

**ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE UN DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON
ADICIÓN DE MATERIAL RECICLADO DE LLANTAS.**



or:

Juliana Paola Vásquez Usquiano



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO**

2021

**ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE UN DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON
ADICIÓN DE MATERIAL RECICLADO DE LLANTAS.**



Por:

Juliana Paola Vásquez Usquiano

Proyecto presentado como opción de grado para optar al título profesional de Ingeniero Civil

Aprobado por:

Ing. Oscar Felipe Sáenz Pardo

Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO**

2021

Autoridades académicas

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.

Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P. Vicerrector

Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.

Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón

Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN

Decano Facultad Ingeniería Civil

ING. OSCAR FELIPE SÁENZ PARDO

Director Trabajo de Grado

ING. BREGY HASSLER CHOQUE JIMÉNEZ

Jurado

Villavicencio, 13 de mayo de 2021

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme lograr esta meta académica, a mis padres que me apoyaron en todo momento que siempre me animaron, que me aconsejaron y me enseñaron que cada día soy una mejor versión de mí, que todo tiene solución y que nada es lo suficientemente malo como para no buscar una solución, a mi hermano porque soy su mejor ejemplo a seguir en estos momentos para lograr alcanzar la meta de convertirse en un profesional.

A todos los docentes que hicieron parte de mi travesía académica y fueron un apoyo incondicional en todo momento para mi crecimiento personal y estudiantil. Un agradecimiento especial al Ing. Oscar Felipe Sáenz por depositar su confianza en mí y ser la guía intelectual para el desarrollo y culminación de este proyecto de investigación.

Resumen

Los diseños de mezcla son sistemas competentes por fundamentos teórico-prácticos competentes que permiten el cálculo de las dosificaciones correspondientes para producir concentraciones correspondientes a una resistencia a compresión para una edad determinada con propiedades físico-mecánicas aptas para su correcta durabilidad y estabilidad en el cumplimiento de su tiempo de servicio en campo. Por lo anteriormente mencionado es que los campos tecnológicos y de desarrollo como la academia ofrecen productos de investigación anualmente que compiten materiales adicionales y diseños de mezcla con el fin de ofrecer diferentes conclusiones que respecten a la ventaja o no de ciertos diseños o materiales aditivos en la estructura interna de un concreto (Osorio, 2019). Este proyecto de investigación se ejecutó con el objetivo de analizar el comportamiento físico-mecánico de un diseño de mezcla en con dos tipos de mezclas, un diseño de mezcla establecido mediante los laboratorios realizados para determinar el diseño compuesto por agregados gruesos, finos, agua y cemento; y un diseño de mezcla alterado (agregados gruesos reemplazados en tres mezclas porcentuales por material reciclado de llantas), donde se evidenció una clara gama de ventajas estructurales por parte del diseño de mezcla sin reemplazo del agregado grueso como su alta resistencia a la compresión, flexión y módulo de elasticidad y en la segundo momento se evidenció que el módulo de elasticidad puede mejorar con el reemplazo de agregado grueso por caucho en una poca cantidad.

Palabras Claves: *Caucho reciclado, Modulo de Rotura, Esfuerzo, Modulo de Elasticidad, Agregado grueso, reemplazo.*

Abstract

The mix designs are competent systems by competent theoretical-practical foundations that allow the calculation of the corresponding dosages to produce concentrations corresponding to a compressive strength for a given age with physical-mechanical properties suitable for its correct durability and stability in the fulfillment of its service time in the field. Because of the above mentioned is that technological and development fields such as academia offer research products annually that compete additional materials and mix designs in order to offer different conclusions that respect the advantage or not of certain designs or additive materials in the internal structure of a concrete (Osorio, 2019). This research project was executed with the objective of analyzing the physical-mechanical behavior of a mix design in with two types of mixes, a mix design established through the laboratories performed to determine the design composed of coarse aggregates, fines, water and cement; and an altered mix design (coarse aggregates replaced in three percentage mixes by recycled tire material), where a clear range of structural advantages were evidenced by the mix design without replacement of the coarse aggregate, such as its high resistance to compression, bending and modulus of elasticity, and in the second moment it was evidenced that the modulus of elasticity can be improved with the replacement of coarse aggregate by rubber in a small amount.

Keywords: *Recycled rubber, Modulus of Rupture, Stress, Modulus of Elasticity, Coarse aggregate, replacement*

Contenido

Titulo.....	15
Descripción del problema.....	16
Formulación del problema.....	16
Objetivos (General y específicos).....	17
Objetivos Generales.....	17
Objetivos Específicos.....	17
Justificación	18
Estado del Arte	20
Concreto	20
Diseño de mezcla	20
Propiedades del Concreto.....	25
Caucho reciclado	27
Metodología	29
Fase 1: Diseño de mezcla:.....	30
Granulometría.....	30
Densidad relativa y Porcentaje de Absorción.....	34
Densidad volumétrica y vacío en agregados.....	42
Diseño de mezcla	43
Fase 2: Ejecución de laboratorios a partir de los manuales NTC:	47
Elaboración cilindros y vigas de concreto.....	47
Laboratorio de compresión.....	49
Laboratorio de Modulo de Elasticidad.....	52
Laboratorio de Modulo de Rotura.....	53
Resultados.....	56
Resultados Fase 1	56

Curvas de Granulometría.....	56
Diseño de mezcla	57
Proporción de la mezcla.....	60
Resultados Fase 2	60
Resistencia a la Compresión.....	60
Módulo de Elasticidad.....	64
Módulo de Rotura	69
Análisis de resultados	72
Diseño de mezcla	72
Resistencia a la Compresión.....	72
Módulo de Elasticidad.....	74
Módulo de Rotura	76
Conclusiones	77
Bibliografía.....	79
Anexo 1.....	84
Anexo 2.....	89

Índice de Tablas

Tabla 1 Contenido de aire - Concretos sin aire incluido	21
Tabla 2 Contenido de aire - Concretos con aire incluido	22
Tabla 3 Relación Agua Cemento	22
Tabla 4 Condiciones de exposición	23
Tabla 5 Relación a/c en exposiciones a sulfatos	23
Tabla 6 Volumen de agregado grueso	24
Tabla 7 Calculo Tentativo del peso del concreto	25
Tabla 8 Compuesto llantas	27
Tabla 9 Compuesto químico de las llantas	28
Tabla 10 Número de tamiz y tamaño.	31
Tabla 11 Número de tamiz y tamaño.	33
Tabla 12 Características del cemento.	43
Tabla 13 Características de los agregados.	43
Tabla 14 Resistencia a la compresión promedio.	44
Tabla 15 Contenido de aire atrapado	44
Tabla 16 Volumen unitario de agua para agregados gruesos	44
Tabla 17 Relación Agua/Cemento por resistencia.	45
Tabla 18 Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.	45
Tabla 19 Dosificación de la mezcla del concreto CILINDROS.	48
Tabla 20 Dosificación de la mezcla del concreto VIGAS.	48
Tabla 21 Propiedades de los Agregados.	57
Tabla 22 Resultados Concreto Normal	61
Tabla 23 Resultados Concreto 5%	61
Tabla 24 Resultados Concreto 7%	62

Tabla 25 Resultados Concreto 10%	62
Tabla 26 40 % Carga Máxima Soportada.	64
Tabla 27 Desplazamiento	64
Tabla 28 Deformación Unitaria	65
Tabla 29 Modulo de Elasticidad	68
Tabla 30 Dato principales c_n y $c_{5\%}$	69
Tabla 31 Dato principales $c_{7\%}$ y $c_{10\%}$	70
Tabla 32 Modulo de Rotura	70
Tabla 33 Resistencia a los 28 días de fundido	73
Tabla 34 Variación Resistencia a la Compresión a los 28 días de fundido	73
Tabla 35 Variación Modulo de Elasticidad.	75
Tabla 36 Variación Modulo de Rotura	76

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Resistencia a la compresión promedio	21
Ecuación 2 Relación agua cemento.....	23
Ecuación 3 Contenido de agregado grueso	24
Ecuación 4 Volumen agregado fino	24
Ecuación 5 Ajuste por humedad	25
Ecuación 6 Porcentaje de humedad	34
Ecuación 7 Modulo de finura.....	34
Ecuación 8 Densidad Relativa (gravedad especifica).....	37
Ecuación 9 Densidad Relativa (gravedad especifica).....	37
Ecuación 10 Densidad Relativa (gravedad especifica) Aparente	37
Ecuación 11 Porcentaje de absorción.....	37
Ecuación 12 Densidad Relativa (gravedad especifica) seca al horno.....	40
Ecuación 13 Densidad Relativa (gravedad especifica).....	41
Ecuación 14 Densidad Relativa (gravedad especifica) Aparente	41
Ecuación 15 Porcentaje de absorción.....	41
Ecuación 16 Densidad Volumétrica	42
Ecuación 17 Relación agua/ cemento.....	45
Ecuación 18 Peso Agregado Grueso	46
Ecuación 19 Volumen absoluto de los materiales.....	46
Ecuación 20 Peso agregado fino.	46
Ecuación 21 Corrección por humedad del peso.....	47
Ecuación 22 Aporte de agua a la mezcla.....	47
Ecuación 23 Calculo Modulo de Elasticidad según NTC.....	53
Ecuación 24 Calculo Momento Flexionante.	55
Ecuación 25 Modulo de Rotura.....	55
Ecuación 26 Modulo de Rotura según NSR-10 Titulo C Capitulo 9 Ecuación 10	55
Ecuación 27 Módulo de elasticidad según la NSR 10.	68

Índice de Figuras

Figura 1	Diagrama del Modulo de elasticidad.....	26
Figura 2	Esquema Metodología	29
Figura 3	Peso agregado grueso.	30
Figura 4	Muestra puesta en el Horno	30
Figura 5	Peso de la muestra después de 24 h en el horno.....	31
Figura 6	Tamices	32
Figura 7	Peso de cada tamiz.....	32
Figura 8	Peso agregado fino.	32
Figura 9	Muestra puesta en el Horno	32
Figura 10	Tamices	33
Figura 11	Peso de cada tamiz.....	33
Figura 12	Tamizado y peso del material del tamiz de 4.75 mm	35
Figura 13	Agregado grueso sumergido.	35
Figura 14	Retiro excedente de agua.	36
Figura 15	Peso agregado grueso saturado.	36
Figura 16	Forma de pesar el agregado grueso sumergido.	36
Figura 17	Peso material grueso sumergido.	36
Figura 18	Peso de la muestra fina.....	38
Figura 19	Muestra sumergida y reposada 24 h.	38
Figura 20	Secado de la muestra superficialmente.....	39
Figura 21	Peso de la muestra superficialmente saturado.....	39
Figura 22	Peso picnómetro con agua y revisión de temperatura.	40
Figura 23	Agregado fino introducido en el picnómetro.....	40
Figura 24	Extracción de vacíos.	40
Figura 25	Peso picnómetro con la muestra sin vacíos.....	40
Figura 26	Llenado de moldes y peso.....	42
Figura 27	Mezcla concreto normal.	49
Figura 28	Mezcla C5%.	49
Figura 29	Mezcla C10%.....	49
Figura 30	Mezcla C7%.	49
Figura 31	Modelo de fractura.	49
Figura 32	Fallas cilindros 7 días, N-C5%.....	51

Figura 33 Fallas cilindros 9 días, C7%-C10%.....	51
Figura 34 Fallas cilindros 14 días, n-C5%.	51
Figura 35 Fallas cilindros 14 días, C7%-C10%.....	51
Figura 36 Fallas cilindros 28 días, N-C5%.....	51
Figura 37 Fallas cilindros 28 días, C7%-C10%.....	51
Figura 38 Calibración compresometro.....	52
Figura 39 Ensayo Modulo de elasticidad, N.	52
Figura 40 Ensayo Modulo de elasticidad C5%.	52
Figura 41 Ensayo Modulo de elasticidad C7%.	53
Figura 42 Ensayo Modulo de elasticidad C10%.	53
Figura 43 Ensayo Resistencia Concreto a Flexión.	54
Figura 44 Modulo de Rotura Experimental	54
Figura 45 Curva granulométrica del agregado grueso.....	56
Figura 46 Curva granulométrica del agregado Fino.....	57
Figura 47 Resultados Ensayos a compresión de los cilindros comparados con el diseño de mezcla.	63
Figura 48 Resultados Ensayos de Resistencia a compresión de los cilindros comparados con el diseño de mezcla durante los 28 días.	64
Figura 49 Módulo de elasticidad Diseño de mezcla Normal	66
Figura 50 Módulo de elasticidad Diseño de mezcla c5%.....	66
Figura 51 Módulo de elasticidad Diseño de mezcla c7%.....	67
Figura 52 Módulo de elasticidad Diseño de mezcla c10%.....	67
Figura 53 Comparación Módulo de elasticidad.....	68
Figura 54 Modulo de Elasticidad experimental y NTC.	69
Figura 55 Modulo de rotura experimental y NSR-10.....	71
Figura 56 Mezcla.....	72
Figura 57 Resultados ensayo a la compresión en sus correspondientes edades de curado	74
Figura 58 Resistencia a la compresión con relación al modulo de elasticidad	75
Figura 59 Ensayo Resistencia Concreto a Flexión.	76

Titulo Estudio De Comportamiento De Un Diseño De Mezcla De Concreto Con Adición De Material Reciclado De Llantas.

El proyecto de investigación tuvo como objetivo estudiar y analizar las propiedades mecánicas que sean alteradas de un concreto a través de la realización de laboratorios, mediante el estudio y diseño de mezclas en el que fueron reemplazados los valores de agregado grueso de una mezcla tradicional en 5%, 7% y 10% donde se determinó la viabilidad del uso de caucho triturado como aditivo. El alcance académico del desarrollo de este proyecto de investigación comprende desde el diseño de la mezcla y caracterización de materiales hasta la realización de laboratorios mecánicos como resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistencia a la tensión, asentamiento, y ensayo a flexión.

El desarrollo de este proyecto de investigación comprendió los materiales de agregado grueso de media pulgada y el material fino como arena de río de la cantera del río Guayuriba y los laboratorios de la Universidad Santo Tomás de Aquino Sede Villavicencio donde se realizó la carnetización de los agregados y realización de laboratorios mecánicos.

Descripción del problema

La ciudad de Villavicencio sufre al igual que muchas ciudades de los impactos ambientales negativos que causa la quema de llantas en sitios clandestinos por personas que no cuentan con los instrumentos ni las capacidades técnicas para realizar el correcto desecho de este material. Las llantas después de cumplir con su ciclo de vida son depositadas por la población en sitios no adecuados para su disposición final, de esta manera las llantas se vuelven centros de recolección de aguas lluvias que con el paso del tiempo son focos de propagación de enfermedades como la fiebre amarilla, el dengue o la encefalitis como manifiesta el Centro de Experimentación y Seguridad Vial Colombia S.A en su artículo “Colombia se inunda de llantas usadas” (Cesvi Colombia, 2016). Las soluciones que existen son pocas como el apilamiento, el entierro, el reúso y el reciclaje de los miembros desechados, en esta última entra la ingeniería civil a cumplir un papel importante debido a que desarrolla tecnologías en donde las llantas se incorporan a las actividades tradicionales de la construcción de infraestructura civil, evitando así que sean agentes contaminantes. alejando estos elementos de ser una problemática ambiental.

