con su tiempo, dedicación y esmero, me ha guiado en las labores de análisis de alternativas y búsqueda del conocimiento necesaria para respaldar este proyecto.

Agradezco al Ingeniero Julián Andrés Galvis Flórez por su colaboración y coordinación durante el proceso requerido del proyecto de grado, quien con su apoyo fue factible realizarlo en tan corto tiempo; a los Ingeniero Ludwing Pérez Bustos e Ingeniero Elkin Mauricio López Morantes por sus comentarios y notas de observación para la ejecución de este proyecto.

Agradezco al Ingeniero John Peñaranda CEMEX Colombia quien gentilmente me facilitó los materiales para el desarrollo de este proyecto.

A todos ellos mil gracias, por estar en mi camino y que Dios nos bendiga.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	19
2. OBJETIVOS.....	22
2.1 OBJETIVOS GENERAL.....	22
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
3.1 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	23
3.2 JUSTIFICACION.	24
3.3 ALCANCE.....	24
4. ESTADO DEL ARTE.....	26
5. MARCO TEORICO.....	31
5.1 CEMENTO.....	31
5.1.1 HIDRATACION DEL CEMENTO	32
5.1.2 TIPOS DE CEMENTOS.....	32
5.2 AGREGADOS.....	33
5.2.1 AGREGADO GRUESO	34
5.2.2 AGREGADO FINO.	34
5.3 AGUA.....	35
5.4 AIRE.....	35
5.5 CONCRETO	35
5.5.1 MANEJABILIDAD.	36

5.5.2	CONSISTENCIA.....	36
5.5.3	PLASTICIDAD	37
5.5.4	CONCRETO FRESCO.....	37
5.5.5	CONCRETO ENDURECIDO.....	37
5.6	CONCRETO CON POLIMEROS	38
5.6.1	POLIETILENO.....	39
5.6.2	POLIETILENO RETICULADO	39
5.7	ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE MATERIALES.....	40
5.7.1	DENSIDAD DEL CEMENTO. INV E 307-13	40
5.7.1.1	PROCEDIMIENTO.....	40
5.7.1.2	CALCULOS.....	41
5.7.2	GRANULOMETRIA AGREGADOS. INV E 213-13	41
5.7.2.1	GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO.....	41
5.7.2.2	PROCEDIMIENTO	42
5.7.2.3	CALCULOS	42
5.7.2.4	GRALUNOMETRIA AGREGADO FINO.....	42
5.7.2.5	PROCEDIMIENTO	43
5.7.2.6	CALCULOS	43
5.7.3	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.....	43
5.7.3.1	PROCEDIMIENTO AGREGADO GRUESO.....	43
5.7.3.2	CALCULOS.....	44
5.7.3.3	PROCEDIMIENTO AGREGADO FINO.....	44

5.7.3.4	CALCULOS	45
5.7.4	MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA.....	45
5.7.4.1	PROCEDIMIENTO MASA UNITARIA SUELTA.	45
5.7.4.2	PROCEDIMIENTO MASA UNITARIA COMPACTA	46
5.7.4.3	CALCULOS	46
6.	METODOLOGIA.....	47
7.	DISEÑO DE MEZCLA	48
7.1	METODOLOGIA DE DISEÑO	48
7.1.1	SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO SEGÚN ESPECIFICACIONES DE IMPLEMENTACION EN OBRA.....	48
7.1.2	ESTIMACION CONTENIDO DE AIRE.	49
7.1.3	ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGUA	49
7.1.4	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE DOSIFICACION.....	50
7.1.5	RELACION AGUA CEMENTO.....	51
7.1.6	CALCULO DE CONTENIDO DE CEMENTO	52
7.1.7	CALCULO DE LA CANTIDAD DE CADA AGREGADO	52
8.	CURADO DEL CONCRETO.....	56
9.	ENSAYOS	57
9.1	ENSAYO DE COMPRESIÓN.	57
9.2	ENSAYO DE FLEXION.	57
9.3	ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD O MODULO DE YOUNG.	57
10.	EJECUCION DEL PROYECTO	60

10.1	POLIETILENO RETICULADO REUTILIZADO EXTRUIDO.....	60
10.1.1	CARACTERIZACION DEL POLIETILENO RETICULADO REUTILIZADO EXTRUIDO.....	62
10.1.2	ENSAYO DE SEM.....	64
10.2	CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS.....	66
10.2.1	GRANULOMETRIA AREGADO GRUESO	66
10.2.2	GRANULOMETRIA AGREGADO FINO.....	68
10.2.3	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION AGREGADO GRUESO.....	68
10.2.4	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION AGREGADO FINO.....	69
10.2.5	MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA AGREGADOS FINO Y GRUESO. 69	
10.2.6	DENSIDAD DEL CEMENTO.	71
10.3	DOSIFICACION DE MATERIALES PARA LA OBTENCION DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	73
10.3.1	ASENTAMIENTO.	74
10.3.2	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO.....	74
10.3.3	CONTENIDO DE AIRE.....	74
10.3.4	CONTENIDO DE AGUA EN LA MEZCLA.....	74
10.3.5	RELACION AGUA / CEMENTO.....	75
10.3.6	CANTIDAD DE AGREGADOS.....	75
10.4	ELABORACION DE MEZCLA.	77
10.5	RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESION.	84

10.5.1	RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESION 7 DIAS.	85
10.5.2	RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESION 28 DIAS	89
10.6	RESULTADOS ENSAYO DE FLEXION.....	91
10.7	RESULTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	94
11.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	103
12.	CONCLUSIONES.....	105
13.	Referencias Bibliográficas	111
14.	RESPUESTAS A OBSERVACIONES.....	115

LISTA DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Calculo de volumen de desalojo frasco Le Chatelier.....	40
Ecuación 2. Densidad del Cemento.....	40
Ecuación 3. Porcentaje retenido en el tamiz al ejecutar el ensayo de Granulometria.....	41
Ecuación 4. Porcentaje retenido acumulado.....	42
Ecuación 5. Porcentaje que pasa.....	42
Ecuación 6. Calculo de módulo de finura agregado fino.....	42
Ecuación 7. Densidad aparente del agregado grueso.....	43
Ecuación 8. Porcentaje de Absorción agregado grueso.....	43
Ecuación 9. Densidad aparente agregado fino.....	44
Ecuación10. Masa unitaria compacta.....	45
Ecuación11. Masa unitaria suelta.....	46
Ecuación12. f'c de diseño para concretos de resistencia menor a 21MPa.....	50
Ecuación13. f'c de diseño para concretos de resistencia entre 21-35 MPa.....	50
Ecuación14. f'c de diseño para concreto de resistencia superior a 35 MPa.....	51
Ecuación15. Cantidad de cemento en el diseño de mezcla.....	51
Ecuación16. Volumen absoluto del agregado en el diseño de mezcla.....	52
Ecuación17. Calculo de volumen en la mezcla b/bo.....	53
Ecuación18. Conversion de KN a Kg para determinar la fuerza en el ensayo de Compresión.....	85
Ecuación19. Area de especímenes cilíndricos.....	85
Ecuación20. Esfuerzo.....	85
Ecuacion21. Modulo de rotura ensayo de flexión.....	93

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. Metodos de diseño de mezcla.....	35
TABLA 2. Asentamiento recomendado para diversos tipos de construcciones y sistema de colocación y compactación.....	47
TABLA 3. Contenido de aire dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado....	48
TABLA 4. Cantidad der agua recomendada en kg por metro cubico de concreto para tamaños máximos nominales indicados y de acuerdo a los asentamientos.....	49
TABLA 5. Relacion A/C según la resistencia y las condiciones de exposición.....	50
TABLA 6. Proporciones de los agregados dependiendo del tamaño máximo nominal.....	52
TABLA 7. Dosificacion mezcla de concreto, proyecto evaluación del comportamiento.....	53
mecánico del concreto con inclusión de polietileno reticulado.	
TABLA 8. Dosificacion mezcla de concreto modificado, proyecto evaluación del.....	54
comportamiento mecánico del concreto con inclusión de polietileno reticulado.	
TABLA 9. Analisis granulométrico del Polietileno reticulado reutilizado extruido.....	62
TABLA 10. Analisis peso superficialmente seco del Polietileno reticulado.....	63
TABLA 11. Analisis granulométrico agregado grueso.....	66
TABLA 12. Analisis granulométrico agregado fino.....	68
TABLA 13. Analisis peso superficialmente seco agregado grueso.....	68
TABLA 14. Analisis peso superficialmente seco agregado fino.....	69
TABLA 15. Masa unitaria suelta (MUS) agregado fino.....	69
TABLA 16. Masa unitaria compacta (MUC) agregado fino.....	70
TABLA 17. Masa unitaria suelta (MUS) agregado grueso.....	70
TABLA 18. Masa unitaria compacta (MUC) agregado grueso.....	71
TABLA 19. Densidad del cemento.....	71

TABLA 20. Dosificación mezcla #1, mezcla tradicional.....	75
TABLA 21. Dosificación mezcla #2, mezcla 2% sustitución de 2% agregado grueso.....	76
por Polietileno Reticulado.	
TABLA 22. Dosificación mezcla #3, mezcla 4% sustitución de 2% agregado grueso.....	76
por Polietileno Reticulado.	
TABLA 23. Dosificación mezcla #4, mezcla 6% sustitución de 2% agregado grueso.....	77
por Polietileno Reticulado.	
TABLA 24. Ensayo de compresión mezcla normal edad 7 días.....	86
TABLA 25. Ensayo de compresión mezcla con reemplazo del 2% del agregado.....	86
grueso edad 7 días.	
TABLA 26. Ensayo de compresión mezcla con reemplazo del 4% del agregado.....	86
grueso edad 7 días.	
TABLA 27. Ensayo de compresión mezcla con reemplazo del 6% del agregado.....	87
grueso edad 7 días.	
TABLA 28. Ensayo de compresión mezcla normal edad 28 días.....	87
TABLA 29. Ensayo de compresión mezcla con reemplazo del 2% del agregado.....	91
grueso edad 28 días.	
TABLA 30. Ensayo de compresión mezcla con reemplazo del 4% del agregado.....	91
grueso edad 28 días.	
TABLA 31. Ensayo de compresión mezcla con reemplazo del 6% del agregado.....	91
grueso edad 28 días.	
TABLA 32. Ensayo de flexión viga, edad 28 días.....	93
TABLA 33. Ensayo de módulo de elasticidad cilindro mezcla normal.....	96
TABLA 34. Ensayo de módulo de elasticidad cilindro mezcla al 2%	98

TABLA 35. Ensayo de módulo de elasticidad cilindro mezcla al 4%	99
TABLA 36. Ensayo de módulo de elasticidad cilindro mezcla al 6%	100
TABLA 37. Minerologia concreto mezcla patrón.....	106
TABLA 38. Minerologia concreto mezcla patrón.....	107
TABLA 39. Comparacion costos metro cubico mezcla tradicional Vs mezcla.....	109
alternativa 2%.	

LISTADO DE IMÁGENES.

IMAGEN 1. Fase de premezclado del concreto alternativo con 4% de sustitución de...38	agregado grueso.
IMAGEN 2. Polietileno reticulado Extruido.....39	
IMAGEN 3. Embalaje de Polietileno reticulado extruido.....60	
IMAGEN 4. Grafico proceso de extrucción.....61	
IMAGEN 5. Ensayo de absorción Polietileno reticulado.....62	
IMAGEN 6. Imagen de Nanotecnología del polietileno reticulado.....65	
IMAGEN 7. Contenido de elementos mineralógicos del polietileno reticulado.....66	
IMAGEN 8. Granulometria agregado grueso.....67	
IMAGEN 9. Ensayo de densidad del cemento con uso del frasco Le Chatelier.....72	
IMAGEN 10. Ensayo de densidad del cemento cantidad de cemento empleada.....73	
IMAGEN 11. Premezclado.....79	
IMAGEN 12. Concreto.....80	
IMAGEN 13. Llenado por capas del cono Abrams para verificar asentamiento.....81	
IMAGEN 14. Asentamiento.....81	
IMAGEN 15. Llenado de formaleta y proceso de vibrado.....82	
IMAGEN 16. Enrazado de formaletas.....83	
IMAGEN 17. Desencofrado de especímenes.....84	
IMAGEN 18. Curado de especímenes.....84	
IMAGEN 19. Resultado de compresión 7 días.....87	
IMAGEN 20. Ensayos de compresión.....88	
IMAGEN 21. Lectura máquina de compresión especímenes mezcla normal.....88	

IMAGEN 22.	Lectura máquina de compresión especímenes mezcla 4% inclusión.....	90
	Polietileno reticulado.	
IMAGEN 23.	Resultados compresión 28 días.....	91
IMAGEN 24.	Lectura máquina de compresión 28 días especímenes mezcla al 2%.....	91
IMAGEN 25.	Lectura máquina de compresión 28 días especímenes mezcla al 2%.....	92
IMAGEN 26.	Ensayo de flexión.....	92
IMAGEN 27.	Lectura ensayo de flexión viga al 2% de Polietileno reticulado.....	94
IMAGEN 28.	Resultado Ensayo de flexión Viga edad 28 días.....	94
IMAGEN 29.	Ensayo de módulo de elasticidad en maquina universal.....	95
IMAGEN 30.	Diagrama módulo de elasticidad mezcla normal.....	97
IMAGEN 31.	Diagrama módulo de elasticidad mezcla 2%.....	98
IMAGEN 32.	Diagrama módulo de elasticidad mezcla 4%.....	99
IMAGEN 33.	Diagrama módulo de elasticidad mezcla 6%.....	100
IMAGEN 34.	Peso de especímenes.....	104
IMAGEN 35.	Ensayo SEM concreto mezcla patrón.....	106
IMAGEN 36.	Ensayo SEM concreto mezcla 2% Polietileno reticulado.....	109

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN MECÁNICA DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE POLIETILENO RETICULADO REUTILIZADO.

AUTOR(ES): JULIO ALEJANDRO TRILLOS ARIZA.

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Ing. Msc. LUZ MARINA TORRADO GOMEZ

RESUMEN

Debido al auge en el sector de la construcción en la actualidad, es necesario evaluar la materia prima que se emplea en la fabricación y que da vida a todos estos proyectos, que es el concreto. Para la consolidación del concreto en la actualidad hay diversas alternativas para su construcción; con la intención de contribuir en la creación de una nueva alternativa, se estudió, planteó y ejecuto la inclusión de Polietileno Reticulado material clasificado como desecho industrial, con esta nuevo desarrollo se cambiara su disposición finalidad de desecho a la conformación de un nuevo material. Este artículo se fundamenta en la obtención de una mezcla de concreto sostenible; se plantea la inclusión de Polietileno Reticulado Reutilizado, debido a la resistencia que posee a la tracción, impacto y rotura, estas posibles gracias a su alto contenido de carbón que posee; este material se encuentra en tuberías de agua caliente y encauchetado de los cables. Se empleó encacuchetado de cables que se desechan y que tiene como destino quemas ilegales en donde se extrae el cobre para posterior venta. Se plantean tres tipos de mezclas con inclusión de Polietileno Reticulado Reutilizado al 2%, 4%, 6% en reemplazo parcial del agregado grueso, estas fueron comparadas con una mezcla patrón de conformación tradicional. El mejor resultado fue la mezcla con 2% de inclusión de Polietileno con valores de resistencia a la compresión promedio de 5570 psi, en comparación con la mezcla tradicional que obtuvo una resistencia promedio de 4939 psi, lo que indica una superioridad del 12%. Adicional a esté, se efectuó ensayo de flexión con un módulo de rotura de 47.406 kg/cm² correspondiente a la mezcla al 2% de Polietileno y un módulo de elasticidad hallado de manera experimental de 23515.5 MPa. Esta nueva mezcla genera un ahorro de \$5280 por metro cubico

PALABRAS CLAVE:

Polietileno Reticulado Reutilizado, Concreto, Mezcla, Agregado Grueso

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: MECHANICAL EVALUATION OF THE CONCRETE WITH ADDITION OF REUSED RETICULATED POLYETHYLENE.

AUTHOR(S): JULIO ALEJANDRO TRILLOS ARIZA.

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ing. Msc LUZ MARINA TORRADO GOMEZ

ABSTRACT

Due to the boom in the construction sector today, it is necessary to evaluate the raw material used in manufacturing and that gives life to all these projects, which is concrete. For the consolidation of the concrete at present there are several alternatives for its construction; with the intention of contributing to the creation of a new alternative, the inclusion of Reticulated Polyethylene material classified as industrial waste was studied, raised and executed, with this new development its disposal purpose will be changed to the formation of a new material. This article is based on obtaining a sustainable concrete mix; the inclusion of Reused Reticulated Polyethylene is considered, due to the resistance that it has to the traction, impact and breakage, these possible thanks to its high content of coal that it possesses; This material is found in hot water pipes and cable cabling. It was used encasuchetado of wires that are discarded and that has as destiny illegal burns where the copper is extracted for later sale. Three types of mixtures are proposed, including Recycled Polyethylene Reused at 2%, 4%, 6% in partial replacement of the coarse aggregate, these were compared with a traditional conformation mixture. The best result was the mixture with 2% inclusion of polyethylene with average compressive strength values of 5570 psi, compared to the traditional mixture that obtained an average resistance of 4939 psi, which indicates a superiority of 12%. In addition to this, a bending test was carried out with a breaking modulus of 47,406 kg / cm² corresponding to the 2% polyethylene mixture and an experimentally found modulus of 23515.5 MPa. This new mixture generates a saving of \$ 5280 per cubic meter.

KEYWORDS:

Reticulated Polyethylene Reused, Concrete, Mixture, Coarse Aggregate

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este proyecto está enfocado hacia el planteamiento de nuevos materiales, en el concepto de desarrollo sostenible, en razón a que se incorporó un nuevo producto, de origen reciclado, permitiendo su inclusión en la conformación del concreto, disminuyendo así la carga ambiental.

En el ejercicio profesional de la ingeniería civil se afecta y modifica el entorno de manera directa, de esta manera, se ha buscado como disminuir estas afectaciones al medio ambiente, permitiendo garantizar las óptimas condiciones para el desarrollo como especie, en un entorno confortable y garante de calidad de vida.

El concreto es uno de los materiales de construcción de mayor uso, el cual está elaborado con materiales pétreos, que se extraen de minas y lechos de ríos, con un material cementante que una vez endurecido presenta características de resistencia adecuadas y con uso de agua potable. Si se habla de volumen, los agregados ocupan mayormente el concreto, por esta razón garantizar su existencia permite tener un concreto económico y accesible.

Con base al planteamiento anterior, se realizó una búsqueda de diversos materiales que pudieran reemplazar parcialmente el agregado grueso. Teniendo el concepto de que el agregado grueso aporta resistencia mecánica al concreto además de economía; se indagó en la industria de la región sobre los diferentes desechos que esta genera y que pudieran ser de uso en la conformación de la mezcla alternativa.

Inicialmente, se investigó y utilizó para el proyecto, la viruta de acero procedente de equipos como el Torno y la Fresadora, esta viruta dificultó la dosificación debido a que la longitud no era homogénea y se entrelazaba entre ellas afectando la trabajabilidad y consistencia traduciéndose en una baja resistencia.

Esto no fue impedimento para continuar con la investigación, así que se direccionó hacia el uso de polímeros, en especial al Polietileno, siendo este empleado en la elaboración de mangueras de diferentes aplicaciones y en el encauchetado de los cables eléctricos entre otros usos. El Polietileno presenta excelentes cualidades de dureza al impacto y al ser pigmentado, genera resistencia a los agentes corrosivos.

El Polietileno empleado en este proyecto es un Polietileno Reticulado reciclado, producto del encauchetado de los cables eléctricos que tiene como disposición final las chatarrerías debido al alto valor comercial del cobre, el cual oscila en \$15.000 COP el kilo.

Para su extracción el cable desechado es incinerado en fogatas ilegales en donde con la exposición al fuego se derrite el encauchetado y se extrae el cobre, esta práctica genera daños ecológicos y pueden ocasionar incendios forestales.

Con esta nueva aplicación que se le da al encauchetado se evita este impacto ambiental generando por la quema y adicionalmente se da un alivio ambiental al no tener que explotar los ríos para su extracción del material pétreos y se está optimizando los recursos energéticos e hídricos al no tener que usarlos en las plantas trituradoras para la consecución de la medida del material.

A lo largo de este documento el cual está dividido en capítulos en donde se expone el paso a paso del proceso investigativo hasta la fase experimental y resultados finales.

Para cumplir con lo anterior, iniciamos con unos objetivos los cuales, guiaron y enmarcaron el proyecto, evidenciando de esta manera lo que se quería lograr y los resultados que se obtuvieron que básicamente fue la comparación mecánica mediante ensayos de compresión, flexión y módulo de elasticidad de una mezcla con un elemento nuevo reutilizado Vs. la mezcla tradicional que en la actualidad se maneja. Posteriormente iniciando la fase de investigación compuesta por los capítulos de:

Planteamiento del problema, en donde se encuentra un análisis de la situación actual y lo que se desea mejorar con la implementación de la idea fundamental de este proyecto, que es reducir el uso del agregado grueso en las mezclas de concreto.

