

**INCIDENCIA DEL RIPIO PROCEDENTE DE LLANTAS DE VEHÍCULOS
AUTOMOTORES EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

**STEVEN ALEXANDER ERAZO LASSO
DIEGO ERNESTO PUPIALES HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2016**

**INCIDENCIA DEL RIPIO PROCEDENTE DE LLANTAS DE VEHÍCULOS
AUTOMOTORES EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

**STEVEN ALEXANDER ERAZO LASSO
DIEGO ERNESTO PUPIALES HERNÁNDEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director:
Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ
Docente Facultad de Ingeniería**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2016**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.”

Artículo 1. Del acuerdo N° 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad De Nariño.

“La Universidad De Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación prima las normas sobre el derecho de autor.”

Artículo 13, Acuerdo N° 005 de 2010, emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Abril de 2016.

RESÚMEN

La presente investigación, tuvo como propósitos evaluar el comportamiento a compresión y a flexión que tiene un concreto hidráulico el cual contiene ripio, que es una mezcla de caucho y acero reciclado de las llantas.

Partiendo de una caracterización de materiales, se realizó la dosificación de la mezcla, con la cual se trabajó en la totalidad de los especímenes a fabricar, fueron 240 especímenes elaborados y distribuidos de la siguiente manera: 30 cilindros patrón y 30 cilindros con ripio reciclado de llanta para ensayar a 14 días, 30 cilindros patrón y 30 cilindros con ripio para ensayar a 28 días; 30 vigas patrón y 30 vigas con ripio para ensayar a 14 días, 30 vigas patrón y 30 vigas con ripio para ensayar a 28 días.

Una vez encontrados los datos de resistencia a la compresión y módulo de rotura, se realiza la parte estadística, de la cual se determina el valor representativo para cada grupo de datos, con los cuales se procede a la comparación entre las muestras patrón y las muestras con ripio reciclado de llanta, se resalta que la mezcla con ripio contiene un porcentaje del 10% en peso de este material que reemplaza al agregado fino.

Se realiza también el estimativo del costo para la mezcla con ripio reciclado de llanta y por último se concluye con base en los datos obtenidos.

ABSTRACT

The present investigation had as purposes to evaluate the behavior to compressive and flexural that has a hydraulic concrete which contains ripio, It is a mixture of rubber and steel recycling of tires.

Based on a characterization of materials, the dosage of the mixture was held, with this, we work all specimens manufactured, these were 240 specimens prepared and distributed in the following way: pattern cylinders 30 and 30 cylinders with ripio recycled of tire for test 14 days, pattern cylinders 30 and 30 cylinders with ripio for test 28 days; pattern beam 30 and 30 beam with ripio for test 14 days, pattern beam 30 and 30 beam with ripio for test 28 days.

Once found the data of resistance to compression and modulus of rupture, the statistical part was conducted, of which we was determined representative values for each group of data, with which is compared between pattern mix and mix with ripio stands out the mix with ripio that It contains a percentage of 10% by weight of this material that replaces the fine aggregate.

The estimated cost of the mix with ripio recycled of tire and It was finally concluded on the basis of the data obtained.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.1 MATERIALES	18
1.1.1 Cemento portland.....	18
1.1.2 Los agregados.	18
1.1.3 Agregado grueso.....	18
1.1.4 Agregado fino.....	19
1.1.5 Ripio procedente de llanta.....	19
1.2 ESTADÍSTICA DE NEUMÁTICOS DESECHADOS EN COLOMBIA	19
1.3 COMPOSICIÓN DE LAS LLANTAS.....	20
1.4 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE RIPIO RECICLADO DE LLANTA.....	20
1.5 APLICACIONES ACTUALES DE NEUMÁTICOS USADOS	23
1.6 SELECCIÓN DE MATERIALES.....	23
1.7 ENSAYOS REALIZADOS A LOS MATERIALES	25
1.7.1 Ensayos realizados al cemento:.....	25
1.7.2 Ensayos realizados al agregado grueso:	26
1.7.3 Ensayos realizados al agregado fino:.....	28
2. ULTIMOS AVANCES	32
2.1 UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.....	32
2.2 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	34
3. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA PARA LA INVESTIGACIÓN.	35
3.1 GENERALIDADES.....	35
3.2 DETERMINACIÓN PORCENTAJES DE AGREGADOS PRESENTES ...	35
3.3 DESARROLLO DISEÑO DE MEZCLA.....	41
3.3.1 Características de los materiales a emplear (Ver anexo 1).....	41

3.3.2	Selección del asentamiento:	42
3.3.3	Tamaño máximo:	42
3.3.4	Estimación del agua de mezcla:.....	43
3.3.5	Determinación de resistencia de dosificación.	43
3.3.6	Selección de la relación agua – cemento A/C.....	44
3.3.7	Cálculo del contenido de cemento.	46
3.3.8	Agregados.....	46
3.3.9	Proporciones iniciales.	47
3.3.10	Primera prueba de mezcla:	48
3.3.11	Pesos finales primera mezcla de prueba	49
4.	PROCESO CONSTRUCTIVO DE ESPECÍMENES.....	51
5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	64
5.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA MUESTRAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN.....	65
5.1.1	Cilindros patrón y con ripio reciclado de llanta a 14 días:	65
5.1.2	Cilindros patrón y con ripio reciclado de llanta a 28 días:	67
5.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO, MUESTRAS SOMETIDAS A FLEXIÓN.....	70
5.2.1	Vigas patrón y con ripio reciclado de llanta a 14 días:	70
5.2.2	Vigas patrón y con ripio reciclado de llanta a 28 días.	72
6.	ESTIMACIÓN ECONOMICA DE LOS MATERIALES PRESENTES EN LAS MEZCLAS PATRON Y CON RIPIO RECICLADO DE LLANTA	76
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	77
8.	CONCLUSIONES.....	81
9.	RECOMENDACIONES	82
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	83

LISTA DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1.	Almacenamiento de materia prima.	21
Imagen 2.	Revisión de liner y llanta picada.	21
Imagen 3.	Llanta rechazada y llanta aprobada.	22
Imagen 4.	Equipo abridor para inspección.	22
Imagen 5.	Equipo para raspar llantas.	22
Imagen 6.	Raspado de llanta y almacenando ripio.	23
Imagen 7.	Cemento portland tipo I cemex (almacenamiento)	23
Imagen 8.	Cantera pabón (agregado grueso).	24
Imagen 9.	Mina de arena las terrazas (agregado fino)	24
Imagen 10.	Empresa reencauchadora comllantas (ripio)	24
Imagen 11.	Muestra de ripio.	25
Imagen 12.	Peso unitario compacto.	25
Imagen 13.	Preparación de la muestra.	26
Imagen 14.	Equipo: agujas de Gillmore.	26
Imagen 15.	Cuarteado de material de forma mecánica.	26
Imagen 16.	Tamizado.	27
Imagen 17.	Ensayo peso unitario suelto y compacto	27
Imagen 18.	Determinando peso aparente seco.	27
Imagen 19.	Ensayo índice de aplanamiento y alargamiento.	28
Imagen 20.	Tamizado.	28
Imagen 21.	Ensayo peso unitario suelto y compacto.	28
Imagen 22.	Ensayo gravedad específica arena.	29
Imagen 23.	Ensayo gravedad específica arena. Baño maría.	29
Imagen 24.	Ensayo de cilindro a los tres días de curado.	29
Imagen 25.	Ensayo cilindros a los 7 días de curado, cilindro 1,2 y 3.	30
Imagen 26.	Ensayo cilindros a los 14 días de curado, cilindro 1,2 y 3.	30

Imagen 27.	Ensayo cilindros a los 28 días de curado, cilindro 1,2 y 3.	30
Imagen 28.	Tamizado de material agregado grueso retenido No. 4, agregado fino pasante No. 4.	51
Imagen 29.	Cálculo humedad del material.	51
Imagen 30.	Pesaje de material según dosificación.....	52
Imagen 31.	Ajuste de tuercas y aplicación de desmoldante.....	52
Imagen 32.	Mezclado de materiales en el trompo.....	53
Imagen 33.	Herramientas para realizar ensayo de asentamiento.	53
Imagen 34.	Levantamiento del cono y medición del asentamiento.	54
Imagen 35.	Llenado de moldes con mezcla.	54
Imagen 36.	Molde y herramientas para hacer cilindros de concreto.	55
Imagen 37.	Llenado moldes con mezcla.	55
Imagen 38.	Compactación de mezcla con varilla.	55
Imagen 39.	Utilización del mazo de caucho.	56
Imagen 40.	Molde y herramientas para hacer vigas de concreto	56
Imagen 41.	Llenado de mezcla con palustre.	57
Imagen 42.	Compactación mezcla con varilla.	57
Imagen 43.	Utilización mazo de caucho.....	57
Imagen 44.	Acabado superficial con la varilla.....	58
Imagen 45.	Acabado con palustre.....	58
Imagen 46.	Desencofrado de cilindros y vigas	58
Imagen 47.	Marcado de cilindros y vigas.	59
Imagen 48.	Deposito de especímenes para curado.	59
Imagen 49.	Cilindros en proceso de curado.	60
Imagen 50.	Equipo para fallar a compresión y flexión.	60
Imagen 51.	Pesaje y falla de cilindros.	61
Imagen 52.	Vigas en proceso de curado.	61
Imagen 53.	Divisiones de la viga.	62
Imagen 54.	Pesaje de vigas.	62
Imagen 55.	Deposito de vigas y cilindros fallados.....	63

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.	Resumen muestras realizadas..... 17
Tabla 2.	Mercado total de llantas importadas en Colombia. 19
Tabla 3.	Uso y manejo de llantas Bogotá D.C 20
Tabla 4.	Composición porcentual típica en Bogotá 20
Tabla 5.	Resumen de ensayos del hormigón Patrón. 32
Tabla 6.	Resumen de ensayos del hormigón con 5% de caucho. 32
Tabla 7.	Resumen de ensayos del hormigón con 10% de caucho. 33
Tabla 8.	Resumen de ensayos del hormigón con 15% de caucho. 33
Tabla 9.	Resumen de ensayos del hormigón con 20% de caucho. 33
Tabla 10.	Valores promedios de resistencia a la compresión $F'c$ 34
Tabla 11.	Mezcla de arena y gravilla, empleando Fuller ajustada. 35
Tabla 12.	Mezcla de arena y gravilla empleando Weymouth normal..... 36
Tabla 13.	Mezcla de arena y gravilla empleando Bolomey normal..... 37
Tabla 14.	Peso unitario mezcla tipo 1..... 39
Tabla 15.	Peso unitario mezcla tipo 2..... 39
Tabla 16.	Peso unitario mezcla tipo 3..... 39
Tabla 17.	Peso unitario mezcla tipo 4..... 39
Tabla 18.	Peso unitario mezcla tipo 5..... 40
Tabla 19.	Peso unitario mezcla tipo 6..... 40
Tabla 20.	Resultados ensayo comparativo a 3 días. 41
Tabla 21.	Resumen caracterización de materiales 41
Tabla 22.	Tipos de consistencias según el asentamiento..... 42
Tabla 23.	Escogencia del agua de mezcla a través del asentamiento y del tamaño máximo. 43
Tabla 24.	C.5.3.2.2 – Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra (fuente NSR-10) 43
Tabla 25.	Relación A/C por durabilidad. 45
Tabla 26.	Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua – cemento para los cementos colombianos, portland tipo I, en concretos sin aire incluido. 46
Tabla 27.	Proporciones iniciales. 47
Tabla 28.	Volúmenes primera prueba..... 48

Tabla 29.	Estimación agua de aporte.	49
Tabla 30.	Pesos finales primera mezcla de prueba en kilogramos.....	49
Tabla 31.	Resultados ensayo a compresión, edad 7 días.	50
Tabla 32.	Resultados ensayo a compresión, edad 14 días.	50
Tabla 33.	Resultados ensayo a compresión, edad 28 días.	50
Tabla 34.	Abreviaturas.....	64
Tabla 35.	Resultados resistencia a compresión para muestras patrón y muestras con ripio reciclado de llantas, a 14 días.	65
Tabla 36.	Resultados resistencia a compresión para muestras patrón y muestras con ripio reciclado de llantas, a 28 días.	67
Tabla 37.	Resultados modulo de rotura para muestras patrón y muestras con ripio reciclado de llantas, a 14 días.	70
Tabla 38.	Resultados modulo de rotura para muestras patrón y muestras con ripio reciclado de llantas, a 28 días.	72
Tabla 39.	C.5.3.1.2 – Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos. (fuente NSR-10)	75
Tabla 40.	Presupuesto de materiales para mezcla patrón y mezcla con 10% de ripio reemplazando al agregado fino en peso.	76
Tabla 41.	Distribución de especímenes a compresión.	78
Tabla 42.	Resumen ensayo a compresión aplicando método estadística.	79
Tabla 43.	Distribución de especímenes a flexión.....	79
Tabla 44.	Resumen ensayos a flexión aplicando método estadística.....	79
Tabla 45.	Resumen desviaciones estándar	80

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gráfica comparativa resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de caucho.....	34
Figura 2. Mezcla de agregados empleando curva de Fuller ajustada.....	36
Figura 3. Mezcla de agregados empleando curva de Weymouth normal	37
Figura 4. Mezcla de agregados empleando curva de Bolomey normal.	38
Figura 5. Gráfico para determinar la relación A/C en referencia a la resistencia.....	44
Figura 6. Diagrama de caja resistencia a compresión	68
Figura 7. Grafica de resistencia a compresión vs edad de muestra	69
Figura 8. Diagrama de caja modulo de rotura.....	73
Figura 9. Grafica modulo de rotura vs edad de muestra.....	74

GLOSARIO

Abridor para inspección: equipo empleado para inspeccionar superficial e internamente las llantas. Consta de una sección que eleva la llanta hasta la mesa de trabajo dispuesta con dos dispositivos que abren la llanta internamente para su inspección. La llanta puede rotar 360 grados mientras el operador hace su inspección visual.

Arena negra: arena tomada de peña, la cual se somete previamente a un lavado y decantación por medio del cual se extrae las arcillas, talcos y materia orgánica que pueda contener.

Concreto con ripio: es el concreto al cual se le adiciono el 10% en peso de ripio en lugar del agregado fino (Arena).

Concreto patrón: es el concreto determinado por medio del diseño de mezcla, el cual no tiene entre sus materiales ripio.

Desviación estándar: la desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza. Es una de las medidas de dispersión, una medida que es indicativa de como los valores individuales pueden diferir de la media. (<http://www.alcula.com/>)

Desviación estándar poblacional: la desviación estándar de una población le da a los investigadores la cantidad de dispersión de los datos de una población entera de los encuestados. Una desviación estándar de la población representa un parámetro, no una estadística. Los parámetros se refieren a una propiedad numérica de una población. Una estadística, por el contrario, significa que un número se puede calcular a partir de los datos. (<http://pyme.lavoztx.com/>)

Liner: líneas grabadas internamente en las llantas.

Ripio: es el resultado de un proceso mecánico, mediante el cual las llantas desechadas, son sometidas a un rasgado por medio de cuchillas, lo que da como resultado fragmentos de caucho y acero, esta mezcla es conocida como ripio.

Silo: estructura diseñada para almacenamiento del ripio.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el número de llantas desechadas a nivel nacional crece vertiginosamente debido a la falta de ideas innovadoras para su disposición final, el escaso conocimiento de planes de gestión de residuos sólidos, tanto por temas culturales como por la falta de políticas e investigaciones sobre la reutilización y disposición final de este tipo de residuos.