El concreto tiene un módulo de elasticidad muy bajo con respecto al del caucho y como lo explican “el caucho tiene la habilidad de experimentar grandes deformaciones elásticas antes de la falla, es decir se deforma mucho más que la pasta de concreto que lo envuelve” (Pérez Oyola & Arrieta Ballén, 2017) y con la utilización del caucho ayudara con este.

Formulación del problema

¿De qué manera se ven afectados del módulo de rotura, la resistencia la comprensión y el módulo de elasticidad del concreto al agregar distintos porcentajes de caucho de llanta reciclada con fibras metálicas en comparación a un concreto tradicional?

Objetivos (General y específicos)

Objetivos Generales

Determinar el comportamiento mecánico que posee un concreto con agregado de fibra de llanta con respecto a un concreto tradicional.

Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización del cemento, agregados finos y gruesos a utilizar., para poder establecer el diseño de mezcla con el que se va a trabajar
- Desarrollar ensayos de laboratorio alterando la composición porcentual en diferentes dosificaciones (5%,7% y 10%) de los agregados gruesos por caucho reciclado con presencia de acero al 20% y caucho reciclado con ausencia de acero al 80% y también para concreto sin agregado
- Analizar el comportamiento físico-mecánico del concreto alterado y determinar su variación con respecto al diseño de mezcla a realizar.

Justificación

La industria de la construcción está continuamente en interacción con el medio ambiente, el ciclo de vida de cualquier obra civil inicia desde la fabricación de los materiales hasta el derribo y reciclaje la misma de esta manera se deduce con cierta simplicidad la cantidad de procesos que se ejecutan para traer a la vida un diseño arquitectónico y el cómo impacta al medio ambiente.

La infraestructura civil que resulte del uso del producto comercial con características alteradas ofrecerá cambios sustanciales de forma positiva en los ámbitos socio económicos en los que se involucre este logro académico nuevo, mejorando los ecosistemas y permitiendo la posibilidad de la creación de emprendimientos propios como empresas o programas de vivienda de interés social cuyos procesos constructivos se vean beneficiados monetariamente con el uso del concreto alternativo. Es por estas razones que la industria de la construcción es uno de los pilares económicos del país (Dane, 2020) su continuo desarrollo se consideró como una continua amenaza a la integridad de los ambientes con los que interactúan desde el punto de vista de la ingeniería civil y su rama científica en el campo investigativo de esta industria. Algunas áreas de investigación en la Ingeniería Civil se ha encargado de desarrollar materiales de construcción que disminuyan o, en el mejor de los casos, no produzcan impactos ambientales negativos.

El desarrollo de este proyecto de investigación se fundamentó en ofrecer una ayuda a esta gran problemática, el exponencial crecimiento de la población exige una mayor explotación de recursos naturales y creación de infraestructura para facilitar la interacción entre los distintos sectores económicos, en los que se encuentra el sector automovilístico, demandando un mayor volumen de neumáticos cada año, incrementando los desechos de los mismos por su corta vida útil y pocas opciones de participar en procesos de reciclaje. el fin de este proyecto de investigación es El desarrollo de un material de construcción que ayude y optimice la reutilización de esta materia prima, desarrollando una nueva tecnología para las obras civiles para la reducción de impactos ambientales de este recurso.

De acuerdo al trabajo de grado titulado “Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos” (Sanchez Montoya & Cardona Gomez, 2011) el aprovechamiento de los residuos de llantas son una ventana de oportunidad para la disminución de impactos ambientales que se provocan debido a la errónea manipulación y disposición de las

llantas en la ciudad. El reemplazar porcentualmente una parte de los agregados por fibras de llantas ofrecen una ventaja mecánica, como indica Román Peñaloza en su trabajo de grado “Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural” (Peñaloza Garzon, 2015), debido a que su uso en la construcción de infraestructura como carreteras, viviendas o edificios ofrece ventajas como la optimización en la absorción de energía en ocasiones como movimientos sísmicos o esfuerzos cortantes altos debido a su comportamiento mecánico que le habilita su recuperación o deformación elástica.

Este trabajo es un documento de investigación que ofrece una repercusión social y ambiental desde la perspectiva de la ingeniería civil, resolviendo una problemática que tiene la ciudad de Villavicencio, Meta como exponen en el artículo titulado “¿El problema de la quema de llantas se salió de control en Villavicencio?” (Redaccion PDM, 2020), reutilizando estos elementos evitando que sean un factor negativo para el ambiente y dejen de repercutir en la salud de las personas.

Se realizó un diseño de mezcla el cual se evaluó mecánicamente en el laboratorio, con el fin de desarrollar una nueva tecnología que logre ser clasificada e incluida reglamentariamente en el catálogo nacional de concretos disponibles como es el catálogo de Argos, de tal manera que se minimicen los costos y se optimicen las ventajas físico-mecánicas de la infraestructura en la que se use y satisfaga las necesidades del diseño estructural.

Estado del Arte

Concreto

Diseño de mezcla

Como indica Samuel Huanca (Huanca, 2006), el diseño de mezcla o comúnmente conocido como proporcionamiento de mezcla es el proceso en el cual se determina a través de la selección de materiales la determinación de las cantidades relativas de cada una. Para el proporcionamiento inicialmente se trabajan los factores de cada material, desde lo económico que resulte para la mezcla como su resistencia, durabilidad y trabajabilidad debido a que entre si los materiales se deben complementar sin afectar el presupuesto y ciclo de vida de la estructura.

Dosificación porcentual de aditivo

Los aditivos son elementos de origen natural o sintético comúnmente adicionados a una mezcla de concreto con el objetivo de la optimización de propiedades físicas o químicas. La dosificación de estos se realiza al reemplazar un porcentaje de los agregados pétreos, ya sean finos o gruesos, determinados a través de un diseño de mezcla. Comúnmente se trabajan los porcentajes de 5%, 7% y 10% como expone Román Peñaloza en su trabajo de grado “Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural” (Peñaloza Garzon, 2015) en el desarrollo de su trabajo de grado en el que trabaja una dosificación de aditivo en el que expone que sus resultados se vieron optimizados a la tasa de 7%.

Método del comité 211 del ACI

Según Alexander Cano (Cano, 2018), el comité 211 desarrollo un método para realizar el diseño de mezcla de concreto a partir de la metodología mostrada a continuación y (Pérez Oyola & Arrieta Ballén, 2017) en su tesis la desarrollan por este método en la mezcla del diseño.

- Selección de SLUMP: En este paso se determina la resistencia promedio necesaria para el diseño en función de la resistencia a la compresión ($f'c$). A través de las siguientes Ecuación 1:

$$f'_{cr} = f'c + 1.34s$$

$$f'_{cr} = f'c + 2.33s - 35$$

Ecuación 1 Resistencia a la compresión promedio

- Contenidos de agua y contenidos de aire: En función del primer paso, esa metodología recomienda los porcentajes de contenido de aire y agua permisibles de la siguiente forma en la Tabla 1 y Tabla 2:

Tabla 1 Contenido de aire - Concretos sin aire incluido

Asentamiento (cm)	Concretos Sin aire Incluido						
	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0.0 – 2.5	185	180	165	160	140	135	125
3.0 – 5.0	205	200	185	180	160	155	145
5.5 – 7.5	215	210	190	185	170	165	155
8.0 – 10.0	225	215	200	195	175	170	165
10.5 – 15.0	235	225	205	200	180	175	170
15.5 – 18.0	240	230	210	205	185	180	175
% CONTENIDO DE AIRE	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3

Nota: Adoptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002)

Tabla 2 Contenido de aire - Concretos con aire incluido

Concretos Con aire Incluido							
Asentamiento (cm)	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0.0 – 2.5	175	170	155	150	135	130	120
3.0 – 5.0	180	175	165	160	145	140	135
5.5 – 7.5	190	185	175	170	155	150	145
8.0 – 10.0	200	190	180	175	165	155	150
10.5 – 15.0	210	195	185	180	170	160	155
15.5 – 18.0	215	205	190	185	175	165	160
% CONTENIDO DE AIRE	8.0	7.0	6.0	5.0	4.5	4.0	3.5

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002)

- Relación agua/cemento: El comité proporciona una tabla con respecto al comportamiento del concreto a los 28 días de la relación agua/cemento en función de la exposición, como se muestra en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 3 Relación Agua Cemento

Relación Agua Cemento por Peso		
Resistencia a la Compresión a los 28 Días Kg/cm ²	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	--
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002)

Tabla 4 Condiciones de exposición

Condiciones de exposición	Máxima relación a/c	Resistencia mínima a la compresión F'c en Mpa
Concreto de baja permeabilidad para ser expuesto al agua.	0.50	24
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y descongelamiento en una condición húmedo o a químicos que impidan el congelamiento.	0.45	31
Para la protección contra la corrosión del refuerzo del concreto expuesto a cloruros, sal, agua salina o que puede ser salpicado por agua salina.	0.40	35

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002)

Tabla 5 Relación a/c en exposiciones a sulfatos

Exposición a sulfato	Sulfatos solubles en agua (SO ₄) en el suelo porcentaje en masa	Sulfatos (SO ₄) en el agua en ppm (partes por millón)	Tipo de Cemento	Relación a/c máxima por masa	Resistencia a la compresión mínima F'c en Mpa
Despreciable	0.00 a 0.10	0 a 150	-	-	-
Moderada	0.10 a 0.20	150 a 1500	II	0.50	28
Severa	0.20 a 2.00	150 a 10000	V	0.45	32
Muy severa	Más de 2.00	Más de 10000	V con puzolanas	0.45	32

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002)

- Contenido de cemento: El contenido de cemento se calcula a través de la cantidad de agua obtenida en la ejecución del paso 3 y la relación agua/cemento previamente obtenida, con la siguiente Ecuación 2:

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

Ecuación 2 Relación agua cemento

- Contenido de agregado grueso: El contenido de agregado grueso se obtiene a través de la relación del peso unitario del agregado grueso y el índice de peso unitario seco compactado del agregado grueso como lo indica la Tabla 6 y con la siguiente Ecuación 3:

$$\frac{b}{b_0}$$

Ecuación 3 Contenido de agregado grueso

Tabla 6 Volumen de agregado grueso

Volumen de agregado grueso, seco y compactado por volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena.					
Tamaño máximo nominal de agregado		Módulo de finura de la arena			
mm	pulg	2.40	2.60	2.80	3.00
9.51	3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7	1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4	1	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1	1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	2	0.78	0.76	0.74	0.72
76.1	3	0.82	0.80	0.78	0.76
152.0	6	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Adaptado de (Niño Hernandez, 2010, Tercera Edición)

- Contenido de agregado fino: El contenido de agregado fino se obtiene gracias a la diferencia de la unidad con la sumatoria de los índices previamente obtenidos como lo indica la **Ecuación 4** Volumen agregado fino Ecuación 4 y se procede a calcular el peso del concreto con la Tabla 7.

$$\text{Volumen agregado fino} = 1 - V(\text{cemento} + A.G + \text{Agua y Aire})$$

Ecuación 4 Volumen agregado fino

Tabla 7 Calculo Tentativo del peso del concreto

Calculo Tentativo del peso del concreto, Kg/ m ³		
Tamaño máximo de agregados	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Nota: Adaptado de (American Concrte Institute Committee 211, 2002)

- Ajuste por humedad: El séptimo paso es realizar el ajuste de las mezclas por humedad de los agregados, con la siguiente Ecuación 5:

$$\text{Peso de agregados humedos} = \text{Peso seco} * \left(\left(\frac{W}{100} \right) + 1 \right)$$

$$\text{Aporte de agua de agregados} = (w - \%abs) * \text{Peso seco}/100$$

Ecuación 5 Ajuste por humedad

Propiedades del Concreto

Esfuerzos:

El concreto puede presentar distintos esfuerzos, están el de tracción, flexión y torsión. El esfuerzo a tracción es el incremento en la longitud de un elemento simultáneamente a la deformación de su estructura natural debido a que actúan en sus extremos fuerzas opuestas que tienden a estirarlo, en términos simples se puede exponer como la acción contraria a la compresión. Dependiendo el material al ser estirado a lo largo de su línea de acción la deformación que esté sufre puede llegar a ser permanente.

El esfuerzo a flexión es el fenómeno que sufre un elemento cuando en el actúa una fuerza que obligue a que en este se presente un "doblamiento" en su estructura natural obligándolo a sufrir los esfuerzos de compresión y tracción simultáneamente, dependiendo la elasticidad del

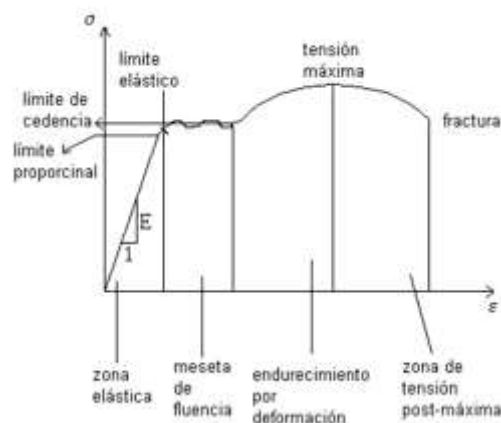
material del elemento determina cuanta carga puede soportar sin problema alguno a su integridad física.

La torsión es el esfuerzo que puede presentar un elemento en dos aspectos, el primero es cuando en él se ejerce una acción que lo fuerza a girar en un sentido sobre una base y está base se resiste a esta acción presentando resistencia en sentido contrario, la segunda es cuando dos fuerzas simultáneas en sus extremos actúan ejerciendo pares de giro forzando el elemento a "retorcerse". (Hibbeler, 2011, Octava edición)

Módulo de Elasticidad

La elasticidad es la capacidad que un elemento posee para recuperar su forma natural después de sufrir una deformación por fuerzas externas, el módulo de Young o módulo de elasticidad expone la relación en la zona de elasticidad del material con el incremento en las tensiones aplicadas en ensayos como el de tracción y los incrementos de deformación longitudinal unitaria. Este módulo permite conocer mediante una gráfica de tensión vs deformación la rigidez del elemento, a mayor rigidez mayor módulo de elasticidad. En la Figura 1 se muestra como se expone el diagrama de modulo de elasticidad y lo que representa.

Figura 1 Diagrama del Modulo de elasticidad



Nota: Descripción grafica del Modulo de elasticidad adaptado de (Hibbeler, 2011, Octava edición)

Caucho reciclado

Según Cesar y Liliana (Díaz Claros & Castro Celis, 2017) en su proyecto de grado exponen que las llantas están compuestas por tres materiales el caucho natural y sintético, acero y fibra textil, con los cuales en esta investigación se va a utilizar el caucho en su dos fases, en la que tiene el caucho y las fibras de acero al 20% de la sustitución total del agregado grueso y el caucho solo al 80 % de la sustitución total del agregado grueso, como ellos exponen el agregado ayuda a la flexibilidad del material ya que cuanta con un módulo de elasticidad mayor al que tiene el concreto.