Estado del arte es una revisión bibliográfica y de diferentes bases de datos las cuales permitieron actualizar los que se sabe acerca de las alternativas de mezclas de concreto con implementación de subproductos industriales.

Marco teórico plasma los conceptos requeridos y fundamentales en este proyecto debido a que no solo modificamos la mezcla de concreto de manera física sino mineralógicamente, siendo importante conocer las reacciones que se generan en el concreto y los elementos con que este está compuesto, para tener la certeza que estos son compatibles con el nuevo material que se incluyó y que cumplirá con las condiciones mecánicas de resistencia; adicionalmente encontramos la metodología para hallar valores como densidad, porcentaje

de absorción y demás datos necesarios para la conformación de una excelente mezcla de concreto.

Pasando a la fase experimental compuesta por los capítulos de:

Metodología en donde se citan los ensayos que se efectuaron para la caracterización de los materiales que conforman el concreto amparados bajo normas técnicas INVIAS y manual guía de Materiales de Construcción autora Ingeniera Luz Marina Torrado, en el diseño de mezcla se especifica los pasos requeridos para la conformación de la mezcla como lo son la cantidad de agua, asentamiento, contenido de aire, y demás parámetros citados en este capítulo.

Ensayos se encuentra la manera de ejecutarlos basados en las Normas Técnicas Colombianas, las cuales son citadas correspondientemente.

Ejecución del proyecto se habla de manera específica de los materiales que fueron empleados en el proyecto, su caracterización aplicando lo escrito en el capítulo del marco teórico, se expone la cantidad de cada material empleado en la consolidación de las diferentes mezclas y los valores de cada parámetro requeridos en la dosificación de las mismas.

Finalmente, se presenta la fase de resultados en donde se concluye en base a los ensayos realizados y los resultados obtenidos dando a conocer la mejor mezcla y la implementación de ésta en el campo de la Ingeniería Civil.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERAL

Evaluar el comportamiento mecánico del concreto con adición de polietileno reticulado reutilizado reemplazando parcialmente la cantidad de agregado grueso de un diseño de mezcla tradicional.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar el material nuevo “polietileno reticulado reutilizado extruido” que se empleara como alternativa parcial de sustitución del agregado grueso en la mezcla de concreto.
- Comparar el comportamiento de los especímenes sometidos a ensayos de compresión a edades de 7 y 28 días, con adiciones de polietileno reticulado en porcentajes del 2%,4%,6% Vs la mezcla patrón realizada de manera tradicional.
- Comparar la resistencia de los especímenes con las adiciones 2%,4%,6% de polietileno reticulado sometidos a los ensayos de módulo de elasticidad y flexión a la edad de los 28 días, Vs la mezcla patrón.
- Evaluar los costos de la nueva mezcla de mejor desempeño Vs la tradicional.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

3.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

La actividad de desarrollo de una región, es apalancada por la creación de infraestructuras de diferente índole como lo son vías, terminales de carga, y edificaciones permitiendo que el desarrollo sea constante y genere calidad de vida para poder permanecer allí. En Colombia se ha venido experimentando un auge de desarrollo infraestructural, como lo son la vía de cuarta generación, construcción de hidroeléctricas, puentes, convirtiendo ciudades en metrópolis con amplia oferta inmobiliaria generando progreso en las familias Colombianas.

Para ser posible todo esté desarrollo se requiere de un material fundamental el cual es el concreto, material por excelencia que da vida al desarrollo.

Por otro lado tenemos los desechos industriales los cuales en muchas ocasiones no tiene disposición final diferente a la de acumularse en botaderos congestionando y erosionando el suelo debido a su bajo nivel de degradación. Lo anterior se evidencia en la mala disposición que se tiene con el Polietileno Reticulado empleado en la conformación del encauchetado de los cables eléctricos, debido a que no se aprovecha porque no se recicla y esté es quemado en el mayoría de los casos generando grandes daños ambientales a la atmosfera debido a su alto contenido de carbono.

Es un termoplástico se puede remodelar aprovechado así sus propiedades mecánicas, las cuales se citaran en líneas posteriores.

Como ingenieros actuales y conscientes de la situación actual que afronta la ingeniería civil, es necesario emplear todo nuestro ingenio y conocimiento en buscar una solución que pueda integrar estos residuos de manera eficiente; como lo es dar origen a una nueva mezcla de concreto alternativo la cual pueda emplear estos residuos permitiendo un alivio al medio ambiente, mejorando las características actuales y teniendo un costo favorable.

3.2 JUSTIFICACION.

Actualmente, la producción mundial de Concreto es cercana a los 13,000 millones de m³ por año (Arana, 2016), extrapolando esta información y verificando estadísticas del DANE la producción de concreto del 2017 fue de 6, 514,800 de m³ en Colombia y en Santander es de 960,972 m³ (DANE, 2018).

El Concreto hidráulico está compuesto por un porcentaje del 15 % de Cemento y entre un 70% a 80% de agregados (Guzman, Tecnologia del concreto, 2001) siendo una carga ambiental debido a que los agregados con que se crea el Concreto son materiales no renovables que se extraen de la naturaleza y a medida que avanza en el desarrollo de la construcción, su consecución es más costosa por las distancias que se deben recorrer.

Teniendo en consideración los costos y el impacto ambiental, se pensó en desarrollar un concreto con materiales obtenidos de otros procesos industriales, permitiendo que la disposición final, sea complemento de un nuevo material y así evitar su desecho, permitiendo minimizar la carga ambiental, generada para la consolidación del Concreto.

Esto se logra con la incorporación del Polietileno Reticulado Extruido como sustituto parcial del agregado grueso que tiene como función soportar los esfuerzos en la mezcla de concreto y ser económico, cualidades que cumple a satisfacción este material, por ser de origen reciclado en la actualidad no tiene costo, y su alto contenido de carbono es resistente acciones de tracción, torsión y flexión.

Adicionalmente gracias a su presentación uniforme permite la correcta dosificación y se homogeniza de manera favorable en la mezcla de concreto, no presenta deterioro por reacciones químicas a agentes presentes en la mezcla y su inclusión no aumenta los porcentajes de oxígeno evitando así la conformación de microorganismo o bacterias.

3.3 ALCANCE.

Plantear un nuevo material, reutilizado que no tenga una disposición final que aporte al desarrollo sostenible de la región, evitando así el desperdicio al incluirlo en la

elaboración de un nuevo material sin que este pierda sus características técnicas y mecánicas originales.

Se desea implementar un material para permitir dar un valor agregado al Concreto, el cual es una fabricación amigable ambientalmente, económica y que garantice una hegemonía entre el desarrollo ingenieril y el ecosistema donde se esté llevando a cabo la actividad desarrolladora.

Para materializar este ideal u objetivo fue necesaria la investigación y planteamiento de diversas opciones de materiales que se pudieran incluir en la mezcla de Concreto de manera acertada, y que fundamentalmente permitiera una dosificación exacta, que el material no presentara afectación al interactuar con los demás materiales de la mezcla y que aportara al aumento de la resistencia a la compresión.

En la fase de ejecución del proyecto se diseñaron varias alternativas de mezclas con diferentes porcentajes de inclusión de Polietileno Reticulado, siendo este el material reciclado el cual le aportara valor agregado a la nueva mezcla de Concreto; los porcentajes de sustitución del agregado grueso fueron del 2%, 4%, 6%, siendo estos comparados con una mezcla patrón de conformación normal.

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron ensayos de laboratorio en la fase de caracterización, estos ensayos fueron respaldados y guiados bajo las especificaciones Invias del 2007-2013 y las Normas Técnicas Colombianas, en compañía de la Guía de Laboratorio de Materiales de Construcción, autora Ingeniera Luz Marina Torrado Gómez. Durante la fase de mezcla del Concreto se realizaron 16 especímenes por mezcla para un total de 64 cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de alto, más 6 vigas de 15 cm de ancho por 15 cm de alto por 60 cm de largo.

A estos especímenes se sometieron a ensayos de compresión a las edades de 7 y 28 días, ensayo de módulo de elasticidad a los 28 días y flexión a los 28 días.

4. ESTADO DEL ARTE.

En busca de alternativas para la consolidación de Concretos con inclusión de materiales reutilizados se han presentado varios estudios a nivel institucional, nacional e internacional.

Para la realización de este proyecto se estudió investigaciones de colegas de la Universidad Pontificia Bolivariana de donde se extrajo lo siguiente.

- 2010, Investigación denominada Aprovechamiento de Escombros como Agregados no Convencionales en Mezclas de Concreto.

Teniendo como resultado de la investigación la sustitución de material fino convencional por escombros género que la mezcla de Concreto con un porcentaje de 10% escombros disminuyera la porción de arena. El diseño de mezcla que presento mejor comportamiento fue con la dosificación de arena 40%, agregado grueso 50%, escombros grueso 10% La implementación de esta técnica genera un ahorro de \$4000 por metro cubico con relación al precio del concreto tradicional suministrado por CEMEX. (Diaz, 2010)

- 2010, Investigación denominada Diseño de Mezcla de Concreto Utilizando Residuos Industriales y Escombros.

Teniendo como resultado de la investigación, los agregados cumplen con las normas establecidas para selección de materiales granulares en mezclas de Concreto se destaca características especiales de la limalla tales como: menor porcentaje de absorción, gravedad específica mayor. La mezcla con relación de vacíos entre 38,7% y 42,1% con una dosificación 61% de agregado grueso, 23% agregado fino. 6% limalla, 10% de escombros presento valores de mayor resistencia 4382,01 psi lo que representa 46% por encima de los 3000psi. (Katty, 2010)

- 2010, Investigación denominada Análisis de la resistencia a la compresión del concreto al adicionar limalla fina en un 3%, 4%,5%.

Teniendo como resultado de la adición de limalla proporciona un aumento cercano al 48% respecto a la resistencia máxima a la compresión de las mezclas convencionales de concreto. Además se estima que el porcentaje óptimo de adición de limalla es de 4% respecto al peso de la mezcla y reemplaza en la misma cantidad al agregado fino alcanzando un valor máximo de resistencia a la compresión a los 28 días de 30 Mpa. (Juan, 2010)

- 2015, Investigación denominada Aprovechamiento de Residuos Industriales para el Aligeramiento del Concreto.

Teniendo como resultado que el Poli estireno al ser uno de los mejores aislantes térmicos generando ahorro energético, en el hormigón liviano se utiliza el Poli estireno expandido puede reemplazar totalmente el agregado grueso y parcialmente el agregado fino debido a que son áridos que no absorben agua, no tiene impurezas, no reaccionan con el cemento y además tienen buena adherencia al mismo, con la opción del aserrín para la preparación del concreto se acordó trabajar sustituyendo un 5% de arena del concreto testigo y adicionando un 30% de aserrín; la mezcla con la cascarilla de arroz fue una disminución del 5% de arena y una adición del 30% de cascarilla de arroz , más un 80% de agua, de esta manera concluyo que los especímenes con baja densidad y elevada porosidad que los convierte en candidatos para materiales de construcción cuya finalidad sea de aislante térmico y acústico pero no para fabricación de elementos portantes debido a su baja resistencia. (Carreño, 2015)

- 2017, Utilización de Escombros o Desperdicios de Obra para la Elaboración de Materiales de Construcción caso Edificio Cattleya.

Los residuos utilizados fueron materiales finos y a partir de estos se crearon 4 mezclas de Concreto y Mortero, cada una con un porcentaje correspondiente al 5%, 10% y 15% del material de residuo, además de la mezcla de referencia. Concluyeron que todas las mezclas cumplen con las condiciones establecidas para su utilización en la construcción de obras civiles, sin embargo la mezcla más óptima para la creación de concreto y mortero fue la mezcla con adición del 10% de residuo ya que su resistencia fue mayor 4031.92 psi. (Hurtado, 2017)

A nivel nacional encontramos las siguientes investigaciones publicadas en base de datos científicas y en revistas.

- 2015, Artículo denominado Evaluación de las Propiedades Mecánicas de materiales compuestos elaborados a partir de cenizas volantes y Polímeros reciclados.

Teniendo como principio de investigación la búsqueda de nuevos materiales de ingeniería buscan satisfacer todos los requerimientos mecánicos de diseño y costo, generando un menor impacto ambiental durante su producción o en servicio. Con los requerimientos de la industria de la construcción en el mundo, de emplear materiales cada vez más económicos que contribuyan con el sostenimiento del medio ambiente, se ha proporcionado el desarrollo de materiales alternativos; obteniendo como resultado de las mezclas con adición de ceniza y Polietileno de baja densidad (bolsas de leche) y Polipropileno pos-industrial de recorte de tela no tejidas. Las propiedades mecánicas se analizaron através de los ensayos de tracción, aumentaron notablemente la rigidez del material ya que se obtiene un aumento progresivo del valor del módulo de Young. La presencia del refuerzo de desechos industriales restringen la movilidad de las cadenas moleculares del Polietileno y contribuyen con incremento de rigidez de las formulaciones esta en relación inversa con la capacidad de deformación del material. (Delgado, 2015)

- 2016, Artículo denominado Application of recycled rubber a literature review, aplicaciones del caucho reciclado una revisión bibliográfica.

Concluyendo que la incorporación en el Concreto de agregados de caucho reciclado reforzándolo con fibras de acero. Este compuesto mostro que cuando se utiliza una porción optima de caucho reciclado y simultáneamente fibras de acero, se puede obtener un Concreto viable para el uso de aplicaciones de ingeniería civil ya que continua presentando las buenas propiedades de ductilidad y tenacidad de la mezcla original con consecuencias menos drásticas sobre la resistencia a la compresión y flexión. (Pelaez, 2016).

- 2017, Artículo denominado Uso de Nutrientes Tecnológicos como Materia Prima en la Fabricación de Materiales de Construcción en el Paradigma de la Economía Circular.

Plante un abanico de alternativas de sub-productos que se pueden emplear en la mezcla de Concreto como lo son CONCRETO CON ADICION DE RESIDUOS DE HORMIGON: El hormigón generado en la construcción y demolición, se elaboraron probetas con estos residuos los cuales son menos densos menos porosos con mayor absorción de agua y menor resistencia a la compresión, tensión, flexión, siendo material útiles para aplicaciones que no requieran estar sometidos a grandes esfuerzos. CONCRETO CON ADICION DE NEUMATICOS Y BOTELLAS: en reemplazo del agregado grueso y arena en las mezclas comunas de concreto encontrándose que el material posee un buen valor de resistencia a la tracción. CONCRETO CON ADICION DE POLIMEROS COMO EL ETILENO ACETATO DE VINILO residuo de producción de plantillas y suelas como agregado ligero en la fabricación de bloques de hormigón no estructurales cuyos resultados indican que existe buenas expectativas del componente con una nueva propuesta para contribuir a la eficiencia energética mediante aislamiento térmico de paredes. (Sarabina, 2017)

Y por último a nivel internacional se encontraron los siguientes trabajos:

- 2010, Using Recycled Concrete Aggregates in New Zealand Ready-Mix Concrete Production.

Investigación motivada para adoptar concreto reciclado como fuente agregada incluyen la preservación de los recursos naturales, efectivos utilización de una corriente de desechos en crecimiento, y ahorros financieros y de energía. Aunque las prácticas actuales de Nueva Zelanda incluyen algún uso del hormigón triturado en la construcción de carreteras, el uso de áridos de hormigón reciclado en hormigón de baja especificación es actualmente poco frecuente y el uso de concreto reciclado como fuente de agregado en aplicaciones estructurales de concreto es raro. Para que tal reciclaje sea factible, las propiedades de RCA “recycled concrete aggregates” “deben estar relacionadas con las propiedades del concreto nuevo que utiliza los agregados reciclados”.

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que hay una reducción gradual en resistencia a la compresión a medida que aumenta el contenido de RCA “recycled concrete aggregates” más allá 10% (Wentao, 2010)

- 2014, Estudios exploratorios en diseños de concreto livianos para HOLIM (Costa Rica)

Teniendo como base para el análisis un material alternativo para suplantar el agregado grueso, el cual fue Poli-estileno expandido, cumpliendo la función de ocupar el lugar del agregado grueso, sin embargo presenta una granulometría muy cerrada esto debido a que toda la muestra analizada queda retenida únicamente en las mallas #4 y #8, la sustitución completa del agregado grueso por el material alternativo da como resultado un concreto no estructural. La utilización de Poli-estileno expandido, quien ayuda a reducir el peso del concreto pero siempre manteniendo un volumen importante de mezcla lo que permite obtener densidades menores a las convencionales la implementación total de este material en lugar del agregado grueso da una resistencia de 16,1 Mpa y un contenido de aire de 45%. El Poli-estileno expandido presenta ciertas complicaciones especialmente a la hora de su dosificación por peso lo cual podría provocar ocasionalmente variaciones en la mezcla. Los Poli-estílenos poseen forma de perlas lo que genera no poseer soporte a esfuerzos de tracción dentro de la mezcla por lo tanto podría generar planos de falla o dificultad de adherencia. (Quesada, 2014)

5. MARCO TEORICO.

El Concreto requiere para su consolidación Cemento, agregado fino, agregado grueso, agua, aire y en ocasiones aditivos. Para poder modificar, el Concreto se debe conocer sus propiedades y el aporte en la mezcla de cada uno de los materiales que lo componen, esto con la finalidad de al momento de realizar la inclusión del Polietileno Reticulado Reutilizado, esté cumpla con las especificaciones del agregado grueso en la mezcla tradicional, permitiendo así un óptimo desempeño al ser sometido a Compresión, Flexión y Módulo de Elasticidad.

5.1 CEMENTO.

Es un agente que se mezcla con agua u otro liquido “aditivos” o con ambos, para obtener una pasta aglutinante, permitiendo esta moldearse según el recipiente que la contenga. Una de las propiedades del cemento es permitir que se aglutinen otros materiales en lapsos de tiempo cortos, debido a que se generan reacciones químicas ocasionando su endurecimiento. (Hernandez Niño, 2010).

La materia prima se dosifica con todo cuidado para obtener las cantidades deseadas de material calcáreo y arcilloso, como tan bien de cal la cual aporta plasticidad; silicatos, óxidos de calcio quienes químicamente ocasionan el fraguado o endurecimiento y óxido de hierro.

Los materiales anteriormente mencionados son sometidos a un proceso de trituración; para facilitar la calcinación la materia prima se pasa a lo largo de un horno rotatorio que se mantiene a una temperatura de 2700 °F. La materia prima durante su calcinación, sufre reacciones químicas y forma nódulos duros denominado Clinker. (Merritt, 2008).

El Clinker después de descargado del horno y enfriado, se tritura para formar polvo fino (no menos de 1600 cm² por gramo de superficie especifica de Blaine) (Merritt, 2008), durante este proceso de trituración se le adiciona pequeñas cantidades de yeso, el cual cumple la función de retardante controlando así la rapidez de fraguado en el momento en que se hidrate el cemento.

Como producto terminado el cemento está compuesto en un 90% de Silicato de Tricalcio (C₃ S), Silicato de Dicalcio (C₂ S), Ferroaluminato Tetracalcico (C₄ AF) (Merritt, 2008).

5.1.1 HIDRATACION DEL CEMENTO

Al incluir agua al cemento portland los compuestos presentan transformaciones.



“Estas reacciones son las más importantes, debido a que es el primer compuesto aglomerante de la pasta de cemento, genera fuerza atractiva entre las partículas, porque los átomos en cada superficie tratan de complementar sus enlaces insaturados por medio de la absorción” (Merritt, 2008).

Otras reacciones son:

- $\text{Ferroaluminato Tetracalcico} + \text{agua} + \text{Hidroxido de Hierro} =$
 $\text{Hidrato de Ferroaluminato Calcio}$
- $\text{Aluminato Tricalcico} + \text{agua} + \text{Hidroxido de Calcio} =$
 $\text{Hidrato de Aluminato Tetracalcico}$
- $\text{Ferroaluminato Tetracalcico} + \text{agua} + \text{Yeso} =$
 $\text{Monosulfoaluminatos de Calcio}$

(Venuat, 1975)

5.1.2 TIPOS DE CEMENTOS

Luego de haber mencionado, las características del Cemento en general, mencionaremos los tipos de Cementos que se encuentran en el mercado, la selección de estos depende de su implementación y exposición a agentes corrosivos; se encuentran los siguientes tipos. (Merritt, 2008)

- **Cemento Tipo I:** Empleado para uso general, es el más empleado para fines estructurales cuando no se requieren propiedades especiales.
Siendo este tipo de Cemento el empleado para el desarrollo del proyecto.