De igual manera la alta demanda de materiales de construcción como el concreto, genera un consumo excesivo de materias primas, que habitualmente se encuentran en la naturaleza, siendo la extracción de recursos naturales el impacto más importante generador de afectaciones ambientales y paisajísticas, llevando a entidades de protección del medio ambiente, gobiernos distritales y nacionales a limitar cada vez más el acceso a estos recursos.

Por tal motivo, este trabajo tiene el propósito de utilizar este producto con el fin de aprovechar sus características y minimizar el impacto ambiental que traen consigo las llantas en desuso.

El propósito de esta investigación trata de cuantificar la incidencia en la incorporación de ripio reciclado de llanta al concreto hidráulico desde su punto de vista físico y mecánico; para dicho propósito se presentan en este documento los objetivos a los que irá encaminada la investigación, además se describe los últimos avances a nivel mundial para concretos con partículas de caucho, sus propiedades y comportamientos. Se realiza la caracterización física y mecánica de los agregados naturales y reciclados, se evalúan los resultados de los diferentes ensayos hechos al concreto y por último se plantean conclusiones y recomendaciones.

Los concretos empleados para el presente estudio se elaboraron con: Cemento Portland tipo I marca Cemex, arena negra proveniente de la mina las Terrazas y triturado de peña proveniente de la cantera Pabón, obtenida de canteras cercanas a la ciudad de San Juan de Pasto (N). El objetivo general de este trabajo consiste en reemplazar el 10% del agregado fino en peso de la mezcla patrón por ripio reciclado de llanta. La mezcla patrón se refiere al concreto sin la adición de ripio reciclado de llantas, mientras que la mezcla con ripio contiene las partículas de caucho y acero. Las muestras patrón se realizan como parámetro de comparación para observar las resistencias obtenidas en las dos mezclas.

Con las dos mezclas antes descritas, se desea evaluar y comparar las resistencias a compresión y flexión finales a los 28 días.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Descripción del problema

La mala disposición de llantas usadas en el país, ha generado un alto grado de contaminación ambiental, debido a que la descomposición de este material tarda alrededor de 600 años y no se descarta posibles incendios que contaminen aún más la atmósfera. Por otra parte, en la salubridad se genera aguas estancadas que son cuna para vectores (mosquitos, roedores y otros animales), los cuales pueden transportar varios tipos de virus a la humanidad. Finalmente como prioridad en este trabajo de grado, se tiene en cuenta las bajas resistencias a la flexión que los concretos normales poseen. En el Departamento de Nariño, estudios sobre esta propuesta no se han realizado, por tal razón en este trabajo se decide estudiar la incidencia del caucho de llantas en el concreto, para determinar qué ventajas o desventajas ofrece aún después de su uso principal. A nivel nacional e internacional se encuentran algunos estudios del caucho de llantas utilizadas en concretos, la diferencia con este trabajo de grado es que aquí si se utilizó el acero presente en las llantas, más adelante se encuentra un resumen de algunas tesis citadas.

Formulación del problema

¿Cuál es la incidencia en las características físico-mecánicas de una mezcla de concreto hidráulico que incluye ripio reciclado de llantas?

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general

- Determinar las características físico-mecánicas que genera la adición de ripio proveniente de llantas recicladas en una mezcla de concreto hidráulico.

Objetivos específicos

- Obtener las características físicas más relevantes de los materiales a usar en la mezcla.
- Determinar la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto con ripio reciclado de llanta.
- Determinar el comportamiento a compresión del concreto con ripio reciclado con llanta.
- Comparar las resistencias encontradas con las resistencias del concreto patrón.
- Comparar los costos de los materiales presentes en las dos mezclas de concreto mencionadas.

JUSTIFICACIÓN

Dentro del campo de la Ingeniería Civil, los materiales que se utilizan deben ir evolucionando junto con la protección del medio ambiente, tratando de aprovechar un material como lo es el ripio obtenido de llantas usadas; se desea disminuir la problemática y abrir un campo para la investigación acerca de los aportes que puede dar este material al elemento más utilizado en el ámbito de la Ingeniería Civil como lo es el concreto hidráulico. Con esta mezcla de concreto hidráulico con ripio reciclado de llantas, se tiene la posibilidad de encontrar mejorías de resistencia, de valor económico y algunas características como el peso y la textura. Como efecto colateral se desea aportar en la disminución del número de llantas que actualmente son desechadas en las calles, siendo estas un peligro para el medio ambiente y para la salud como se explicó en el numeral 1.1. Descripción del problema.

METODOLOGÍA

En este trabajo se realizó principalmente una caracterización de materiales, los cuales se eligieron previamente para ser componentes del concreto a estudiar, el ripio reciclado de llanta fue adquirido directamente de una empresa en la ciudad de San Juan de Pasto que se dedica al reciclaje de llantas y a su molienda, su nombre es **COMLLANTAS**, seguido a esto se realizó ensayos de resistencia a compresión y flexión a la mezcla de concreto patrón y a la mezcla con ripio reciclado de llanta, la cual contiene un 10% en peso de este material que reemplaza al agregado fino. El número de muestras a realizar se estimó en 240, 30 para cada tipo de mezcla y edad determinado por la norma para obtener un factor de modificación de desviación estándar igual a uno (1), esta afirmación se encuentra en la tabla 37 de este informe y en la C.5.3.1.2 de la NSR-10, el concreto obtenido fue evaluado a ensayos tanto a compresión como a flexión a los 14 y 28 días para cada una de las mezclas.

Tabla 1. Resumen muestras realizadas.

30	Cilindros patrón a 14 días
30	Cilindros patrón a 28 días
30	Cilindros con ripio a 14 días
30	Cilindros con ripio a 28 días
30	Vigas patrón a 14 días
30	Vigas patrón a 28 días
30	Vigas con ripio a 14 días
30	Vigas con ripio a 28 días

1. MARCO TEÓRICO

1.1 MATERIALES

Para la investigación, se realizó la selección de los siguientes materiales:

- Cemento portland tipo I marca cemex.
- Arena negra proveniente de la cantera “Las Terrazas”.
- Triturado tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ ”, proveniente de la cantera “Pabón”.
- Ripio reciclado de llantas, proveniente de la empresa recicladora “Comllantas”.

Los materiales fueron acopiados en las instalaciones de la Universidad de Nariño, fueron protegidos al máximo para evitar contaminaciones con otros materiales y para impedir cambios excesivos de humedad.

1.1.1 Cemento portland. El cemento portland está hecho de minerales cristalinos en polvo muy fino compuesto principalmente de silicatos de calcio y aluminio. La adición de agua a estos minerales produce una pasta la cual, una vez endurecida, alcanza una alta resistencia, su gravedad específica varía entre 3.12 y 3.16 y pesa 94 lb/ft³, el cual es el peso unitario de un saco o bolsa de cemento comercial. Los materiales en bruto que forman el cemento son: 1. Cal (CaO)- de la piedra caliza, 2. Sílice (SiO₂)- de la arcilla, 3. Alúmina (Al₂O₃)- de la arcilla. (Edward G. Nawy, 1988, Cap 2).

1.1.2 Los agregados. Los agregados son la parte del concreto que constituye el mayor volumen del producto terminado. Comprenden del 60 al 80% del volumen del concreto, y tienen que estar graduados de tal forma que la masa total del concreto actúe como una combinación relativamente sólida, homogénea y densa, con los tamaños más pequeños actuando como un relleno inerte de los vacíos que existen entre las partículas más grandes. Existen dos tipos de agregados: 1. Agregado grueso (grava, piedra triturada o escorias de alto horno), 2. Agregado fino (arena natural o fabricada). (Edward G. Nawy, 1988, Cap 2).

1.1.3 Agregado grueso. El agregado grueso se clasifica como tal si el tamaño mas pequeño de la partícula es mayor de 1/4" (6mm). Las propiedades del agregado grueso afectan la resistencia final del concreto endurecido y su resistencia a la disgregación, intemperización y otros efectos destructivos. El agregado grueso mineral deberá estar limpio de impurezas orgánicas y deberá adherirse bien con el gel-cemento. (Edward G. Nawy, 1988, Cap 2).

1.1.4 Agregado fino. El agregado fino es un relleno más pequeño hecho de arena. Varía en tamaño desde el N° 4 hasta el N° 100 del tamíz estándar americano. Un buen agregado fino deberá estar siempre libre de impurezas orgánicas, arcilla o cualquier material dañino o relleno excesivo de tamaños más pequeños que el tamíz N°100. Deberá tener una buena gradación, de acuerdo con las normas de análisis de tamíz de la sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM).

1.1.5 Ripio procedente de llanta. Es el resultado de un proceso mecánico, mediante el cual las llantas desechadas, son sometidas a un rasgado por medio de cuchillas, lo que da como resultado fragmentos de caucho y acero, esta mezcla es conocida como ripio.

- **Agregado proveniente de residuo de llantas.**

Generalidades: con el desarrollo de políticas sobre protección del medio ambiente a nivel internacional y la adopción de sistemas para la sostenibilidad de la construcción, se planteó el reto del reciclado de desechos, entre ellos, de los neumáticos. En el campo de la construcción, estos fueron utilizados en un inicio como combustible alternativo en los hornos de cemento y posteriormente en menor medida, en la producción de concreto y asfalto. (Tesis, Torres Andrés, 2014).

1.2 ESTADÍSTICA DE NEUMÁTICOS DESECHADOS EN COLOMBIA

En Colombia es previsible que el problema de los neumáticos en desuso vaya en aumento ya que la cantidad de vehículos particulares y de servicio público se incrementa todos los años. En la tabla 2, se puede apreciar la proyección de llantas en desuso para Colombia (Tomado de: centro virtual de negocios, el mercado importador de llantas en Colombia, 2011). (Tesis, Torres Andrés, 2014). Este trabajo se basa en datos de la ciudad de Bogotá, debido a la no existencia de los mismos en la ciudad de San Juan de Pasto.

Tabla 2. Mercado total de llantas importadas en Colombia.

Mercado total de llantas importadas a Colombia	
Año	Cantidad de llantas
	Unidades
2006	5'616.000
2007	5'952.000
2008	6'373.000
2009	5'821.000
2010	7'468.000

Así mismo, el uso y manejo de llantas en la capital de Colombia es un problema que sigue en aumento ya que la cantidad de vehículos particulares y de servicio público se incrementan todos los años. A continuación se presenta en la tabla 3 la disposición final de las llantas en esta ciudad. (Tesis, Torres Andrés, 2014).

Tabla 3. Uso y manejo de llantas Bogotá D.C.

Acción	Servicio		Total
	Particular	Publico	
Deja en el sitio de cambio	72,4%	67,8%	72,0%
Los saca a la basura	12,1%	11,6%	12,0%
Reencauche, reconstruida	3,3%	9,4%	3,8%
Los vende	0,6%	1,3%	0,7%
Se los lleva y los guarda	3,2%	5,7%	3,4%
Regala a recicladoras	3,9%	2,3%	3,7%
Sin información	4,5%	1,9%	4,3%

Fuente. www.ambientalex.info, 2007.

1.3 COMPOSICIÓN DE LAS LLANTAS

Las llantas están compuestas de una gran cantidad de materiales que les dan, dependiendo del uso al cual se destinan, sus características especiales como resistencia a la carga, posibilidad de manejar alta presión, características de adherencia, entre otros.

La Tabla 4, presenta la composición porcentual típica de las llantas discriminando automóviles y camiones (Secretaria de Medio Ambiente De Bogotá, 2006).

Tabla 4. Composición porcentual típica en Bogotá (Secretaria de medio ambiente de Bogotá, 2006)

Material	Composición (%)	
	Automóviles	Camiones
Caucho natural	14	27
Caucho sintético	27	14
Rellenos reforzados	28	28
Acero	14	15
Antioxidantes y rellenos	17	16

1.4 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE RIPIO RECICLADO DE LLANTA

La empresa Comllantas es el principal productor de llantas reencauchadas en Nariño, cuya materia prima proviene de Brasil. La empresa cuenta con una trayectoria en el mercado de más de 16 años. (Ver imagen 1).



Imagen 1. Almacenamiento de materia prima.

El proceso de molienda de llanta para la obtención de fibras de caucho (ripio), consta de dos pasos que se explicarán a continuación.

PASO 1: Inspección inicial.

Se determina si la llanta es o no apta para el proceso de reencauchado. Consiste en una revisión interna y externa, es decir, se revisa que las pestañas no estén cristalizadas o partidas, que los costados no tengan golpes, que los alambres no sobresalgan ni que estén oxidados, internamente se revisa el liner (que no se encuentre quebrado), también se revisa que las llantas no estén contaminadas y en la corona se revisa que la llanta no esté muy picada. (Ver imagen 2).



Imagen 2. Revisión de liner y llanta picada.

Parte de la inspección inicial, consiste en registrar con un número diferente a cada llanta, con el fin de crear su hoja de vida. Las llantas son marcadas con calor sin importar su estado. (Ver imagen 3).



Imagen 3. Llanta rechazada y llanta aprobada.

Si la llanta tiene muy levantado el alambre, está oxidado o se encuentra muy picada, esta es rechazada. El equipo para realizar la inspección inicial se llama abridor para inspección y es electronuémático, es decir, funciona con electricidad y aire. (Ver imagen 4).



Imagen 4. Equipo abridor para inspección.

PASO 2: Raspado.

El equipo para realizar el raspado es electronuémático y consta de: un extractor, un silo para almacenamiento del ripio y el sistema para raspar la llanta. Las cuchillas del sistema raspador se encargan de cortar el caucho y retirar el remanente de caucho de la llanta. Se deja un espesor entre 1 y 3 mm antes de llegar al cinturón de la misma. (Ver imagen 5-6).



Imagen 5. Equipo para raspar llantas.



Imagen 6. Raspado de llanta y almacenando ripio.

Si la llanta es apta prosigue al siguiente paso y si no lo es, se las recicla. Una forma de reutilizar las llantas desechadas es usarlas para centros de entrenamiento por parte de las fuerzas militares.

1.5 APLICACIONES ACTUALES DE NEUMÁTICOS USADOS

Las prácticas no sustentables para el manejo de llantas usadas son el principal impulsor de los llamados combustibles alternos (CA), para sustituir el uso de combustibles convencionales en hornos de cemento, reemplazar los combustibles fósiles tradicionales con CA reduce las emisiones totales de dióxido de carbono CO₂ dado que, a través de los métodos habituales de disposición, muchos de los CA generan emisiones de CO₂ con contenidos de biomasa que son consideradas como “de emisión neutra de carbono”, de esta forma se han venido experimentando en los hornos de cemento el uso de materiales como los CA y de esta manera evitar la producción y liberación de gas metano. Otra forma de utilización muy común y que actualmente se le está dando a las llantas usadas trituradas provenientes de procesos mecánicos o criogénicos es su adición al pavimento asfáltico tradicional. La incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas ha sido de buena aceptabilidad desde hace algunas décadas en muchos países por los buenos resultados en el desempeño de los pavimentos asfálticos.