Como lo explican la llanta está compuesta de dos tipos de cauchos el caucho natural el cual es un polímero elástico que se encuentra en la sabia de algunas plantas y el caucho sintético, este último es el más utilizado y a bajo costo ya que este reemplaza en muchas ocasiones al caucho natural.

En la tabla a continuación se muestra el cómo está compuesta la llanta, aclarando que las llantas pueden ser de automóviles o de camiones Tabla 8 y en la siguiente Tabla 9 se expone cuáles son los compuestos químicos.

Tabla 8 Compuesto llantas

Automóviles y Camionetas		Camiones y Microbuses	
Caucho Natural	14%	Caucho Natural	27%
Caucho Sintético	27%	Caucho Sintético	14%
Negro de humo	28%	Negro de humo	28%
Acero	15%	Acero	15%
Fibra Textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16%	Fibra Textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16%
Peso promedio	8.6 kg	Peso promedio	45.4 kg
Volumen	0.06 m ³	Volumen	0.36 m ³

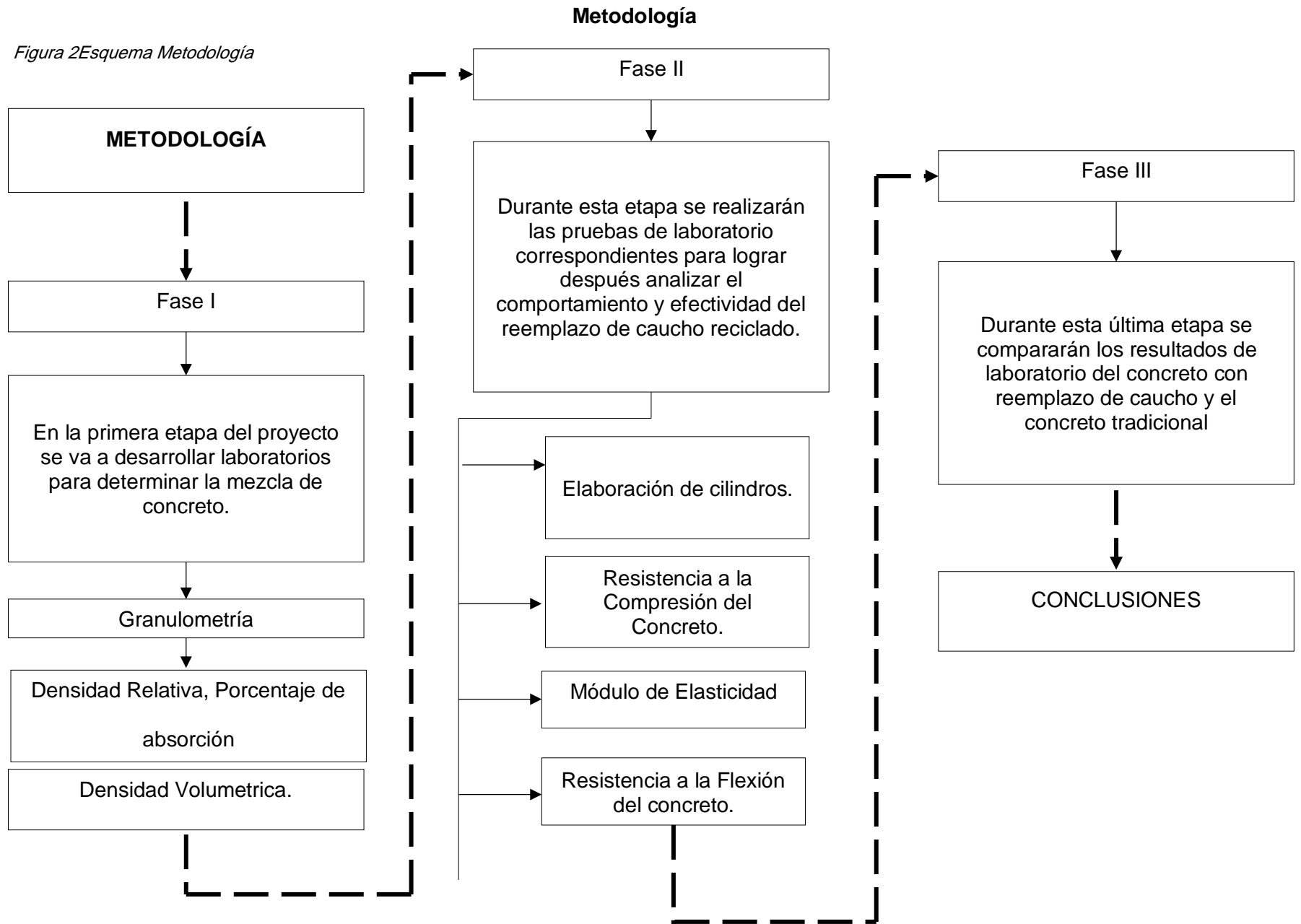
Nota: Adaptado de (Díaz Claros & Castro Celis, 2017)

Tabla 9 Compuesto químico de las llantas

Elemento	Porcentaje (%)
Carbono (C)	70
Hidrogeno (H)	7
Azufre (S)	1.3
Cloro (Cl)	0.2-0.6
Hierro (Fe)	15
Óxido de Zinc (ZnO)	2
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	5
Cromo (Cr)	97 ppm
Níquel (Ni)	77 ppm
Plomo (Pb)	60-760 ppm
Cadmio (Cd)	5-10 ppm
Talio (Tl)	0.2-0.3 ppm

Nota: Adaptado de (Díaz Claros & Castro Celis, 2017)

Figura 2 Esquema Metodología



Este proyecto de investigación como se expone en el alcance comprendió desde el diseño de la mezcla hasta la realización de los laboratorios que arrojaron los resultados cuantitativos de las características físico-mecánicas que posee este concreto alterado. Para la correcta ejecución, recolección de datos y resultados este proyecto de investigación se dividió en tres fases, expuestas a continuación:

Fase 1: Diseño de mezcla:

En el desarrollo de esta fase se reconoció las características de los agregados finos y los agregados gruesos a través de los siguientes laboratorios delimitados por la normativa Norma Técnica Colombiana (NTC):

Granulometría.

Agregado Grueso.

Se pesaron 2200 g para realizar la granulometría como se observa en la Figura 3 , como lo indica la NTC 77 se puso a secar la muestra durante $24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$, en un horno que tuvo una temperatura constante de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ como se observa en la Figura 4. Luego de las 24 h se deja enfriar la muestra por 3 h y se procedió pesar la muestra para calcular su porcentaje de humedad (Figura 5). Para la realización del tamizado se utilizaron los tamices que se muestran en la Tabla 10.

Figura 3 Peso agregado grueso.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 4 Muestra puesta en el Horno



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 5 Peso de la muestra después de 24 h en el horno.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Tabla 10 Número de tamiz y tamaño.

TAMIZ	Abertura mm
3/4	19
1/2	12,5
3/8	9,5
# 4	4,75
# 8	2,36
# 16	1,18
# 30	0,6
#50	0,3
#100	0,15
# 200	0,075
Fondo	-

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

El tamizaje se realizó de manera mecánica durante 3 min (Figura 6), luego de esto se procedió a pesar el porcentaje de material retenido en cada tamiz Figura 7, para poder realizar la curva granulométrica que proporcionó el TMN y el módulo de finura del material grueso, datos necesarios para realizar el diseño de mezcla para la realización de la tesis.

Figura 6 Tamices



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 7 Peso de cada tamiz



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Agregado Fino.

Se pesaron 462 g como lo indica la NTC 77 en el numeral 7.3 que expresa que el mínimo material para realizar la granulometría son 300 g para realizar la granulometría como se observa en la Figura 8, como lo indica la NTC 77 se puso a secar la muestra durante $24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$, en un horno que tuvo una temperatura constante de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ como se observa en la Figura 9. Luego de las 24 h se deja enfriar la muestra por 3 h y se procede a pesar la muestra para calcular su porcentaje de humedad. Para la realización del tamizado se utilizaron los tamices que se muestran en la Tabla 11

Figura 8 Peso agregado fino.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 9 Muestra puesta en el Horno



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Tabla 11 Número de tamiz y tamaño.

TAMIZ	Abertura mm
3/4	19
1/2	12,5
3/8	9,5
# 4	4,75
# 8	2,36
# 16	1,18
# 30	0,6
#50	0,3
#100	0,15
# 200	0,075
Fondo	-

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

El tamizaje se realizó de manera mecánica durante 3 min (

Figura 10), luego de esto se procedió a pesar el porcentaje de material retenido en cada tamiz **Figura 11**, para poder realizar la curva granulométrica que proporcionó el TMN y el módulo de finura del material fino, datos necesarios para realizar el diseño de mezcla.

Figura 10 Tamices



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 11 Peso de cada tamiz



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Después de realizar el proceso de tamizaje y pesar el material retenido por cada tamiz en los dos agregados, se tabulo toda la información y se halló el porcentaje de humedad con la Ecuación 6, el tamaño máximo nominal de cada agredo y el módulo de finura con la Ecuación 7.

$$\omega (\%) = \frac{W - W_S}{W} * 100$$

Ecuación 6 *Porcentaje de humedad*

Donde:

ω = Porcentaje de humedad del material (%)

W = Peso total del material (g)

W_S = Peso de la muestra seca en horno (g)

$$\text{Modulo de Finura} = \frac{N^{\circ}100 + N^{\circ}50 + N^{\circ}30 + N^{\circ}16 + N^{\circ}8 + N^{\circ}4 + 3/8" + 1 1/2"}{100}$$

Ecuación 7 *Modulo de finura.*

El módulo de finura se halla sumando los porcentajes totales del material retenido acumulado de los tamices que se ven en la Ecuación 7.

Densidad relativa y Porcentaje de Absorción.

Agregado grueso.

Para determinar la densidad relativa y el porcentaje del agregado grueso se realizó el método establecido por la NTC 176 (ICONTEC - NTC 176, 2019, Segunda Actualización), lo primero a realizar fue pesar 2112 g del tamiz # 4 como lo establece la norma, para esto se tamizo el material y solo se pesó el que estuviera en este tamiz como se ve en la Figura 12.

Figura 12 Tamizado y peso del material del tamiz de 4.75 mm



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

La muestra se lavó para que no tuviera impurezas ni muestras de menor tamaño al del tamiz número 4, luego de eso se sumerge la muestra en agua durante 24 h \pm 4 h como se ve en la Figura 13.

Figura 13 Agregado grueso sumergido.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Después de pasadas las 24 h, se retira el agregado grueso del agua y con papel absorbente se secó el excedente de agua Figura 14 para que quede saturada superficialmente, evitando la evaporación del agua, y se pesó la muestra como se ve en la Figura 15.

Figura 14 Retiro excedente de agua.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 15 Peso agregado grueso saturado.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Para medir el peso del agregado grueso sumergido el laboratorio no contaba con los medios para realizarlos, por eso se construyó de manera rudimentaria para poder llevar a cabo el experimento como se muestra en la Figura 13, luego se colocó el material en la malla para poder pesarlo como se ve en la Figura 17.

Figura 16 Forma de pesar el agregado grueso sumergido.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 17 Peso material grueso sumergido.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Con los valores hallados se procedió a realizar los siguientes cálculos de densidad relativa, densidad relativa saturada, densidad relativa aparente y % de absorción.

$$SH = \frac{A}{(B - C)}$$

Ecuación 8 Densidad Relativa (gravedad específica)

Donde=

SH = Densidad relativa.

A = Masa en el aire de la muestra de ensayo secado en horno. (g)

B = Masa en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca. (g)

C = Masa aparente en el agua de la muestra de ensayo saturada. (g)

$$SSS = \frac{B}{(B - C)}$$

Ecuación 9 Densidad Relativa (gravedad específica)

Donde=

SSS = Densidad relativa saturada.

B = Masa en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca. (g)

C = Masa aparente en el agua de la muestra de ensayo saturada. (g)

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(A - C)}$$

Ecuación 10 Densidad Relativa (gravedad específica) Aparente

Donde=

A = Masa en el aire de la muestra de ensayo secado en horno. (g)

C = Masa aparente en el agua de la muestra de ensayo saturada. (g)

$$\text{Absorción} = \left(\frac{B - A}{A} \right) * 100$$

Ecuación 11 Porcentaje de absorción

Donde=

A = Masa en el aire de la muestra de ensayo secado en horno. (g)

B = Masa en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca. (g)

Agregado Fino.

Para determinar la densidad relativa y el porcentaje del agregado fino se realizó el método gravimétrico con la ayuda de un picnómetro establecido por la NTC 237 (Icontec - Ntc 237, 1995), se pesaron 568 g de material (Figura 18) y luego se sumergieron en agua durante $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ como se ve en la

Figura 19.

Figura 18 Peso de la muestra fina.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 19 Muestra sumergida y reposada 24 h.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Luego de 24 h se procedió a secar superficialmente la muestra con la ayuda de un secador como se ve en la Figura 20, esta labor duro alrededor de 3 horas e inmediatamente se pesó la muestra superficialmente saturada (Figura 21).

Figura 20 Secado de la muestra superficialmente.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

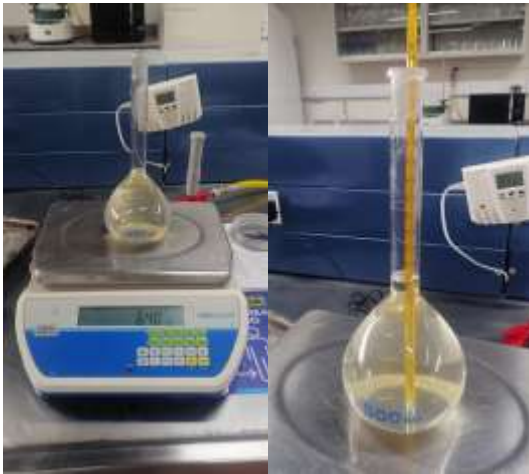
Figura 21 Peso de la muestra superficialmente saturado.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Se peso el picnómetro con agua y se verifico que la temperatura fue 24 °C como se observa en la Figura 22, luego se colocaron el agregado fino dentro del picnómetro (Figura 23); con ayuda de una bomba de vacío después de estar todo la muestra fina en el picnómetro, la bomba saco todo el aire que contenía la muestra (Figura 24) y se pesó el picnómetro con la muestra sin vacíos como se ve Figura 25

Figura 22 Peso picnómetro con agua y revisión de temperatura.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 23 Agregado fino introducido en el picnómetro.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 24 Extracción de vacíos.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 25 Peso picnómetro con la muestra sin vacíos.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Con los valores hallados se procedió a realizar los siguientes cálculos de densidad relativa seca en horno, densidad relativa saturada y superficialmente seca, densidad relativa aparente y % de absorción.

$$SH = \frac{A}{(B + S - C)}$$

Ecuación 12 Densidad Relativa (gravedad específica) seca al horno.