- **Cemento Tipo II:** Se emplea cuando se prevé una exposición moderada al ataque por sulfatos o cuando se requiere un moderado calor de hidratación, esta característica se logra al limitar el contenido de Aluminato de Tricalcio (C_3A) y Silicato Tricalcio (C_3S), adquiere una resistencia con más lentitud pero al final alcanza la misma resistencia que los demás tipos de cementos.
- **Cemento Tipo III:** Alta resistencia inicial, adquiere una resistencia en 7 días igual a la deseada a desarrollar a los 28 días. Esto se logra aumentando las cantidades de Silicato Tricalcio (C_3S) durante su dosificación.
- **Cemento Tipo IV:** Cemento de bajo calor de hidratación se ha desarrollado para usarse en concretos masivos, debido a que su nivel de hidratación se realiza con lentitud y de esta manera se evitan fraguados diferenciales para no tener grietas de tracción durante el vacío en la estructura.
- **Cemento Tipo V:** Resistencia a los sulfatos se especifica cuando hay una exposición intensa a estos.

5.2 AGREGADOS

Un componente fundamental en la elaboración del Concreto son los agregados, generalmente compone más del 70% y son los que hacen que este sea un material económico y resistente (Hernandez, 2010).

El agregado se obtiene de lechos de los ríos, por medio de la extracción y posterior trituración hasta obtener los diferentes tamaños de agregado grueso y arenas manufacturadas.

La fuente de extracción del material debe estar localizada a una distancia razonable de donde se va a elaborar el concreto; para su selección hay que tener presente que sus propiedades mineralógicas únicas, influenciadas por el sitio de extracción.

Las propiedades mineralógicas de los agregados influyen directamente en el comportamiento del concreto, para obtener un buen concreto es necesario que la mezcla de la arena y de la piedra logre una buena granulometría que proporcione más unitaria máxima, puesto que con esta condición el volumen de los espacios entre partículas es mínimo y, por consiguiente la cantidad de pasta necesaria para pegarlas y para rellenar

los espacios entre ellas será mínimo, lo cual dará lugar a una mezcla de mejor condiciones técnicas y además económicas. (Sandino, 1984)

Para implementar el agregado en el concreto es necesario conocer ciertos parámetros como lo es la Masa unitaria suelta y compacta. Este ensayo tiene como finalidad relacionar la densidad y dar una idea del volumen natural de vacío que produce el agregado en su acomodo y al mismo tiempo se relaciona con el aspecto de la forma y textura (INV-E 217-13, 2013)

5.2.1 AGREGADO GRUESO

Material compuesto por grava con un tamaño de partículas entre 19.1 mm $\frac{3}{4}$ " a 50.8 mm 2" o gravilla con tamaño de partículas de 4.76 mm a 19.1 mm $\frac{3}{4}$ ", (Hernandez, Tecnologia del Concreto Materiales, Propiedades y Diseño de Mezcla. , 2010) para este tipo de agregado es preciso conocer su tamaño máximo nominal y el porcentaje de absorción.

El tamaño máximo nominal corresponde a la abertura de menor tamiz de la serie de tamices que permite el paso del 100% del material y el tamaño máximo nominal es el de la abertura del tamiz inmediatamente superior cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. En la práctica lo que indica este valor es el tamaño promedio de la partícula más grande que hay dentro del agregado. (Torrado, Apuntes Semillero de Investigacion , 2015)

El porcentaje de absorción del agregado influye en la cantidad de agua a emplear durante el diseño de mezcla (INV-E 223-13, 2013)

5.2.2 AGREGADO FINO.

Compuesto por material granular con tamaños de partícula de 0.075 mm – 4.76 mm (Hernandez, Tecnologia del Concreto Materiales, Propiedades y Diseño de Mezcla. , 2010), el cual influye en la operatividad y el terminado de la superficie, para este agregado se requiere conocer su módulo de finura, peso específico y absorción.

El módulo de finura se obtiene bajo el seguimiento de la norma INV E 213-07, valor requerido al momento del diseño de mezcla del concreto, debido a que influye en la demanda de agua en la mezcla, la cual repercute en la trabajabilidad del concreto. (Salas, 1981)

5.3 AGUA

El agua es el elemento que permite generar las reacciones a nivel molecular del cemento, está es la razón de que los cementos sean hidráulicos, es que estos tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimenten una reacción química con ella, de tal manera que el agua como material dentro del concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace sus propiedades aglutinantes. (Sanchez de Guzman, 2001)

5.4 AIRE

Cuando el concreto se encuentra en proceso de mezclado, es normal que quede aire incluido dentro de la masa, el cual posteriormente es liberado en los procesos de compactación a que es sometido el concreto una vez ha sido colocado, sin embargo queda un aire residual dentro de la masa endurecida. (Rivera L, 2016)

5.5 CONCRETO

La unión de los materiales anteriormente mencionados bajo un diseño cuidadoso y de acuerdo a sus propiedades genera el Concreto, es un material de construcción el cual se diseña y se produce de conformidad con las especificaciones técnicas Colombianas, para fines y aplicaciones en proyectos determinados los cuales tiene unas características como son la consolidación, velocidad de fraguados, resistencia a agentes corrosivos entre otros.

Para la ejecución de diseños de mezclas de concreto existe en la literatura diferentes métodos de diseño como lo son.

METODO	CARACTERISITCA
METODO ACI 211	El Insituto Americano del Concreto (ACI) presento como resultado con base a trabajos experimentales de Abrams, Richard y Talbot ,Goldbeck y Gray. En el cual se fundamenta en datos como lo son valores de asentamiento estimación de contenido de aire dependiendo del tamaño maximo nominal del agregado grueso, estimación del contenido de aire dependiendo del asentamiento. resistencia a alcanzar. relación aqua cemento dependiendo del tipo de exposición que presentara la mezcla y estimación de cantidades
METODO DE FULLER - THOMPSON	Se denomina metodo analítico, es empleado para no necesitar ensayos de campo debido a que se emplean curvas y tablas para según características y condiciones semejantes que se pueden aplicar a los materiales encontrados en nuestro pais , empleando la siguiente formula. $Pd = \sqrt{d/D}$ Donde ; Pd: porcentaie que pasa por la malla d. d: abertura de la malla de referencia. D:Tamaño maximo del agregado.
METODO DE BOLOMEY	Metodo analitico que propuso una curva granulometrica continua de agregados similar a la Fuller aplicando la siguiente ecuación. $r = A (100-A) \sqrt{d/TM}$ Donde ; r: porcentaje acumulado que pasa por la malla de abertura d. d: abertura de la malla en milímetros. TD:Tamaño maximo del agregado total en milímetros. A: Coeficiente que depende de la formula del agregado

TABLA 1. METODOS DE DISEÑO DE MEZCLA

(Bolívar, 2004)

El concreto posee propiedades como son la manejabilidad, consistencia y plasticidad.

5.5.1 MANEJABILIDAD.

Conocida también como la trabajabilidad, se considera como aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad de ser colocado y consolidado (Guzman, 2001)

5.5.2 CONSISTENCIA.

Esta propiedad es utilizada para caracterizar el estado plástico del concreto, la consistencia se refiere a su fluidez que tan dura o blanda es una mezcla de concreto durante su proceso de elaboración. (Guzman, 2001)

5.5.3 PLASTICIDAD

Propiedad determinada por la consistencia del concreto, que permita su fácil modelación dependiendo del molde que lo contenga (Guzman, 2001).

Ya mencionadas y explicadas las propiedades del concreto; este posee dos fase diferenciadoras, una plástica, que es cuando el concreto se encuentra en estado fresco y otra denominada fase endurecida, la cual es cuando el concreto ya ha fraguado. (Perez, 2015).

5.5.4 CONCRETO FRESCO.

Durante el proceso de conformación del concreto en su estado fresco, se debe realizar parámetros de calidad para evitar los siguientes fenómenos que afectan la resistencia del concreto en su estado endurecido.

➤ SEGREGACION

Es la tendencia de separación de las partículas gruesas, esto por falta de cohesión generando una distribución no homogénea. Esto se presenta por diferencia de densidades, entre sus componentes, mal mezclado o exceso de vibrado en la compactación. (Hernandez, 2010)

➤ EXUDACION O SANGRADO.

Se presenta por la tendencia del agua de mezclado a elevarse a la superficie durante el proceso de elaboración del concreto, esto obedece a que los agregados no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado, generando debilitamiento en la parte superior en la porción del concreto elaborado. (Hernandez, 2010).

5.5.5 CONCRETO ENDURECIDO.

Una vez se terminado el proceso plástico del concreto se inicia su fraguado y correspondiente endurecimiento iniciando así su desarrollo de la resistencia. Hay algunos factores que inciden en esta propiedad como lo es la relación agua cemento, calidad del cemento, características de los agregados y el tipo.

En la actualidad y con el afán de poder cuidar y preservar el ecosistema se han desarrollado numerosas investigaciones de alternativas para la consolidación de nuevos concretos con

el fin de incluir materiales reutilizados para mermar la carga ecológica que ocasiona el procesos ingenieril.

En base a ello se han desarrollado investigaciones y parámetros para consolidar un Concreto con Polímeros.

5.6 CONCRETO CON POLIMEROS

El Concreto con polímeros se origina cuando el cemento portland es mezclado con polímeros dando propiedades a la mezcla, debido a que los polímeros son plásticos con cadenas largas, los concretos hechos con ellos tiene muchas cualidades superiores a los tradiciones, como lo es mayor resistencia a productos químicos, mayor solidez y excelentes características de adherencia en la conformación de la pasta de cemento en comparación con los materiales pétreos tradicionales.

Las resinas que se utilizan con más frecuencia son los poliestilenos, estos compuestos por subgrupos como el polietileno, poliuretano y acrílicos. (Merritt, 2008)



Imagen 1 Fase de Pre-Mezclado del Concreto Alternativo con 4% de Sustitución de Agregado Grueso.

Fuente Propia.

5.6.1 POLIETILENO.

Es un termoplástico reversible, el cual es originalmente suevo o se suaviza en forma muy rápida con aplicación de calor, es por esto que es empleado para hacer productos moldeadores.

Presenta características como es la inercia a los disolventes y productos químicos corrosivos de toda clase, presenta baja absorción y baja permeabilidad a la humedad, su densidad es menor que la de cualquier otro plástico comercial no poroso.

El polietileno es parcialmente cristalino, pero al ser mezclado con pigmento negro adquiere buenas propiedades de resistencia a la intemperie (Merritt, 2008).

5.6.2 POLIETILENO RETICULADO

Es una forma de polietileno con enlaces cruzados, empleados en sistemas de tubería, sistema de calefacción con agua caliente, aislamiento de alta tensión para los cables eléctricos, se emplea en tuberías de gas natural y de petróleo en plataformas petrolíferas de altamar.

Presenta mayor resistencia al impacto, la tracción y rotura debido a que se reduce la tendencia a fluir, después de reticular cuyo proceso es la formación de una red tridimensional formada por la unión de las diferentes cadenas poliméricas homogéneas las moléculas adquieren mayor rigidez.

Otro beneficio, es el poder ser empleado como aislante acústico debido a que su estructura celular es cerrada evitando así la propagación de las ondas sonoras. (Giron, 2005)



Imagen 2 Polietileno Reticulado Extruido.

Fuente Propia.

Lo anterior se denominaría como la primera fase de la construcción del Concreto, la cual es conseguir los materiales; ahora para su implementación y elaboración del diseño de mezcla es necesario, caracterizarlos debido a que sus propiedades varían dependiendo del lugar de origen, para ello se efectúan los siguientes ensayos.

5.7 ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE MATERIALES.

5.7.1 DENSIDAD DEL CEMENTO. INV E 307-13

Este ensayo tiene como propósito, determinar la densidad del Cemento hidráulico, para de esta manera poder llevar a cabo el diseño de mezcla correspondiente. (Torrado, 2016)

5.7.1.1 PROCEDIMIENTO.

- En este ensayo se emplea un frasco de Le Chatelier el cual, se ubica en una superficie lisa.
- Se agrega Keroseno o ACPM hasta una marca 0 - 1 ml del frasco

- Se pesan 64 gramos de Cemento hidráulico y se introduce dentro del frasco en pequeñas cantidades, con el cuidado de que no se quede pegadas en las paredes del frasco Le Chatelier.
- Se coloca un tapo en el frasco y se gira lentamente sobre la base, con ocasionales golpes pequeños para sacar las burbujas. (Torrado, 2016)

5.7.1.2 CALCULOS.

Para los cálculos de la densidad del Cemento se hace uso de la ecuación 1 para el cálculo del volumen desalojado.

$$Volumen\ desalojado = Lf - Lo$$

ECUACIÓN (1)

Ecuación 2 para determinar la densidad (g/ cm³)

$$Densidad = \frac{(masa\ del\ Cemento)}{(Lf - Lo)}$$

ECUACIÓN (2)

5.7.2 GRANULOMETRIA AGREGADOS. INV E 213-13

5.7.2.1 GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO.

Los agregados son materiales inertes, que poseen una resistencia propia suficiente que no perturba ni afecta el endurecido del Cemento y garantiza una adherencia para un buen diseño de mezcla. Es preciso contar con agregados de tamaño de las partículas adecuadas, de esta manera determinamos el tamaño máximo nominal para el agregado grueso (Torrado, 2016).

Para realizar la granulometría se emplean los tamices (1", ¾", ½", 3/8", # 4)

5.7.2.2 PROCEDIMIENTO

- Se alista una muestra de 1000 gramos del agregado grueso, empleado en el desarrollo de este proyecto.
- Se arman los tamices de la serie 1", ¾", ½", 3/8", #4, fondo.
- Se agita de forma manual durante 10 minutos
- Se cuantifica la cantidad retenida en cada tamiz con la ayuda de una balanza.

5.7.2.3 CALCULOS

- Para encontrar los porcentajes retenidos en cada tamiz se emplean las siguientes ecuaciones.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el tamiz}}{\text{Peso de la muestra}} * 100\%$$

ECUACIÓN (3)

- Para hallar el porcentaje acumulado se realiza la sumatoria de % parciales retenidos.

$$\% \text{ Retenido Acomd} = \sum(\% \text{ retenido tamiz } 1" + \% \text{ retenido tamiz } 3/4" + \dots)$$

ECUACIÓN (4)

- Para hallar el porcentaje que pasa, se realiza de la siguiente manera

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

ECUACIÓN (5)

5.7.2.4 GRALUNOMETRIA AGREGADO FINO.

En el caso del agregado fino, por medio de la granulometría se halla el módulo de finura, este valor se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados a continuación.

El procedimiento para realizar la granulometría del agregado fino es la implementación de los tamices de serie #4, #8, #16, #30, #50, #100, fondo. (Torrado, 2016)

5.7.2.5 PROCEDIMIENTO

- Se alista una muestra de 2206 gramos del agregado grueso, empleado en el desarrollo de este proyecto.
- Se arman los tamices de la serie #4, #8, #16, #30, #50, #100, fondo.
- Se agita de forma manual durante 10 minutos
- Se cuantifica la cantidad retenida en cada tamiz con la ayuda de una balanza.

5.7.2.6 CALCULOS

Para hallar el módulo de finura del agregado fino se emplea la siguiente ecuación.

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

ECUACIÓN (6)

Una de las propiedades físicas de mayor importancia, para la buena elaboración de un diseño de mezcla es la densidad de los agregados, definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada. Los ensayos de peso específico y absorción de los agregados aportan variables para la estimación de la cantidad de material a ser utilizado en la preparación del concreto

La densidad aparente es el parámetro que se evaluara (Torrado, 2016).

5.7.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.

Para este ensayo correspondiente a los agregados gruesos se emplea una balanza – canasta de alambre – recipiente para inmersión de la canasta.

5.7.3.1 PROCEDIMIENTO AGREGADO GRUESO.

- Se toma una muestra de 5000 gramos de agregado grueso, para sumergirlo en agua con el objetivo de saturar los poros.
- Se saca la muestra del recipiente y se seca con una toalla para eliminar el agua visible
- Se pesa la muestra en condición saturada y superficialmente seca.
- Posteriormente se coloca en la canasta de alambre para determinar su peso sumergido en agua. (Torrado, 2016)

5.7.3.2 CALCULOS.

Para determinar la densidad aparente se emplean las siguientes formulas.

$$\frac{A}{A - C} * \text{densidad del agua}$$

ECUACIÓN (7)

Para determinar la absorción.

$$\frac{B - A}{A} * 100$$

ECUACIÓN (8)

Donde:

A= Masa seca en el aire de la muestra de ensayo.

B= Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada superficialmente seca

C= Masa sumergida en agua de la muestra saturada en gramos.

Para el agregado fino su desarrollo es el siguiente.

5.7.3.3 PROCEDIMIENTO AGREGADO FINO.

- Se toma una muestra representativa de 1000 gramos.
- Se sumerge en agua
- Se escurre el agua excedente de la arena y se coloca en una superficie no absorbente secándola al aire para obtener el estado saturado superficialmente seco
- Se introduce en un molde cónico, se apisona 25 veces
- Se retira el cono y se deja caer la muestra, la cual cae libremente evidenciando que no hay humedad libre.
- Se toman 500 gr del agregado fino.
- Se pesa el picnómetro vacío.
- Se llena el picnómetro de agua y se pesa.
- Se deposita en el picnómetro la muestra de arena

- Se gira el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire posible y se registra su peso
- Se saca la arena y se vierte en un recipiente y se lleva al horno.
- Al día siguiente se cuantifica su peso. (Torrado, 2016)

5.7.3.4 CALCULOS

Densidad aparente.

$$Densidad\ aparente = \frac{A}{B + S - C}$$

ECUACIÓN (9)

Donde.

A= Masa en el aire de la muestra seca al horno

B= Masa del Picnómetro lleno de agua

C= Masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración

S=Masa de la muestra saturada superficialmente seca.

5.7.4 MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA

La masa unitaria se define como la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado, dicha masa va relacionada con el volumen específico y su valor es indispensable conocerlo para así poder calcular las proporciones adecuadas en el diseño de la mezcla del concreto. (Torrado, 2016).

Para el desarrollo de este ensayo de laboratorio, se emplea una varilla de apisonar de 600 mm, un recipiente para el agregado fino de diam. 15.5 cm y h 15.5 cm, para el agregado grueso el recipiente es de diam.20.5 cm y h 30 cm.

5.7.4.1 PROCEDIMIENTO MASA UNITARIA SUELTA.

- Pesar el molde y tomar sus dimensiones
- Poner sobre la balanza el molde desocupado y llenarlo hasta el tope enrasar y tomar la lectura.
- Repetir este procedimiento tres veces.

5.7.4.2 PROCEDIMIENTO MASA UNITARIA COMPACTA

- Pesar el molde y tomar sus dimensiones
- Poner sobre la balanza el molde desocupado y llenarlo en forma parcial de tres capas para de esta manera compactar con la varilla.
- Enrasar y tomar la lectura

5.7.4.3 CALCULOS

Para la masa unitaria compacta.

$$MUC = \frac{\text{PESO DEL AGREGADO COMPACTADO}}{\text{VOLUMEN DEL RECIPIENTE}}$$

ECUACIÓN (10)

Peso del agregado compactado = (Peso del molde + agregado compactado) – (peso del molde)

Para la masa unitaria suelta.

$$MUS = \frac{\text{PESO DEL AGREGADO SUELTO}}{\text{VOLUMEN DEL RECIPIENTE}}$$

ECUACIÓN (11)

Una vez terminada la etapa de caracterización, nos concentramos en el diseño de mezcla el cual nos dará la resistencia ultima que soportara el concreto para la actividad a en que se utilizara.

6. METODOLOGIA.

La metodología a emplear, estuvo basada en las normas técnicas Colombianas y las especificaciones del INVIAS 2013 para la elaboración y desarrollo de ensayos.

Para poder llevar a cabo este proyecto se inició con la búsqueda del Polietileno Retícula reutilizado producto del encauchetado de cables eléctricos desechados y que tienen como depósito final las diversas chatarrerías ubicadas en el centro de Bucaramanga; posteriormente se llevó al lugar donde se realizó el proceso de extrucción ubicada en la cra 15 # 09-55 en donde se obtuvo el material uniforme que se incluyó en la mezcla de concreto alternativo.

Una vez se obtiene el Polietileno Reticulado reutilizado y extruido se procede a la primera fase que es la caracterización de los materiales a emplear, se hace uso de las especificaciones INVIAS como por ejemplo, la INV E 222-13 para determinar el peso específico y absorción del agregado fino, INV E 217-13 para la determinación de masa unitaria suelta y compacta, INV E 307-13 para determinar la densidad del cemento, INV E 223-13 para determinar peso superficialmente seco del agregado grueso; todos estos ensayos fueron asesorados adicionalmente por la guía para el laboratorio de material de construcciones escrito por la Ingeniera Msc, Luz Marina Torrado.