1.6 SELECCIÓN DE MATERIALES



Imagen 7. Cemento portland tipo I Cemex (almacenamiento)



Imagen 8. Cantera Pabón (agregado grueso)



Imagen 9. Mina de arena las terrazas (agregado fino)



Imagen 10. Empresa reencauchadora comllantas (ripio)

Inicialmente se determinó la cantidad de acero que contenía el ripio a emplear en la mezcla. Para esto se tomaron 30 muestras de 500gr cada una y se les extrajo el acero por medio de un imán de alta potencia, arrojando como resultado un promedio aproximado del 5% de acero por cada muestra analizada. (Ver imagen 11).



Imagen 11. Muestra de ripio.

1.7 ENSAYOS REALIZADOS A LOS MATERIALES

1.7.1 Ensayos realizados al cemento:

Peso unitario suelto: al no existir una guía para desarrollar este ensayo, se determinó realizarlo de la siguiente manera, se lanzó el cemento con una palendra al recipiente de la imagen, al final se enraza y se pesa, esta acción se repite tres veces para determinar un promedio, obteniendo una densidad de: $1,17 \text{ ton/m}^3$



Imagen 12. Peso unitario compacto.

- **Peso específico aparente*** $2,85 \text{ ton/m}^3$
- **Módulo de finura.** Norma lcontec 294.

Debido a que el Kerosene no es posible encontrarlo en la ciudad, se tomó el valor de una tesis para llevar a cabo el continuo desarrollo de este trabajo de grado. (Edwin A. Cortes G. y Jorge E Perilla S. 2014). (Ver imagen 13-14).

- Tiempos de fraguado.



Imagen 13. Preparación de la muestra.



Imagen 14. Equipo: agujas de gillmore.

Este equipo permite determinar los tiempos de fraguado (Inicial y final) de pastas de cemento hidráulico. (Ver imagen 15).

1.7.2 Ensayos realizados al agregado grueso:

- ✓ Granulometría (I.N.V. E-213-13)



Imagen 15. Cuarteado de material de forma mecánica



Imagen 16. Tamizado

- ✓ Peso unitario suelto y compacto (I.N.V. E-217-13).



Imagen 17. Ensayo peso unitario suelto y compacto

- ✓ Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. (I.N.V. E-223)



Imagen 18. Determinando peso aparente seco.

- ✓ Índice de aplanamiento y alargamiento (I.N.V. E-230)



Imagen 19. Ensayo índice de aplanamiento y alargamiento.

1.7.3 Ensayos realizados al agregado fino:

- ✓ Granulometría (I.N.V. E-213-13)



Imagen 20. Tamizado

- ✓ Peso unitario suelto y compacto (I.N.V. E-217-13).



Imagen 21. Ensayo peso unitario suelto y compacto.

- ✓ Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. (I.N.V. E-222)



Imagen 22. Ensayo gravedad específica arena.

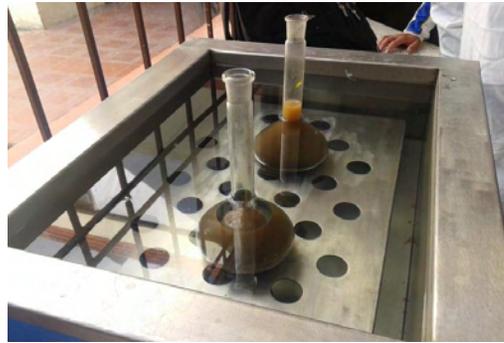


Imagen 23. Ensayo gravedad específica arena. Baño maría.

- ✓ Mezclas de prueba. En las siguientes imágenes se indica los primeros ensayos de muestra realizados, aquí se presenta en la imagen 24 dos mezclas, Tipo A: relación 37% agregado fino y 63% agregado grueso, Tipo B: relación 45% agregado fino y 55% agregado grueso.



Imagen 24. Ensayo de cilindro a los tres días de curado.

Se encontró un mejor comportamiento en la mezcla tipo A, para la cual se realizó 9 cilindros para ser fallados a los 7, 14 y 28 días de edad, que son representados en las imágenes 25, 26 y 27 ensayo a 7 días, imágenes 28, 29 y 30 ensayo a 14 días y por último la imagen 31 que reúne los 3 cilindros ensayados a los 28 días de curado. (Ver imagen 25-27).



Imagen 25. Ensayo cilindros a los 7 días de curado, cilindro 1,2 y 3.



Imagen 26. Ensayo cilindros a los 14 días de curado, cilindro 1,2 y 3.



Imagen 27. Ensayo cilindros a los 28 días de curado, cilindro 1,2 y 3.

Una vez terminada la etapa de dosificación se procede a elaborar 60 cilindros patrón (30 a 14 días y 30 a 28 días), cuya finalidad, es servir de comparación frente a los realizados con la sustitución del 10% en peso del agregado fino por ripio, de los cuales, también se realizaron 60 muestras (30 a 14 días y 30 a 28 días).

El propósito de estas muestras, es determinar el porcentaje que aumenta o disminuye la resistencia a la compresión. De igual modo se evaluó la resistencia a flexión por medio del módulo de rotura, tomando la misma cantidad de muestras tal como se hizo con los cilindros, es decir, 60 muestras patrón y 60 muestras con ripio.

En el capítulo 8 se detallará paso a paso el proceso de elaboración de los especímenes. (I.N.V. E-402-13).

2. ULTIMOS AVANCES

2.1 UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Construcción civil

Tesis "HORMIGÓN CON CAUCHO: DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD"

2006

En el presente trabajo de investigación los ejecutores trabajaron con el propósito de estudiar la resistencia a la compresión de un concreto, el cual tiene incluido trozos de caucho en diferentes porcentajes, este caucho se utilizó en trozos de 30 a 40 mm para reemplazar la grava y de 10 a 20 mm para reemplazar la gravilla.

En una mezcla de diseño a compresión de 200 kgf/cm², obteniendo los siguientes resultados: (Ver tabla 5-9).

Tabla 5. Resumen de ensayos del hormigón patrón.

Edad (días)	Peso (kg)	a (cm)	b (cm)	h (cm)	Carga (kg)	Compresión (kgf/cm ²)	Densidad (kg/dm ³)
3	20	20.2	20	20	43500	108	2.47
7	20	20.1	20	20	70000	174	2.50
14	20.27	20.2	20	20	91000	225	2.51
28	20.32	20.2	20	20	132500	328	2.51

Tabla 6. Resumen de ensayos del hormigón con 5% de caucho.

Edad (días)	Peso (kg)	a (cm)	b (cm)	h (cm)	Carga (kg)	Compresión (kgf/cm ²)	Densidad (kg/dm ³)
3	19.24	20	20	20	35500	89	2.40
7	19.43	20	20	20	57500	144	2.42
14	19.59	20.1	20	20	77000	192	2.44
28	20.01	20	20	20	112000	280	2.50

Tabla 7. Resumen de ensayos del hormigón con 10% de caucho.

Edad (días)	Peso (kg)	a (cm)	b (cm)	h (cm)	Carga (kg)	Compresión (kgf/cm ²)	Densidad (kg/dm ³)
3	19.27	20	20	20	30500	76	2.38
7	19.45	20.2	20	20	50500	125	2.43
14	19.61	20	20	20	71500	179	2.45
28	20.51	20.1	20	20	103000	256	2.43

Tabla 8. Resumen de ensayos del hormigón con 15% de caucho.

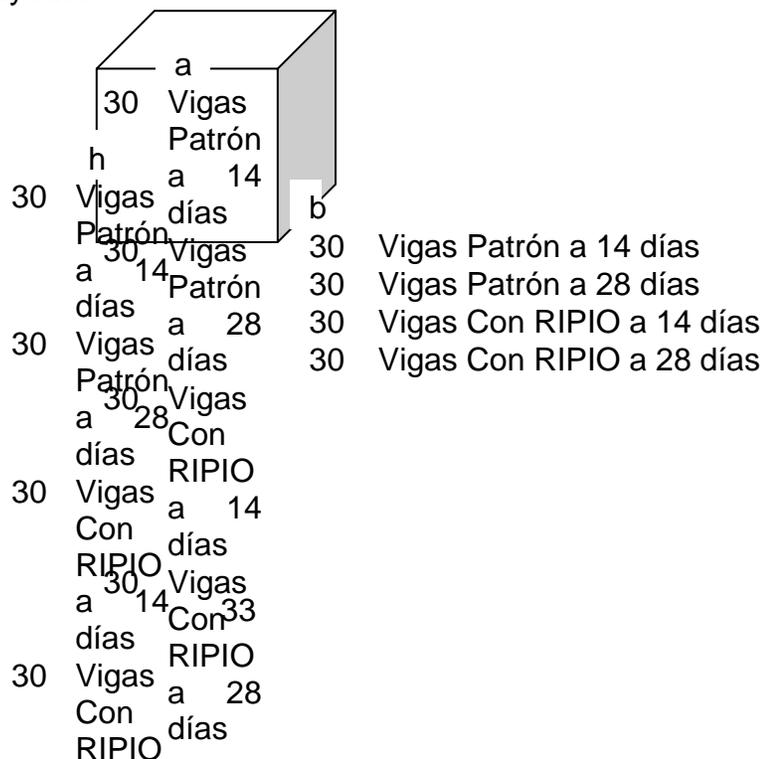
Edad (días)	Peso (kg)	a (cm)	b (cm)	h (cm)	Carga (kg)	Compresión (kgf/cm ²)	Densidad (kg/dm ³)
3	19.33	20.2	20	20	27000	67	2.39
7	19.30	20	20	20	48000	120	2.41
14	19.41	20.2	20	20	66500	164	2.41
28	20.37	20	20	20	89500	224	2.42

Tabla 9. Resumen de ensayos del hormigón con 20% de caucho.

Edad (días)	Peso (kg)	a (cm)	b (cm)	h (cm)	Carga (kg)	Compresión (kgf/cm ²)	Densidad (kg/dm ³)
3	18.95	20.1	20	20	23500	58	2.37
7	18.82	20	20	20	41000	102	2.37
14	18.82	20.1	20	20	54500	136	2.34
28	19.01	20	20	20	80000	200	2.38

Gráfico de probetas ensayadas

a: Ancho
b: Largo
h: Alto



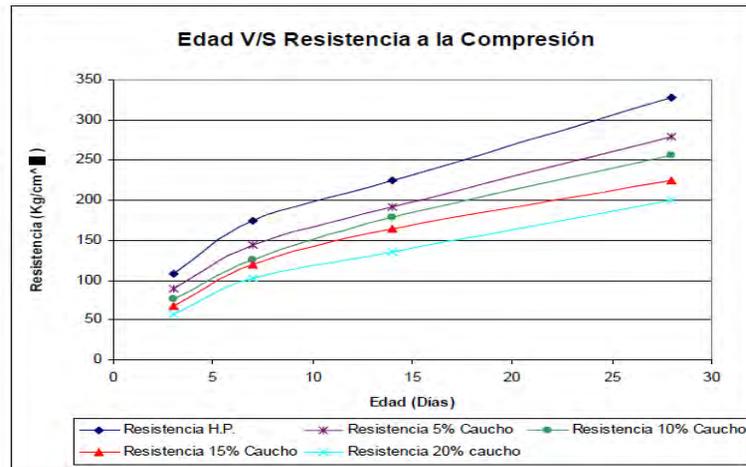


Figura 1. Gráfica comparativa resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de caucho.

2.2 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO

Maestría en Ingeniería Civil
Bogotá- Colombia

Tesis “VALORACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE DURABILIDAD DE CONCRETO ADICIONADO CON RESIDUOS DE LLANTAS DE CAUCHO”. 2014

Para el desarrollo del trabajo se prepararon cuatro tipos de mezclas, la primera sin adición de grano de caucho, la segunda reemplazando el 10% del agregado fino por la misma cantidad en volumen de caucho, la tercera y cuarta mezcla de la misma forma pero con porcentajes de reemplazo de 20% y 30% respectivamente. Se evaluaron las propiedades mecánicas como: resistencia a la compresión y a la flexión; ensayos de durabilidad como: penetración de cloruros, carbonatación, absorción y propiedades eléctricas como resistividad e impedancia. Los ensayos mecánicos y de durabilidad se evaluaron en edades de 28 y 90 días y en el caso de la resistencia a la compresión se ensayaron las muestras a los 3, 7, 28 y 90 días.

Resistencia de diseño: 21 MPa. (Ver tabla 10).

Tabla 10. Valores promedios de resistencia a la compresión $F'c$.

Muestra	3 días	7 días	28 días	90 días
	MPa	MPa	MPa	MPa
0%	9.3	12.2	20.4	28.1
10%	7.8	9.5	15.4	21.5
20%	8.5	11.5	16.5	21.0
30%	4.1	6.2	9.5	12.2

3. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA PARA LA INVESTIGACIÓN.

En este capítulo se presenta el diseño de mezcla utilizado para el desarrollo de este trabajo de grado.

3.1 GENERALIDADES

Cuando se realiza un diseño de mezcla, se busca una combinación de agregados, cemento, agua y en algunos casos aditivos que avale cumplir con lo requerido en manejabilidad, resistencia, durabilidad y de economía que garanticen una buena mezcla para el tipo de obra en la cual habrá de utilizarse. Para el desarrollo del siguiente diseño de mezcla se utilizó como guía el formato de la Universidad del Cauca empleado por el Ing. Gerardo A. Rivera L., docente del programa de Ingeniería Civil.

3.2 DETERMINACIÓN PORCENTAJES DE AGREGADOS PRESENTES

La determinación de los porcentajes de agregado grueso y fino se realizó teniendo en cuenta el análisis realizado a tres curvas: Fuller ajustada, Weymouth y Bolomey. (Ver tabla 11-13) (Ver figura 2-4).

Tabla 11. Mezcla de arena y gravilla, empleando fuller ajustada.

	Tamaño	Fuller Ajust. t.m. 1"	Porcentajes		Mezcla
			0,37	0,63	
			Arena	Gravilla	
"1"	25,400	100,0	100	100	100,0
"3/4"	19,050	85,8	100	99,44	99,6
"1/2"	12,700	70,0	100	71,3	81,9
"3/8"	9,525	59,0	100	35,85	59,6
N 4	4,763	40,1	100	0	37,0
N 8	2,381	26,7	74,61	0	27,6
N 16	1,191	17,1	50,21	0	18,6
N 30	0,595	10,5	26,25	0	9,7
N 50	0,298	5,7	11,9	0	4,4
N 100	0,149	2,4	5,48	0	2,0
N 200	0,074		2,29	0	0,8

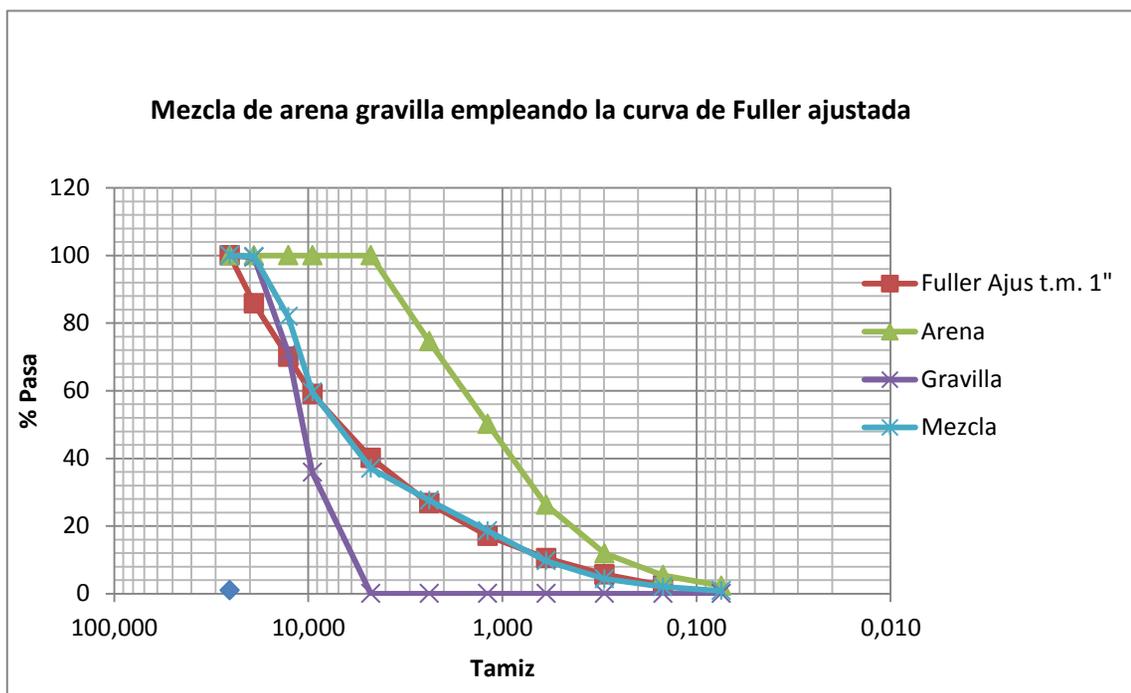


Figura 2. Mezcla de agregados empleando curva de Fuller ajustada

Tabla 12. Mezcla de arena y gravilla empleando Weymouth normal.