Donde=

SH = Densidad relativa.

A = Masa espécimen seca en horno. (g)

B = Masa del picnómetro lleno de agua. (g)

C = Masa del picnómetro lleno con el espécimen y agua. (g)

S = Masa del espécimen saturado y superficialmente seco. (g)

$$SSS = \frac{S}{(B + S - C)}$$

Ecuación 13 Densidad Relativa (gravedad específica)

Donde=

SSS = Densidad relativa saturada.

B = Masa del picnómetro lleno de agua. (g)

C = Masa del picnómetro lleno con el espécimen y agua. (g)

S = Masa del espécimen saturado y superficialmente seco. (g)

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

Ecuación 14 Densidad Relativa (gravedad específica) Aparente

Donde=

A = Masa espécimen seca en horno. (g)

B = Masa del picnómetro lleno de agua. (g)

C = Masa del picnómetro lleno con el espécimen y agua. (g)

$$\text{Absorción} = \left(\frac{S - A}{A} \right) * 100$$

Ecuación 15 Porcentaje de absorción

Donde=

A = Masa espécimen seca en horno. (g)

S = Masa del espécimen saturado y superficialmente seco. (g)

Densidad volumétrica y vacío en agregados

Este procedimiento se basó en la NTC 92 (Icontec - Ntc 92, 2019, Tercera Actualización), se llenaron dos moldes cilíndricos con material grueso y fino los cuales se les halló el volumen (Figura 26); se halló el peso de los moldes con los materiales y luego se calculó la densidad volumétrica.

Figura 26 Llenado de moldes y peso.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Para el cálculo de la densidad volumétrica y vacíos de los agregados se calculó con las fórmulas mostradas a continuación, como lo indica la (Icontec - Ntc 92, 2019, Tercera Actualización).

$$M = (G - T)/V$$

Ecuación 16 Densidad Volumétrica

Donde=

M = Densidad volumétrica del agregado (g/cm³)

T = Masa del molde (g)

V = Volumen del molde (cm³)

G = Masa del agregado más el molde (g)

$$\% \text{ Vacios} = 100[(S * W) - M]/(S * W)$$

Donde=

M = Densidad volumétrica del agregado (kg/m³)

S = Densidad nominal (base seca), de acuerdo a la NTC 176 y 237.

W = Densidad del agua kg/m³

Diseño de mezcla

El diseño de mezcla se realizó bajo el método ACI, para esto necesitaron los siguientes datos iniciales hallados en los laboratorios anteriormente descritos como se ven el Tabla 12 los del cemento y en la Tabla 13 los de los agregados

Tabla 12 Características del cemento.

C		
F'c	210	KG/CM2
Pe	3,15	g/cm3
Slump	4	'
Pe Agua	1000	KG/M3

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Tabla 13 Características de los agregados.

2..	FINO	GRUESO
Perfil		ANGULAR
Peso unitario compactado (kg/m3)	2752	2083
Peso específico (kg/m3)	3429	3253
Módulo de Fineza	2,85	6,22
TMN (tamaño máximo nominal)		3/8"
%abs	0,74	1,82
%w	0,43	0,41

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Lo primero que se realizó fue determinar la resistencia a la compresión del concreto que se quiere diseñar para este proyecto la resistencia f'c fue de 210 kg/cm², con esta resistencia se calculó la resistencia a la compresión promedio en este caso como no se tienen muestras se calcula como lo muestra la Tabla 14 y al F'c se le suma 84.

Tabla 14 Resistencia a la compresión promedio.

F'c	F'cr
Menos de 210	F'c + 70
210-350	F'c +84
>350	F'c + 98

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002)

Lo siguiente que se calculo fue el contenido de aire atrapado para el agregado grueso, este valor se sacó de la Tabla 15 en donde dato inicial que se necesita es el Tamaño Máximo Nominal, el cual se hayo anterior mente en la metodología.

Tabla 15 Contenido de aire atrapado

Tamaño máximo nominal del Agregado Grueso	Aire atrapado
3 / 8"	3.0%
1 / 2 "	2.5%
3 / 4"	2.0%
1"	1.5%
1 1 / 2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
4"	0.2%

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002)

Para hallar el volumen unitario del agua se deben tener el asentamiento y el tamaño máximo nominal del agregado grueso para esto se determinó que el asentamiento de la mezcla es de 4 ", y el TMN de 3/8" después de esto se interceptaron estos dos valores en la Tabla 16, y se halla el volumen unitario del agua en Lt/m³.

Tabla 16 Volumen unitario de agua para agregados gruesos

Asentamiento	3 / 8"	1 / 2"	3 / 4"	1"	1 1 / 2"	2"	3"	6"
1" a 2 "	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002).

Para determinar la cantidad de cemento a utilizar se halló la relación de agua cemento, esta relación se halló con ayuda de la Tabla 17 en el cual se vio la relación con la resistencia a la compresión promedio, como este valor no se encuentra en la Tabla 17 se interpolaron los valores para hallar la relación a/c, con esta relación se procedió a calcular los kilogramos de cemento como se ve en la Ecuación 17 .

Tabla 17 Relación Agua/Cemento por resistencia.

F'cr	3 / 8"
150	0.80
200	0.70
250	0.62
300	0.55
350	0.48
400	0.43
450	0.38

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002) .

$$a/c = A/C$$

Ecuación 17 Relación agua/ cemento

Donde=

a/c = Relación agua/cemento.

A = Volumen unitario de agua (Lt/m³).

C = Cemento (kg).

Lo siguiente que se halló fue el peso del agregado grueso para esto se utilizó la Tabla 18 para hallar el b/b₀, en donde el dato que solicitaba la tabla era el módulo de fineza del agregado fino que fue de 2.85 y el TMN del agregado grueso que fue de 3 / 8", estos valores al no encontrarse en la Tabla 18 se interpoló. Este peso se halló con la Ecuación 18

Tabla 18 Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	2.40	2.60	2.80	3.00
3 / 8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1 / 2"	0.59	0.57	0.55	0.53

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002) Elaboración propia.

Tabla 18 Continuación

3 / 4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1 / 2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Adaptado de (American Concrete Institute Committee 211, 2002) Elaboración propia.

$$WAG = \left(\frac{b}{b_0} \right) * (pusc)$$

Ecuación 18 Peso Agregado Grueso

Donde=

WAG = Peso agregado grueso (kg).

b/b₀ = Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

pusc = Peso unitario seco compactado Cemento (kg/m³)

De halló el volumen de cada material para saber cuánto era el volumen del agregado fino, estos volúmenes se hallaron con la Ecuación 19, después se halló el peso del agregado fino con la Ecuación 20, los agregados finos y gruesos cuentan con un porcentaje de humedad para los cuales se calculó con la Ecuación 21 un nuevo peso del agregado y por último se halló el aporte de agua a la mezcla de los agregados con la Ecuación 22, este porcentaje de agua se le resta al agua inicial que tenía la mezcla.

$$Volumen = \frac{W}{Pe}$$

Ecuación 19 Volumen absoluto de los materiales.

Donde=

V = Volumen del material (m³)

W = Peso del material (kg)

Pe = Peso específico del material (kg/m³)

$$WAF = PeAF * VAF$$

Ecuación 20 Peso agregado fino.

Donde=

WAF = Peso agregado fino (kg).

PeAF = Peso específico agregado fino (kg/m³)

VAF= Volumen agregado fino (m³)

$$Wf = W * \left(\frac{\omega\%}{100} + 1 \right)$$

Ecuación 21 Corrección por humedad del peso.

Donde=

Wf = Peso final del agregado (kg).

W = Peso del agregado (kg)

w%= % de humedad del agregado.

$$\text{Aporte de agua a la mezcla} = \frac{(\omega\% - Abs\%) * Wf}{100}$$

Ecuación 22 Aporte de agua a la mezcla.

Donde=

Wf = Peso final del agregado (kg).

Abs% = % de absorción del agregado.

w%= % de humedad del agregado.

Por último, se toman los valores de los pesos finales para determinar el diseño de mezcla y se divide en el peso del cemento para un metro cubico y de una proporción.

Fase 2: Ejecución de laboratorios a partir de los manuales NTC:

Elaboración cilindros y vigas de concreto.

Se elaboraron 48 cilindros y 8 vigas, de los cuales 36 y 6 respectivamente tenían la combinación del reemplazo de agregado grueso por llanta reciclada al 5%, 7 % y 10%, teniendo en cuenta que de este porcentaje el 20% de los mismos iba con el acero, la dosificación que se utilizó para los cilindros se puede observar en la Tabla 20 y la que se utilizó para las vigas en la Tabla 21.

Tabla 19 Dosificación de la mezcla del concreto CILINDROS.

DOSIFICACIÓN							
		Cemento (Kg)	Agregado Grueso (kg)	Agregado Fino (kg)	Agua (L)	Llanta con acero (Kg)	Caucho de llanta (kg)
N		29.18	60.54	66.82	15.56	0	0
C5%	5%	29.18	57.52	66.82	15.56	0.605	2.422
C7%	7%	29.18	56.30	66.82	15.56	0.848	3.390
C10%	10%	29.18	54.49	66.82	15.56	1.211	4.843

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Tabla 20 Dosificación de la mezcla del concreto VIGAS.

DOSIFICACIÓN							
		Cemento (Kg)	Agregado Grueso (kg)	Agregado Fino (kg)	Agua (L)	Llanta con acero (Kg)	Caucho de llanta (kg)
N		11.15	23.12	25.52	5.95	0	0
C5%	5%	11.15	21.97	25.52	5.95	0.231	0.925
C7%	7%	11.15	21.51	25.52	5.95	0.324	1.295
C10%	10%	11.15	20.81	25.52	5.95	0.463	1.850

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

La mezcla se realizó durante dos días el primer día se mezcló el concreto normal y el concreto con el agregado al 5% como se ve en las Figura 27 y Figura 28 respectivamente, 5 días después se realizó la mezcla de las otras dos composiciones de 7% y 10% se ve en las Figura 30 y Figura 29. El día que se desencofraron los cilindros del 7% uno de los 12 cilindros se desportillo y la base para la compresión no era la suficiente para llevar a cabo la prueba a la compresión, por eso se decidió que el fallo a los 28 días del concreto con composición del 7% solo se iba a realizar con 3 muestras.

Figura 27 Mezcla concreto normal.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 29 Mezcla C10%



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 28 Mezcla C5%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 30 Mezcla C7%.

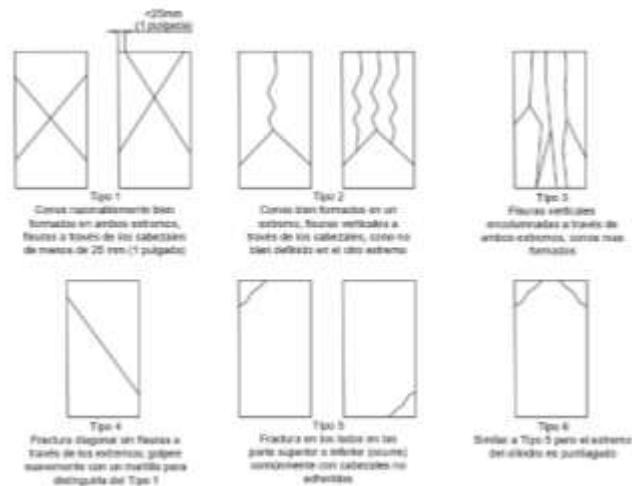


Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Laboratorio de compresión.

Estos laboratorios se desarrollaron como lo indica la norma (Icontec - Ntc 673, 2010, Tercera actualización) la maquina universal se calibro para que aplicara la fuerza a una velocidad de $0.25 \text{ MPa/s} \pm 0.05 \text{ MPa/s}$, antes de cada laboratorio se realizó la medida del diámetro, altura y peso de los cilindros, ninguno de los cilindros fallados necesito corrección longitud diámetro, ya que esta relación no fue menor a 1.75. Después de la falla de los cilindros se determinó el tipo de falla con la ayuda de la NTC 673 como se ve a continuación en la Figura 31, por último, para hallar los esfuerzos se dividió el peso máx. admitido por cada cilindro y el diámetro del mismo.

Figura 31 Modelo de fractura.



Nota: Adaptado de (Icontec - Ntc 673, 2010, Tercera actualización)

Los laboratorios se tenían planteados a los 7, 14 y 28 días, a los 7 días se desarrollaron el laboratorio a compresión de los 8 cilindros correspondientes al concreto normal y al 5% como se observa en la Figura 32, el día que se fueron a realizar las pruebas de los 7 días de los cilindros con el concreto al 7% y al 10% la universidad presentó un problema con la máquina universal y al séptimo día no se pudieron realizar los ensayos, se buscó un laboratorio en la ciudad y el laboratorio NHSQ S.A.S prestó sus servicios para el desarrollo de los laboratorios, después de esto se realizó el laboratorio a los 7 días del concreto al 7% y al 10% a los 9 días como se ve en la Figura 33, ese día se cumplían los 14 días del concreto normal y al 5% como se observa en la Nota: *Por Juliana Vásquez (2021)*

Figura 34, el laboratorio a los 14 días del concreto al 7% y al 10% se realizó con normalidad como se ve en la Figura 35, el laboratorio a los 28 días se llevó con normalidad como se observa en la Figura 36 y la Figura 37.

Figura 32 Fallas cilindros 7 días, N-C5%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 35 Fallas cilindros 14 días, C7%-C10%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 33 Fallas cilindros 9 días, C7%-C10%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 36 Fallas cilindros 28 días, N-C5%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 34 Fallas cilindros 14 días, n-C5%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 37 Fallas cilindros 28 días, C7%-C10%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Laboratorio de Modulo de Elasticidad.

Para determinar el módulo de elasticidad se realizó el ensayo tal como lo determina la NTC 4025, se realizó con los cilindros curados a los 28 días, este ensayo es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria del concreto, se utilizó el compresometro, este debe quejar muy bien ajustado al cilindro como se observa en la Figura 38, antes se debe calibrar el deformímetro a 0.01 mm.

Figura 38 Calibración compresometro



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Se tomaron las lecturas cada 10 kN hasta llegar al 40%, de la capacidad máxima de carga del cilindro, se realizó la medición con un cilindro de cada muestra cómo se observan en la Figura 39, la Figura 40, la Figura 41 y en la Figura 42

Figura 39 Ensayo Modulo de elasticidad, N.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 40 Ensayo Modulo de elasticidad C5%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 41 Ensayo Modulo de elasticidad C7%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 42 Ensayo Modulo de elasticidad C10%.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

El valor del módulo de elasticidad se obtuvo con la Ecuación 23 según la (Icontec - Ntc 4025, 2019, Segunda actualización).

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

Ecuación 23 Calculo Modulo de Elasticidad según NTC.

Donde=

E = Modulo de Elasticidad en MPa

S_2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga ultima.