La segunda fase fue la implementación de los ensayos de compresión a las edades del concreto de 7-28 días bajo los parámetros de la Norma Técnica Colombiana NTC 673 y solo a los 28 días los ensayo de flexión bajo la norma Técnica Colombiana NTC 4025 y módulo de elasticidad bajos los parámetros de las especificaciones INVIAS INV E 424-13.

Por último la fase de análisis financiero de la mezcla tradicional Vs la alternativa, se realizó la cotización del material requerido en las principales ferreterías, tomando como cantidad elaborada un metro cubico, con este parámetro se compara el costo que tiene la elaboración de la misma cantidad pero con la mezcla alternativa de mejor rendimiento desarrollada, realizando un estimado del valor del Polietileno Reticulado reutilizado el cual no tiene valor comercial actual. De esta manera se realizara un comparativo de costos, observando así la más económica

7. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla tiene como finalidad la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento y agua, para obtener como resultado una resistencia y durabilidad, acompañada de un grado de manejabilidad y una velocidad de endurecimiento necesaria para la actividad ingenieril deseada. (Rivera, 2016).

En este caso se emplea un método de diseño empírico basándose en el método ACI 211 del Instituto Americano del Concreto y que se describe a continuación.

7.1 METODOLOGIA DE DISEÑO

7.1.1 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO SEGÚN ESPECIFICACIONES DE IMPLEMENTACION EN OBRA.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricado de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación	Con vibradores de formaleta	Secciones sujetas a vibraciones externa
Seca	20-35	Pavimentos	Maquina vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas	Colocación con máquinas operadas manualmente	Sección simplemente reforzadas con vibración
Media (plástica)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas	Colocación manual	Sección simplemente reforzadas con vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas con vibración
Muy Húmeda	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo -tremier	Secciones altamente reforzadas con vibración
Súper Fluida	Más de 200	Elementos esbeltos	Autonivelante	Sección altamente reforzada sin vibración

TABLA 2. Asentamiento recomendado para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.

(Rivera, 2016)

Asentamiento seleccionado 7 cm

7.1.2 ESTIMACION CONTENIDO DE AIRE.

Se obtiene de la siguiente tabla, la cual permite estimar el aire que puede quedar normalmente atrapado.

CONTENIDO DE AIRE					
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
mm	in				
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	3/4"	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 3. Contenido de aire dependiendo del Tamaño Máximo Nominal del agregado.

(Guzman, 2001)

7.1.3 ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGUA

El contenido de agua de mezcla del concreto depende de la forma de las partículas de los agregados, también se requiere conocer el asentamiento promedio y el tamaño máximo nominal del agregado grueso, para de esta manera obtener los valores de la siguiente tabla.

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	185	180	165	160	140	135	125
3,0 – 5,0	205	200	185	180	160	155	145
5,5 – 7,5	215	210	190	185	170	165	155
8,0 – 10,0	225	215	200	195	175	170	165
10,5 – 15,0	235	225	205	200	180	175	170
15,5 – 18,0	240	230	210	205	185	180	175
% CONTENIDO DE AIRE	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3

TABLA 4 .Cantidad de agua recomendada, en Kg por m³ de concreto para los tamaños máximos nominales indicados y de acuerdo a los asentamientos.

(Rivera, 2016)

De acuerdo con la tabla anterior, se estima 185kg de agua por m³de concreto se obtiene un asentamiento de 7 cm para TMN 1",25 mm

7.1.4 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE DOSIFICACION.

El diseño de mezcla se realizara para una resistencia de 3000 psi, 21 Mpa para alcanzar esta resistencia se procede a calcular f'_c de diseño.

Con base a lo contemplado en el Titulo C de la NRS sección C-5.3.2.2, que cita" cuando una instalación productora de concreto no tenga registro de ensayos de resistencia en obra para el cálculo de la desviación estándar, el f'_c debe determinarse de la tabla C-5.3.2.2", denominada resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. (NRS 10, 2010)

A continuación plasme dicha tabla en las siguientes tres ecuaciones.

- Si la resistencia del concreto es menos de 21 MPA

$$f'c \text{ Diseño} = f'c \text{ Especificada} + 7 \text{ Mpa}$$

ECUACIÓN (12)

- Si la resistencia del concreto es entre 21Mpa -35 MPA

$$f'c \text{ Diseño} = f'c \text{ Especificada} + 8.5 \text{ Mpa}$$

ECUACIÓN (13)

- Si la resistencia del concreto es más de 35 MPA

$$f'c \text{ Diseño} = f'c \text{ Especificada} + 10 \text{ Mpa}$$

ECUACIÓN (14)

Se efectúa el diseño para un $f'c$ 29.5 Mpa el cual es una resistencia de alrededor de 4000 psi

7.1.5 RELACION AGUA CEMENTO.

La relación agua / cemento requerida, se debe determinar para los requisitos de resistencia, y durabilidad.

Condición de exposición	Máxima relación A / C	Resistencia mínima a la compresión F _c en MPA
Concreto de baja permeabilidad para ser expuesto al agua (agua dulce)	0.50	24
Concreto expuesto a ciclos de congelación y descongelación en una condición húmeda o a líquidos que impidan la congelación (agua salina)	0.45	31
Para la protección contra la corrosión del refuerzo de concreto expuesto a cloruros, sal ,agua marina o que puedan ser salpicados por agua salina	0.40	35

TABLA 5 .Relación A/C según la resistencia y las condiciones de exposición
(Rivera, 2016)

7.1.6 CALCULO DE CONTENIDO DE CEMENTO

Cantidad de cemento (kg / m³)

$$C = \frac{A}{A/C}$$

ECUACIÓN (15)

7.1.7 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CADA AGREGADO

$$VOLUMEN\ ABSOLUTO\ DEL\ MATERIAL = \frac{MASA\ DEL\ MATERIAL}{DENSIDAD}$$

ECUACIÓN (16)

La estimación de las propiedades de los agregados se busca a partir de los resultados arrojados por los ensayos de masa unitaria compacta (MUC) para el agregado grueso y el módulo de finura para el agregado fino. Con estos datos se halla el b_o (Volumen unitario de concreto)

PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS					
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO					
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		MÓDULO DE FINURA			
		2,40	2,60	2,80	3,00
mm	in				
9,51	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
152	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

TABLA 6 .Proporciones de los agregados dependiendo del tamaño máximo nominal del mismo
(Guzman, 2001)

Luego se requiere calcular b/b_o

$$\frac{b}{b_o} = MUC * 1000$$

ECUACIÓN (17)

Para concluir, este capítulo se efectuó un resumen del diseño de mezcla para la mezcla tradicional trabajada que se observa en la tabla 6 y el diseño de la mezcla alternativa en la tabla 7.

CONCRETO NORMAL			
MATERIAL	MASA Kg	DENSIDAD	VOLUMEN M ³
CEMENTO	Se determina por medio de la ecuación 15 del numeral 7.1.6	Resultado obtenido del ensayo de densidad Le Chateriel	Ecuación 16 numeral 7.1.7
AGUA	Peso del agua = Densidad * Volumen	Densidad del agua 1000	Tabla # 3 numeral 7.1.3
AIRE			Tabla # 2 numeral 7.1.2
Agregado Fino	Densidad por Volumen	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción este valor multiplicado por 1000	Valor obtenido de la tabla #5 entrando con el módulo de finura del agregado fino, multiplicado por MUC y dividido Por la densidad.
Agregado Grueso	Densidad por Volumen	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción este valor multiplicado por 1000	1 menos los volúmenes de Los materiales anteriores.

Tabla 7. Dosificación Mezcla de Concreto, Proyecto Evaluación del Comportamiento Mecánico del Concreto con Inclusión de Polietileno Reticulado Fuente Propia.

CONCRETO MODIFICADO POLIETILENO RETICULADO			
MATERIAL	MASA Kg	DENSIDAD	VOLUMEN M ³
CEMENTO	Se determina por medio de la ecuación 15 del numeral 5.1.6	Resultado obtenido del ensayo de densidad Le Chateriel	Ecuación 16 numeral 5.1.7
AGUA	Peso del agua = Densidad * Volumen	Densidad del agua 1000	Tabla # 3 numeral 5.1.3
AIRE			Tabla # 2 numeral 5.1.2
Agregado Fino	Densidad por Volumen	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción este valor multiplicado por 1000	Valor obtenido de la tabla #5 entrando con el módulo de finura del agregado fino, multiplicado por MUC y dividido Por la densidad.
Agregado Grueso	Densidad por Volumen	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción este valor multiplicado por 1000	1 menos los volúmenes de los materiales anteriores. y a este valor se le descuenta el porcentaje de sustitución del nuevo material
Polietileno reticulado	Densidad por Volumen	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción este valor multiplicado por 1000	Se calcula la cantidad del nuevo material multiplicando el porcentaje de inclusión por el peso total del agregado grueso de la mezcla tradicional.

Tabla 8. Dosificación Mezcla de Concreto Modificado, Proyecto Evaluación del Comportamiento Mecánico del Concreto con Inclusión de Polietileno Reticulado Fuente Propia.

Para verificar la calidad y exactitud del proceso anteriormente descrito, se realizó su correspondiente curado al concreto y posterior ensayo de compresión, flexión y módulo de elasticidad.

8. CURADO DEL CONCRETO.

Es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor. (ACI 308 R, 2001)

La razón de realizar el curado del Concreto es garantizar las condiciones óptimas de humedad y temperatura necesarias para que desarrolle su resistencia potencial (compresión y flexión), se reduzca la porosidad de la pasta garantizando así las características de diseño. (NTC 550, 2000)

Luego de realizar el curado y cumplido las edades de los especímenes de 7 y 28 días se procedió a la implementación de ensayos de compresión; los ensayos de flexión, y módulo de Elasticidad se realizaron únicamente a los 28 días.

9. ENSAYOS.

9.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Este método de ensayo consistió en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros modelados de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto. La resistencia a la compresión se calculó al dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen (NTC 673, 2010)

9.2 ENSAYO DE FLEXION.

Se realiza este ensayo bajo la especificación INVIAS, INV E 414-13, en donde se tiene en consideración la ruptura de viga si se realiza en entre las luces del apoyo o por el contrario fuera de ellas, ya que de esto depende la aplicación de la fórmula para conocer su resultado final.

El proceso para la ejecución de este ensayo, es tomar la viga por el lado que se fundió puesta contra la parte que ejerce la fuerza en la máquina, se marca a $L/3$ líneas de guía para así poder ubicarla sobre los apoyos; luego de esto se inicia el proceso de administración de la carga.

Así mismo, se evaluó el módulo de elasticidad o módulo de Young del concreto simple y modificado

9.3 ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD O MODULO DE YOUNG.

Se determina el modulo elástico como la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material. Con la especificación técnica INVIAS INV E 424-13 y la NTC 4025 se determina el módulo de elasticidad secante (o módulo de Young) y la relación de Poisson de cilindros de concreto normalizados y núcleos de concreto, cuando éstos se hallan bajo esfuerzos de compresión longitudinal.

El módulo elástico es un parámetro que depende en gran parte de la forma y origen de los agregados gruesos; pues en algunos estudios y ensayos realizados, manteniendo incluso una misma relación agua/cemento para diferentes formas de agregado, se observa como varían los resultados obtenidos del ensayo del módulo elástico, lo que sugiere que no necesariamente sea la relación Agua/cemento el principal factor para el resultado final del módulo elástico. Dependiendo del tipo de agregado que se maneje en la mezcla de Concreto se obtendrán módulos elásticos significativamente altos debido a que en ocasiones se cuentan con materiales pétreos porosos y de baja densidad los cuales no aportan resistencia mecánica en la mezcla. (Cipriano, 2018)

El módulo de elasticidad mide la rigidez de los materiales al momento de estar sometidos a un esfuerzo, este valor es indispensable conocer para determinar la capacidad de los elementos estructurales y así evitar su fatiga la cual lleva al colapso de la estructura. (Gonzalez, 2012)

Para determinar este módulo se efectúa una relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión, menores que el límite de proporcionalidad del material, este ensayo se lleva hasta solo el 40% de la carga máxima que puede soportar el material. (NRS 10, 2010)

Según la NRS 10 las ecuaciones a emplear para el cálculo del módulo de elasticidad del concreto, según la clase de agregado empleado son las siguientes.

Para concretos con masa unitaria entre 1440 y 2460 kg/m³

- Agregado grueso de origen ígneo

$$E_c = w c^{1.5} 0.047 \sqrt{f'c} \text{ en MPa}$$

- Agregado grueso de origen metamórfico

$$E_c = w c^{1.5} 0.041 \sqrt{f'c} \text{ en MPa}$$

- Agregado grueso de origen sedimentario

$$E_c = w c^{1.5} 0.031 \sqrt{f'c} \text{ en MPa}$$

- El valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado

$$E_c = w c^{1.5} 0.034 \sqrt{f'c} \text{ en MPa}$$

Cuando no se disponga del valor de la masa unitaria del concreto, puede utilizarse.

- Agregado grueso de origen ígneo

$$E_c = 5500 \sqrt{f'c} \text{ en MPa}$$

- Agregado grueso de origen metamórfico

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \text{ en MPa}$$

- Agregado grueso de origen sedimentario

$$E_c = 3600 \sqrt{f'c} \text{ en MPa}$$

- El valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado

$$E_c = 3900 \sqrt{f'c} \text{ en MPa}$$

(NRS 10, 2010)

10. EJECUCION DEL PROYECTO

Para la ejecución del proyecto se inicia con la fase de traslado de los materiales desde su lugar de adquisición hasta los laboratorios de materiales de construcción de la Universidad Pontifica Bolivariana K 210.

Los materiales fueron Polietileno Reticulado reutilizado, Agregado grueso, Agregado fino y Cemento.

El proceso con el primer material fue el siguiente.

10.1 POLIETILENO RETICULADO REUTILIZADO EXTRUIDO.

Para su consecución se realizó el siguiente proceso.

Visita a diversas chatarrerías de la zona centro de Bucaramanga, socializando el proyecto para así obtener la aprobación de trabajar con ellos, La chatarrería que dio el visto bueno fue la Sr, Anival Vidal Cll 24 con Cra 15.

Se procede con la extracción del encauchado de los tramos de cables que se depositan en la chatarrería para la comercialización del cobre.

Una vez se tiene los encauchados ya separados del cobre se llevan a donde se somete a proceso de extrucción

Para el proyecto se emplearon 24 kg de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido, el cual se traslado a los laboratorios de materiales de construcción de la universidad.



Imagen 3. Embalaje de Polietileno Reticulado Reutilizado Extruido

Fuente Propia

El proceso de extrucción consistió en introducir en una tolva el material plástico que se someterá a este proceso y mediante la aplicación de vapor y presión con un sinfín se traslada este material de manera transversal, de esta manera mientras se traslada con la ayuda del sinfín este se somete al vapor y comienza a ser maleable al final de la línea se encuentra unas aberturas en forma cilíndrica y con una cuchilla giratoria se va cortando obteniendo así las formas de perlas del polietileno reticulado

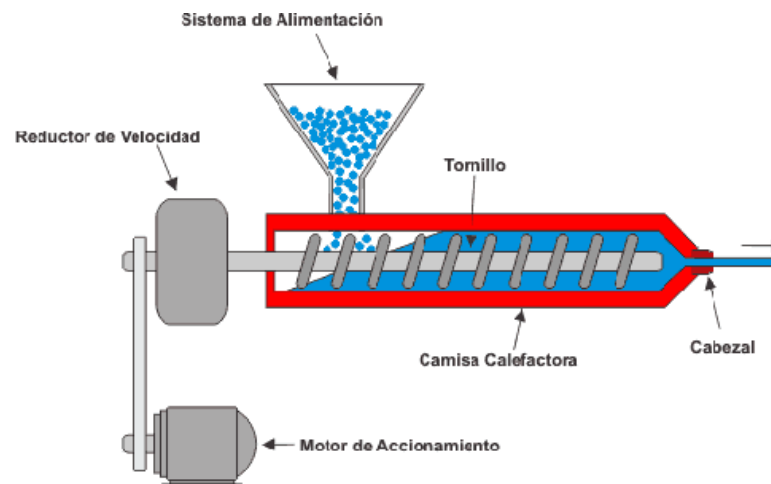


Imagen 4 Grafico de Proceso de Extrucción

Fuente: METALTECO.

10.1.1 CARACTERIZACION DEL POLIETILENO RETICULADO REUTILIZADO EXTRUIDO.

Para la clasificación de este material que será en reemplazo parcial del agregado grueso de la mezcla tradicional de Concreto se realizó ensayo de granulometría y de absorción.



Imagen 5 Ensayo de Absorción Polietileno Reticulado

Fuente Propia

Al realizar la granulometría, se evidenció que este material tiene una granulometría uniforme, esto debido a que toda la muestra analizada queda retenida únicamente en las mallas #4 y fondo; lo que indica que la sustitución completa del agregado grueso por el material alternativo da como resultado un concreto no estructural. (Quesada, 2014)

GRANULOMETRIA POLIETILENO RETICULADO				
TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA
1"	0	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	0	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	0	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	0	0,00%	0,00%	100,00%
# 4	869	66,85%	66,85%	33,15%
fondo	431	33,15%	100,00%	0,00%
TOTAL	1300	100%	166,85%	

Tabla 9. Análisis Granulométrico Polietileno Reticulado Reutilizado Extruido.

Tamaño máximo nominal: 0.187", 4.76 mm

Para continuar con la caracterización del Polietileno Reticulado reutilizado Extruido que es el primer objetivo específico del proyecto, se realiza el peso superficialmente seco, bajo el parámetro de la especificación INVIAS INV-E 223-13.

Para llevar a cabo este ensayo no se expuso al horno debido a que es un material que en presencia del calor se vuelve maleable y pierde su forma, por tal realizo su peso que fue de 1000 gr y se sometió a inmersión por alrededor de 2 horas, registrando su peso inmerso que fue de 40 gr, luego se realizó su secado con una toalla dando como peso superficialmente seco de 1004 gr.

PESO SUPERFICALMENTE SECO POLIETILENO RETICULADO		
		gr
PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		1000
PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFIACIALMENTE		1004
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA		40
% absorción		0,4
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco	(gr/cm³)	1,037

Tabla 10. Análisis Peso Saturado Superficialmente Seco Polietileno Reticulado reutilizado Extruido.

Como resultado de este ensayo aplicando la ecuación 7 y 8 del apéndice 5.10.2 tenemos que el Polietileno Reticulado no es un agregado que absorbe agua ya que tenemos como porcentaje de absorción 0.4% y posee una densidad baja, con un peso específico de 1.037 (gr/cm³).

Estos datos son implementados al momento de realizar la adición de agua a la mezcla alternativa, indicando que la cantidad de agua de diseño se debe reducir en un 5% para que la mezcla no quede muy fluida, puesto que las propiedades del Polietileno Reticulado son la no absorción de agua.

A medida que el porcentaje de sustitución de cambio en el agregado grueso tradicional aumenta se debe ir reduciendo la cantidad de agua en adición de la mezcla para no afectar el valor del asentamiento estipulado en el diseño de la mezcla.

10.1.2 ENSAYO DE SEM

Se sometió el Polietileno Reticulado reutilizado Extruido al ensayo de nanotecnología en el laboratorio de nanotecnología de la UPB para revisar su conformación química, dando como resultado alto contenido de Carbono, este es el mineral de mayor presencia en la corteza terrestre, está compuesta por cuatro electrones, que forma un enlace químico covalente las cuales se une por medio de enlaces de hidrogeno, a estas conformación se denomina Monómeros los cuales poseen bajo peso molecular, cuando estos son modificados se rompen las uniones de Hidrogeno y las moléculas inestables tratan de reagruparse con otras moléculas de carbono, (Rojas, 2008) aumentando su peso molecular

y denominándose Polímeros, siendo el Polietileno un subgrupo de esté, especialmente Polietileno Reticulado.

Dependiendo de su conformación en los arreglos estructurales del material, es la resistencia que este presenta a la compresión, por ejemplo la conformación planar que posee el granito de las puntas de los lápices le da una resistencia mínima, pero si el carbono posee una arreglo estructural de manera cristalina como se encuentra en los diamantes, éstos posee una alta resistencia a la fricción, compresión y bajo nivel de absorción. (Rojas, 2008)

A continuación en la imagen 6 se muestra el ensayo realizado.