			Porcentajes		
			0,5	0,5	
	Tamaño	Weymo t. max 1"	Arena	Gravilla	Mezcla
"1"	25,400	100,0	100	100	100,0
"3/4"	19,050	89,8	100	99,44	99,7
"1/2"	12,700	77,0	100	71,3	85,7
"3/8"	9,525	68,2	100	35,85	67,9
N 4	4,763	51,1	100	0	50,0
N 8	2,381	37,0	74,61	0	37,3
N 16	1,191	25,8	50,21	0	25,1
N 30	0,595	16,6	26,25	0	13,1
N 50	0,298	9,3	11,9	0	6,0
N 100	0,149	3,1	5,48	0	2,7
N 200	0,074	0,0	2,29	0	1,1

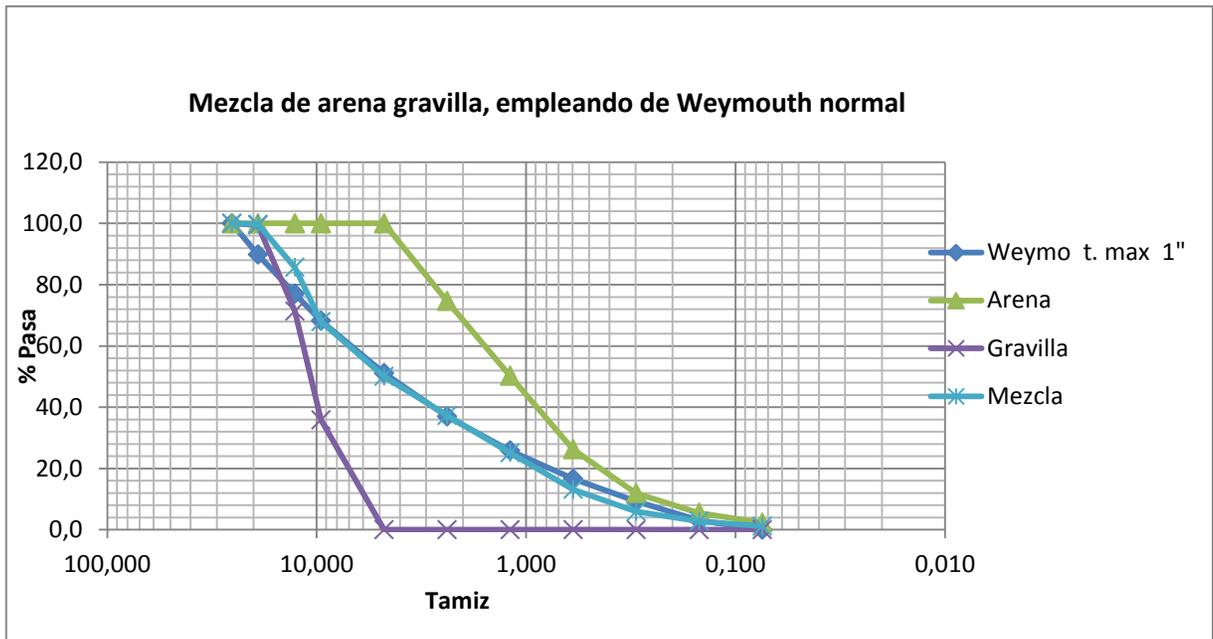


Figura 3. Mezcla de agregados empleando curva de Weymouth normal

Tabla 13. Mezcla de arena y gravilla empleando Bolomey normal.

			Porcentajes		
			0,45	0,55	
	Tamaño	Bolomey t. max 1"	Arena	Gravilla	Mezcla
"1"	25,400	100,0	100	100	100,0
"3/4"	19,050	86,6	100	99,44	99,7
"1/2"	12,700	70,7	100	71,3	84,2
"3/8"	9,525	61,2	100	35,85	64,7
N 4	4,763	43,3	100	0	45,0
N 8	2,381	30,6	74,61	0	33,6
N 16	1,191	21,7	50,21	0	22,6
N 30	0,595	15,3	26,25	0	11,8
N 50	0,298	10,8	11,9	0	5,4
N 100	0,149	7,7	5,48	0	2,5
N 200	0,074		2,29	0	1,0

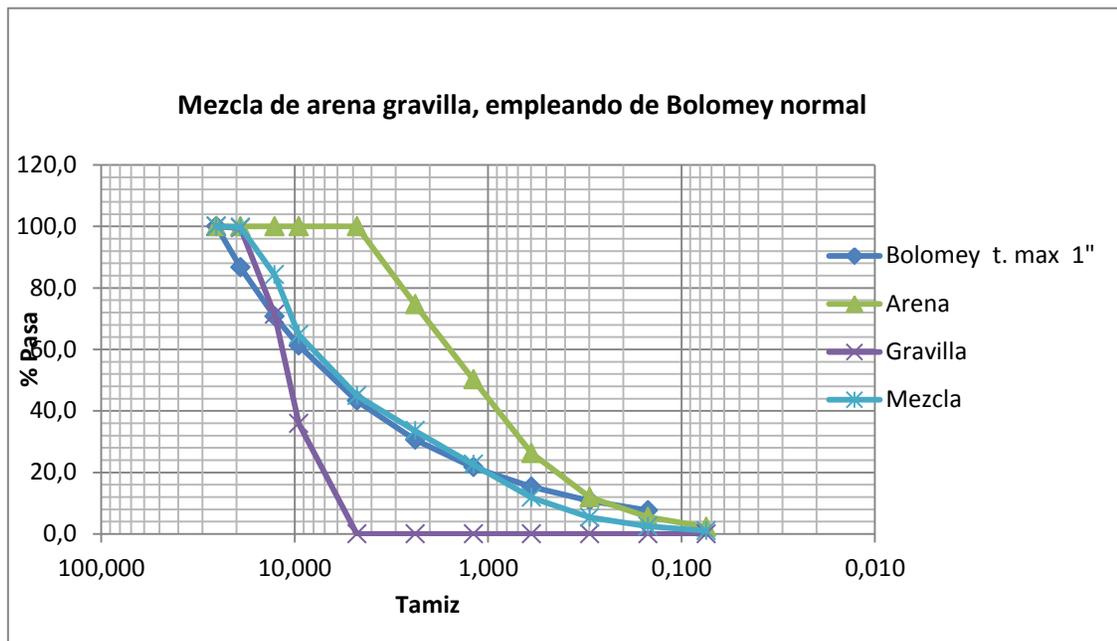


Figura 4. Mezcla de agregados empleando curva de Bolomey normal.

Como se aprecia en la gráficas la mezcla de arena y gravilla escogidas para esta investigación, cuentan con una granulometría muy aceptable, resaltando que para llegar a este punto es necesario seleccionar el material, trabajando la arena con el pasante del tamiz N°4, y la gravilla con el retenido N°4.

De este paso se toma la decisión de seguir con las curvas de Fuller ajustada y Weymouth con las cuales obtiene una mejor granulometría de la mezcla de los agregados.

Posteriormente para tomar la decisión final de con cual mezcla trabajar se realizó un ensayo, el cual consiste en tomar varias muestras con diferentes porcentajes de arena y gravilla y realizarles un análisis de peso unitario compacto, se obtuvieron los siguientes resultados:

Para trabajar con Fuller se tomaron los siguientes porcentajes: agregado fino, agregado grueso (Tipo1: 35%, 65%), (Tipo 2: 37%, 63%), (Tipo 3: 40%, 60%) respectivamente.

Para trabajar con Weymouth: agregado Fino, agregado Grueso (Tipo 4: 45%, 55%), (Tipo 5: 47%, 53%), (Tipo 6: 50%, 50%) respectivamente. Estos porcentajes hacen referencia en peso. (Ver tabla 14-19).

Tabla 14. Peso unitario mezcla Tipo 1.

35% Fino, 65% grueso (muestra de 5000 gr)			
Ensayo	Peso material + molde (gr)	Peso material (gr)	Peso unitario suelto gr/cm ³
1	10578	2295	0,80
2	10586	2303	0,80
3	10612	2329	0,81
Promedio	10592,00	2309,00	0,80

Tabla 15. Peso unitario mezcla Tipo 2.

37% Fino, 63% grueso (muestra de 5000 gr)			
Ensayo	Peso material + molde (gr)	Peso material (gr)	Peso unitario suelto gr/cm ³
1	10597	2314	0,80
2	10590	2307	0,80
3	10627	2344	0,81
Promedio	10604,67	2321,67	0,81

Tabla 16. Peso unitario mezcla Tipo 3.

40% Fino, 60% grueso (muestra de 5000 gr)			
Ensayo	Peso material + molde (gr)	Peso material (gr)	Peso unitario suelto gr/cm ³
1	10528	2245	0,78
2	10507	2224	0,77
3	10547	2264	0,79
Promedio	10527,33	2244,33	0,78

Tabla 17. Peso unitario mezcla Tipo 4.

45% Fino, 55% grueso (muestra de 5000 gr)			
Ensayo	Peso material + molde (gr)	Peso material (gr)	Peso unitario suelto gr/cm ³
1	10355	2234	0,77
2	10379	2258	0,78
3	10386	2265	0,79
Promedio	10373,33	2252,33	0,78

Tabla 18. Peso unitario mezcla Tipo 5

47% Fino, 53% grueso (muestra de 5000 gr)			
Ensayo	Peso material + molde (gr)	Peso material (gr)	Peso unitario suelto gr/cm ³
1	10322	2201	0,76
2	10340	2219	0,77
3	10361	2240	0,78
Promedio	10341,00	2220,00	0,77

Tabla 19. Peso unitario mezcla Tipo 6

50% Fino, 50% grueso (muestra de 5000 gr)			
Ensayo	Peso material + molde (gr)	Peso material (gr)	Peso unitario suelto gr/cm ³
1	10319	2198	0,76
2	10288	2167	0,75
3	10247	2126	0,74
Promedio	10284,67	2163,67	0,75

Como se observa dentro de los datos con base a Fuller se obtuvo el mayor peso unitario suelto con la mezcla tipo 2.

Por el lado de Weymouth el mayor peso unitario es para la mezcla 4.

Para finalizar con la selección de la dosificación de agregados se realizó una mezcla para obtener (1) slump y (1) cilindro para cada tipo de mezcla:

- Tipo 2 37% A.F - 63% A.G.
- Tipo 4 45% A.F – 55% A.G.

Para el Tipo 2 no fue necesaria aumentar agua para cumplir con el asentamiento escogido de 7,5; mientras tanto para el Tipo 4 fue necesario aumentar 300 ml de agua más.

Una vez obtenido el cilindro se lleva a curado y después de tres días fueron fallados dando los siguientes resultados: (Ver tabla 20).

Tabla 20. Resultados ensayo comparativo a 3 días.

Mezcla Tipo 2		Mezcla Tipo 4	
Diámetro (cm) =	15,0	Diámetro (cm) =	15,0
Altura (cm) =	30,5	Altura (cm) =	30,2
Area (cm ²) =	176,71	Area (cm ²) =	176,71
Fuerza (kg) =	21.600	Fuerza (kg) =	18.900
Resistencia (kgf/cm ²) =	122,23	Resistencia (kgf/cm ²) =	106,95
Resistencia (psi) =	1746,1	Resistencia (psi) =	1528,6

Concluyendo el análisis que se hizo a las dos muestras con propiedad y conocimiento del caso, se toma como guía para el diseño de mezcla la relación 37% agregado fino y 63% agregado grueso, correspondiente a la tipo 2.

3.3 DESARROLLO DISEÑO DE MEZCLA

3.3.1 Características de los materiales a emplear (Ver anexo 1). Los datos a continuación fueron tomados de la caracterización que se realizó a los materiales. (Ver tabla 21)

Tabla 21. Resumen caracterización de materiales

CARACTERÍSTICA	AGREGADOS		CEMENTO	AGUA
	FINO	GRUESO		
Granulometría; %	37	63		
Peso unitario suelto; Ton/m ³	1,12	1,37	1,17	1
Peso unitario apisonado; Ton/m ³	1,41	1,57		
Tamaño máximo; pulgadas		1,00		
Tamaño máximo nominal; pulgadas		0,50		
Módulo de finura	3,32			
Peso específico aparente; Ton/m ³	2,22	2,09	2,85	1
% de absorción	15,02	2,26		

3.3.2 Selección del asentamiento:

Tabla 22. Tipos de consistencias según el asentamiento

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	TIPOS DE ESTRUCTURAS Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
MUY SECA	0.0 - 2.0	Pilotes o vigas prefabricadas de alta resistencia, con vibradores de formaleta
SECA	2.0 – 3.5	Pavimento con máquina terminadora vibratoria.
SEMISECA	3.5 – 5.0	Pavimentos con vibradores normales. Fundiciones de concreto simple. Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración.
MEDIA	5.0 – 10.0	Pavimentos compactados a mano. Losas medianamente reforzadas con mediana compactación. Columnas, vigas, fundiciones y muros reforzados con vibración.
HÚMEDA	10.0 – 15.0	Revestimiento de túneles. Secciones con demasiado refuerzo. Trabajos donde la colocación se difícil. Normalmente no es apropiado para compactarlo con demasiada vibración.

Se determina una consistencia media para la cual se toma un asentamiento de 7,5 cm, con lo cual puede utilizarse para pavimentos compactados a mano, losas medianamente reforzadas con mediana compactación, columnas, vigas, fundaciones y muros reforzados con vibración.

3.3.3 Tamaño máximo:

- Tamaño máximo 1”
- Tamaño máximo nominal 3/4”

3.3.4 Estimación del agua de mezcla:

Tabla 23. Escogencia del agua de mezcla a través del asentamiento y del tamaño máximo.

CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO							
ASENTAMIENTO (cm)	Tamaño máximo de agregado grueso (mm)						
	10	13	20	25	40	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 AIRE	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3

Para la investigación rige la tabla que trata el concreto sin aire incluido, se ubica en la columna de asentamiento en el rango de 5.5 a 7.5 cm y con el tamaño máximo del agregado que es 1", lo que da como resultado una estimación de 185 lt de agua.

3.3.5 Determinación de resistencia de dosificación. Por ser una resistencia con la cual se trabaja gran cantidad de obras y por su alta demanda se tomó como referencia una resistencia específica de 3000 p.s.i. (Ver tabla 24).

Tabla 24 C.5.3.2.2 – Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra (Fuente NSR-10)

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$F'c < 21$	$F'cr = F'c + 7.0$
$21 \leq F'c \leq 35$	$F'cr = F'c + 8.3$
$F'c > 35$	$F'cr = 1.10F'c + 5.0$

De la anterior tabla se toma la resistencia promedio requerida a compresión para este trabajo de investigación, al no contar con datos previos, se tiene una resistencia específica de 3000 psi (21 MPa); la tabla indica que $F'cr = F'c + 8,3$
 $F'cr = 21 + 8,3 = 29,3$ MPa.

En conclusión se adopta una resistencia promedio de diseño, F'_{cr} : 29,5 MPa, para lograr una resistencia especificada F'_c de 21 MPa.

3.3.6 Selección de la relación agua – Cemento A/C. Para obtener este valor se baso en tres conceptos uno por durabilidad, el otro por resistencia y el ultimo teniendo en cuenta el libro de Diego Sánchez de Guzmán, se realiza el análisis de ambos y se toma el de menor valor. (Ver figura 5).

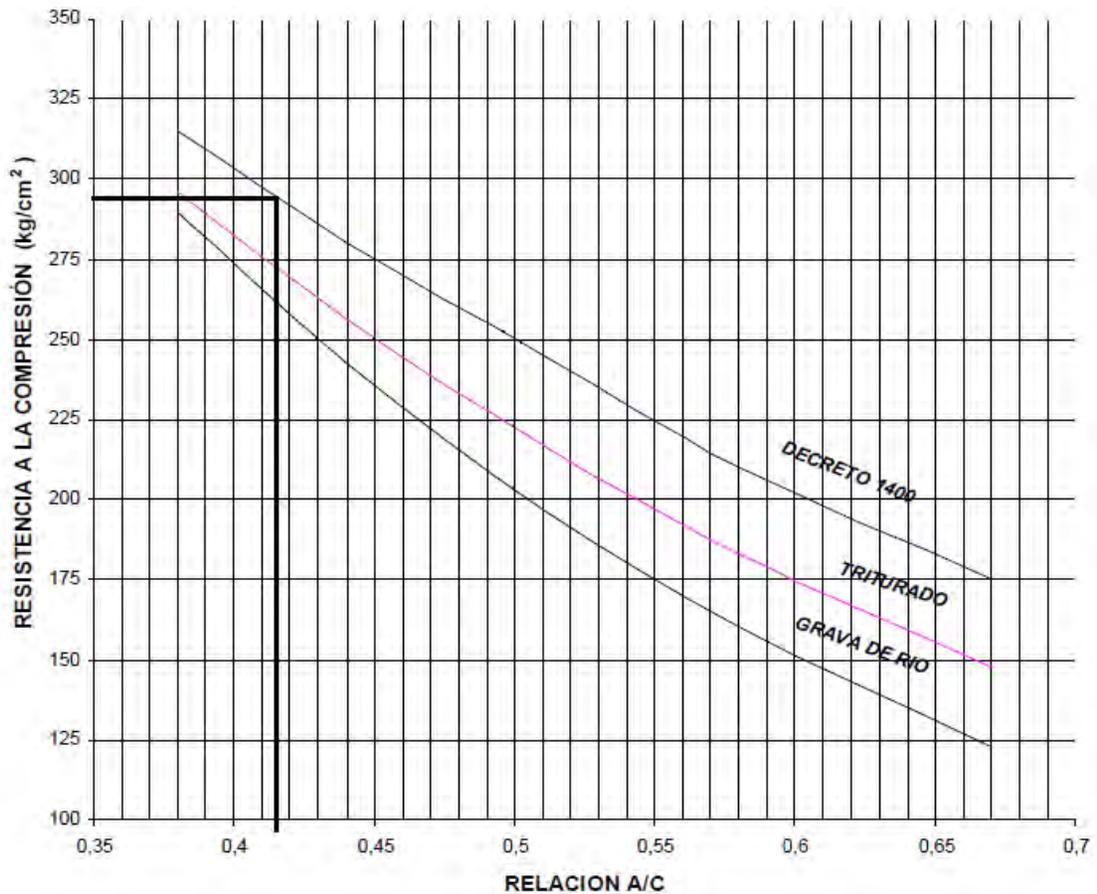


Figura 5. Gráfico para determinar la relación A/C en referencia a la resistencia.

Por resistencia (figura 5): en la figura se puede ver la relación entre la relación A/C y la resistencia a la compresión según decreto 1400.

Entrando a la gráfica por el valor de 295 kg/cm², que es la resistencia nominal de diseño escogida; se lleva horizontalmente una línea hasta interceptar con la curva del DECRETO 1400 y de forma vertical se desplaza una línea hasta encontrar el eje x y leer su valor; en este caso es aproximadamente 0,42.

Tabla 25. Relación A/C por durabilidad.

VALORES MÁXIMOS PARA LAS RELACIONES A/C PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS Y GRADOS DE EXPOSICIÓN			
TIPO DE ESTRUCTURAS	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN		
	Número superior clima severo, bastante variación de temperatura ++		
	Número inferior clima suave, lluvioso o seco.		
	EN EL AIRE	Concreto en el agua o al alcance de niveles oscilantes de agua.	
	Agua dulce	Agua salada o en contacto con sulfatos. +	
Secciones delgadas, concreto ornamental, pilotes reforzados, tuberías, secciones con recubrimientos menores de 2,5 cm	0,49 0,53	0,44 0,49	0,40 0,40
Secciones moderadas como muros de contención, estribos, pilas, vigas.	0,53 *	0,49 0,53	0,44 0,44
Partes exteriores de estructuras masivas	0,57 —	0,49 0,53	0,44 0,44
Concreto depositado bajo el agua	— —	0,44 0,44	0,44 0,44
Losas sobre el piso	0,53 *	— —	— —
Concreto protegido contra la meteorización, interior de edificio, concreto en el subsuelo	* *	— —	— —
++ Debe tratar de usarse aire incorporado *Las relaciones A/C deben seleccionarse con base en los requisitos de resistencia + Para concentraciones de sulfatos mayores de 0.2% del suelo o del agua			

Por durabilidad (Tabla 25): se toma como guía el tipo de estructura secciones moderadas como muros de contención, estribos, pilas, vigas ya que abarca varios elementos utilizados en la ingeniería y las condiciones de exposición serán en el aire, al cruzar estos datos se obtiene un valor de relación A/C = 0,53

Tabla 26. Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua – cemento para los cementos colombianos, portland tipo I, en concretos sin aire incluido.

Resistencia a la compresión kg/cm ²	Relación agua-cemento en peso		
	Línea superior	Línea media	Línea inferior
140	-	0.72	0.65
175	-	0.65	0.58
210	0.70	0.58	0.53
245	0.64	0.53	0.49
280	0.59	0.48	0.45
315	0.54	0.44	0.42
350	0.49	0.40	0.38

Por medio del libro de Diego Sánchez de Guzmán (Tabla 26): Efectuando una polarización de datos y conociendo la resistencia de trabajo igual a 295 kg/cm², se encuentra una relación agua-cemento de 0,46.

Se toma para el caso es un valor de 0,46, basándose en los siguientes criterios, el tamaño de los agregados, y una relación con la cual se garantiza una buena manejabilidad de la mezcla. Y a criterio personal este valor cumple con las expectativas.

3.3.7 Cálculo del contenido de cemento. Con la relación A/C escogida y la cantidad de agua de la mezcla, se despeja el cemento obteniendo su contenido en kg/ m³ de concreto.

$$0,46 = 185 \text{ Lt} / C; C = 185/0,46 = 402,17 \text{ kg/m}^3;$$

3.3.8 Agregados. Para encontrar el volumen absoluto de los agregados se tiene la siguiente sumatoria

$$\text{Vol. Abs. Agregados} + \text{Vol. Abs. Agua} + \text{Vol. Abs. Cemento} = 1000 \text{ dm}^3$$

Para encontrar el Vol. Abs. Agregados se despeja de la anterior ecuación y ya se tiene el valor de masa y peso específico tanto del agua como del cemento, se puede hallar el volumen de estos.

$$\text{Vol. Abs. Agregados} = 1000 - \frac{185}{1} - \frac{402,17}{2,85} = 673,9 \text{ dm}^3$$

Ahora para obtener el peso específico promedio de los agregados se utiliza la siguiente fórmula donde i representa agregado fino y grueso con sus respectivos porcentajes agregado grueso 63% y agregado fino 37%.

$$G \text{ Promedio} = \frac{100}{\sum \frac{\%i}{Gi}} = \frac{100}{\frac{37}{2,2} + \frac{63}{2,09}} = 2,14 \text{ Kg / dm}^3$$

El peso de los agregados serán $(W_a) = \text{Vol. Abs. Agregados} * G \text{ promedio}$

$$= 673,9 \text{ dm}^3 * 2,14 \text{ kg/dm}^3 = 1439,61 \text{ kg}$$

Para encontrar el peso de cada tipo de agregado, grueso y fino se realiza lo siguiente:

$$\text{Agregado fino} = W_a * 37\% = 532,66 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso} = W_a * 63\% = 906,96 \text{ Kg}$$

3.3.9 Proporciones iniciales. Con todos los valores antes encontrados se realiza la siguiente tabla, donde se muestra una primera proporción de agregados, agua y cemento para la mezcla. (Ver tabla 27).

Tabla 27. Proporciones iniciales.

	AGUA	CEMEN	A. FINO	A. GRUESO	Σ
Peso de Materiales (kg/m ³)	185	402,17	532,66	906,96	2026,79
Volumen Abs. de materiales (litros y dm ³)/m ³	185	141,11	239,94	433,95	1000
Proporción en peso	0,46	1	1,32	2,26	

3.3.10 Primera prueba de mezcla:

Tabla 28. Volúmenes primera prueba

Volumen de concreto a preparar:	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial	Vol Inic	% Desper	V. Definitivo
Asentamiento	1	0,0055	0,0055			
Cilindros	9	0,0053	0,0477	0,0532	20	0,06384

En la anterior tabla se seleccionó la cantidad de elementos a realizar, para la primera prueba de mezcla se realizó (1) Slump que se utiliza para verificar el asentamiento y 9 cilindros para fallar a 7, 14 y 28 días con el fin de verificar la necesidad de realizar corrección por resistencia, estos especímenes se realizaron sin adición de ripio.

Se calcula la cantidad de cemento para la primera mezcla de prueba así:

Peso del cemento por m³ de concreto * Volumen definitivo

Cantidad de cemento (C1) = 402,17 Kg/dm³ * 0,06384 dm³ = 25,67 Kg

Es importante tener en cuenta las humedades de los agregados para determinar las cantidades que se necesitan para realizar la mezcla, para este caso se encontraron las siguientes humedades:

Agregado Fino (Hnf) = 14,74%

Agregado Grueso (Hng) = 0,75%

Para determinar las cantidades finales de los agregados, del cemento y el agua se calculan en la tabla 29.

Los datos de la tabla 29 resultan del siguiente análisis; con las proporciones iniciales encontradas anteriormente 1 : 1,32 : 2,26. Y relación A/C= 0,46

Columna (1); resulta de multiplicar

Agua= 0,46 * C1 = 11,81

Cemento= 1 * C1 = 25,67

Agre. Fino= 1,32 * C1 = 34,00

Agre. Grueso = 2,26 * C1 = 57,90

Columna (2)

$$\text{Agregado fino} = \text{Col (1)} * (1 + H_{nf}) = 34,00 * 1,1474 = 38,88$$

$$\text{Agregado grueso} = \text{Col (1)} * (1 + H_{ng}) = 57,90 * 1,0075 = 58,34$$

Columna (3)

$$\text{Agregado fino} = \text{Col (2)} - \text{Col (1)} = 38,88 - 34,00 = 4,88$$

Tabla 29. Estimación agua de aporte.

Materiales	Peso seco (1)	Peso Húmedo (2)	Agua agregada (3)	Absorción (4)	Agua Libre (5)	Agua de Aporte (6)
AGUA	11,81					
CEMENTO	25,67					
AGRE. FINO	34,00	38,88	4,88	5,11	-0,23	
AGRE. GRUESO	57,90	58,34	0,44	1,31	-0,87	-1,10

$$\text{Agregado grueso} = \text{Col (2)} - \text{Col (1)} = 58,34 - 57,90 = 0,44$$

Columna (4)

$$\text{Agregado fino} = \text{Col (1)} * \text{Absorción agregado fino} = 34,00 * 15,02\% = 5,11$$

$$\text{Agregado grueso} = \text{Col (1)} * \text{Absorción agregado grueso} = 57,90 * 2,26\% = 1,31$$

Columna (5)

$$\text{Agregado fino} = \text{Col (3)} - \text{Col (4)} = 4,88 - 5,11 = - 0,23$$

$$\text{Agregado grueso} = \text{Col (3)} - \text{Col (4)} = 1,31 - 0,44 = - 0,87$$

Columna (6)

$$\Sigma \text{Columna (5)} = - 0,23 - 0,87 = - 1,10$$

3.3.11 Pesos finales primera mezcla de prueba

Tabla 30. Pesos finales primera mezcla de prueba en kilogramos.

Agua de mezcla teórica=Agua calculada - Aporte	12,91
Cemento	25,67
Agregado Fino	38,88
Agregado Grueso	58,34

El proceso para la anterior tabla:

➤ Agua mezcla teórica = Agua Calculada – Agua de Aporte = 11,81 – (- 1,10)

- = 12,91 lt.
- Cemento= es el mismo valor calculado en peso seco.
 - Agregado fino = teniendo en cuenta la humedad presente en este material se calcula su valor final en la tabla 27 que es 38,88 kg.
 - Agregado grueso= de igual manera que el agregado fino se toma de la tabla 27 que da como resultado 58,34 kg.

Con los valores obtenidos del diseño de mezcla se preparó nueve cilindros como se dijo anteriormente, para ser fallados a los 7, 14 y 28 días dividiendo tres muestras para cada día. Todo esto con el fin de conocer la resistencia real del concreto elaborado y concluir dos cosas, si la resistencia obtenida a los 28 días es la necesaria para cumplir con el objetivo y si la resistencia está muy por encima de lo esperado por lo cual se debe realizar un ajuste por resistencia. En el anexo (2) se puede ver los datos y resultados obtenidos en los cilindros de prueba, que se resumen a continuación. (Ver tabla 31-33).

Tabla 31. Resultados ensayo a compresión, edad 7 días.

Ensayo a los 7 días				
Cilindro	1	2	3	Promedio
Peso (kg)	12,69	13,85	12,61	13,05
Carga (kN)	380	390	391	387
Resistencia real (MPa)	21,22	21,49	21,83	21,51
Desarrollo (%)	71,93	72,86	74,01	72,93

La fila desarrollo equivale al porcentaje alcanzado en comparación a la resistencia promedio de diseño (29,5 MPa)

Tabla 32. Resultados ensayo a compresión, edad 14 días.