S_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, ε_1 , de las 50 millonésimas, en MPa

ε_2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S_2 .

Laboratorio de Modulo de Rotura

El laboratorio se realizó a los 28 días y durante todo el tiempo los especímenes estuvieron curados en húmedo, se realizaron 2 especímenes por cada muestra, este ensayo se realizó para hallar el momento máximo a soportar y la resistencia a tracción.

Al espécimen se le aplica la carga en los dos tercios medios como se observa en la Figura 43 , antes del ensayo se toma la medida de los especímenes tanto en la base, como en la altura y la longitud de los especímenes

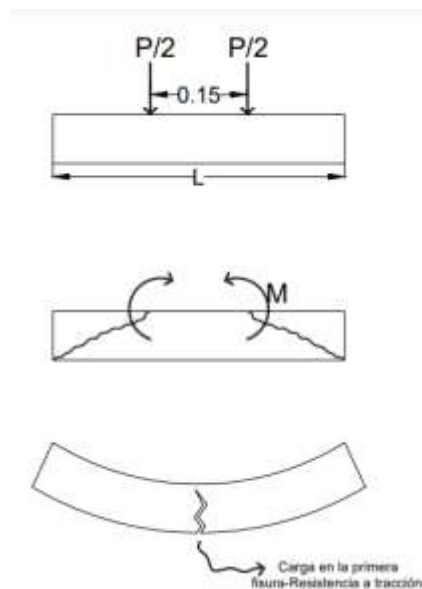
Figura 43 Ensayo Resistencia Concreto a Flexión.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Para el cálculo del momento flexionante se utilizó la Ecuación 24 Calculo Momento Flexionante., en la Figura 44 se muestra cómo se realiza la aplicación de las cargas y como es el movimiento del espécimen, con este momento se llevó a cabo el cálculo de la resistencia a tracción con la Ecuación 25 estos cálculos son de manera experimental y también se calculó el módulo de rotura según la NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) con la Ecuación 26

Figura 44 Modulo de Rotura Experimental



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

$$M_{cr} = \frac{PL}{4} - \frac{0.075P}{2}$$

Ecuación 24 Calculo Momento Flexionante.

Donde=

M_{cr} = Momento a flexión en kN.m.

P = Carga máxima aplicada en kN.

L = Distancia entre apoyos en m.

$$f_{tr} = \frac{M_{cr} \cdot 6}{b \cdot h^2}$$

Ecuación 25 Modulo de Rotura.

Donde=

f_{tr} = Modulo de Rotura en Mpa

M_{cr} = Momento a flexión en kN.m.

b = Ancho promedio del espécimen en mm.

h = Altura promedio del espécimen en mm.

$$f_r = 0.62 \cdot \lambda \sqrt{f'_c}$$

Ecuación 26 Modulo de Rotura según NSR-10 Titulo C Capitulo 9 Ecuación 10

Donde=

f_r = Modulo de Rotura en Mpa

λ = para concreto normal 1.0

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto en Mpa

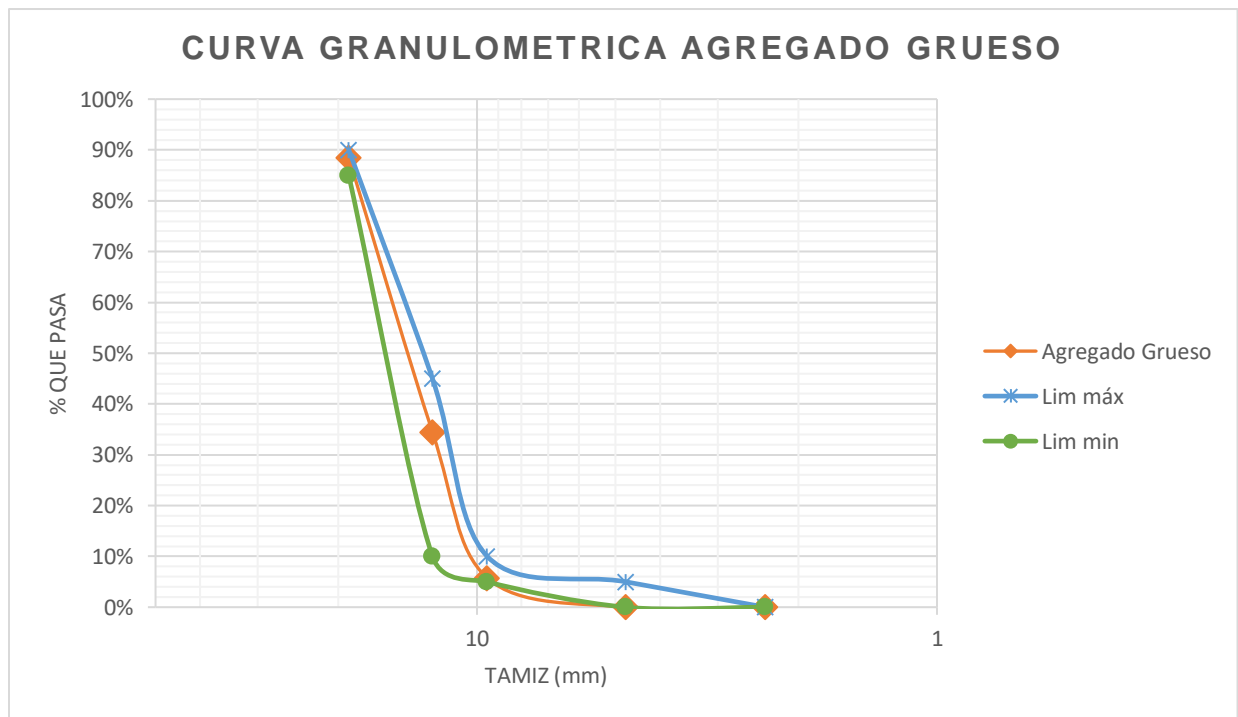
Resultados

Resultados Fase 1

Curvas de Granulometría.

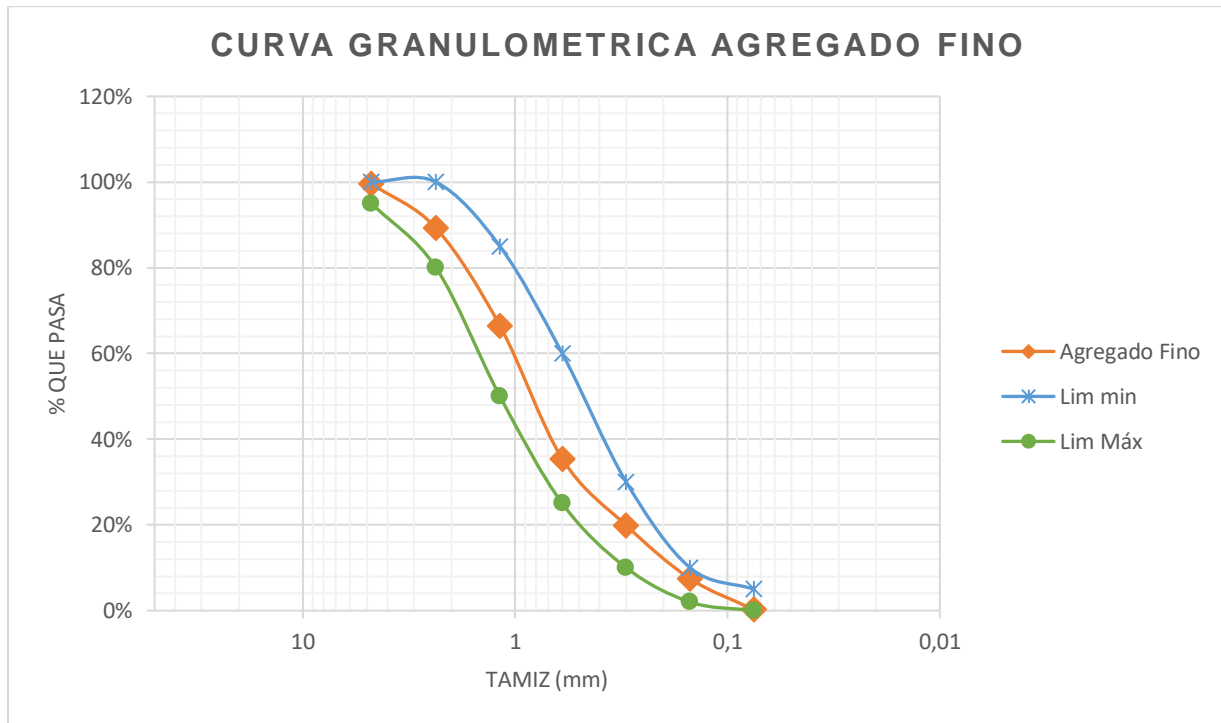
En la Figura 45 y la Figura 46 se pueden observar las curvas granulométricas de los agregados finos y gruesos usados para el diseño de la mezcla, en el Anexo 1 se puede observar todos los laboratorios realizados para hallar las propiedades de los materiales descritos en la Tabla 22 y así obtener el diseño de mezcla.

Figura 45 Curva granulométrica del agregado grueso



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 46 Curva granulométrica del agregado Fino



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Tabla 21 Propiedades de los Agregados.

AGREGADOS	FINO	GRUESO
Perfil		ANGULAR
Peso unitario compactado (kg/m ³)	2752	2083
Peso específico (kg/m ³)	3429	3253
Módulo de Fineza	2,85	6,22
TMN (tamaño máximo nominal)		3/8"
%abs	0,74	1,82
%w	0,43	0,41

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Diseño de mezcla

Se tomaron como datos iniciales los que se encuentran la Tabla 12 y en la Tabla 22, para poder hallar el diseño de mezcla

- **Resistencia a la compresión promedio.**

$$f'_{cr} = 210 + 84$$

$$f'_{cr} = 298 \text{ kg/cm}^2$$

- **Contenido de Aire**

Según la Tabla 15 y el tamaño máximo nominal de 3/8", el contenido de aire es de **3%**.

- **Volumen unitario del agua.**

Según la Tabla 16 la cantidad de agua para el diseño de la mezcla es de 228Lt

- **Relación agua cemento.**

$$a/c = 0.62 + \frac{0.48 - 0.62}{300 - 250} * (294 - 250)$$

$$a/c = 0.497$$

$$C = \frac{228}{0.497}$$

$$C = 458.752 \text{ kg}$$

- **Peso del agregado grueso**

$$b/b_o = 0.46 + \frac{0.44 - 0.46}{3 - 2.8} * (2.85 - 2.8)$$

$$b/b_o = 0.445$$

$$WAG = 0.445 * 2083 \text{ kg/m}^3$$

$$WAG = 947.76 \text{ kg/m}^3$$

- **Volumen absoluto**

✓ Cemento

$$V = \frac{458.752 \text{ kg}}{\left(\frac{3.15 \text{ g}}{\text{cm}^3} * 1000\right)}$$

$$V = 0.146 \text{ m}^3$$

- ✓ Agua

$$V = \frac{228Lt}{1000kg/m^3}$$

$$V = 0.228 m^3$$

- ✓ Aire

$$V = \frac{3\%}{100}$$

$$V = 0.03 m^3$$

- ✓ Agregado Grueso

$$V = \frac{947.765kg}{3253kg/m^3}$$

$$V = 0.291 m^3$$

- ✓ Agregado Fino

$$V = 1m^3 - 0.146m^3 - 0.228m^3 - 0.03m^3 - 0.291m^3$$

$$V = 0.305 m^3$$

- **Peso del agregado fino**

$$WAF = 3429kg/m^3 * 0.305 m^3$$

$$WAF = 1045.89kg$$

- **Corrección por humedad**

- ✓ Agregado grueso

$$Wf = 947.765kg * \left(\frac{0.41\%}{100} + 1 \right)$$

$$Wf = 951.651kg$$

- ✓ Agregado fino

$$Wf = 1045.89kg * \left(\frac{0.43\%}{100} + 1 \right)$$

$$Wf = 1050.39kg$$

- **Aporte de agua a la mezcla**

- ✓ Agregado grueso

$$\text{Aporte de agua a la mezcla} = \frac{(0.41\% - 1.82\%) * 951.651kg}{100}$$

$$\text{Aporte de agua a la mezcla} = -13.42lt$$

✓ Agregado fino

$$\text{Aporte de agua a la mezcla} = \frac{(0.43\% - 0.02\%) * 1050.39kg}{100}$$

$$\text{Aporte de agua a la mezcla} = 4.31lt$$

El aporte de agua a la mezcla fue de – 9.11 Lt, por lo que el agua total de la mezcla fue 273.11 Lt.

Proporción de la mezcla

Cemento : Arena : Grava : Agua

1 : 2.29 : 2.07 : 0.52

Resultados Fase 2

Resistencia a la Compresión

Los resultados de la prueba a compresión del el concreto con la mezcla de diseño y el reemplazo de las muestras al 5%, 7% y 10%, se muestran en la Tabla 23, Tabla 24, Tabla 26 y Tabla 27. En el anexo 2 se observa las fotografías de los cilindros fallados.

Concreto Diseño de Mezcla Normal.*Tabla 22 Resultados Concreto Normal*

Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Carga (kN)	Falla	Resistencia a la Compresión (Mpa)
7	15,0	30,3	12,35	258,00	6	14,60
	15,0	30,2	12,20	198,00	5	11,20
	14,9	30,0	12,45	260,02	5	14,91
	15,1	30,0	12,50	254,87	4	14,23
14	15,1	30,3	12,58	403,45	5	22,53
	15,1	30,4	12,61	357,42	6	19,96
	15,0	29,9	12,50	399,61	5	22,61
	15,0	30,6	12,51	367,60	5	20,80
28	15,2	30,3	12,345	385,73	5	21,26
	15,1	30,2	12,49	420,27	5	23,47
	15,3	30	12,435	452,44	5	24,61
	15,1	30,4	12,265	375,25	4	20,95

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Concreto Diseño de Mezcla con reemplazo del agregado grueso del 5%.*Tabla 23 Resultados Concreto 5%*

Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Carga (kN)	Falla	Resistencia a la Compresión (Mpa)
7	14,9	30,0	12,00	150,00	6	8,60
	15,0	30,0	12,20	146,00	5	8,26
	15,0	30,1	12,05	138,00	6	7,81
	15,1	30,0	12,20	168,00	5	9,38
14	15,1	30,1	12,12	186,84	5	10,43
	15,0	30,1	12,07	188,97	5	10,69
	15,0	30,3	12,31	166,42	5	9,42
	15,1	30,2	12,17	231,20	5	12,91
28	15,2	30,3	12,155	276,98	4	15,26
	15,2	30,3	12,21	214,27	4	11,81

Tabla 23. Continuación

15,2	30,5	12,195	316,72	4	17,45
15,2	30,5	12,49	427,27	6	23,55

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Concreto Diseño de Mezcla con reemplazo del agregado grueso del 7%.