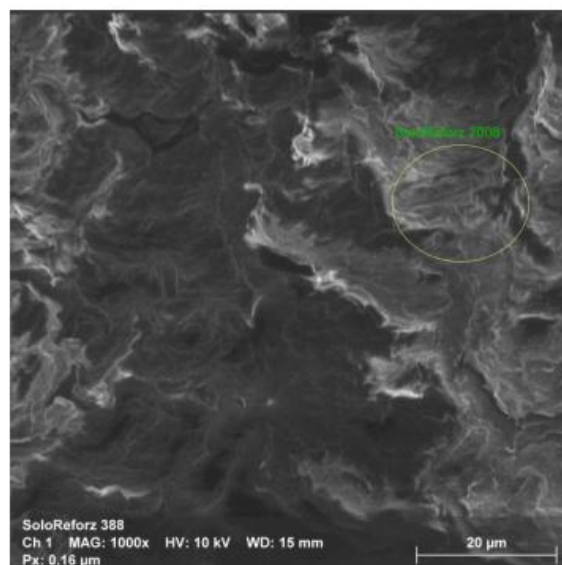
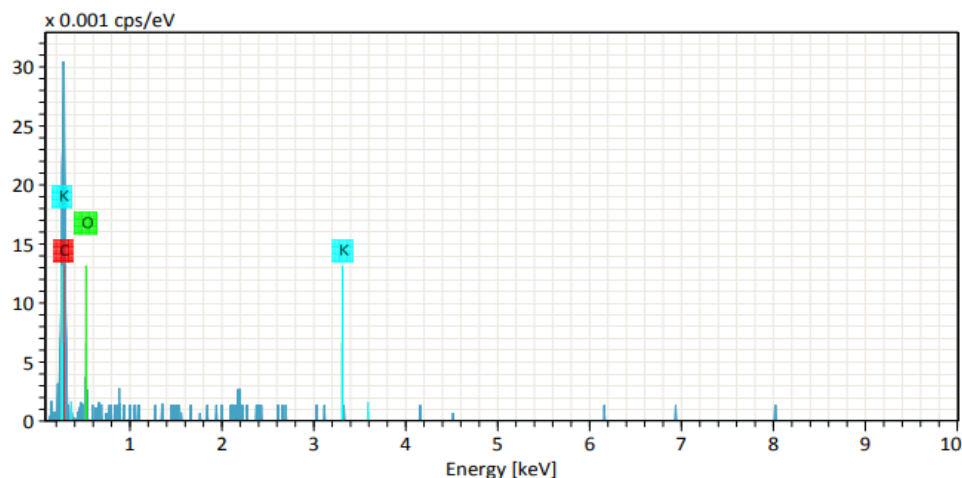


Imagen 6. Imagen de Nanotecnología de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido



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	84	76.50	76.50	82.58	41.02	82.05	123.07
Oxygen	8	K-Serie	8	20.12	20.12	16.30	29.68	59.35	89.03
Potassium	19	K-Serie	3	3.39	3.39	1.12	0.07	0.14	0.21
Sum				100.00	100.00	100.00			

Imagen 7. Contenido Elementos Mineralógicos del Polietileno Reticulado.

10.2 CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

10.2.1 GRANULOMETRIA AREGADO GRUESO

Este ensayo se realiza, para la obtención de los valores de tamaño máximo nominal requerido para el diseño de mezcla, el procedimiento es secarlo al horno con una temperatura de 110 grados centígrados durante 24 horas y se realiza el procedimiento estipulado en el apéndice 5.9.2 y bajo el acompañamiento de la Norma Técnica Colombiana NTC 77.



Imagen 8 Granulometría Agregado Grueso.

FUENTE PROPIA

Para el desarrollo de este ensayo se manejó un peso inicial de 1000 gr.

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA
1 1/2 "	0	0	0	100
1"	28	2,81	2,81	97,19
3/4"	344	34,47	37,27	62,73
1/2"	574	57,52	94,79	5,21
3/8"	39	3,91	98,70	1,30
# 4	13	1,303	100	0
fondo	0	0	100	0

Tabla 11. Análisis Granulométrico Agregado Grueso.

Del ensayo se deduce que:

El Tamaño máximo del agregado es: 1 1/2"

El Tamaño máximo nominal: 1"

10.2.2 GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

Para el desarrollo de este ensayo se partió de una muestra de material de 2206 gr, el procedimiento se estipula en el apéndice 5.9.5 y las especificaciones INVIAS INV E 213-13.

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA
# 4	18	0,82	0,82	99,18
# 8	397	18,08	18,90	81,10
# 16	557	25,36	44,26	55,74
# 30	402	18,31	62,57	37,43
# 50	483	21,99	84,56	15,44
# 100	152	6,92	91,48	8,52
fondo	187	8,52	100,00	0,00
TOTAL	2196	100,00	402,60	

Tabla 12. Análisis Granulométrico Agregado Fino.

Se determinó el módulo de finura del agregado fino. M.F 3.026

10.2.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION AGREGADO GRUESO.

Con el apoyo de las especificaciones técnicas INVIAS se realizó este ensayo, la especificación empleada fue la INV E 223-13, el proceso realizado fue lavar el material, se pesa, posteriormente se sumergió en agua para la lectura de su peso sumergió, se extrae y se procede a un secado superficial con la ayuda de una toalla.

PESO SUPERFICIALMENTE SECO DE LA GRAVA		
		gr
PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		4943
PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE		4980
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA		3090
% absorción		0,75
peso específico	(gr/cm ³)	2,6153

Tabla 13. ANALISIS PESO SUPERFICIALMENTE SECO AGREGADO GRUESO

10.2.4 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION AGREGADO FINO.

Aplicando la especificación técnica INVIAS INV E 222-13, se toma una muestra de material y se deja sumergida en agua por 24 horas, luego se realiza un secado a temperatura ambiente vertiéndola en el suelo y moviéndola ocasionalmente para ser secada al sol.

Se emplea un molde cónico, un apisonador y una bandeja metálica; se llena el molde cónico y con la ayuda del apisonador se le dan 25 golpes, se enraza, se levanta el molde y se le da un golpe seco con la mano generando el derrumbe parcial de la arena contenida en el molde cónico indicando que la muestra se encuentra saturada superficialmente seca.

Se pesan 500 gr y se introducen en el picnómetro que se encuentra con agua, se pesa y se agita para quitar las burbujas, se extrae este material y se lleva al horno para tomar el peso seco de la misma.

PESO SUPERFICIALMENTE SECO AGR. FINO		
		gr
PESO DEL PICNOMETRO		159.9
PESO DEL PICNOMETRO MAS AGUA		692.4
PESO DEL PICNOMETRO MAS AGUA MAS ARENA		997.2
PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO		489.5
% absorción		2.102
peso especifico	(gr/cm ³)	2,707

Tabla 14. ANALISIS PESO SUPERFICIALMENTE SECO AGREGADO FINO.

10.2.5 MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA AGREGADOS FINO Y GRUESO.

En base a las Normas Técnicas Colombianas 237-176 se procede a realizar el ensayo de masa unitaria suelta (MUS) del agregado fino, en el cual se emplea un molde de área de 0.00293 m³ y llena hasta su totalidad, se enraza y se registra su peso, este proceso se efectúa tres veces.

Para realizar la masa unitaria compacta (MUC), se emplea el mismo molde, con la diferencia que el llenado se realiza por capas (3) y se apisona con la ayuda de una barrilla.

MASA UNITARIA SUELTA AGR.FINO	
PESAJE	PESO DE LA MUESTRA
#	KG
1	3,95
2	3,90
3	3,85
Promedio	3.90
MUS	1331.05 kg/m³

Tabla 15. MASA UNITARIA SUELTA (MUS) AGREGADO FINO.

MASA UNITARIA COMPACTA AGR.FINO	
PESAJE	PESO DE LA MUESTRA
#	KG
1	4,90
2	4,75
3	4,80
PROM	4.82
MUC	1643.91 kg/m³

Tabla 16. MASA UNITARIA COMPACTA (MUC) AGREGADO FINO

Para el caso del agregado grueso se emplea un recipiente de 0.009901 m³ y se realiza el llenado total para determinar la masa unitaria suelta (MUS) y por capas apisonando para hallar la masa unitaria compacta (MUC), y se divide el peso de la muestra entre el volumen del recipiente.

MASA UNITARIA SUELTA AGR.GRUESO	
PESAJE	PESO DE LA MUESTRA
#	KG
1	14,55
2	15,05
3	14,65
PROM	14.75
MUS	1489.748 kg/m³

Tabla 17. MASA UNITARIA SUELTA (MUS) AGREGADO GRUESO.

MASA UNITARIA COMPACTA AGR.GRUESO	
PESAJE	PESO DE LA MUESTRA
#	KG
1	15,75
2	15,85
3	15,72
PROM	15,77
MUC	1593.105 kg/m³

Tabla 18. MASA UNITARIA COMPACTA (MUC) AGREGADO GRUESO.

10.2.6 DENSIDAD DEL CEMENTO.

En base a las especificaciones técnicas INVIAS INV E 307-13, se realizó este ensayo en donde se empleó el frasco Le Chatelier el cual es llenado con ACPM hasta la marca 0,1 ml del frasco, el proceso de llenado se realiza con un embudo de cuello largo, para de esta manera no mojar las paredes del frasco y así no se pegue en cemento durante el vertimiento.

Se toma una muestra de 64.08 gr de cemento CEMEX tipo I para el desarrollo de este ensayo, se realiza el proceso de descarga dentro del frasco de manera lenta para evitar grumos que tapen el cuello del frasco Le Chatelier.

Una vez culminado el proceso de introducir el cemento dentro del frasco, éste se tapa y sobre una superficie plana se gira para extraer el aire atrapado durante el proceso de llenado y luego se realiza la lectura del aforado del frasco.

DENSIDAD DEL CEMENTO.	
PESO DE LA MUESTRA (gr)	64,08
MEDIDA INICIAL TUBO LE CHATELIER (volumen) Vi	0,4
MEDIDA FINAL TUBO LE CHATELIER(volumen) Vf	23
DENSIDAD (g/cm³)	2.835

Tabla 19. DENSIDAD DEL CEMENTO.

Aplicando la ecuación 1 y 2 del apéndice 5.8 determinamos la densidad del cemento la cual es de:

$$\text{Densidad Cemento} = 2.835 \text{ (gr / cm}^3\text{)}$$



Imagen 9. Ensayo de densidad del Cemento con uso del frasco Le Chatelier.

Fuente Propia.



Imagen 10. Ensayo de Densidad del Cemento, Cantidad de Cemento Empleada.

Fuente Propia.

10.3 DOSIFICACION DE MATERIALES PARA LA OBTENCION DE LA MEZCLA DE CONCRETO.

Empleando la metodología plasmada en el capítulo 7 de este documento, se procede a realizar la dosificación de material requerido para la consolidación de las cuatro tipos de mezclas que se requirieron para el desarrollo de la investigación, denominadas así.

- Mezcla 1: mezcla patrón de dosificación tradicional (cemento-agregado fino – agregado grueso –agua)
- Mezcla 2: mezcla con inclusión de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido sustituyendo el 2% del agregado grueso total.
- Mezcla 3: mezcla con inclusión de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido sustituyendo el 4% del agregado grueso total.
- Mezcla 4: mezcla con inclusión de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido sustituyendo el 6% del agregado grueso total.

Con la obtención de los análisis de laboratorio de los materiales dispuestos para las mezclas se procede a su dosificación para el diseño de una mezcla de concreto de resistencia de 3000 psi.

De acuerdo a la NSR-10 se realiza el diseño de mezcla calculando el $f'c$ de diseño. Para concretos entre $21 < f'c < 35$ Mpa, el $f'c = 21 + 8.5$, de donde el $f'c$ de diseño es igual a 29.5 MPa

10.3.1 ASENTAMIENTO.

Con la utilización de tabla #1 Asentamiento recomendado para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación se escoge un asentamiento de 7 mm.

10.3.2 TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO

Con los resultados de los ensayos de granulometría de agregado fino, masa unitaria suelta y compacta determinamos los tamaños de los agregados.

Agregado grueso = Tamaño máximo Nominal 1", 25 mm

Agregado Fino= Modulo de Finura, MF 3.0259

10.3.3 CONTENIDO DE AIRE.

Teniendo el tamaño máximo del agregado grueso y la Tabla # 2. Contenido de aire dependiendo del Tamaño Máximo Nominal del agregado se selecciona un contenido de % de aire por volumen de 1,5.

10.3.4 CONTENIDO DE AGUA EN LA MEZCLA

Empleando la tabla # 3 Cantidad de agua recomendada, en Kg por m³ de concreto para los tamaños máximos nominales indicados y de acuerdo a los asentamientos se selecciona 185 kg de agua x m³.

10.3.5 RELACION AGUA / CEMENTO.

La relación agua cemento seleccionada fue de 0.45 con base a la tabla # 4 Relación A/C según la resistencia y las condiciones de exposición; dando como resultado una cantidad de concreto de 411 kg x m³.

10.3.6 CANTIDAD DE AGREGADOS.

Con los resultados de los ensayos de granulometría de agregado fino, masa unitaria suelta y compacta determinamos los tamaños de los agregados y la tabla # 5 Proporciones de los agregados dependiendo del tamaño máximo nominal del mismo, manejamos un bo de 0,65.

Con los valores seleccionados anteriormente como el asentamiento, relación agua/cemento, contenido de aire y cantidad de agua se realiza la dosificación para las cuatro mezclas empleadas en el desarrollo de este proyecto, las cuales son una mezcla tradicional y tres alternativas para poder realizar la correspondiente comparación en los resultados de compresión y flexión que se expondrán en el capítulo siguiente.

MATERIAL	MEZCLA #1		
	DENSIDAD	CANTD	VOLUMEN
	KG/M3	KG	M3
CEMENTO	2835	411	0,145
AGUA	1000	185	0,185
AIRE			0,015
AGR, FINO	2707	1060	0,392
AGR. GRUESO	2615	688	0,263
TOTAL			1,000

Tabla 20. Dosificación de Mezcla 1, Mezcla Tradicional

MEZCLA #2			
MATERIAL	DENSIDAD	CANTD	VOLUMEN
	KG/M3	KG	M3
CEMENTO	2835	411	0,145
AGUA	1000	185	0,185
AIRE			0,015
AGR, FINO	2707	1060	0,392
POLIETILENO			
RETICULADO	1037	13,76	0,013
AGR. GRUESO	2615	654	0,250
TOTAL			1,000

Tabla 21. Dosificación de Mezcla 2 Sustitución de 2% del Agregado Grueso Por Polietileno Reticulado.

MEZCLA #3			
MATERIAL	DENSIDAD	CANTD	VOLUMEN
	KG/M3	KG	M3
CEMENTO	2835	411	0,145
AGUA	1000	185	0,185
AIRE			0,015
AGR, FINO	2707	1060	0,392
POLIETILENO			
RETICULADO	1037	27,52	0,027
AGR. GRUESO	2615	621	0,237
TOTAL			1,001

Tabla 22. Dosificación de Mezcla #3 Mezcla con sustitución de 4% del Agregado Grueso por Polietileno Reticulado.

MEZCLA #4			
MATERIAL	DENSIDAD	CANTD	VOLUMEN
	KG/M3	KG	M3
CEMENTO	2835	411	0,145
AGUA	1000	185	0,185
AIRE			0,015
AGR. FINO	2707	1060	0,392
POLIETILENO RETICULADO	1037	41,28	0,040
AGR. GRUESO	2615	587,0	0,224
TOTAL			1,001

Tabla 23. Dosificación de Mezcla 4 Mezcla con Sustitución de 6% del Agregado Grueso por Polietileno Reticulado.

Los valores anteriores son para la elaboración de un metro cubico de concreto, en el caso de este proyecto la cantidad a utilizar fue 0.245 metro cubico, este valor se obtiene del cálculo de áreas de la formaleta de los cilindros 0.10 m de diámetro x 0.20 m de altura, de estos se emplearon 56 especímenes, y formaleta de vigas de 0.15 m alto x 0.15 m ancho x 0.60 largo, de éstas se emplearon 8 especímenes.

10.4 ELABORACION DE MEZCLA.

El paso faltante es la materialización de los cálculos y diseño, para aplicar todo lo descrito anteriormente, en este paso se contó con el acompañamiento de los técnicos del laboratorio.

El proceso de fundición de los especímenes fue la siguiente.

- Pesaje del material requerido para cada una de las mezclas.
- Alistamiento de las formaletas, ajuste de tornillería y engrasado
- Proceso de mezclado en el cual el orden de adición de los materiales fue en primer lugar el cemento, posteriormente el agregado fino, luego el agregado

grueso, se mezcla para homogenizarla y posteriormente el agua de manera distribuida por toda la mezcla.



Imagen 11: Pre-mezclado.

Fuente Propia.

En las imágenes anteriores se evidencia el pre mezclado que es cuando se dispone en el mismo lugar el cemento, agregado fino, agregado grueso y el Polietileno Reticulado. Luego se empieza a mezclar en seco para homogenizar la mezcla.



Imagen 12: Concreto.

Fuente Propia.

Una vez terminado el proceso de premezclado, se le adiciona agua de manera parcial y se va mezclando, de esta manera se evita que se empoce el agua, a medida que se va mezclando se va adicionando el resto del agua calculada.

Para poder iniciar el llenado de las formaleas se debe evaluar el asentamiento de la mezcla que se acaba de generar.

Para este proceso se emplea el cono de Abrams el cual se llena en tres capas y por cada capa se apisona con una varilla dándole 25 golpes por cada capa.



Imagen 13: Llenado por Capas del Cono de Abrams para Verificación de Asentamiento.

Fuente Propia.

Una vez llenado el cono de Abrams el cual esta sujetado por los pies y el peso del cuerpo, se hace un intercambio entre los pies y las manos para poder sujetarlo y así evitar que la mezcla se salga por la parte inferior del cono.

De manera rápida se levanta y se voltea para colocar la varilla apisonadora en la parte superior para que sirva como medida de referencia de cuanto baja la mezcla, lo que se traduce en asentamiento y se mide con el flexómetro.

Este proceso se realizó siguiendo los lineamientos de la NRC 396.



Imagen 14: Asentamiento

Fuente Propia.

Una vez se ha cumplido con el asentamiento, se procede a llenar las formaletas con la mezcla.

Para realizar este proceso se efectúa el llenado de las formaletas en tres capas, cada capa es apisonada 25 veces con la varilla corta de compactación de dimensiones 10 mm de diámetro y aproximadamente 300 de longitud (NTC 1377, 1994) y golpeada por la periferia de la formaleta con el martillo de goma unas 25 veces, esto con el fin de simular un vibrado que la mezcla se asiente y se homogenice en el interior de la formaleta, evitando la acumulación de vacío que puedan afectar los resultados de los ensayos de compresión y flexión de los especímenes.

Para finalizar el llenado se enraza con la ayuda de la regla metálica.



Imagen 15: Llenado de Formaleta y Proceso de Vibrado.

Fuente Propia.



Imagen 16: Enrazado de Formaletas.

Fuente Propia.

Al tener las mezclas en las formaletas, se dejan 24 horas en las que fragua el concreto para su posterior desencofrado y llevado a curado.



Imagen 17: Desencofrado de Especímenes.

Fuente Propia.



Imagen 18: Curado de Especímenes.

Fuente Propia.

Algunos especímenes fueron sometidos a refrentado con yeso, debido a que el Polietileno Reticulado reutilizado Extruido posee una densidad baja, y tiende a flotar cuando la mezcla de concreto está en estado fresco, lo que genera una superficie rugosa.

10.5 RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESION.

En base a la Norma Técnica Colombiana, NTC 673 se realizó el ensayo de compresión a las edades de 7 y 28 días, edades en las cuales se fragua las reacciones químicas más importantes que dan origen al gel de tobermorita + hidróxido de hierro, siendo esta reacción el primer compuesto aglomerante, aportando fuerza atractiva entre las partículas, porque los átomos en cada superficie tratan de complementar sus enlaces insaturados por medio de la absorción” (Merritt, 2008)

Los cilindros empleados fueron de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto; este ensayo consisten en aplicar una carga axial y la resistencia máxima alcanza por el espécimen dividido por el área de la sección transversal del espécimen de 78.53 cm^2 .

El valor registrado por la máquina de compresión, se somete a un cambio de unidades para así poder obtener el valor en MPa.

$$\text{FUERZA} = 1 \text{ KN} * \frac{1000N}{1 \text{ KN}} * \frac{0.1020 \text{ KG}}{1N}$$

ECUACIÓN (18)

$$\text{AREA} = \frac{\pi(\text{diametro})^2}{4}$$

ECUACIÓN (19)

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{fuerza}}{\text{Area}}$$

ECUACIÓN (20)

10.5.1 RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESION 7 DIAS.

Mezcla Normal			
	KN	kg/cm ²	MPa
Espécimen 1	247,8	321,82	32,18
Espécimen 2	207,7	269,74	26,97
Espécimen 3	200,8	260,78	26,08
Espécimen 4	193,5	251,30	25,13
Espécimen 5	201,0	261,04	26,10
Espécimen 6	216,3	280,91	28,09
Espécimen 7	Valor errado		
PROMEDIO	181,01	235,08	23,51

Tabla 24. Ensayo de Compresión Mezcla Normal Edad 7 días.