Ensayo a los 14 días				
Cilindro	1	2	3	Promedio
Peso (kg)	12,61	12,39	12,88	12,63
Carga (kN)	509,5	477,9	495,7	494,37
Resistencia real (MPa)	28,45	26,69	27,68	27,61
Desarrollo (%)	96,44	90,46	93,83	93,58

Tabla 33. Resultados ensayo a compresión, edad 28 días.

Ensayo a los 28 días				
Cilindro	1	2	3	Promedio
Peso (kg)	12,49	12,56	12,73	12,59
Carga (kN)	558,3	569,1	573,6	567
Resistencia real (MPa)	30,77	31,78	31,61	31,35
Desarrollo (%)	104,30	107,73	107,15	106,39

4. PROCESO CONSTRUCTIVO DE ESPECÍMENES

PASO 1. Selección del material



Imagen 28. Tamizado de material agregado grueso retenido No. 4, agregado fino pasante No. 4.

PASO 2. Determinación humedad.

Previo al proceso de tamizado del material, se calculó su respectiva humedad para realizar de forma correcta la dosificación de la mezcla (RIVERA L. Gerardo, Tecnología del concreto, 2008). (Ver imagen 29).

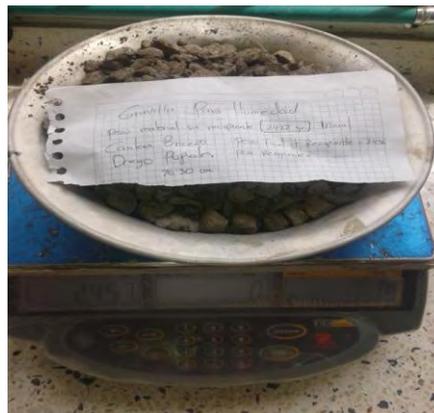


Imagen 29. Cálculo humedad del material.

PASO 3. Pesaje material

Se llevó a cabo según dosificación y número de especímenes a realizar. Para el caso de la dosificación con ripio, se reemplazó el 10% del agregado fino en peso, por este material. (Ver imagen 30).



Imagen 30. Pesaje de material según dosificación

PASO 4. Adecuación de moldes

Consiste en ajustar las tuercas y aplicar el desmoldante, en este caso se utilizó ACPM. (Ver imagen 31).



Imagen 31. Ajuste de tuercas y aplicación de desmoldante.

PASO 5. Mezcla de materiales.

Antes de mezclar los materiales, se humedece el trompo para evitar que le quite humedad a la mezcla. Seguido de esto, se adiciona el triturado para evitar que se pegue la mezcla a las paredes del trompo. (Ver imagen 32).



Imagen 32. Mezclado de materiales en el trompo.

PASO 6. Ensayo de asentamiento. (I.N.V. E-404-13)

Una vez que la mezcla se encuentra homogénea se procede a realizar el ensayo de asentamiento empleando el cono de Abrahams. Antes de realizar el ensayo se humedece el cono y las herramientas. (Ver imagen 33).



Imagen 33. Herramientas para realizar ensayo de asentamiento.

El ensayo consiste en verter del trompo una cantidad suficiente para llenar el cono de la siguiente forma: se realiza tres capas distribuidas a la misma altura, por cada capa se debe dar 25 golpes con una varilla de 3/4" lisa, alrededor del área transversal de cada capa.

El llenado de la última capa debe estar por encima del borde del cono para facilitar el enrase. Al terminar las tres capas y el enrase se levanta el cono de forma vertical e inmediatamente se mide su asentamiento, para el cual por tratarse de una mezcla de consistencia media, su asentamiento debe estar entre 5 y 10 cm. Para el caso fue seleccionado el promedio del rango, es decir, 7,5 cm, sirviendo de referente para tener una mezcla manejable. (Ver imagen 34).



Imagen 34. Levantamiento del cono y medición del asentamiento.

PASO 7. Llenado de moldes.

Después de obtener el asentamiento requerido, se procede a vaciar la mezcla en los moldes previamente preparados. (Ver imagen 35).



Imagen 35. Llenado de moldes con mezcla.

PASO 7.1 Cilindros. (I.N.V. E.-402)

Para el llenado de la mezcla se debe emplear cucharón o palustre, asegurando una distribución uniforme. (Ver imagen 36-37).



Imagen 36. Molde y herramientas para hacer cilindros de concreto.



Imagen 37. Llenado moldes con mezcla.

Seguido de esto la mezcla se distribuye con la varilla de compactación, se utilizaron moldes de 15cm de diámetro y 30cm de altura, lo cual implica según la norma una distribución del material en 3 capas de igual espesor aproximadamente. (Ver imagen 38).



Imagen 38. Compactación de mezcla con varilla.

La compactación se realiza por medio de apisonamiento por tratarse de un asentamiento superior a los 25mm (I.N.V. E.-402, 6.4.1). Cada capa se apisona con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de varilla especificada en la tabla 402-2 (I.N.V. E.-402). Por tratarse de un diámetro de 150mm se emplea una varilla de 5/8" dando 25 golpes por cada capa. Luego de apisonar se debe golpear ligeramente los lados del molde para liberar las burbujas de aire atrapadas, dando 12 golpes con un mazo de caucho, 4 por cada capa, estos serán dados en cada punto cardinal. (Ver imagen 39).



Imagen 39. Utilización del mazo de caucho.

Después de la consolidación, se efectúa el acabado de la superficie empleando la varilla de forma horizontal. Seguido de esto se pasa el palustre para que la superficie quede lo más lisa y uniforme posible.

PASO 7.2 Vigas (I.N.V. E.-402)

Para el llenado de la mezcla se debe emplear cucharón o palustre, asegurando una distribución uniforme. (Ver imagen 40).



Imagen 40. Molde y herramientas para hacer vigas de concreto

Seguido de esto la mezcla se distribuye con la varilla de compactación, para este caso se utilizaron moldes de sección transversal de 15cm de ancho x 53cm de largo y 15 cm de altura, aproximadamente. Por tratarse de un espesor inferior a los 200mm se realizaron 2 capas de igual espesor (Tabla 6.3.3, I.N.V. E.-402). (Ver imagen 41-42).



Imagen 41. Llenado de mezcla con palustre.



Imagen 42. Compactación mezcla con varilla.

La compactación se realiza por medio de apisonamiento, debido a que el área superficial de la muestra es superior a 320cm^2 (825cm^2 , área superficial molde a emplear), se emplea según tabla 402-2, I.N.V. E.-402 una varilla con diámetro $5/8''$ y 1 golpe por cada 14cm^2 , es decir, 59 golpes distribuidos uniformemente en la parte superior. Luego de apisonar se debe golpear ligeramente los lados del molde para liberar las burbujas de aire atrapadas, dando entre 10 y 15 golpes con un mazo de caucho. (Ver imagen 43).



Imagen 43. Utilización mazo de caucho.

Después de la consolidación, se efectúa el acabado de la superficie empleando la varilla de forma horizontal. (Ver imagen 44).



Imagen 44. Acabado superficial con la varilla.

Seguido de esto se pasa el palustre para que la superficie quede lo mas lisa y uniforme posible. (Ver imagen 45).



Imagen 45. Acabado con palustre.

PASO 8. Desencofrado y curado

Una vez terminada la etapa de acabado de cilindros o vigas, se procede almacenarlos en un lugar fresco durante 24 horas. (Ver imagen 46).



Imagen 46. Desencofrado de cilindros y vigas

A continuación se retira el molde con mucho cuidado para evitar golpes en las muestras y se los marca, según duración en la piscina, fecha de elaboración y si fueron fundidos con o sin ripio. (Ver imagen 47).



Imagen 47. Marcado de cilindros y vigas.

Por último, se sumergen en la piscina hasta que cumplan su tiempo de curado.



Imagen 48. Depósito de especímenes para curado.

PASO 9. Ensayo a compresión y flexión de especímenes.

PASO 9.1 Ensayo a compresión de cilindros (I.N.V. E-410-13)

Los cilindros fundidos con mezcla patrón, al igual que los fundidos con ripio, cumplieron un periodo de 14 y 28 días de curado antes de ser sometidos al ensayo a compresión.



Imagen 49. Cilindros en proceso de curado.

Después de retirar los cilindros de la piscina se procede a secarlos superficialmente para ubicarlos en el equipo.

El equipo empleado para los ensayos fue el siguiente. (Ver imagen 50).



Imagen 50. Equipo para fallar a compresión y flexión.

El equipo consta de:

- 1) Computador para entrada y procesamiento de datos,
- 2) Tablero de comandos.
- 3) Sistema para ensayos a flexión.
- 4) Sistema para ensayos a compresión.

Se pesa cada cilindro y se le coloca en la parte superior e inferior dos discos, seguido de esto se lo ubica en la sección del equipo dispuesta para realizar el ensayo a compresión.



Imagen 51. Pesaje y falla de cilindros.

Se enciende el equipo, se verifica que este programado para rango alto y que la válvula se encuentre totalmente descargada.

Antes de iniciar se debe programar para ensayo a compresión y llenar los datos requeridos por el programa, algunos de estos son: No. de ensayo, fecha de elaboración, tipo de material, medidas de la muestra (diámetro y altura), resistencia nominal, edad de la muestra, velocidad de ensayo. Se inicia el ensayo, posteriormente el equipo arroja los resultados de la resistencia máxima a compresión que soportó cada muestra. Estos datos se van almacenando cada 3 muestras falladas en una hoja de cálculo.

PASO 9.2 Ensayo a flexión vigas (I.N.V. E-414-13)

Las vigas fundidas con mezcla normal, al igual que las fundidas con ripio, cumplieron un periodo de 14 y 28 días de curado antes de ser sometidas al ensayo a flexión. (Ver imagen 52).



Imagen 52. Vigas en proceso de curado.

Después de retirar las vigas de la piscina se procede a secar superficialmente para marcarlas, en sus bordes se deja un espacio de 1", donde irán los apoyos, esta distancia se divide en tres segmentos donde se ubican las cargas.



Imagen 53. Divisiones de la viga.

Se pesa cada viga y se dispone las secciones del equipo en su lugar. A continuación se ubica la viga en la sección del equipo dispuesta para realizar el ensayo a flexión. (Ver imagen 54).



Imagen 54. Pesaje de vigas.

Se verifica que el equipo este programado para rango bajo y que las divisiones de la viga coincidan con la misma posición de los rodillos.

Antes de iniciar se debe programar para ensayo a flexión con cuatro puntos y llenar los datos requeridos por el programa, algunos de estos son:

- No. de ensayo
- Fecha de elaboración
- Tipo de material.
- Medidas de la muestra (largo, alto y ancho)
- Resistencia nominal
- Edad de la muestra
- Velocidad de ensayo

Para que el ensayo sea válido, la falla debe situarse en el tercio medio o máximo a una distancia no mayor de 1% de la luz, a partir de dicho tercio,

PASO 10. Disposición final.

Los cilindros y vigas falladas son dispuestos en un lugar donde son recogidos por la empresa de aseo EMAS, estos elementos serán utilizados para la elaboración de adoquines. (Ver imagen 55).



Imagen 55. Depósito de vigas y cilindros fallados

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Resistencias de dosificación son: a la compresión (29,5 MPa); y módulo de rotura (3,84 MPa)

En la estadística, un valor distante por exceso o por defecto perteneciente a un grupo de valores se conoce como valor atípico, es un valor atípico leve aquel que se encuentra entre los rangos $[(Q1-1,5RQ) , Q1]$ y $[Q3 , (Q3+1,5RQ)]$; los datos atípicos que no se deben tener en cuenta para el análisis estadístico se encuentran en los siguientes rangos $[(Q1-2RQ) , Q1]$ y $[Q3 , (Q3+2RQ)]$. Después de obtener los 120 resultados de resistencia a compresión y 120 resultados de resistencia a flexión, se procede con el análisis estadístico que se realiza únicamente con las resistencias finales a los 28 días. (Ver tabla 34)

Tabla 34. Abreviaturas.

Pt CI 14 días	Cilindros patrón a 14 días
Rp CI 14 días	Cilindros con ripio a 14 días
Pt CI 28 días	Cilindros patrón a 28 días
Rp CI 28 días	Cilindros con ripio a 28 días
Pt Vg 14 días	Vigas patrón a 14 días
Rp Vg 14 días	Vigas con ripio a 14 días
Pt Vg 28 días	Vigas patrón a 28 días
Rp Vg 28 días	Vigas con ripio a 28 días

5.1 ANALISIS ESTADISTICO PARA MUESTRAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN.

5.1.1 Cilindros patrón y con ripio reciclado de llanta a 14 días:

Tabla 35. Resultados resistencia a compresión para muestras patrón y muestras con ripio reciclado de llantas, a 14 días.

Pt CI 14 días	Resistencia (MPa)
14_1	24,50
14_2	23,61
14_3	24,53
14_4	24,09
14_5	24,57
14_6	23,22
14_7	23,85
14_8	25,03
14_9	26,68
14_10	24,75
14_11	25,04
14_12	24,46
14_13	27,58
14_14	28,04
14_15	29,86
14_16	28,39
14_17	29,92
14_18	28,05
14_19	29,71
14_20	29,05
14_21	28,54
14_22	29,54
14_23	28,83
14_24	28,57
14_25	28,16
14_26	31,05
14_27	29,87
14_28	26,92
14_29	28,05
14_30	28,74

Rp CI 14 días	Resistencia (MPa)
14_1	16,00
14_2	16,47
14_3	17,19
14_4	17,59
14_5	16,37
14_6	15,72
14_7	15,87
14_8	16,42
14_9	17,63
14_10	17,34
14_11	15,47
14_12	16,35
14_13	16,75
14_14	16,77
14_15	17,00
14_16	16,34
14_17	16,47
14_18	15,70
14_19	15,22
14_20	15,98
14_21	16,09
14_22	16,14
14_23	16,26
14_24	16,46
14_25	15,59
14_26	16,02
14_27	16,28
14_28	15,11
14_29	16,19
14_30	16,26

- **Datos estadísticos cilindros patrón y con ripio reciclado de llanta a 14 días.**

Pt CI 14 días	
N cantidad de datos	30
Media	27,11
σ Des. Estándar pobl	2,301
S Des. estándar	2,341
Confianza 95%	[22,43 - 31,79]
Valor mínimo	23,22
Q1 cuartil 1	24,615
Mediana, curartil 2	28,05
Q3 cuartil 3	28,81
Moda	28,05
Valor máximo	31,05
RQ= Q3-Q1	4,19
1,5RQ=	6,29
2RQ=	8,39
Q3+1,5RQ=	35,10
Q1-1,5RQ=	18,33
Q3+2RQ=	37,19
Q1-2RQ=	16,23

Rp CI 14 días	
N cantidad de datos	30
Media	16,30
σ Des. Estándar pobl	0,615
S Des. estándar	0,625
Confianza 95%	[15,05-17,55]
Valor mínimo	15,11
Q1 cuartil 1	15,99
Mediana, curartil 2	16,27
Q3 cuartil 3	16,47
Moda	16,47
Valor máximo	17,63
RQ= Q3-Q1	0,49
1,5RQ=	0,73
2RQ=	0,97
Q3+1,5RQ=	17,20
Q1-1,5RQ=	15,26
Q3+2RQ=	17,44
Q1-2RQ=	15,02

5.1.2 Cilindros patrón y con ripio reciclado de llanta a 28 días:

Tabla 36. Resultados resistencia a compresión para muestras patrón y muestras con ripio reciclado de llantas, a 28 días.