Tabla 24 Resultados Concreto 7%

Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Carga (kN)	Falla	Resistencia a la Compresión (Mpa)
7	15,0	30,0	11,87	82,40	6	4,66
	14,9	30,0	11,99	77,00	4	4,42
	15,0	30,1	11,92	98,70	5	5,59
	15,0	30,0	11,59	101,10	5	5,72
14	15,0	30,1	11,76	114,30	2	6,47
	15,0	30,1	11,55	108,80	5	6,16
	15,0	30,3	11,87	109,10	5	6,17
	16,0	30,2	11,72	115,70	5	5,75
28	15	30,3	12,07	182,47	6	10,33
	15	30,3	11,905	223,66	5	12,66
	15	30,5	11,83	208,8	2	11,82

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Concreto Diseño de Mezcla con reemplazo del agregado grueso del 10%.

Tabla 25 Resultados Concreto 10%

Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Carga (kN)	Falla	Resistencia a la Compresión (Mpa)
7	15,0	30,3	11,75	77,90	5	4,41
	15,0	30,2	11,40	111,60	6	6,32
	15,0	30,0	11,85	126,20	5	7,14
	15,0	30,0	11,73	126,90	6	7,18
14	15,0	30,3	11,69	135,20	5	7,65
	15,0	30,4	12,07	140,00	5	7,92

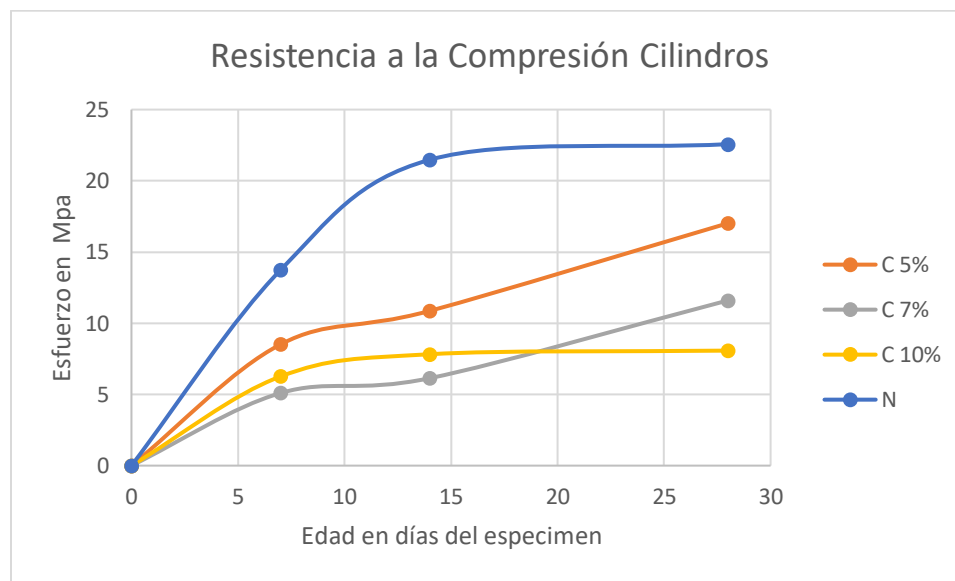
Tabla 25. Continuación

	15,0	29,9	11,82	151,50	6	8,57
	15,0	30,6	11,64	126,20	5	7,14
	15,1	30,3	12	176,78	6	9,87
28	15	30,2	11,97	132,34	5	7,49
	15,1	30	11,975	159,43	5	8,90
	15,1	29,8	11,925	108,19	5	6,04

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

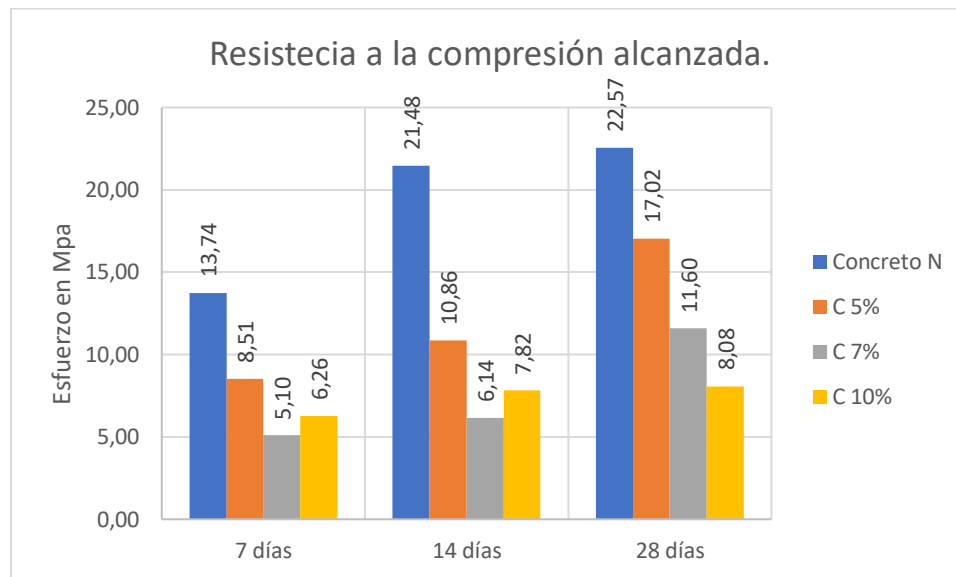
En la Figura 47 se observa la comparación de los 4 tipos de mezclas y en la Figura 48 se observa el resultado de la resistencia a la compresión durante las edades del espécimen.

Figura 47 Resultados Ensayos a compresión de los cilindros comparados con el diseño de mezcla.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 48 Resultados Ensayos de Resistencia a compresión de los cilindros comparados con el diseño de mezcla durante los 28 días.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Módulo de Elasticidad

Para realizar el laboratorio se le aplicó los cilindros el 40% de su carga máxima como se ve en la Tabla 29, se tomó la lectura del compresómetro cada 10 kN y se anoto es desplazamiento como lo muestra la Tabla 30.

Tabla 26 40 % Carga Máxima Soportada.

40 % CARGA MÁXIMA SOPORTADA kN				
NORMAL	5%	7%	10%	
163,4	133,5	82,0	61,7	

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Tabla 27 Desplazamiento

DEFORMACIÓN				
CARGA	NORMAL	5%	7%	10%
kN	mm	mm	mm	mm
10	0,010	0,010	0,010	0,010

Tabla 27 Continuación

20	0,020	0,020	0,020	0,020
30	0,030	0,025	0,030	0,035
40	0,045	0,030	0,040	0,048
50	0,050	0,033	0,049	0,060
60	0,060	0,040	0,060	0,070
70	0,065	0,050	0,068	-
80	0,070	0,060	0,078	-
90	0,080	0,070	-	-
100	0,085	0,078	-	-
110	0,090	0,085	-	-
120	0,095	0,092	-	-
130	0,100	0,100	-	-
140	0,102	-	-	-
150	0,120	-	-	-
160	0,125	-	-	-

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

El Módulo de elasticidad se halló mediante la pendiente de la curva entre el esfuerzo y la deformación unitaria, a continuación, se muestran las gráficas de los módulos de elasticidad del diseño de mezcla y los que tuvieron reemplazo en el agregado grueso en la Tabla se muestra la deformación unitaria y en la Figura 53 la comparación de las deformación unitaria.

Tabla 28 Deformación Unitaria

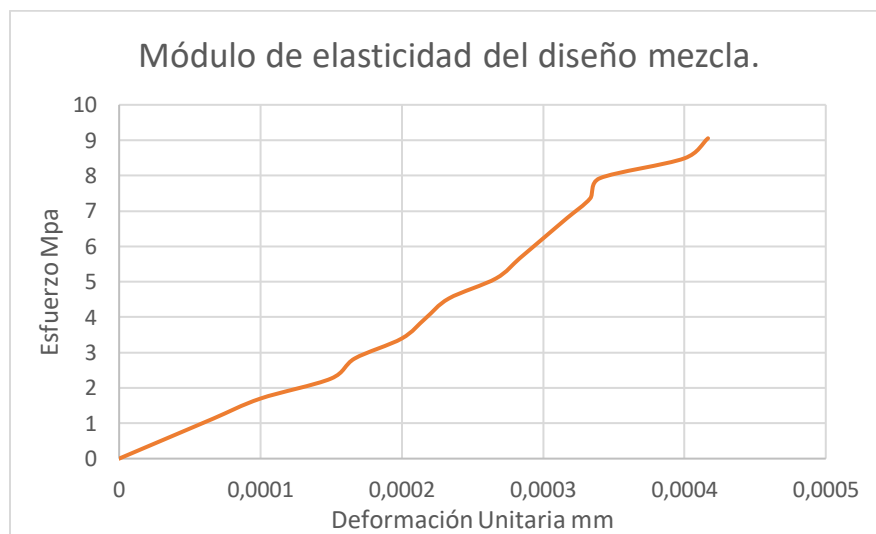
DEFORMACIÓN UNITARIA				
Esfuerzo	NORMAL	5%	7%	10%
MPa	mm	mm	mm	mm
0,57	3,33333E-05	3,33333E-05	3,33333E-05	3,33333E-05
1,13	6,66667E-05	6,66667E-05	6,66667E-05	6,66667E-05
1,70	0,0001	8,33333E-05	0,0001	0,000116667
2,26	0,00015	0,0001	0,000133333	0,00016
2,83	0,000166667	0,00011	0,000163333	0,0002
3,40	0,0002	0,000133333	0,0002	0,000233333
3,96	0,000216667	0,000166667	0,000226667	-
4,53	0,000233333	0,0002	0,00026	-
5,09	0,000266667	0,000233333	-	-
5,66	0,000283333	0,00026	-	-

Tabla 28 Continuación

6,22	0,0003	0,000283333	-	-
6,79	0,000316667	0,000306667	-	-
7,36	0,000333333	0,000333333	-	-
7,92	0,00034	-	-	-
8,49	0,0004	-	-	-
9,05	0,000416667	-	-	-

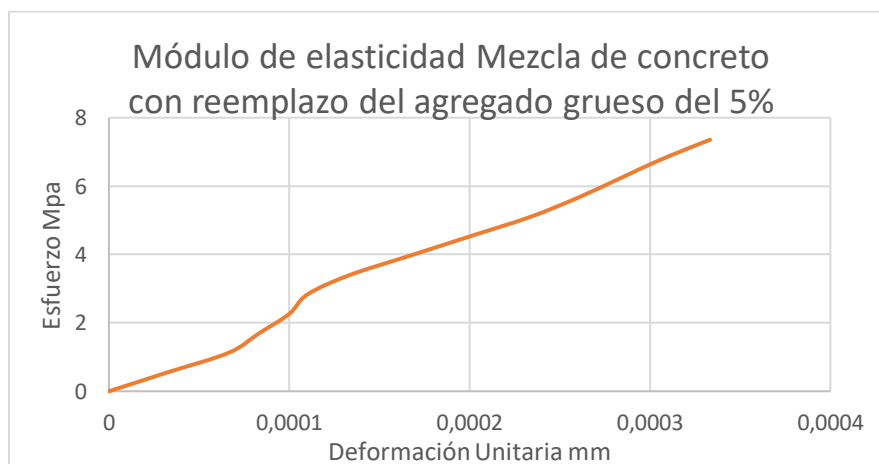
Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 49 Módulo de elasticidad Diseño de mezcla Normal



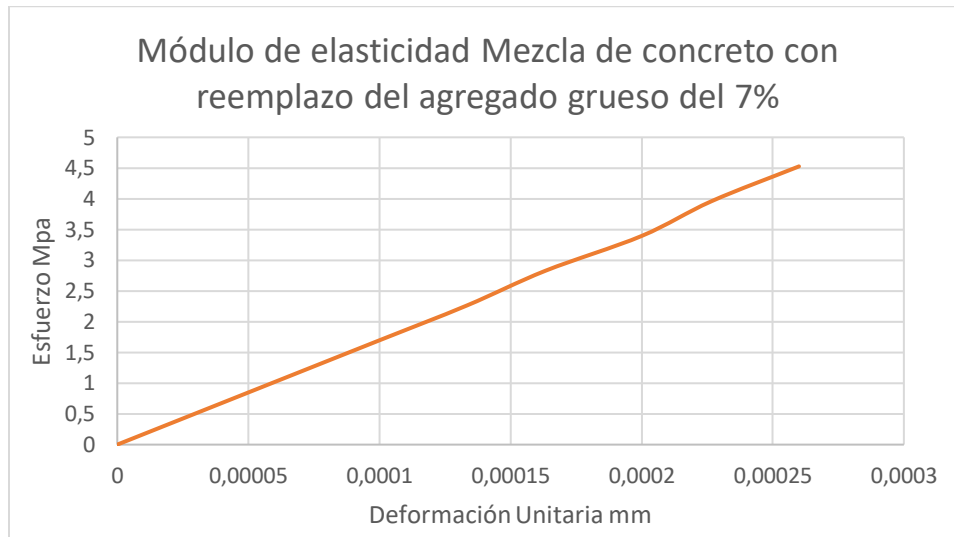
Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 50 Módulo de elasticidad Diseño de mezcla c5%



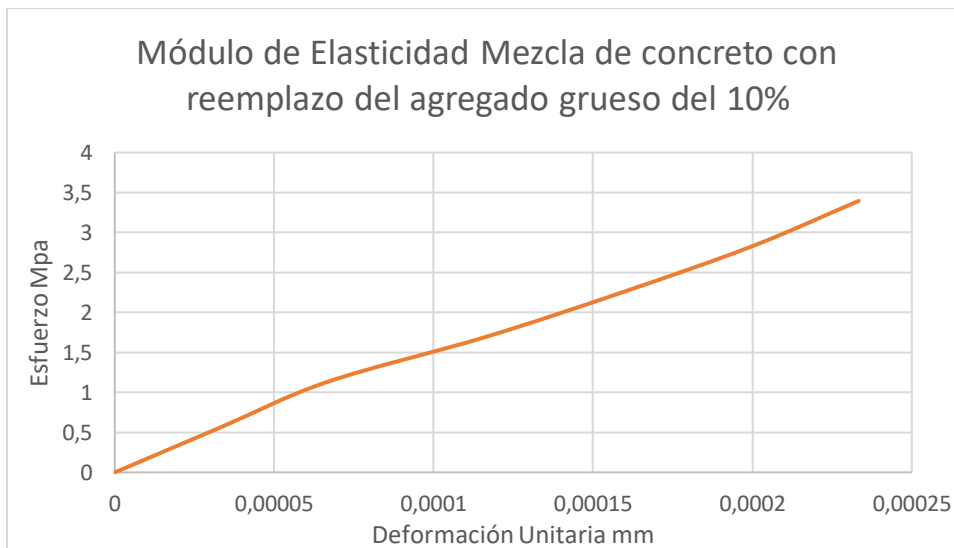
Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 51 Módulo de elasticidad Diseño de mezcla c7%