Mezcla al 2% Polietileno Reticulado			
	KN	kg/cm ²	MPa
Espécimen 1	211,10	274,16	27,42
Espécimen 2	242,60	315,07	31,51
Espécimen 3	202,30	262,73	26,27
Espécimen 4	271,10	352,08	35,21
Espécimen 5	212,70	276,23	27,62
Espécimen 6	215,00	279,22	27,92
Espécimen 7	Valor errado		
PROMEDIO	193,54	251,35	25,14

Tabla 25. Ensayo de Compresión Mezcla con Reemplazo 2% de Agregado Grueso Edad 7 Días.

Mezcla al 4% Polietileno Reticulado			
	KN	kg/cm ²	MPa
Espécimen 1	113,50	147,40	14,74
Espécimen 2	115,80	150,39	15,04
Espécimen 3	111,00	144,16	14,42
Espécimen 4	150,50	195,46	19,55
Espécimen 5	124,90	162,21	16,22
Espécimen 6	133,10	172,86	17,29
Espécimen 7	178,00	231,17	23,12
PROMEDIO	132,40	171,95	17,19

**Tabla 26. Ensayo de Compresión Mezcla con Reemplazo 4% de Agregado
Grueso edad 7 días.**

Mezcla al 6% Polietileno Reticulado			
	KN	kg/cm ²	MPa
Espécimen 1	74,00	96,10	9,61
Espécimen 2	79,50	103,25	10,32
Espécimen 3	79,00	102,60	10,26
Espécimen 4	78,80	102,34	10,23
Espécimen 5	84,20	109,35	10,94
Espécimen 6	85,50	111,04	11,10
Espécimen 7	83,70	108,70	10,87
PROMEDIO	80,67	104,77	10,48

**Tabla 27. Ensayo de Compresión Mezcla con Reemplazo 6% de Agregado
Grueso edad 7 días.**

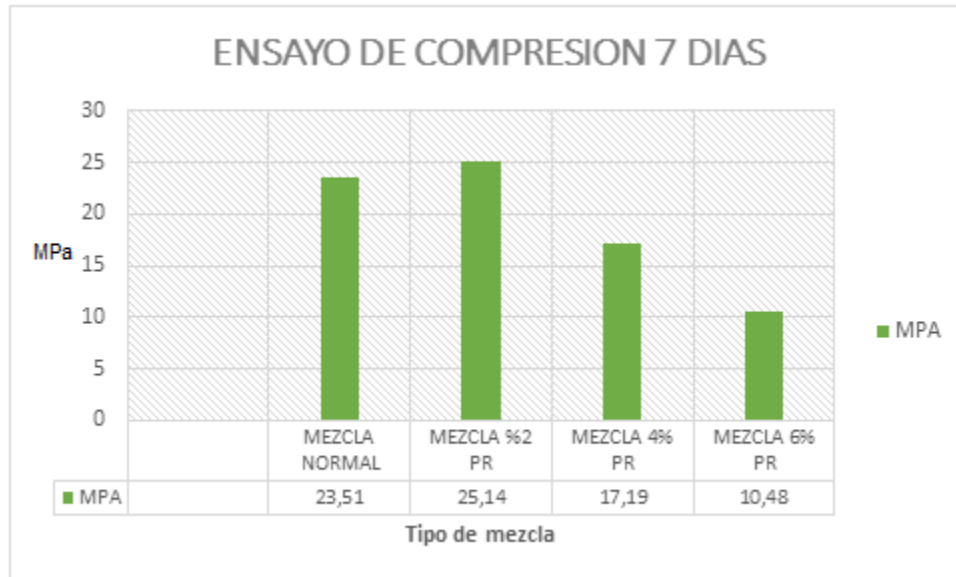


Imagen 19: Resultados Compresión 7 días, PR "Polietileno Reticulado"

Fuente Propia



Imagen 20: Ensayo de Compresión.

Fuente Propia

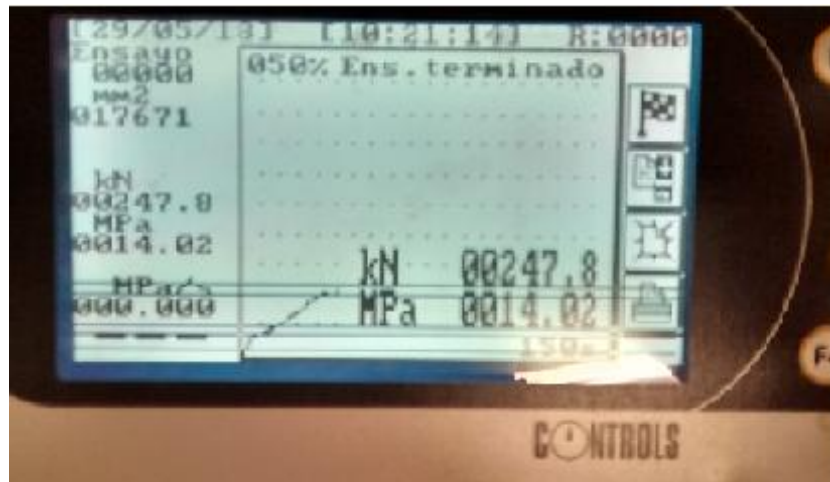


Imagen 21: Lectura Máquina de Compresión Espécimen Mezcla Normal

Fuente Propia



Imagen 22: Lectura Máquina de Compresión Espécimen Mezcla 4% Polietileno

Reticulado

Fuente Propia

10.5.2 RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESION 28 DIAS

Mezcla Normal			
	KN	kg/cm ²	MPa
Espécimen 1	279,90	363,51	36,35
Espécimen 2	199,70	259,35	25,94
Espécimen 3	289,80	376,36	37,64
Espécimen 4	284,30	369,22	36,92
Espécimen 5	249,10	323,51	32,35
Espécimen 6	292,50	379,87	37,99
Espécimen 7	239,80	311,43	31,14
PROMEDIO	262,16	340,46	34,05

Tabla 28. Ensayo de Compresión Mezcla Normal Edad 28 días.

Mezcla al 2% Polietileno Reticulado			
	KN	kg/cm ²	MPa
Espécimen 1	281,80	365,97	36,60
Espécimen 2	302,50	392,86	39,29
Espécimen 3	289,70	376,23	37,62
Espécimen 4	287,50	373,38	37,34
Espécimen 5	301,60	391,69	39,17
Espécimen 6	287,30	373,12	37,31
Espécimen 7	300,00	389,61	38,96
PROMEDIO	292,91	380,41	38,04

Tabla 29. Ensayo de Compresión Mezcla con Reemplazo del 2% del Agregado Grueso Edad 28 Días

Mezcla al 4% Polietileno Reticulado			
	KN	kg/cm ²	MPa
Espécimen 1	159,60	207,27	20,73
Espécimen 2	160,90	208,96	20,90
Espécimen 3	126,60	164,42	16,44
Espécimen 4	155,00	201,30	20,13
Espécimen 5	166,30	215,97	21,60
Espécimen 6	152,00	197,40	19,74
Espécimen 7	155,80	202,34	20,23
PROMEDIO	153,74	199,67	19,97

**Tabla 30. Ensayo de Compresión Mezcla con Reemplazo del 4% del Agregado
Grueso Edad 28 Días**

Mezcla al 6% Polietileno Reticulado			
	KN	kg/cm ²	MPa
Espécimen 1	87,60	113,77	11,38
Espécimen 2	103,40	134,29	13,43
Espécimen 3	103,20	134,03	13,40
Espécimen 4	105,70	137,27	13,73
Espécimen 5	103,00	133,77	13,38
Espécimen 6	101,70	132,08	13,21
Espécimen 7	100,80	130,91	13,09
PROMEDIO	100,77	130,87	13,09

**Tabla 31. Ensayo de Compresión Mezcla con Reemplazo del 6% del Agregado
Grueso Edad 28 Días**

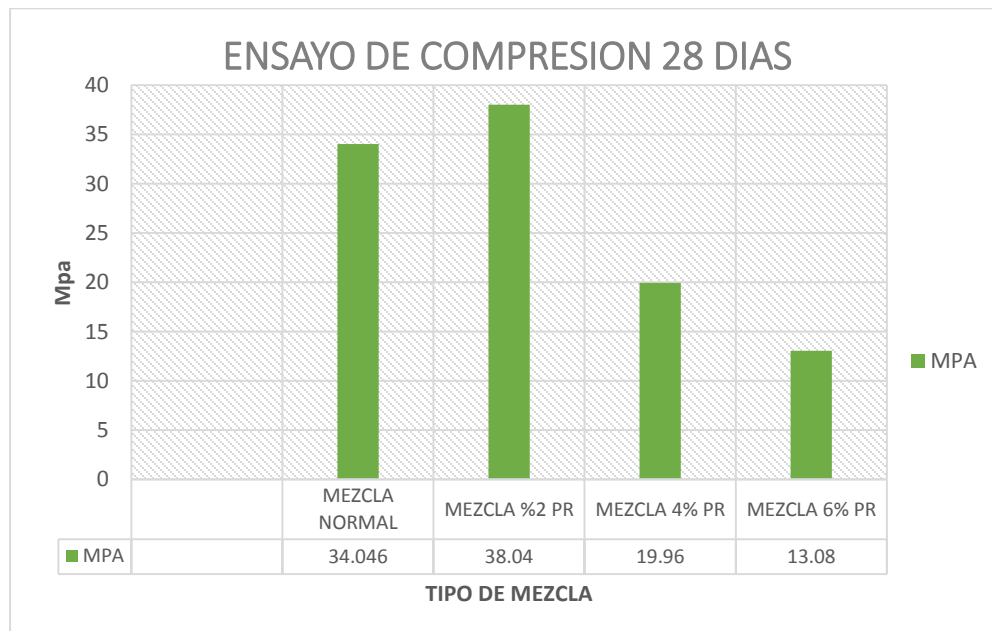


Imagen 23: Resultados Compresión 28 días, PR”Polietileno Reticulado”

Fuente Propia



Imagen 24: Lectura Máquina de Compresión 28 Días Especímenes Mezcla al 2%.

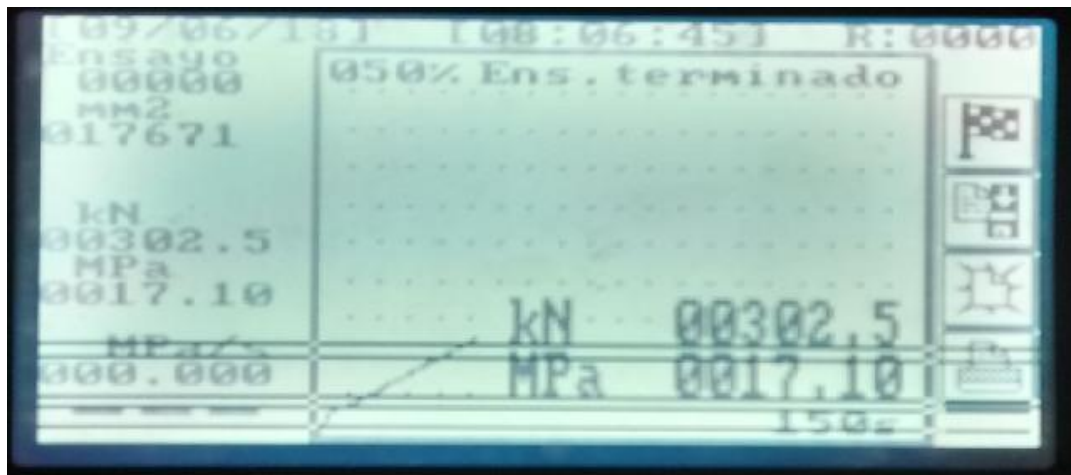


Imagen 25: Lectura Máquina de Compresión 28 Días Especímenes Mezcla al 2%.

10.6 RESULTADOS ENSAYO DE FLEXION.

Se realiza este ensayo bajo la especificación INVIAS, para determinar el resultado del ensayo se aplica la siguiente formula. (INV E 414, 2013)



Imagen 26: Ensayo de Flexión.

Debido a que la falla en las vigas se presentó dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calcula aplicando la siguiente formula.

$$R = \frac{P l}{b d^2}$$

ECUACION 21.

R= MODULO DE ROTURA kg/ cm²

P= máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo kg

L= Longitud libre entre apoyos cm

b= Ancho promedio entre apoyos cm

d= Altura promedio de la muestra cm

ENSAYO DE FLEXION 28 DIAS				
TIPO DE MEZCLA	KN	PROMEDIO	kg	R (kg/cm ²)
Normal	30,591 31,952	31,2715	3189,693	42,529
Mezcla al 2% PR	33,855 35,859	34,857	3555,414	47,406
Mezcla al 4% PR	25,193 27,353	26,273	2679,846	35,731
Mezcla al 6% PR	21,436 20,63	21,033	2145,366	28,605

LONG ENTRE APOYOS 45 cm
 ANCHO 15 cm
 ALTURA 15 cm

Tabla 32. Ensayo de Flexión Vigas, Edad 28 Días.

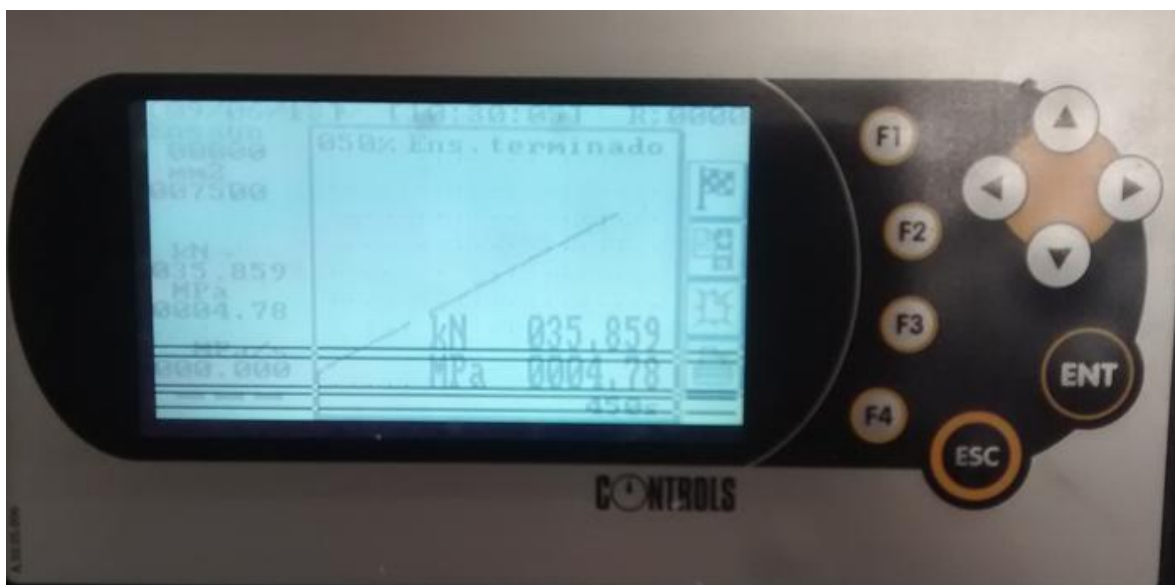


Imagen 27: Lectura Ensayo de Flexión Viga al 2% de Polietileno Reticulado.

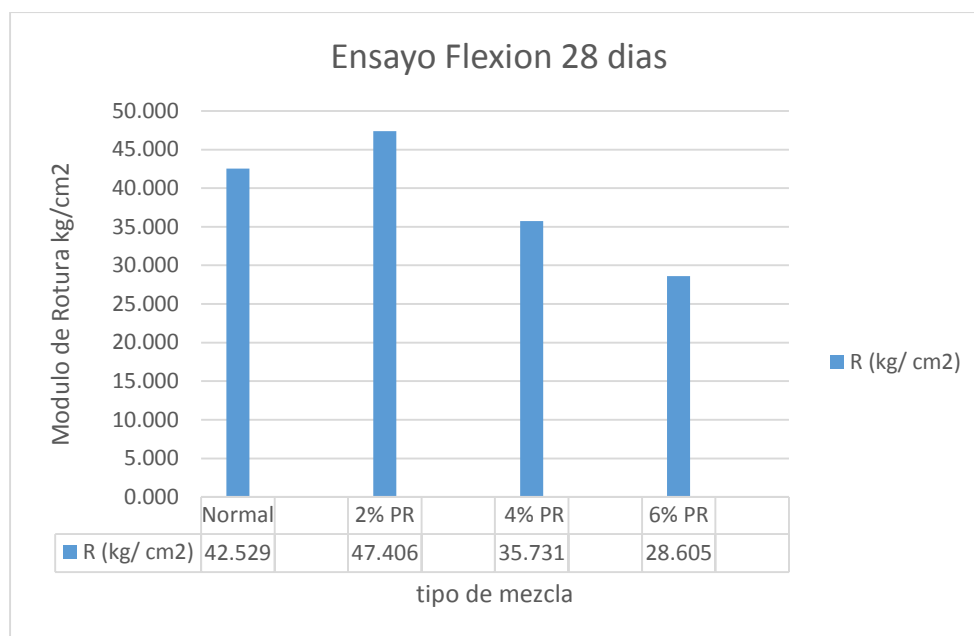


Imagen 28: Resultados Ensayo de Flexión Vigas a Edad 28 Días.

10.7 RESULTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD

Este ensayo se realizó bajo las especificaciones técnicas INVIAS con la implementación de especímenes cilíndricos de diámetro 15 cm y altura de 30 cm los cuales tuvieron una edad de 28 días, la aplicación de este método de ensayo proporciona un valor de la relación de esfuerzo deformación unitaria para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado establecidas. (INV E 424-13, 2013).

El proceso de ejecución de este ensayo es: Primero realizar el alistamiento de los cilindros que consiste en refrentarlos para así garantizar la aplicación de una carga uniforme sobre la superficie de los especímenes, luego se instalan los dos anillos con sus correspondientes diales de lectura de deformación, como segundo paso es la aplica una carga correspondiente al 40% de la carga total alcanzada en los ensayos de compresión, debido a que este es un ensayo de no destrucción y por último la toma de datos.

Para tener unos datos manejables, se realizó una tabla en donde se consignan las lecturas de la máquina de 10 en 10 reduciendo así la cantidad de datos a manejar, ya que por cada ensayo fácilmente se obtenían de 220 a 360 datos.



Imagen 29: Ensayo de Módulo de Elasticidad en Máquina Universal.

AREA DE LOS CILINDROS 17671,45868 mm²
DIST.ANILLOS 150 mm

CARGA (KN)	DEFORMACION mm	ESFUERZO MPa	DEFORMACION UNIT
0	0	0,000	0,00000
10	0,003	0,566	0,00000
20	0,0065	1,132	0,00000
30	0,01	1,716	0,0001
40	0,013	2,264	0,0001
51	0,017	2,867	0,0001
61	0,02	3,433	0,0001
71	0,024	3,999	0,0002
81	0,027	4,578	0,0002
91	0,031	5,149	0,0002
101	0,034	5,693	0,0002
110	0,0385	6,244	0,0003
120	0,0425	6,809	0,0003
131	0,047	7,394	0,0003
141	0,051	7,960	0,0003
151	0,055	8,564	0,0004
160	0,059	9,073	0,0004
164	0,0615	9,299	0,0004

Tabla 33. Ensayo de Módulo de Elasticidad Cilindro Mezcla Normal.

Empleando la ecuación NRS-10 sección C-8.5 Modulo de Elasticidad, específicamente en los comentarios de la sección C-8.5.1 para el cálculo del módulo de elasticidad tenemos.

$$E_c = 3900\sqrt{f'_c} \text{ en MPa}$$

$$E_c = 22756.1 \text{ MPa}$$

De manera experimental, se obtiene este con la implementación de la ecuación según INV-E 424-13.