Pt CI 28 días	Resistencia (MPa)
28_1	29,50
28_2	33,04
28_3	30,26
28_4	33,99
28_5	30,12
28_6	32,54
28_7	32,73
28_8	29,67
28_9	33,73
28_10	31,45
28_11	29,26
28_12	29,37
28_13	31,10
28_14	30,72
28_15	31,02
28_16	29,91
28_17	30,01
28_18	31,35
28_19	30,60
28_20	28,60
28_21	32,84
28_22	32,39
28_23	33,16
28_24	32,54
28_25	32,53
28_26	32,46
28_27	31,04
28_28	33,73
28_29	32,56
28_30	33,17

Rp CI 28 días	Resistencia (MPa)
28_1	17,14
28_2	19,23
28_3	18,37
28_4	19,97
28_5	21,01
28_6	18,67
28_7	18,07
28_8	19,10
28_9	19,97
28_10	18,75
28_11	18,97
28_12	20,51
28_13	18,73
28_14	20,31
28_15	17,88
28_16	19,98
28_17	19,30
28_18	19,72
28_19	18,28
28_20	19,68
28_21	19,55
28_22	19,54
28_23	19,48
28_24	20,04
28_25	20,62
28_26	21,42
28_27	19,71
28_28	21,53
28_29	19,97
28_30	19,89

- Datos estadísticos cilindros patrón y con ripio reciclado de llanta a 28 días.

Pt CI 28 días	
N cantidad de datos	30
Media	31,51
σ Des. Estándar pobl	1,516
S Des. estándar	1,542
Confianza 95%	[28,43 - 34,60]
Valor mínimo	28,60
Q1 cuartil 1	30,16
Mediana, curartil 2	31,40
Q3 cuartil 3	32,69
Moda	32,54
Valor máximo	33,99
RQ= Q3-Q1	2,53
1,5RQ=	3,80
2RQ=	5,07
Q3+1,5RQ=	36,49
Q1-1,5RQ=	26,36
Q3+2RQ=	37,75
Q1-2RQ=	25,09

Rp CI 28 días	
N cantidad de datos	30
Media	19,51
σ Des. Estándar pobl	0,998
S Des. estándar	1,015
Confianza 95%	[17,48-21,54]
Valor mínimo	17,14
Q1 cuartil 1	18,81
Mediana, curartil 2	19,62
Q3 cuartil 3	19,98
Moda	19,97
Valor máximo	21,53
RQ= Q3-Q1	1,17
1,5RQ=	1,76
2RQ=	2,35
Q3+1,5RQ=	21,74
Q1-1,5RQ=	17,05
Q3+2RQ=	22,32
Q1-2RQ=	16,46

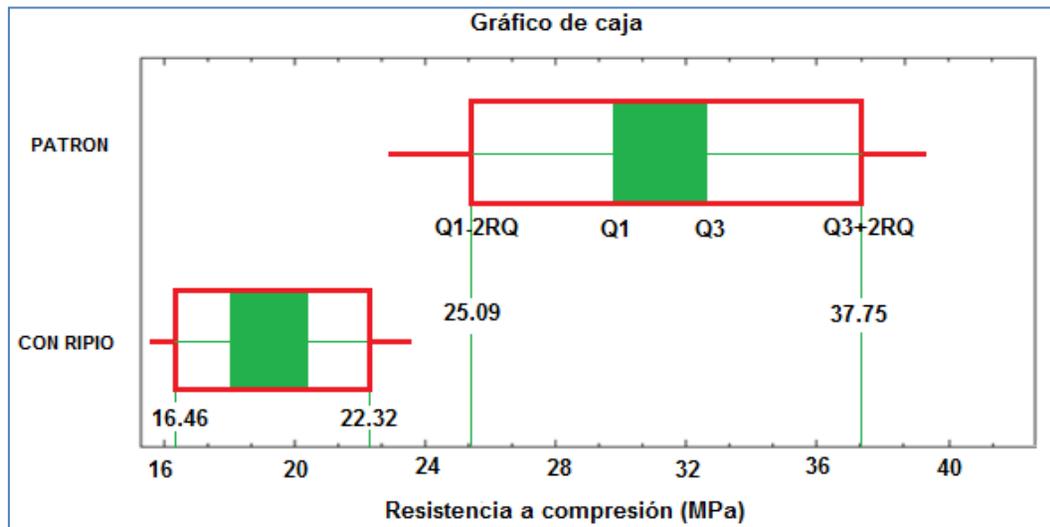


Figura 6. Diagrama de caja Resistencia a compresión

En el anterior gráfico, se puede visualizar que los datos obtenidos se encuentran dentro del rango, verificando que el valor mínimo y el máximo están dentro del margen.

Datos de resistencia a compresión con respecto a la media aritmética		
Edad (días)	Con ripio	Patrón
7	14,63	23,63
14	16,3	27,11
28	19,51	31,51

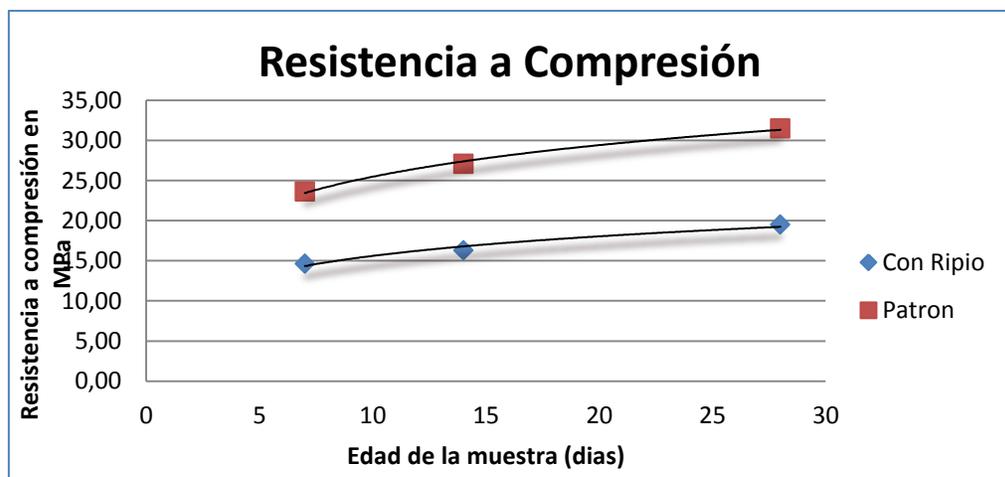


Figura 7. Gráfica de resistencia a compresión vs edad de muestra

En la figura anterior, se observa como disminuye la resistencia a compresión de las muestras con ripio reciclado de llanta, con respecto a las muestras ensayadas con la mezcla patrón. Debido a que en este trabajo no se realizó ensayos a 7 días en la gráfica se toma como referencia el 75% de la resistencia a los 28 días.

5.2 ANALISIS ESTADISTICO, MUESTRAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

5.2.1 Vigas patrón y con ripio reciclado de llanta a 14 días:

Tabla 37. Resultados módulo de rotura para muestras patrón y muestras con ripio reciclado de llantas, a 14 días.

Pt Vg 14 días	Mr (MPa)
14_1	3,51
14_2	3,43
14_3	3,37
14_4	3,52
14_5	3,61
14_6	3,65
14_7	4,04
14_8	3,64
14_9	3,37
14_10	3,87
14_11	3,68
14_12	3,78
14_13	3,77
14_14	3,5
14_15	3,43
14_16	3,7
14_17	3,39
14_18	3,61
14_19	3,55
14_20	3,58
14_21	3,53
14_22	3,79
14_23	4,35
14_24	3,7
14_25	3,65
14_26	3,9
14_27	4,07
14_28	3,37
14_29	3,61
14_30	3,68

Rp Vg 14 días	Mr (MPa)
14_1	2,94
14_2	2,96
14_3	3,11
14_4	2,85
14_5	2,99
14_6	3,3
14_7	2,89
14_8	2,82
14_9	2,86
14_10	2,97
14_11	2,74
14_12	3,06
14_13	2,95
14_14	2,82
14_15	2,95
14_16	2,83
14_17	2,91
14_18	3,21
14_19	2,95
14_20	3,12
14_21	2,91
14_22	2,83
14_23	2,61
14_24	2,99
14_25	2,83
14_26	2,77
14_27	2,85
14_28	2,9
14_29	2,8
14_30	3,02

- **Datos estadísticos vigas patrón y con ripio reciclado de llanta a 14 días.**

Pt Vg 14 días	
N cantidad de datos	30
Media	3,66
σ Des. Estándar pobl	0,222
S Des. estándar	0,226
Confianza 95%	[3,20 - 4,11]
Valor mínimo	3,37
Q1 cuartil 1	3,51
Mediana, curartil 2	3,63
Q3 cuartil 3	3,75
Moda	3,37
Valor máximo	4,35
RQ= Q3-Q1	0,24
1,5RQ=	0,36
2RQ=	0,48
Q3+1,5RQ=	4,11
Q1-1,5RQ=	3,15
Q3+2RQ=	4,23
Q1-2RQ=	3,03

Rp Vg 14 días	
N cantidad de datos	30
Media	2,92
σ Des. Estándar pobl	0,138
S Des. estándar	0,141
Confianza 95%	[2,64 - 3,21]
Valor mínimo	2,61
Q1 cuartil 1	2,83
Mediana, curartil 2	2,91
Q3 cuartil 3	2,99
Moda	2,95
Valor máximo	3,30
RQ= Q3-Q1	0,16
1,5RQ=	0,23
2RQ=	0,31
Q3+1,5RQ=	3,22
Q1-1,5RQ=	2,60
Q3+2RQ=	3,30
Q1-2RQ=	2,52

5.2.2 Vigas patrón y con ripio reciclado de llanta a 28 días.

Tabla 38. Resultados Modulo de rotura para muestras patrón y muestras con ripio reciclado de llantas, a 28 días.

Pt Vg 28 días	Mr (MPa)
28_1	3,91
28_2	4,07
28_3	4,14
28_4	3,94
28_5	3,94
28_6	4,29
28_7	4,02
28_8	4,17
28_9	4,18
28_10	4,13
28_11	4,26
28_12	3,82
28_13	3,81
28_14	4,48
28_15	3,96
28_16	3,86
28_17	4,08
28_18	3,96
28_19	3,88
28_20	4,18
28_21	3,87
28_22	4,15
28_23	3,89
28_24	4,02
28_25	3,88
28_26	3,9
28_27	4,22
28_28	4,3
28_29	4,09
28_30	4,22

Pt Vg 28 días	Mr (MPa)
28_1	3,42
28_2	3,24
28_3	3,6
28_4	3,19
28_5	3,14
28_6	3,24
28_7	3,59
28_8	3,6
28_9	3,15
28_10	3,1
28_11	3,19
28_12	3,18
28_13	3,56
28_14	3,32
28_15	3,22
28_16	3,48
28_17	3,49
28_18	3,31
28_19	3,21
28_20	3,3
28_21	3,41
28_22	3,29
28_23	3,11
28_24	3,08
28_25	3,4
28_26	3,48
28_27	3,21
28_28	3,25
28_29	3,31
28_30	3,28

- **Datos estadísticos vigas patrón y con ripio reciclado de llanta a 28 días.**

Pt Vg 28 días	
N cantidad de datos	30
Media	4,05
σ Des. Estándar pobl	0,166
S Des. estándar	0,169
Confianza 95%	[3,72 - 4,39]
Valor mínimo	3,81
Q1 cuartil 1	3,90
Mediana, curartil 2	4,05
Q3 cuartil 3	4,18
Moda	3,94
Valor máximo	4,48
RQ= Q3-Q1	0,28
1,5RQ=	0,41
2RQ=	0,55
Q3+1,5RQ=	4,59
Q1-1,5RQ=	3,49
Q3+2RQ=	4,73
Q1-2RQ=	3,35

Rp Vg 28 días	
N cantidad de datos	30
Media	3,31
σ Des. Estándar pobl	0,154
S Des. estándar	0,156
Confianza 95%	[2,99 - 3,63]
Valor mínimo	3,08
Q1 cuartil 1	3,20
Mediana, curartil 2	3,29
Q3 cuartil 3	3,42
Moda	3,24
Valor máximo	3,60
RQ= Q3-Q1	0,22
1,5RQ=	0,33
2RQ=	0,45
Q3+1,5RQ=	3,75
Q1-1,5RQ=	2,86
Q3+2RQ=	3,86
Q1-2RQ=	2,75

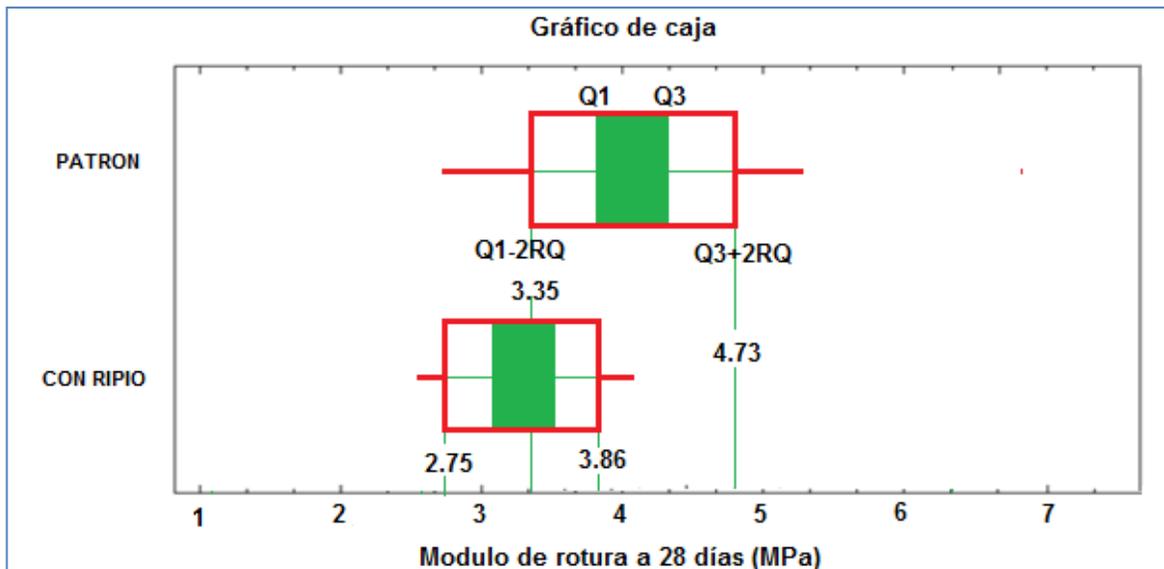


Figura 8. Diagrama de caja modulo de rotura.

En el anterior gráfico se puede visualizar que los datos obtenidos se encuentran dentro del rango, verificando que el valor mínimo y el máximo están dentro del margen. (Ver figura 9).