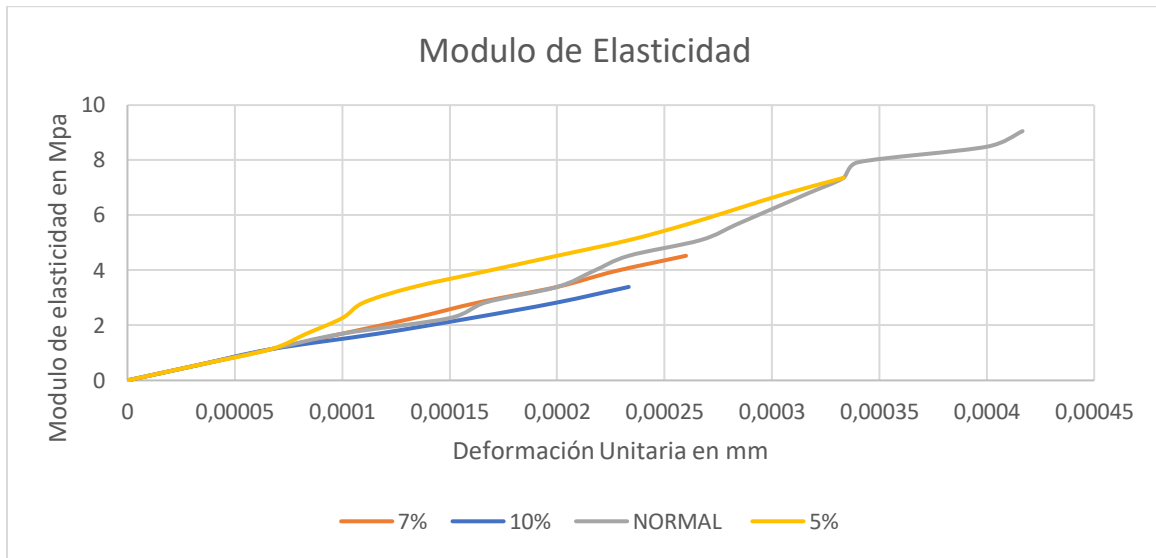
Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 52 Módulo de elasticidad Diseño de mezcla c10%



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 53 Comparación Módulo de elasticidad.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

En la Tabla 30 y la Figura 54 se muestran los resultados arrojados del módulo de elasticidad de cálculo de la pendiente de la curva Ecuación 23 y la Ecuación 23 según la NSR-10, para el cálculo del Módulo de Elasticidad.

$$E = 3900\sqrt{f'c}$$

Ecuación 27 Módulo de elasticidad según la NSR 10.

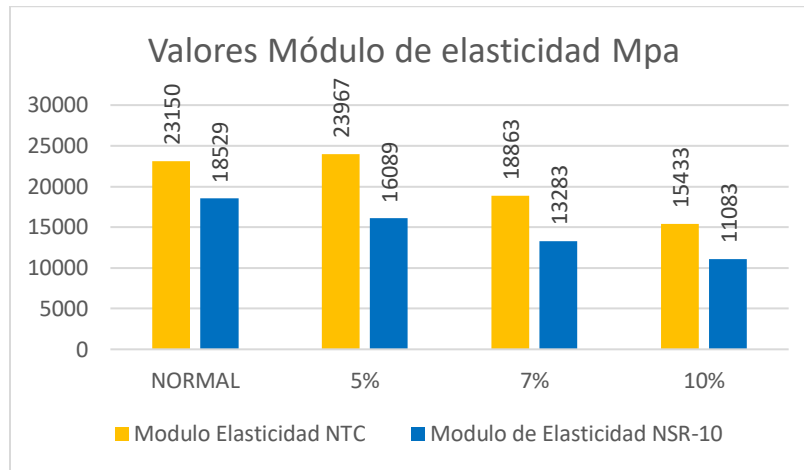
Tabla 29 Modulo de Elasticidad

MODULO DE ELASTICIDAD Mpa		
MEZCLA	NTC	NSR-10 ¹
NORMAL	23150	18529
5%	23967	16089
7%	18863	13283
10%	15433	11083

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

¹ Valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado.

Figura 54 Modulo de Elasticidad experimental y NTC.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Módulo de Rotura

A continuación, se muestran los datos arrojados por la elaboración del laboratorio para hallar el módulo de rotura en la Tabla 33 y la Tabla 34

Tabla 30 Dato principales cn y c5%

RESULTADOS MODULO DE ROTURA				
MUESTRA	C NORMAL		5%	
	1	2	1	2
ANCHO	0,157	0,157	0,153	0,156
	0,157	0,157	0,152	0,156
	0,155	0,156	0,154	0,156
ALTO	0,152	0,151	0,154	0,157
	0,152	0,152	0,152	0,154
	0,151	0,151	0,153	0,154
L APOYOS INF	0,48	0,48	0,48	0,48
L APOYOS	0,15	0,15	0,15	0,15
L VIGA	0,536	0,535	0,535	0,534
P (kN)	28,99	35,12	30,40	27,37

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Tabla 31 Dato principales c7% y c10%

RESULTADOS MODULO DE ROTURA				
MUESTRA	7%		10%	
	1	2	1	2
ANCHO	0,154	0,156	0,159	0,158
	0,154	0,157	0,159	0,157
	0,155	0,155	0,159	0,158
ALTO	0,15	0,141	0,154	0,153
	0,152	0,145	0,152	0,153
	0,153	0,142	0,151	0,153
L APOYOS INF	0,48	0,48	0,48	0,48
L APOYOS	0,15	0,15	0,15	0,15
L VIGA	0,534	0,535	0,536	0,535
P (kN)	25,60	20,32	25,16	21,88

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

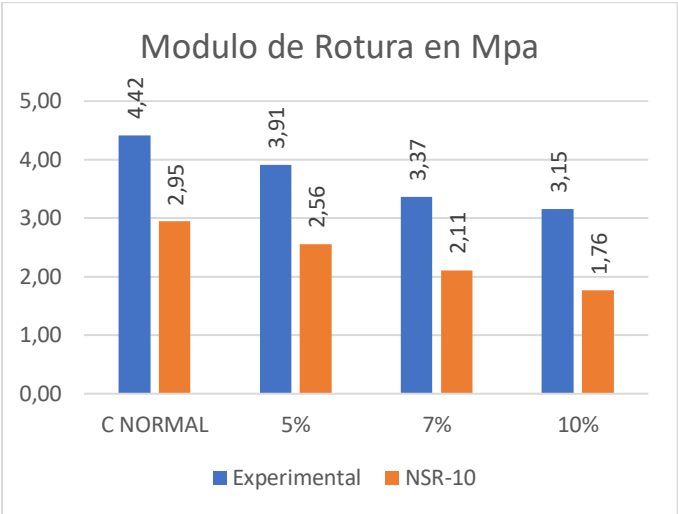
El módulo de rotura se halló de manera experimental y se calculó como lo indica la NSR-10 en el título C capítulo 9 ecuación 10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) los resultados se observan en Tabla 35 y la Figura 55.

Tabla 32 Modulo de Rotura

MODULO DE ROTURA			
TIPO DE MEZCLA	Momento exp	Experimental	NSR-10
	kN.m	Mpa	Mpa
C NORMAL	2,64	4,42	2,95
5%	2,38	3,91	2,56
7%	1,89	3,37	2,11
10%	1,94	3,15	1,76

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 55 Modulo de rotura experimental y NSR-10.

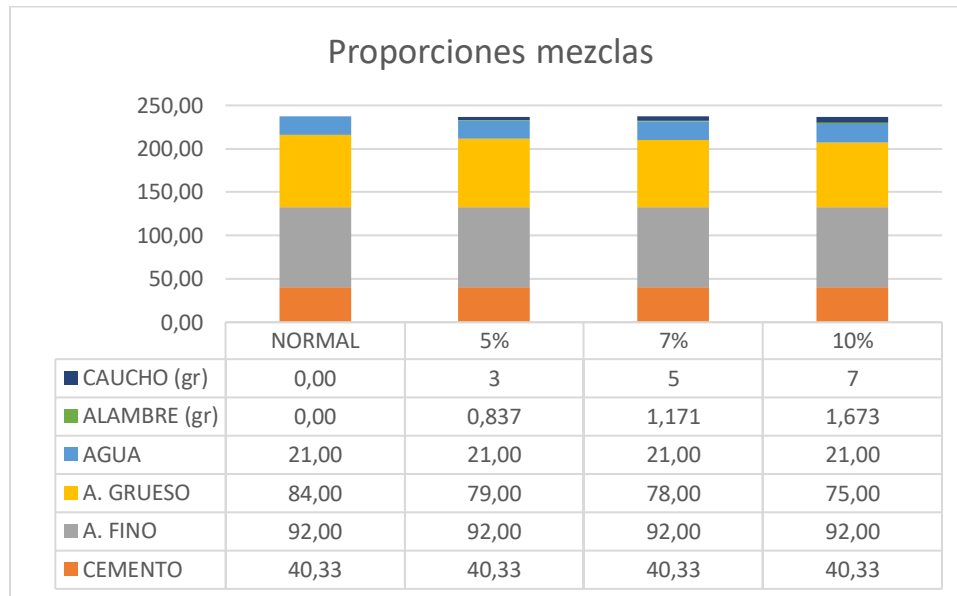


Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Análisis de resultados

Diseño de mezcla

Figura 56 Mezcla



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Se puede analizar que se utilizó la misma cantidad de material en cuanto agua, agregado fino y cemento, la variedad se presentó respecto al aditivo solo, con caucho y con caucho y alambre, toca resaltar que estas variaciones afectaron los resultados mecánicos de los distintos especímenes.

Resistencia a la Compresión

Se realizó la comparación de la mezcla de diseño con la mezcla de diseño con los aditivos, en la Tabla 36 se observa cuáles fueron los resultados a los 28 días, en la Figura 54 se observa que ninguna mezcla con aditivo se acercó a la resistencia de la mezcla normal y el Tabla 37 se expone la variación en porcentaje de la mezcla sin aditivos.

Tabla 33 Resistencia a los 28 días de fundido

TIPO DE MEZCLA	N	5%	7%	10%
Resistencia a la compresión Mpa	22,57	17,02	11,60	8,08

. Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

En la Tabla 37 se observa que el diseño de mezcla realizado supera los 21 MPa siendo esta con la mayor resistencia a la compresión, pero al ir agregando mayor cantidad de caucho en reemplazo con el agregado grueso la resistencia va disminuyendo, seguida de esta sigue la C5%, la mezcla C7% y finalmente la mezcla C10%. Se puede determinar que la mayor variación que se presentó fue de 64,2% entre la mezcla CN y la mezcla C10%, para la mezcla C5% la reducción fue de 24,6% y la mezcla C7%, tuvo una disminución de 48,6%.

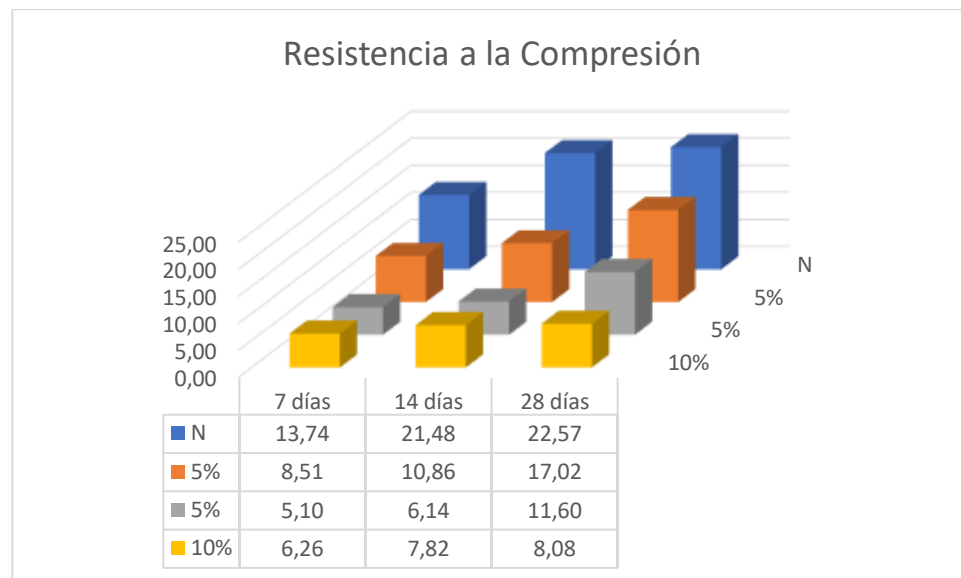
Tabla 34 Variación Resistencia a la Compresión a los 28 días de fundido

TIPO DE MEZCLA	N	5%	7%	10%
Variación en la resistencia a la compresión %	0,0%	-24,6%	-48,6%	-64,2%

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Se puede resaltar que el diseño de mezcla realizado presentó una alta resistencia a la compresión, teniendo en cuenta que este contaba con mayor cantidad de agregado fino, con respecto al agregado grueso, esto con respecto a los concretos normalmente utilizados para la elaboración de estructuras.

Figura 57 Resultados ensayo a la compresión en sus correspondientes edades de curado



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

En la Figura 57 se observa como la mezcla CN aumenta su resistencia de forma ascendente y muestra un aumento del 64% con respecto a los 7 días de falla, la mezcla C5% tuvo un aumento del 99% con respecto a los 7 días, la mezcla C7% tuvo un aumento del 127% con respecto a los 7 días, el aumento de resistencia fue mayor al 50%, en cambio la mezcla C10% a penas logro un aumento del 29% con respecto a los 7 días de prueba

Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad se calculó hallando la pendiente de la curva esfuerzo versus deformación unitaria como lo indica la NTC 4025 con la Ecuación 23 y la Ecuación 27 como lo indica la NSR-10 en el título C.

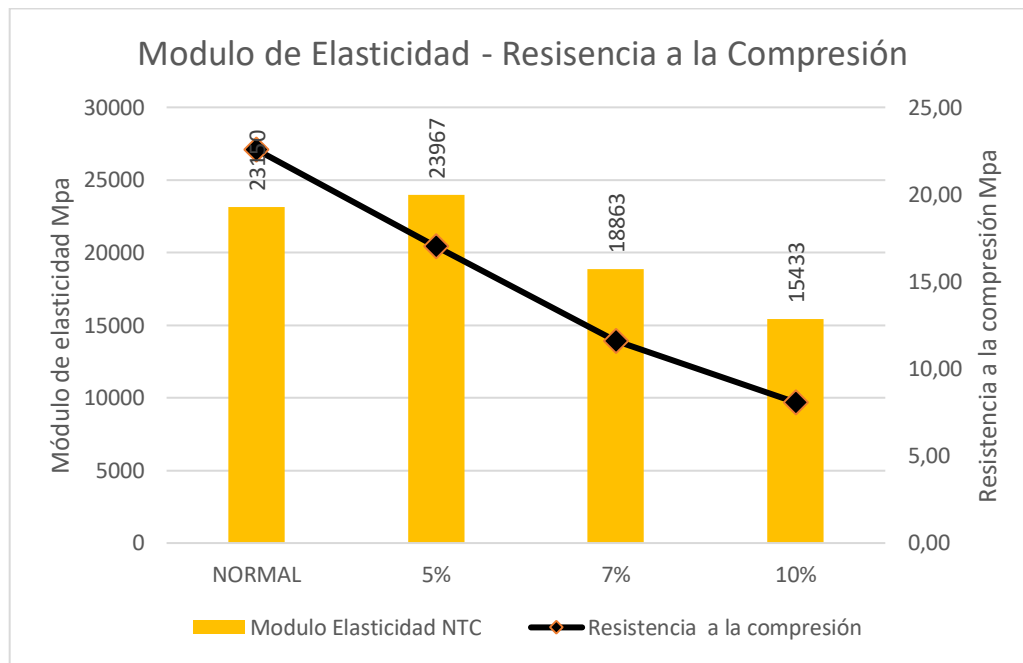
Como se observa en la Tabla 36 el diseño de mezcla con reemplazo del del agregado grueso en un 5% presenta un mayor módulo de elasticidad de 3,35 % indicándonos que el caucho que se le agregó aumento el módulo de elasticidad.