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

Donde,

E= Modulo cuerda de elasticidad, MPa

S₂=Esfuerzo, correspondiente al 40% de la carga ultima en MPa

S₁=Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de 50 millonésima

ε₂ = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S₂

$$E = 21668.6 \text{ MPa.}$$

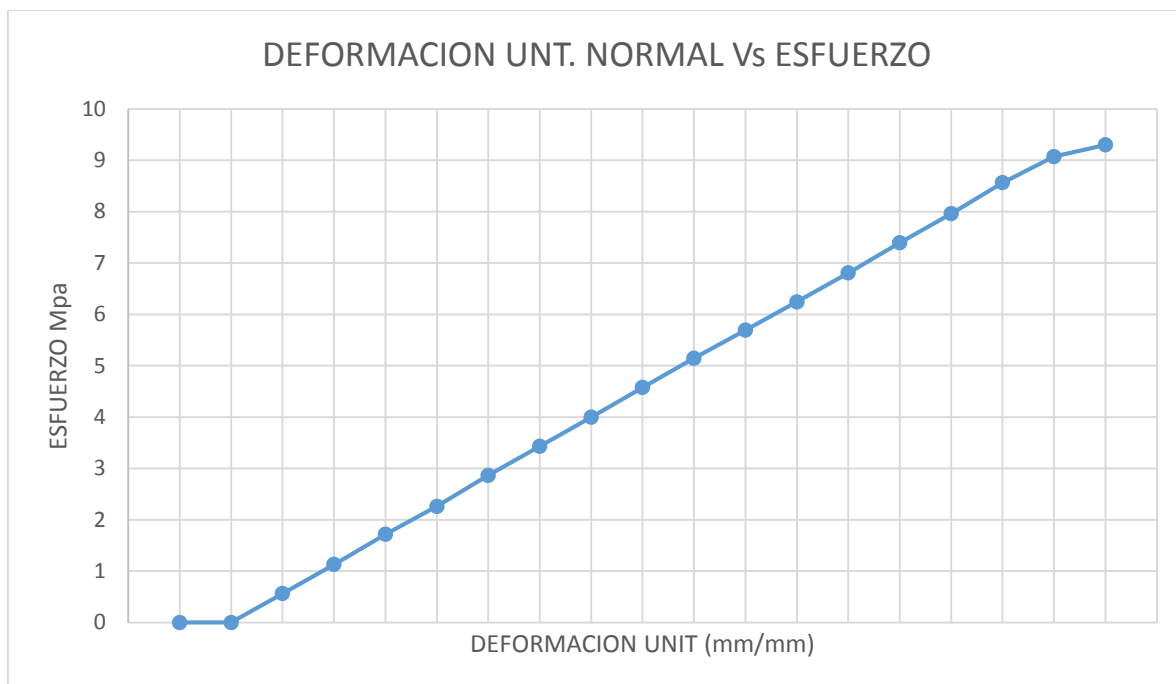


Imagen 30: Diagrama de Modulo de Elasticidad Mezcla Normal.

CARGA (KN)	DEFORMACION mm	ESFUERZO MPA	DEFORMACION UNIT
0.667	0,0000	0,000	0,00000
1	0,0000	0,057	0,00000
10	0,0015	0,566	0,00000
20	0,0035	1,132	0,00000
30	0,0060	1,698	0,00000
40	0,0085	2,264	0,0001
50	0,0105	2,829	0,0001
60	0,0130	3,390	0,0001
70	0,0155	3,956	0,0001
80	0,0185	4,504	0,0001
90	0,0215	5,070	0,0001
100	0,0245	5,653	0,0002
110	0,0280	6,225	0,0002
120	0,0310	6,791	0,0002
130	0,0340	7,356	0,0002
140	0,0375	7,922	0,0003
151	0,0405	8,545	0,0003
160	0,0440	9,054	0,0003
170	0,0475	9,620	0,0003

180	0,0510	10,186	0,0003
191	0,0555	10,808	0,0004
200	0,0590	11,318	0,0004
210	0,0630	11,884	0,0004
227	0,0690	12,846	0,0005

Tabla 34. Ensayo de Modulo de Elasticidad Cilindro Mezcla al 2%

Empleando la ecuación de la NSr-10 sección C-8.5 Modulo de Elasticidad, específicamente en los comentarios de la sección C-8.5.1 para el cálculo del módulo de elasticidad tenemos.

$$E_c = 3900\sqrt{f'_c} \text{ en MPa}$$

$$E_c = 24053.7 \text{ MPa}$$

De manera experimental, se obtiene este con la implementación de la ecuación según INV-E 424-13.

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

Donde,

E= Modulo cuerda de elasticidad, MPa

S₂=Esfuerzo, correspondiente al 40% de la carga ultima en MPa

S₁=Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de 50 millonésima

ε₂ = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S₂

$$E = 23515.5 \text{ MPa.}$$

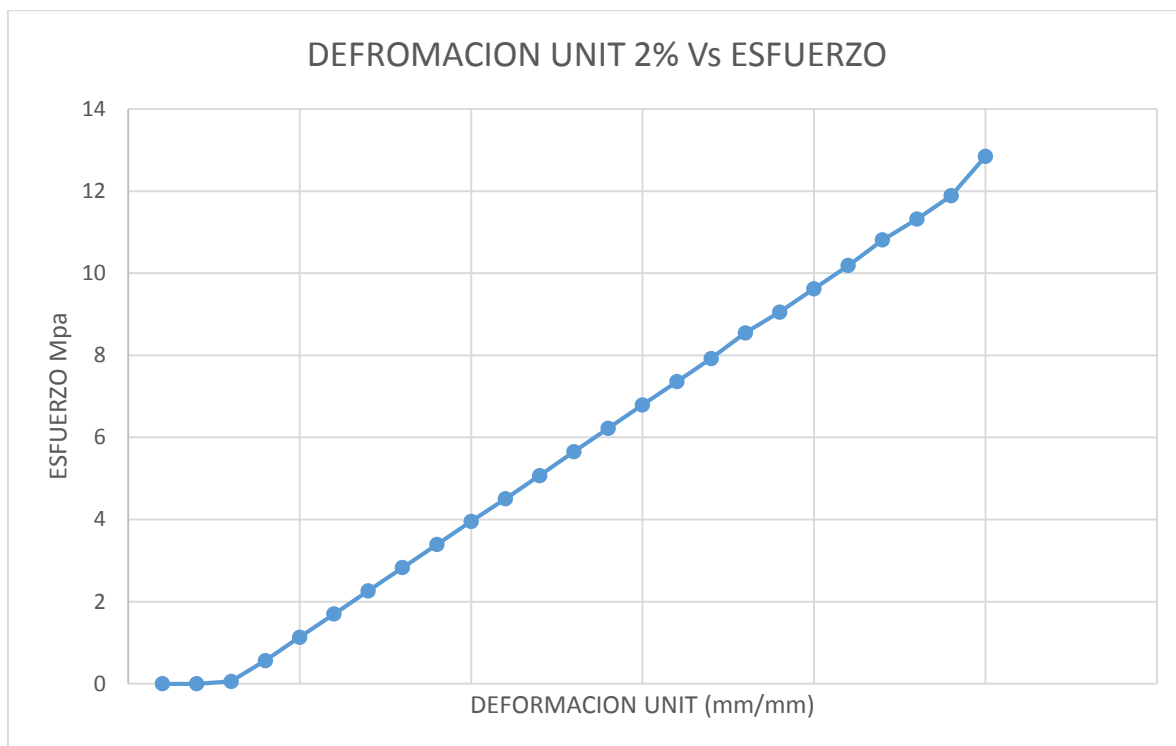


Imagen 31: Diagrama de Modulo de Elasticidad Mezcla 2%

CARGA (KN)	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFROMACION UNIT
0	0	0,000	0,00000
1	0,0005	0,057	0,00000
10	0,004	0,566	0,00000
20	0,0075	1,132	0,00001
30	0,011	1,698	0,00001
40	0,015	2,264	0,00001
50	0,019	2,829	0,00001
60	0,024	3,395	0,00002
71	0,028	3,999	0,00002
80	0,032	4,527	0,00002
90	0,036	5,112	0,00002
93	0,038	5,243	0,00003

Tabla 35. Ensayo de Módulo de Elasticidad Cilindro Mezcla 4%

Empleando la ecuación NRS-10 sección C-8.5 para el cálculo del módulo de elasticidad tenemos

$$E_c = 3900\sqrt{f'_c} \text{ en MPa}$$

$$E_c = 17423.9 \text{ MPa}$$

De manera experimental, se obtiene este con la implementación de la ecuación según INV-E 424-13.

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

Donde,

E= Modulo cuerda de elasticidad, MPa

S₂=Esfuerzo, correspondiente al 40% de la carga ultima en MPa

S₁=Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de 50 millonésima

ε₂ = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S₂

$$E = 16444 \text{ MPa.}$$

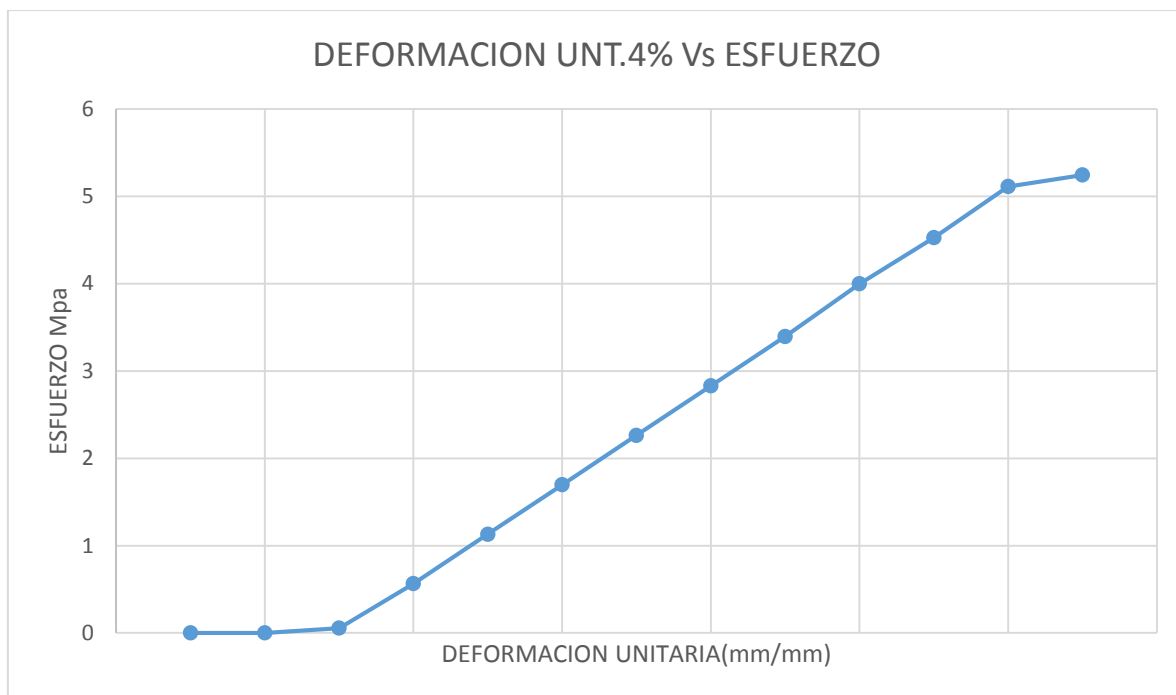


Imagen 32: Diagrama de Modulo de Elasticidad Mezcla 4%

CARGA (KN)	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION UNIT
0	0	0,000	0,00000
10	0,003	0,566	0,00000
20	0,0065	1,150	0,00000
30	0,01	1,716	0,0001
40	0,0145	2,282	0,0001
50	0,018	2,848	0,0001
60	0,0225	3,395	0,0002
68	0,0255	3,829	0,0002

Tabla 36. Ensayo de Modulo de Elasticidad Cilindro Mezcla 6%

Empleando la ecuación NRS-10 sección C- 8.5 para el cálculo del módulo de elasticidad tenemos

$$E_c = 3900\sqrt{f'_c} \text{ en MPa}$$

$$E_c = 14104.6 \text{ MPa}$$

De manera experimental, se obtiene este con la implementación de la ecuación según INV-E 424-13.

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

Donde,

E= Modulo cuerda de elasticidad, MPa

S₂=Esfuerzo, correspondiente al 40% de la carga ultima en MPa

S₁=Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de 50 millonésima

ε₂ = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S₂

$$E = 14086.667 \text{ MPa.}$$

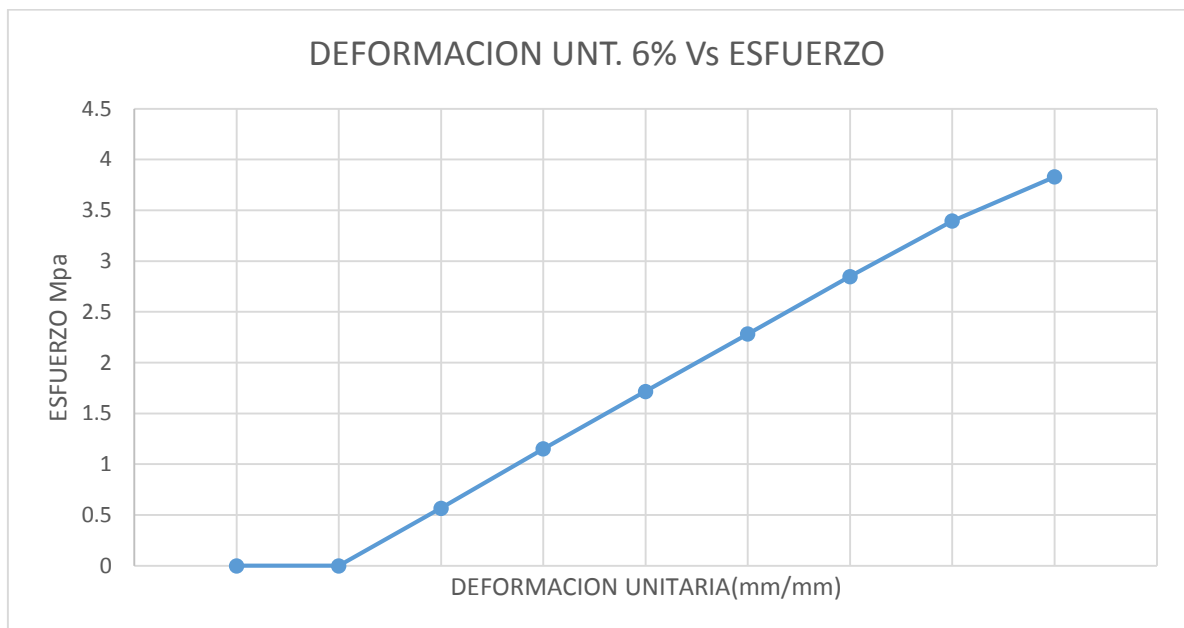


Imagen 33: Diagrama de Modulo de Elasticidad Mezcla al 6%

11. ANALISIS DE RESULTADOS.

Resultado con respecto a la caracterización del Polietileno reticulado reutilizado extruido.

- El Polietileno Reticulado reutilizado Extruido, presenta alto contenido de Carbono, adicionalmente está compuesto por Potasio en un 3% aproximadamente y Oxígeno en un 20% aproximadamente, siendo este un material de alta resistencia y que al ser incluido dentro del Concreto no generara la formación de microorganismos, debido a que su aporte a la mezcla es en mayor medida de Carbono un 70%. Adicional a su composición química es un material que presenta baja absorción de agua y baja densidad, criterios que influyen en la cantidad de agua requerida para la mezcla de Concreto y el aligeramiento en el Concreto respectivamente.

Resultado con respecto a la comparación del ensayo de compresión efectuados a la mejor dosificación alternativa, 2% de Polietileno reticulado con la mezcla normal de concreto.

- La implementación del Polietileno Reticulado reutilizado Extruido, producto del encauchetado del cable eléctrico como sustituto parcial del agregado grueso al 2% de la dosificación tradicional para la conformación del Concreto, es la de mejor rendimiento aportó un incremento de 4 MPa teniendo como valor final 38.04 MPa que equivale a 5570 psi; posee un 12% adicional a la resistencia registra por la mezcla patrón que fue de 34.05 MPa que equivale a 4939 psi, siendo esta mezcla alternativa viable debido a la reducción en costos y excelente comportamiento durante esfuerzos a compresión.

Resultado con respecto a la comparación de los ensayos de flexión y Modulo de elasticidad efectuados a la mejor dosificación alternativa, 2% de Polietileno reticulado con la mezcla normal de concreto.

- Al someter los especímenes al ensayo de flexión, verificando el lugar de la falla generada por la aplicación de la fuerza sobre la viga, la cual fue a un tercio de la distancia libre entre apoyos; obtuvimos el valor de Modulo de Rotura en kg/cm^2 "R"

de 47,406 kg/cm² con la mezcla de Concreto con inclusión de 2% de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido manteniendo el incremento observado durante los ensayos de compresión de un 12% de mayor resistencia en comparación con la mezcla tradicional, ya que está conto con un módulo de rotura de 42,529 kg/cm².

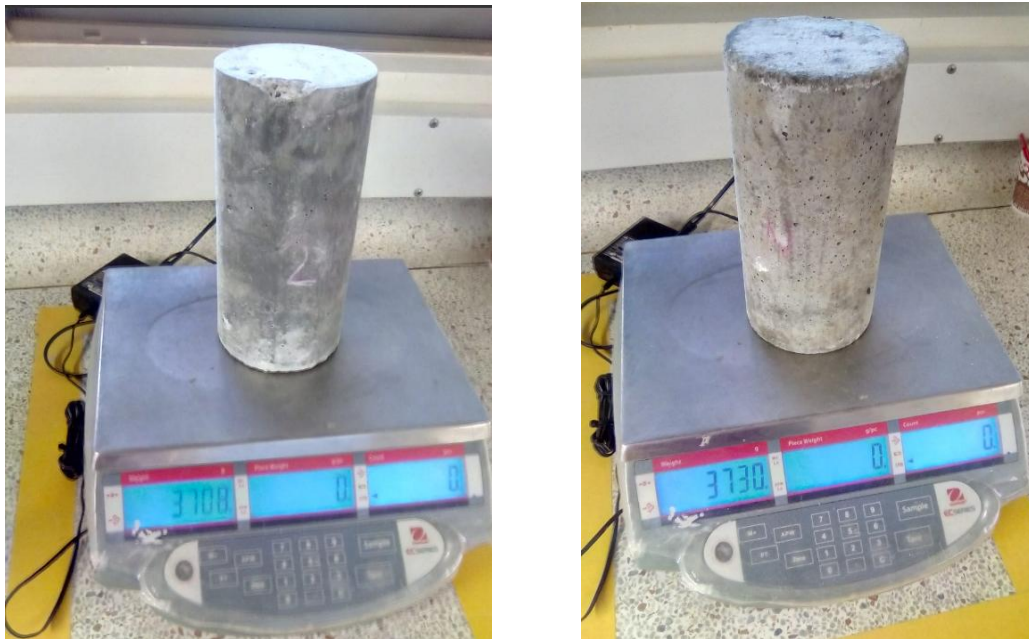
- Como último resultado tenemos el Modulo de Elasticidad, este ensayo se realizó con especímenes de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto sometidos en la maquina Universal con la instalación de los diales a una distancia de 150 mm para su lectura de deformación, teniendo como resultado que los especímenes con la mezcla de 2% de adición de Polietileno Reticulado reciclado Extruido, presento un módulo de elasticidad de 24053.7 MPa y experimentalmente de 23515.5 MPa teniendo un porcentaje de error de 2.22%; en comparación de la mezcla normal que fue de 22756.1 MPa y experimentalmente 21668.6 MPa con un porcentaje de error de 5%. Las diferencias entre los valores experimentales y teóricos no son altas debido a que se empleó una ecuación general en la que se generaliza el tipo de agregado empleado, y adicional a esto los porcentajes de sustitución del agregado tradicional por el agregado desarrollado son en porcentajes bajos, lo que hace que la influencia en el cálculo del módulo de elasticidad no difiera en gran medida.

Por esta razón se cree que los porcentajes de error son mínimos, sin embargo, se deja abierta a otros análisis para poder tener completa certeza, ya que es un material innovador el cual requiere de otros estudios para conocer las demás propiedades de este.

12. CONCLUSIONES.

- La inclusión de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido, en reemplazo parcial del agregado grueso al 2%, presenta el mejor comportamiento mecánico en las pruebas de Compresión, Flexión y Modulo de Elasticidad, superando la resistencia de la mezcla tradicional con la totalidad del agregado grueso producto de lechos de ríos y canteras.

El Concreto con 2% de Polietileno es un concreto que cumple las especificaciones para ser empleado en elementos estructurales y posee una ligera disminución en su peso comparado con la conformación normal.



**Imagen 34: Peso de Especímenes,
Mezcla al 2% de Polietileno Reticulado (Izq.) y Mezcla Patrón.**

Con relación a la comparación de mezclas concluimos:

- La mezcla de Concreto con Polietileno al 4% de sustitución del agregado grueso presenta una resistencia a los 28 días de 19.96 MPa lo que equivale a 2895 psi siendo una resistencia aceptable para ser empleada en elementos estructurales,

pero no es la más óptima, ya que con la del 2% de Polietileno se tiene una resistencia de 5570 psi.

Con base a los resultados de los ensayos planteados en este proyecto, al aumentar la adición de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido la resistencia empieza a descender, debido a que la granulometría del Polietileno es simétrica quedando en el tamiz #4 la mayoría del material y la resistencia a esfuerzos es menor por el área existente de 5 mm del Polímero, lo cual no disipa las cargas mecánicas efectivamente, este material al 4% y 6% de sustitución del agregado grueso tradicional genera segregación en el concreto debido a su baja densidad quedando expuesto en la parte superior de los especímenes una vez endurecido el concreto y debido a su baja absorción de agua, hace que genere exudación durante el proceso de mezclado de la pasta de concreto por la falta de absorción de esta, traduciéndose en baja resistencia de la mezcla al llegar a las edades de ensayo de 7 y 28 días.