Datos Modulo de rotura con respecto a la media aritmética		
Edad (días)	Con ripio	Patrón
7	2,48	3,04
14	2,92	3,66
28	3,31	4,05

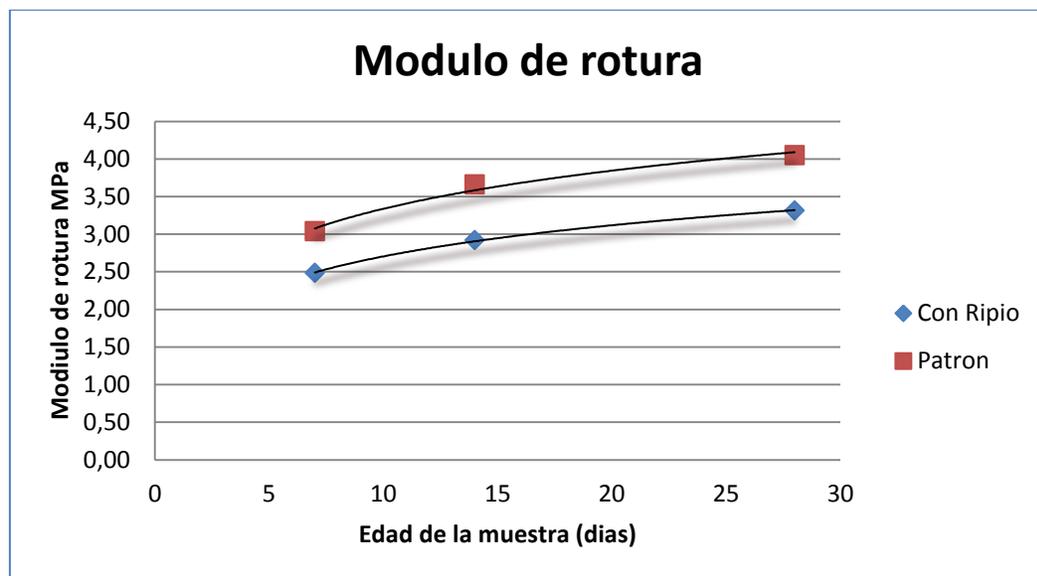


Figura 9. Gráfica módulo de rotura vs edad de muestra.

En la figura 9, se observa la disminución del módulo de rotura de las muestras con ripio reciclado de llanta, con respecto a las muestras ensayadas con la mezcla patrón. Debido a que en este trabajo no se realizó ensayos a 7 días, en la gráfica se toma como referencia el 75% de la resistencia a los 28 días.

Tabla 39. C.5.3.1.2 – Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos. (Fuente NSR-10)

Número de ensayos*	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra +
Menos de 15	Emplee la tabla C.5.3.2.2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

* Interpolar para un número de ensayos intermedios.

+ Desviación estándar de la muestra modificada, S_s , para usar en la determinación de la resistencia promedio requerida F'_{cr} de C.5.3.2.1.

6. ESTIMACIÓN ECONOMICA DE LOS MATERIALES PRESENTES EN LAS MEZCLAS PATRON Y CON RIPIO RECICLADO DE LLANTA.

La inclusión de nuevos productos al concreto tradicional coadyuva en este caso a liberar un poco la contaminación ambiental producto del mal uso dado a las llantas usadas, pero también incide en el precio del nuevo producto. En este caso afectando de manera positiva por la disminución del precio, dando una alternativa para evaluar posteriormente en otros trabajos, si la disminución en la resistencia como se vio anteriormente puede ser subsanada con la disminución del precio. A continuación se presenta los precios unitarios del concreto patrón en comparación con el precio del concreto incluido el ripio reciclado de llanta. (Ver tabla 40).

Tabla 40. Presupuesto de materiales para mezcla patrón y mezcla con 10% de ripio reemplazando al agregado fino en peso.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO	PRECIOS DE MATERIALES PARA CONCRETO PATRÓN				
FACULTAD DE INGENIERIA	Und. M3				
II. MATERIALES EN OBRA					
Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
Gravilla 3/4 Pabon	M3	41.000	0,438	17.958	
Agua	LT	5,0	186,45	932,25	
Arena negra lavada Las Terrazas	M3	35.000	0,281	9.835	
Cemento gris Cemex Tipo I	KG	540	402,17	217.171,8	
Desperdicio	%		5	12.294,9	
Total					258.191,9
UNIVERSIDAD DE NARIÑO	PRECIOS DE MATERIALES PARA CONCRETO REMPLAZADO EL 10% DE ARENA POR RIPIO EN PESO				
FACULTAD DE INGENIERIA	Und. M3				
II. MATERIALES EN OBRA					
Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
Gravilla 3/4 Pabon	M3	41.000	0,438	17.958	
Agua	LT	5,0	198	990	
Arena negra lavada Las Terrazas	M3	35.000	0,253	8.855	
Cemento gris Cemex Tipo I	KG	540	402,17	217.171,8	
Ripio	KG	7	62,42	436,9	
Desperdicio	%		5	12.270,6	
Total					257.682,3

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de los materiales empleados

- ✓ El cemento utilizado para la presente investigación fue CEMEX TIPO I, cumpliendo normalmente, sin causar acciones negativas o cambios durante el proceso.
- ✓ El agregado fino, en este caso arena negra procedente de la cantera las Terrazas ubicada en el corregimiento de Catambuco vía a Ipiales y que perteneciente a la ciudad de Pasto, cumple con la granulometría y los parámetros esperados en base a las especificaciones INVIAS, no sin antes resaltar que fue necesario Tamizar este material, y utilizar únicamente el pasante de la malla N° 4. El valor comercial fue de \$35.000 pesos colombianos el metro cubico.

Dentro de la caracterización se obtuvo el módulo de finura de 3,32 que indica que se trata de una arena media, un coeficiente de uniformidad de 6,8 siendo uniforme cuando su valor es mayor a 6, como es este caso y un coeficiente de curvatura de 1,06, el rango para una arena bien gradada se encuentra entre (1-3), esta arena esta dentro del rango.

- ✓ El agregado grueso fue adquirido en la cantera Pabón ubicada en Briceño bajo, salida al occidente de Pasto, con un valor comercial de \$41.000 pesos colombianos el metro cubico, este material presenta un tamaño máximo de 1", un tamaño máximo nominal de 1/2" y un aceptable gradado.
- ✓ El material principal de la investigación el ripio fue obtenido de la empresa reencauchadora ubicada en Pasto "Comllantas" teniendo las siguientes características: un porcentaje de 5% de acero, longitud promedio de las fibras de acero 7 cm, longitud promedio de fibras de caucho 2,5 cm y peso unitario suelto del ripio de 374 kg/m³. Y un valor económico de \$7 pesos colombianos el kilogramo.
- ✓ Para 1 m³ de concreto según el diseño de mezcla se necesitan 62,42 kg de ripio, y se conoce por fuente de Comllantas que de cada llanta de camión se obtiene 3 kg de ripio, nos lleva a decir que por cada m³ de concreto se están aprovechando 20,8 llantas de camión.
- ✓ Se trabajó con agua potable proveniente del sistema de acueducto municipal de Pasto para la mezcla y para el curado.

- ✓ Se compara el modulo de rotura especificado en la norma con la siguiente formula y el valor obtenido en laboratorio, resultando:

$$f_r = 0,63 \lambda \sqrt{F'_{cr}} ; \lambda=1 \text{ para concretos normales}$$

$$f_r = 0,63 * 1 * \sqrt{31,51}$$

$$f_r = 3,54 \text{ MPa}$$

$M_r = 4,05 \text{ MPa}$ de laboratorio.

El f_r obtenido por formula disminuye en un 12,59% con respecto al valor de 4,05 MPa obtenido en laboratorio por medio del ensayo de vigas, resaltando que el dato encontrado tiene una incidencia en otras características al momento de analizar una estructura.

Si hablamos del f_r hallamos que es necesario para encontrar el momento de agrietamiento, este último, base para determinar un momento de inercia efectivo, quien a su vez es indispensable para conocer las deflexiones presentes en un elemento estructural como lo son las vigas.

Si unimos todo lo anterior, se describe la importancia de conocer de forma acertada las características mecánicas del concreto, dando mayor certeza en la toma de decisiones para un análisis estructural.

Análisis de los ensayos del concreto fresco:

- ✓ Al realizar el ensayo de asentamiento con ayuda del cono de Abrahams en cada una de las mezclas realizadas, se observa que al momento de utilizar el ripio el asentamiento baja, creando una mezcla menos manejable, recurriendo a la necesidad de adicionar un pequeño porcentaje de agua para alcanzar el asentamiento deseado.

Ensayo de resistencia a la compresión:

- ✓ Los ensayos fueron realizados teniendo en cuenta la norma INV- 410 – 13, realizando 120 cilindros distribuidos de la siguiente manera. (Ver tabla 41)

Tabla 41. Distribución de especímenes a compresión.

30	Cilindros patrón a 14 días
30	Cilindros patrón a 28 días
30	Cilindros con ripio a 14 días
30	Cilindros con ripio a 28 días

Los cilindros se desencofraron a las 24 horas siguientes, de aquí en adelante fueron puestos en curado hasta cumplir su edad para ser fallados

A continuación, se presenta los datos encontrados una vez realizada la parte estadística. Resistencias de diseño: 21 MPa y la resistencia de dosificación: 29,5 MPa. (Ver tabla 42)

Tabla 42. Resumen ensayo a compresión aplicando método estadística.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)		
TIPO	14 días	28 días
Patrón	27.11	31.51
Con ripio	16.30	19.51
% Diferencia	22.79	38.08

Ensayo de resistencia a la flexión.

- ✓ Este ensayo se realizó con base en la norma INV – 414 – 13, calculando el Módulo de Rotura, sobre probetas prismáticas de 15 x 15 x 53 aproximadamente en centímetros, el ensayo se realizó aplicando la carga a los tercios de la luz entre apoyos. Los especímenes fabricados se distribuyen así:

Tabla 43. Distribución de especímenes a flexión.

30	Vigas patrón a 14 días
30	Vigas patrón a 28 días
30	Vigas con ripio a 14 días
30	Vigas con ripio a 28 días

Los resultados encontrados después del análisis estadístico fue el siguiente: . (Ver tabla 44-45)

Tabla 44. Resumen ensayos a flexión aplicando método estadística.

MODULO DE ROTURA (MPa)		
TIPO	14 días	28 días
Patrón	3.66	4.05
Con ripio	2.92	3.31
% Diferencia	20.22	18.27

Tabla 45. Resumen desviaciones estándar

Desviaciones estándar	
Cilindros patrón a 28 días	1.54
Cilindros con ripio a 28 días	1.02
Vigas patrón a 28 días	0.17
Vigas con ripio 28 días	0.16

- ✓ Cuando el número de datos es representativo, las desviaciones estándar y estándar poblacional arrojan datos muy cercanos, tal cual como se aprecia en el análisis estadístico de esta tesis.
- ✓ Los datos mínimos y máximos de la resistencia a compresión como a flexión a los 28 días, están dentro del intervalo que especifica los valores a tener en cuenta para la estadística según el análisis de cuartiles, por tal motivo si los extremos están dentro del rango obviamente todos los demás datos están incluidos y son aceptados para realizar el análisis estadístico.

8. CONCLUSIONES

Se concluye que los valores de resistencia a la compresión y el módulo de rotura de concreto con el ripio reciclado de llanta disminuyeron en un 38,08 y 18,27 % respectivamente comparado con las resistencias alcanzadas por el concreto patrón a una edad de 28 días. Los valores de resistencia a la compresión y el módulo de rotura de concreto con el ripio reciclado de llanta disminuyeron en un 22,79% y 20,22% respectivamente comparado con las resistencias alcanzadas por el concreto patrón a una edad de 14 días.

Las desviaciones estándar encontradas son pequeñas, van en un rango de (1.54 – 0.16) afirmando la homogeneidad de los datos coadyuvando a obtener datos que concuerdan con la realidad. El número de muestras realizadas (30 para cada ensayo) si es significativo, lo cual conlleva a datos verídicos y confiables. Todos los datos fueron tenidos en cuenta para el análisis estadístico todo esto en base al análisis de cuartiles hecho.

Los costos de los materiales presentes en la mezcla que contiene 10% de ripio reemplazando a la arena en peso tienen un costo por m^3 de 257.682,3 y el precio por m^3 de los materiales en la mezcla patrón es de 258.191,9, concluyendo que no existe una diferencia significativa, está corresponde al 0,20% que en términos de costos de materiales no contribuye a un ahorro. Con el análisis hecho para muestras ensayadas a los 14 días, se concluye que a esta edad el concreto en ambas mezclas adquiere una resistencia en porcentaje entre los (85-90) % de la resistencia final a los 28 días.

El tipo de falla de un cilindro con ripio reciclado de llanta se daba en corte de 45°, mientras que la falla del cilindro con la mezcla patrón se presenta en forma cónica, siendo esta la mejor de todas la falla posibles. El peso del concreto con ripio reciclado de llanta es menor al peso del concreto patrón, en un rango de (200-250) Kilogramos por metro cubico. Una característica física que se vio afectada para bien es la textura, se observó que en las muestras con el ripio reciclado de llanta se creaba una textura áspera sin necesidad de tareas adicionales, desde la parte constructiva de pavimentos esto es una ventaja, debido a que se ahorraría tiempo y dinero en los que comúnmente se realiza en un microtexturizado. El concreto adicionado ripio reciclado de llanta, no se recomienda como concreto estructural debido a las bajas resistencias encontradas en este estudio.

Para el dato obtenido de f_r por medio de las fórmulas que indica la NSR-10 y el obtenido en el laboratorio, se concluye que para este caso en el que se utilizó material de origen ígneo el valor es mayor en laboratorio. $f_r=3,54$ MPa por formula y $M_r=4,05$ MPa en laboratorio, se concluye que para materiales de la cantera Pabón existe un aumento del 12,59%.

9. RECOMENDACIONES

Realizar pruebas acústicas y térmicas para conocer a fondo este tipo de concreto y así poder determinar su posible aplicación en el medio.

Realizar estudios con el mismo porcentaje de sustitución de agregado fino por ripio en peso, pero partiendo de la idea de buscar la dosificación que lleve a la mezcla con ripio a resistencias iguales a las obtenidas con una muestra patrón.

Realizar nuevos ensayos utilizando aditivos que permitan una mayor cohesión entre las partículas de ripio y la pasta de cemento.

Realizar ajustes a la dosificación de mezcla empleada, con el fin de conocer que tanto disminuye o aumenta el costo directo del concreto con ripio reciclado de llanta, sin alterar la resistencia deseada. Con las características vistas en el concreto con ripio reciclado de llanta, se recomienda profundizar en el estudio de este únicamente con las fibras del acero de la llanta, se observó un comportamiento que podría servir para futuras investigaciones desde el punto de vista sísmico, en los ensayos realizados se presenta la curiosidad que las fibras del acero permiten que el concreto quede unido aun después de su falla.

Emplear el concreto con ripio reciclado de llanta en pavimentos que no reciban grandes cargas del tránsito, cumpliendo posiblemente con un buen desempeño en cuanto a resistencia y durabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CÓDIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES.
Decreto 1400. Bogotá Colombia. 1984.

CORTES G, Edwin A. y PERILLA S, Jorge E. 2014. Estudio comparativo de las características físico - mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I.

EDWARD G. Navy, Concreto Reforzado un Enfoque Básico, 1988.

Instituto Nacional De Vías. Normas INV del 2013.

Normas y Especificaciones INVIAS – 2013.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE
NSR-10

RIVERA L. Gerardo, Tecnología del concreto, Colombia. Universidad del Cauca 2008.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero.
Colombia. Bhandar Editores Ltda. Cuarta Edición. Año 2000.

Universidad Austral de Chile.

Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.