- El resultado obtenido de módulo de rotura de la mezcla de 2% de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido lo hace apto para ser empleado en pavimentos rígidos, debido a sus cualidades presenta mayor resistencia al impacto, la tracción y rotura debido a que posee una red tridimensional formada por la unión de diferentes cadenas poliméricas las cuales aportan rigidez al material, aportando mayor resistencia mecánica a la mezcla de Concreto.
- La mezcla del 6% con inclusión de Polietileno Reticulado puede ser empleado como Concreto arquitectónico de uso no estructural debido a que la resistencia a los 28 días fue de 13.9 MPa, 2017 Psi. Debido a que posee un mayor contenido de Polímero puede considerarse como Concreto aislante sonoro, debido a que su estructura celular es cerrada evitando así la propagación de las ondas sonoras. (Giron, 2005) , lo anterior se concluye por la investigación de Iván Girón de la Universidad de Guatemala.

Con respecto a la caracterización del Polietileno reticulado concluimos:

➤ Por medio del ensayo SEM efectuado a las mezclas de Concreto tradicional y con adición de 2% de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido se modifican las cantidades mineralógicas de las mezclas de concreto tradicional, se creería que el carbono podría ayudar a desarrollar una mayor resistencia, para poder estar totalmente seguros de los aportes de este mineral a la mezcla se requiere de otros ensayos entre ellos químicos, los cuales quedan sujetos a futuras investigaciones.

Mineralogía Concreto Mezcla Patrón, conformación Tradicional	
minerales	% masa presente en la mezcla
CARBONO	8,73
OXIGENO	43,7
MAGNESIO	0,89
SILICE	7,05
CALCIO	32,08
TUNGSTENO	4,78
ALUMINIO	1,3
SODIO	0,67
IRON	0,8
total	100

Tabla 37 .Mineralogía Concreto Mezcla Patrón

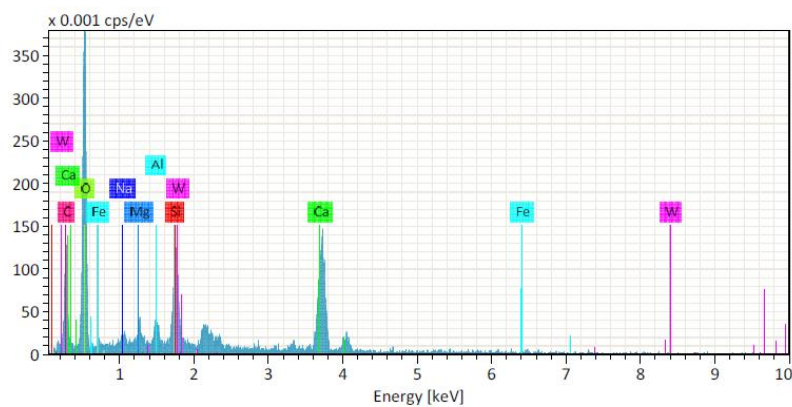
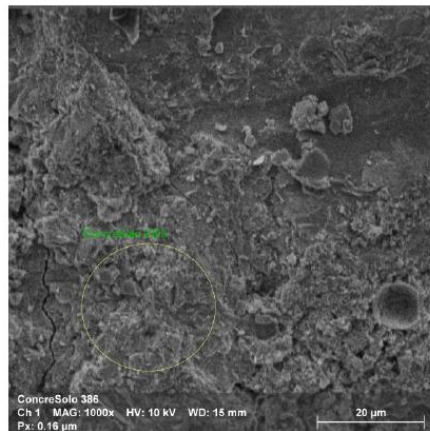


Imagen 35: Ensayo (SEM) Concreto Mezcla Patrón

Mineralogía Concreto Mezcla 2% con Polietileno Reticulado	
minerales	% masa presente en la mezcla
CARBONO	10,05
OXIGENO	43,98
MAGNESIO	0,42
SILICE	7,21
CALCIO	29,21
TUSTENO	4,8
ALUMINIO	2,32
SODIO	0,33
IRON	1,08
POTASIO	0,62
total	100,02

Tabla 38.Minerologia Concreto Mezcla con Adición de 2% Polietileno Reticulado

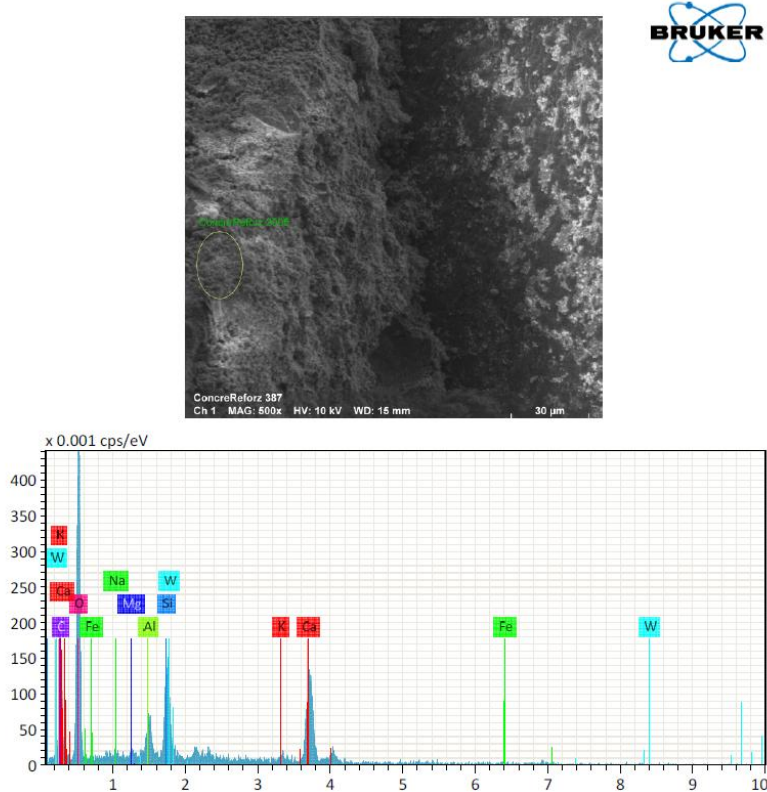


Imagen 36: Ensayo (SEM) Concreto Mezcla 2% Polietileno Reticulado Reutilizado Extruido.

Con relación al análisis de costos para la elaboración de un m³ se concluimos:

- La mezcla con 2% de Polietileno Reticulado reutilizado Extruido tuvo el mejor rendimientos en los ensayos efectuados en este proyecto, para cumplir con el último objetivo específico se realizara la comparación en los precios de esta mezcla Vs la tradicional.

COSTOS DE LA FABRICACION DE UN METRO CUBICO DE CONCRETO			
		MEZCLA TRADICIONAL	MEZCLA 2% POLIETILENO RETICULADO
MATERIAL	VALOR X KG	CANTD KG	CANTD KG
CEMENTO	430	411	411
AGREGADO FINO	120	1060	1060
AGREGADO GRUESO	180	688	654
POLIETILENO RETICULADO	60	--	14
Costo del Metro Cubico		\$ 427.770,00	\$ 422.490,00
Diferencia		\$ 5.280,00	

Tabla 39.Comparacion Costos del Metro Cubico Mezcla Tradicional Vs Mezcla Alternativa 2%

El valor que se ahorra con la implementación de la mezcla de 2% con Polietileno Reticulado es de \$5.280, adicional al beneficio del ahorro en costos se tiene una mejor resistencia y se está preservando los recursos naturales existentes.

13. Referencias Bibliográficas

- ACI 308 R, C. (2001). *Guide to Curing Concrete*. Detroit: American Concrete Institute.
- Arana, M. A. (2016). *el concreto, material fundamental para la infraestructura* . mexico: Centro de Innovacion Tecnologica para la contruccion (CiTec) Holcim Mexico.
- Bolivar, G. O. (2004). *Diseño de Mezcla de Hormigon Metodos Empiricos y Analiticos*. Medellin : Universidad Nacional de Colombia.
- Carreño, D. (2015). *Aprovechamiento de Residuos Industriales para el Aligeramiento del Concreto, Proyecto de Grado*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Cipriano, L. (06 de Junio de 2018). *Blog 360 en concreto*. Obtenido de 360 en concreto: <http://blog.360gradosenconcreto.com/modulo-elastico-factores-influyen-resultado-evaluacion-materias-primas-importancia-del-agregado-grueso/>
- DANE, D. A. (2018). *Estadististica del concreto premezclado -EC-*. Bogota: DANE.
- Delgado, A. E. (2015). Evaluacion de las propiedades mecanicas de materiales compuestos elaborados a partir de cenizas volantes y polimeros reciclados. *Revista Ingenierias Universidad de Medellin , Volumen 14*, 79-92.
- Diaz, F. (2010). *Aprovechamiento de escombros como agregados no combencionales en mezclas de concreto, Proyecto de Grado*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana .
- Electricas, A. d. (1982). *La Ceniza Volante y sus aplicaciones* . Madrid.
- Giron, I. E. (2005). *Estudio de las Propiedades y Aplicaciones Industriales del Polietileno de Alta Densidad*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Ingeneira Quimica .

- Gonzalez, B. E. (2012). *Comparacion modulo de elasticidad de concreto normal, con el ensayo de compresion y el ensayo de flexion* . Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Guzman, S. D. (2001). *Tecnologia del Concreto y el Mortero*. Bogota: Bhandar Editores.
- Guzman, S. D. (2001). Tecnologia del concreto. En D. S. Guzman, *Tecnologia del concreto* (págs. 45-107). Bogota, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Hernandez Niño, J. R. (2010). *Tecnologia del Concreto pag 19*. Bogota: ASOCRETO.
- Hernandez, J. R. (2010). *Tecnologia del Concreto Materiales, Propiedades y Diseño de Mezcla* . Bogota, Colombia: Asocreto.
- Hernandez, J. R. (2010). *Tecnologia del Concreto, Materiales, Propiedades y Diseño de Mezcla*. Bogota: Asocreto.
- Hurtado, W. E. (2017). *Utilizacion de Escombros o Desperdicios de Obra para la Elaboracion de Materiales de Construcción Caso Edificio Cattleya, Proyecto de Grado* . Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- INV E 414, E. T. (2013). *RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO*. Bogota: INVIAS.
- INV E 424-13, E. T. (2013). *Modulo de Elasticidad y relacion de Poisson del Concreto a Compresion* . Bogota: Invias.
- INV-E 217-13, E. T. (2013). *Densidad de Bulk(peso unitario) y porcentaje de Vacios de los Agregados Compactados y Suelos*. Bogota: Instituto Nacional de Vías.
- INV-E 223-13, E. T. (2013). *Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Grueso*. Bogota: Instituto Nacional de Vías.

- Juan, R. (2010). *Análisis de la Resistencia a la Compresión del Concreto al Adicionar Limalla Fina en un 3%,4%,5%*, Proyecto de Grado. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Katty, P. M. (2010). *Diseño de Mezcla de Concreto Utilizando Residuos Industriales y Escombros*, Proyecto de Grado . Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Merritt, F. S. (2008). *Manual del ingeniero* . Columbia : McGraw Hill.
- NRS 10, N. S. (2010). *Titulo C, concreto estructural*. Bogota: Republica de Colombia.
- NTC 1377, N. T. (1994). *Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio*. Bogota: ICONTEC.
- NTC 550, N. T. (2000). *Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra*. Bogota: Norma Técnica Colombiana .
- NTC 673, N. T. (2010). *Concreto. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Bogota: Norma Técnica Colombiana.
- Pelaez, G. J. (2016). *Application of Recycled Rubber a Literature Review*. EBSCO HOST.
- Perez, L. (2015). *Notas de Clase Materiales de Construcción* . Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana .
- Quesada, N. M. (2014). *Estudios Exploratorios en Diseños de Concreto Livianos para HOLCIM (Costa Rica)*. Costa Rica: EBSCO HOST.
- Rivera L, G. (2016). *Concreto Simple*. p 68. Cauca: Universidad del Cauca.
- Rivera, G. A. (2016). *Dosificación de Mezcla de Concreto*. Cauca: Universidad del Cauca.
- Rojas, I. (2008). *Ingeniero Químico*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. .

- Salas, J. (1981). *Agregados Para el Concreto y su Control* pag 33. Caracas : Venezolana de Productores de Cemento.
- Sandino, A. (1984). *Tecnologia del Hormigon* pag 276. Bogota: Asociacion de Ingenieros Civiles de la Universidad Nacional.
- Sarabina, A. (2017). Uso de Nutrientes Tecnologicos como Materia Prima en la Fabricacion de Materiales de Construcccion en el Paradigma de la Economia Circulante. *Revista Respuestas, Volumen 22*, 6-16.
- Torrado, L. M. (2015). *Apuntes Semillero de Investigacion* . Bucaramanga: Universidad Pontifica Bolivariana.
- Venuat, M. (1975). *Control y ensayos de cemento,morteros y hormigon* . Bilbao: URMO SA.
- Wentao, Z. (2010). *Using Recycled Concrete Aggregates in New Zealand Ready-Mix Concrete Production*. New Zelanda: EBSCO HOST.

14. RESPUESTAS A OBSERVACIONES.

Sugerencias efectuadas por el Ingeniero Ludwing Pérez.

- En solicitud con la modificación de la tabla de contenido, se realiza la simplificación en los capítulos de Análisis de Resultados y Conclusiones.
- El listado de ecuaciones lo contemplamos como valor agregado del trabajo final, el cual sirva a futuros colegas poder simplificar la búsqueda de ecuaciones requeridas para la elaboración del diseño de mezclas.
- Se modifican la preposición en a con página 19, para obtener como resultado de la redacción “Con base al planteamiento anterior”
- Se incluye en el Marco Teórico, al momento de citar los trabajos de investigaciones de colegas relacionadas con el tema, la aclaración de los resultados que se extrajeron en dichas investigaciones y que sirvieron de guía para la dirección de la investigación.
- Se realiza la modificación de todas las tablas, ecuaciones e imágenes para cumplir con la normativa ICONTEC NTC 1486 sección 5.2.2.4, anotación realizada por el Ingeniero Ludwing Pérez.
- Los resultados de los ensayos de masa unitaria suelta y compacta se aclara que se realizan bajo las Normas Técnicas Colombianas 237-176.
- Según sugerencia se cambian los tamaños de todas las imágenes para reducir el espacio ocupadas por estas.
- Corrección del nombre del cono de Abrams, citado en la página 80 en la frase, “Una vez llenado el cono de Abrams el cual está sujeto por los pies y el peso del cuerpo”
- Cambio de unidades en la imagen 19 denominada Resultados Compresión 7 días, PR “Polietileno Reticulado.
- Especificación al detalle del ensayo de Módulo de Elasticidad en la página 94, el cual se realizó de la siguiente manera:
El proceso de ejecución de este ensayo es: Primero realizar el alistamiento de los cilindros que consiste en refrentarlos para así garantizar la aplicación de una carga uniforme sobre la superficie de los especímenes, luego se instalan los dos anillos con sus correspondientes diales de lectura de deformación, como segundo paso se aplica una carga correspondiente al 40% de la carga total

alcanzada en los ensayos de compresión, debido a que este es un ensayo de no destrucción y por último la toma de datos.

- Se omite la conclusión, “bajo que norma o ensayo se asegura la reducción del nivel de agrietamiento en presencia de esfuerzos verticales de la mezcla de Polietileno Reticulado Reutilizado al 2%”, por no haberse realizado el ensayo correspondiente.
- Se procede al cambio de la palabra inferir por, con base a los resultados de los ensayos realizados. De esta manera se evita realizar inferencias y se concluye acerca de la experimentación alcanza en el desarrollo de está investigación.
- Para hablar de las propiedades del Polietileno Retícula, me apoye en la investigación realizada en el 2005 por el Ingeniero Iván Girón de la Universidad de Guatemala, quien es citado en la página 106 del presente libro quien expresa que este Polímero sirve como aislante acústico.
- La conclusión de resistencia al impacto del Polietileno Reticulado, se creería que es al alto contenido de carbón y su conformación molecular de varias cadenas de monómeros a las cuales se les denomina polímeros, adicional a esto el proceso de reticulación es la conformación de cadenas tridimensionales enlazadas entre sí que permite dar mayor capacidad a soportar esfuerzos. Se requiere de otros ensayos para así poder asegurarlo en su totalidad.
- Se modifica la ubicación de los conceptos del carbono dejando de estar en las conclusiones y ubicándose en la explicación del ensayo SEM pagina 66-65 capítulo 10.

Sugerencias efectuadas por el Ingeniero Elkin López.

- Se realiza la adición en la Introducción de un preámbulo de las fases de investigación, experimentación y de resultados con los capítulos que pertenecen a cada una de estas, se aprecia en las paginas 20-21.
- En el planteamiento de problema se enfatiza en las razones de la escogencia del Polietileno Reticulado, siendo una de ellas un termoplástico que en presencia de calor se puede moldear y no pierde sus propiedades mineralógicas, las cuales no se están aprovechando debido al no reciclaje de este.
- En la Justificación se sustenta la escogencia de este debido a su componente mineralógico que son el alto contenido de Carbón, adicionalmente la

presentación de este material reciclado permite la fácil dosificación de manera exacta.

- En la sección del Marco Teórico, por sugerencia del Ingeniero se incluye los diferentes métodos de Dosificación que se conocen para el diseño de mezcla, esta adición se realiza mediante la incorporación de una tabla para su comprensión y lectura.
- Se efectúa el cambio de toda la numeración de la sección 5.7 para de esta manera realizar la correcta agrupación en subniveles, indicado en las sugerencias realizadas.
- En el diseño de mezcla sección 7 se aclara la implementación de una metodología de Diseño experimental, basándome en el Instituto Americano del Concreto ACI 211.
- La justificación de la implementación de la fórmulas para determinar la resistencia del diseño de mezcla es basado en la NRS 10, Basándome en el Titulo C de la NRS sección C-5.3.2.2, que cita” cuando una instalación productora de concreto no tenga registro de ensayos de resistencia en obra para el cálculo de la desviación estándar, el $f'c$ debe determinarse de la tabla C-5.3.2.2”, escrita en la sección 7.1.4 denominada resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. (NRS 10, 2010)
- En la tabla 9 el valor obtenido es peso específico saturado superficialmente seco.
- En la explicación del ensayo SEM, se expresa la composición mineralógica del Polímero, revisando su conformación química, da como resultado alto contenido de Carbono, este es el mineral de mayor presencia en la corteza terrestre. Esta forma un enlace químico covalente los cuales se une por medio de enlaces de hidrogeno, a estas conformación se denomina Monómeros los cuales poseen bajo peso molecular, la unión de varios monómeros genera polímeros, (Rojas, 2008) aumentando su peso molecular; el proceso de reticular es el rompimiento del hidrogeno en las cadenas establecidas, generando radicales libres los cuales buscan completarse uniéndose moléculas de carbono-carbono y de esta manera se reduce la tenacidad a fluir permitiendo tener una mayor resistencia esfuerzos. Dependiendo de su conformación en los arreglos estructurales del material, es la resistencia que este presenta a la compresión, por ejemplo la

conformación planar que posee el granito de las puntas de los lápices le da una resistencia mínima, pero si el carbono posee una arreglo estructural de manera cristalina como se encuentra en los diamantes, éstos posee una alta resistencia a la fricción, compresión y bajo nivel de absorción. (Rojas, 2008).

- En cada descripción de ensayo empleado en el proyecto se menciona el resultado que se logró. Como lo son el tamaño máximo nominal, módulo de finura, peso saturado superficialmente seco, peso específico, valor de la masa unitaria suelta y compacta, densidad del cemento, entre otros datos requeridos para el diseño de mezcla del concreto.
- Por sugerencia del Ingeniero se realiza la modificación de la referencia al momento de realizar la granulometría de los agregados para el concreto de NTC 32 a NTC 77
- Para la sección de elaboración de mezcla se referencia la Norma Técnica Colombiana NTC 396 para la elaboración del ensayo de asentamiento con la implementación del cono de Abrams y la NTC 1377 para la metodología de llenado de las formaletas.
- En la ecuación de área se modifica el valor del diámetro y se deja en manera general para incluir el valor, según medidas de las formaletas las cuales son modificadas durante su vida útil.
- En la sección 10.7 ensayo de Elasticidad se procede con el cálculo experimental para la obtención del resultado según NTC 4025 empleando la pendiente de la gráfica deformación unitaria Vs Esfuerzo y se compararlo con el obtenido mediante la implementación de la ecuación, descrita en la sección de la norma sismo resistente del 2010 título C, sección C-8.5.1.