Tabla 35 Variación Modulo de Elasticidad.

TIPO DE MEZCLA	NORMAL	5%	7%	10%
Variación del módulo de elasticidad %	0,00%	3,53%	-18,52%	-33,33%

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 58 Resistencia a la compresión con relación al modulo de elasticidad



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Como se mencionaba anteriormente y como se observa en la Figura 58, aunque el módulo de elasticidad del diseño de mezcla con reemplazo de agregado grueso del 5% presentó un mayor módulo de elasticidad al del diseño de mezcla sin ningún reemplazo, no presentó una resistencia a la compresión mayor al diseño de mezcla realizó, a medida que el reemplazo de agregado grueso aumento la resistencia a la compresión fue disminuyendo.

El módulo de elasticidad presentó una disminución del 33.33% en el diseño de mezcla con reemplazo del agregado grueso al 10% con respecto al diseño de mezcla sin reemplazo de agregado.

Módulo de Rotura

En la Tabla 39 se puede observar cómo es la variación del módulo de rotura con respecto al diseño de mezcla realizado, el que presentó mayor disminución en el módulo de rotura fue el diseño de mezcla con reemplazo de agregado grueso al 10% que fue de un 28.59%, en orden descendiente el que le sigue es la mezcla con reemplazo de agregado grueso del 7% y por último el que tuvo menos variación con respecto al diseño de mezcla realizado fue el diseño de mezcla con reemplazo del agregado grueso al 5%.

Las vigas después de presentar falla algunas quedaron adheridas por el acero que presentaba la estructura de la llanta como se observa en la Figura 59.

Tabla 36 Variación Modulo de Rotura

TIPO DE MEZCLA	NORMAL	5%	7%	10%
Variación del Módulo de Rotura %	0,00%	-11,54%	-23,75%	-28,59%

Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Figura 59 Ensayo Resistencia Concreto a Flexión.



Nota: Por Juliana Vásquez (2021)

Conclusiones

El concreto es el material principal para la construcción actual debido a sus propiedades características de versatilidad, durabilidad, resistencia y economía. Por las anteriores razones es necesario ofrecer productos comerciales que optimicen estas características de manera considerable para sustentar la necesidad usarlo en proyectos importantes sin alterar la economía de este de forma abrupta y enorme.

Este proyecto de investigación a través de su diseño de mezcla obtenido a través de los laboratorios ejecutados, ofrece resultados excelentes con respecto a su composición no alterada como su alta resistencia a la compresión presente en todas las edades del concreto analizadas, por otro lado, el diseño de mezcla con composición alterada, no ofrece una ventaja real debido a su baja resistencia a la compresión, su uso puede ser eficaz para la creación de una obra civil pero no eficiente en aspectos como la economía o las cargas que puedan hacer uso de la misma en su estado de servicio. A continuación, se exponen las conclusiones que arrojo este proyecto de investigación.

- Se realizó un diseño de mezcla para que cumpliera con una resistencia a la compresión de 21 Mpa, después de la realización de los laboratorios se comprobó que la muestra cumple con la resistencia para la que fue diseñado, siendo esta de 22,57 Mpa resultado arrojado después del laboratorio según la NTC 673.
- Los diseños de mezcla alterados presentaron una disminución en su resistencia a la compresión proporcional al aumento de porcentaje de reemplazo de agregado grueso lo que lleva a concluir que el material reciclable no ofrece una ventaja competitiva con el material granular tradicional.
- Dentro de las mezclas que fueron reemplazadas en el agregado grueso, la que mejor mostró comportamiento fue la mezcla con reemplazo del 5% del agregado, presentando una resistencia a la compresión del 17,02 Mpa, un módulo de rotura de 3.91 Mpa y un módulo de elasticidad de 23967 Mpa, siendo esta última característica mayor al diseño de mezcla que no contaba con reemplazo en el agregado grueso.

- La adición del caucho en el diseño de mezcla represento una disminución del 5 % lo que no genera un cambio significativo para reconocer como una ventaja para con el diseño de mezcla sin reemplazo de agregado grueso.
- Se analiza que reemplazar el agregado grueso por caucho disminuye las propiedades de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y módulo de rotura, con respecto al diseño de mezcla, en próximos trabajos se puede analizar el comportamiento del concreto al realizar el reemplazo en el agregado fino por triturado fino de caucho.

Bibliografía

- 360 en concreto. (2018). *Caracterización de impactos ambientales en la industria de la construcción*. Medellín: Argos.
- American Concrete Institute Committee 211. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009)*. Farmington Hills EEUU.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Barajas, C. (2014). *Estado del arte sobre la elaboración de mezclas de concreto con agregados no convencionales en América para el periodo 2000 - 2010*. Bogotá: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Cano, A. (2018). *Diseño de mezclas por el método ACI*. Lima: Academia EDU.
- Cesvi Colombia. (27 de Julio de 2016). Colombia se inunda en llantas usadas. *Revista AutoCrash*.
Obtenido de <https://www.revistaautocrash.com/colombia-se-inunda-llantas-usadas/#:~:text=Las%20llantas%20usadas%20no%20son,y%20como%20combustible%20en%20actividades>
- Construmatica. (2016). *Impactos ambientales en el sector de la construcción*. Construmatica.
- Dane. (14 de 08 de 2020). *Dane información para todos*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-trimestrales>

Díaz Claros, C. M., & Castro Celis, L. C. (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (gcr) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en bogotá*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas], Bogota. doi:<https://hdl.handle.net/11634/2633>

El Tiempo. (1996). *Quien contamina mas en la industria*. Bogota: Redaccion el tiempo. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-524772#:~:text=En%20materia%20de%20s%C3%B3lidos%20suspendidos,y%20la%20e%20laboraci%C3%B3n%20de%20papel>.

Eraso, H., & Ramos, N. (2015). *Estudio del comportamiento mecanico del concreto, sustituyendo parcialmente el agregado fino por caucho molido recubierto con polvo calcareo*. [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana], Cali. Obtenido de http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3431/Estudio_comportamiento_mecanico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Farfan, L. (2018). *Caucho reciclado en la resistencia a la compresion y flexion de concreto modificado con aditivo plastificante*. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.

Hibbeler, R. C. (2011, Octava edición). *Mecánica de Materiales*. México: Pearson.

Huanca, S. L. (2006). *Diseño de Mezclas de Concreto*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Icontec - Ntc 176. (2019, Segunda Actualización). *Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso*. Bogotá.

Icontec - Ntc 237. (1995). *Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino*. Bogotá.

- Icontec - Ntc 2871. (2018, Tercera actualización). *Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)*. Bogotá.
- Icontec - Ntc 33. (24 de 10 de 2018). *Cementos. Método de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato blaine de permeabilidad al aire*. Bogotá.
- Icontec - Ntc 396. (2018, Segunda Actualización). *Concretos. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto*. Bogotá.
- Icontec - Ntc 4025. (2019, Segunda actualización). *Concretos. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresión*. Bogotá.
- Icontec - Ntc 673. (2010, Tercera actualización). *Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Bogotá.
- Icontec - Ntc 77. (2018, Tercera Actualización). *Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*. Bogotá.
- Icontec - Ntc 92. (2019, Tercera Actualización). *Método de ensayo para la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados*. Bogotá.
- Niño Hernandez, J. R. (2010, Tercera Edición). *Tecnología del concreto Tomo 1 : Materiales, propiedades y diseños de mezcla*. Bogota: Asocreto.
- Osorio, J. D. (2019). *Diseño de mezclas de concreto: conceptos basicos*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/calidad-y-aspectos-tecnicos/disenio-de-mezclas-de-concreto>
- Peñaloza Garzon, C. R. (2015). *Comportamiento mecanico de una mezcla para concreto reciclando usando neumaticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del*

agregado fino para un concreto con fines de uso estructural. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia], Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2501/1/COMPORTAMIENTO%20MEZCLA%20DE%20UNA%20MEZCLA%20PARA%20CONCRETO%20RECICLADO%20USANDO%20NEUMATICOS%20TRITURADOS%20COMO.pdf>



Pérez Oyola, J. C., & Arrieta Ballén, Y. L. (2017). *Estudio para caracterizar una mezcla de concreto con caucho reciclado en un 5% en peso comparado con una mezcla de concreto tradicional de 3500 psi.* [Trabajo de grado, Universidad Católica], Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15486/1/Tesis.pdf>

Redaccion PDM. (28 de Febrero de 2020). ¿El problema de la quema de llantas se salio de control en Villavicencio? *Periodico del Meta*. Obtenido de <https://periodicodelmeta.com/19480-2/#:~:text=Con%20relaci%C3%B3n%20a%20que%20se,facultada%20para%20adelantar%20este%20proceso.>

Reyes, D., & Cornejo, Y. (2014). *Estado del arte de la construccion con material reciclable.* [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia], Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2025/1/Construcci%C3%B3n-con-material-reciclable.pdf>

Rodriguez, D., & Gomez, J. (2016). *Manual de guias de laboratorio enfocadas al control de calidad de materiales y tecnologia del concreto.* [Articulo trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia], Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1601/4/Articulo%20%28v1%29.pdf>

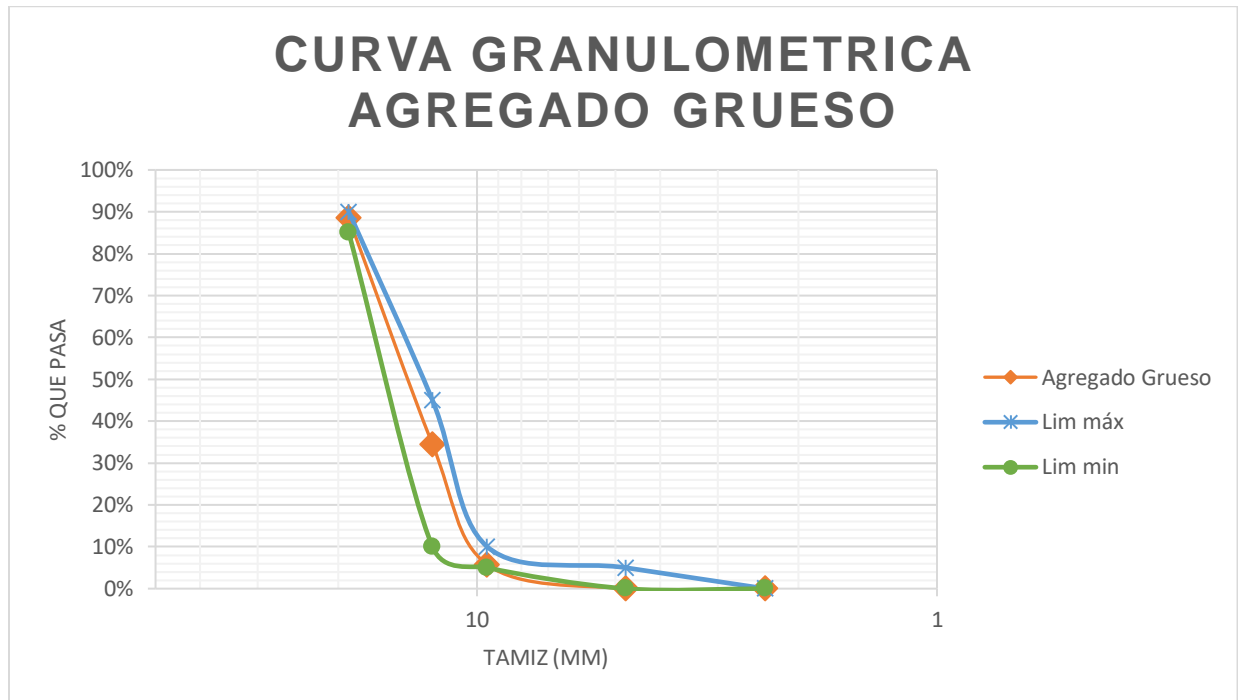
Sanchez Montoya, L. M., & Cardona Gomez, L. (2011). *Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricacion de pisos decorativos*. [Trabajo de grado, Universidad de Medellin], Medellin. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/51194716.pdf>

		
Firma estudiante	Firma director (es)	Firma Jurado 1

Anexo 1**Resultados Fase 1:****Agregado grueso.****Granulometría.****Tabla 1** Resultado Granulometría.

TAMIZ	abertura mm	masa (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% acumulado pasante
3/4	19	0	0,00%	0,00%	100,00%
1/2	12,5	236	10,78%	10,78%	89,22%
3/8	9,5	420	19,18%	29,95%	70,05%
# 4	4,75	1370	62,55%	92,50%	7,50%
# 8	2,36	160	7,31%	99,81%	0,19%
# 16	1,18	1,1	0,05%	99,86%	0,14%
# 30	0,6	1	0,05%	99,90%	0,10%
#50	0,3	0,3	0,01%	99,92%	0,08%
#100	0,15	0,8	0,04%	99,95%	0,05%
# 200	0,075	0,6	0,03%	99,98%	0,02%
Fondo	-	0,4	0,02%	100,00%	0,00%

Gráfica 1 Curva granulométrica del agregado grueso



% Humedad, TMN, Modulo de Finura

$$\omega (\%) = \frac{2200gr - 2191gr}{2200gr} * 100$$

$$\omega (\%) = 0.41\%$$

Modulo de Finura

$$= \frac{99.95\% + 99.92\% + 99.90\% + 99.86\% + 99.81\% + 92.50\% + 29.95\% + 0\%}{100}$$

$$Modulo de Finura = 6.22$$

Densidad relativa y Porcentaje de Absorción.

- Densidad relativa

$$SH = \frac{2088gr}{(2126gr - 1086gr)}$$

$$SH = 2.008$$

- Densidad relativa superficie saturada

$$SSS = \frac{2126gr}{(2126gr - 1086gr)}$$

$$SSS = 2.0044$$

- Densidad relativa aparente

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{2088gr}{(2088gr - 1086gr)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = 2.083$$

- Porcentaje de absorción

$$\text{Absorción} = \left(\frac{2126gr - 2088gr}{2088gr} \right) * 100$$

$$\text{Absorción} = 1.82\%$$

Densidad Volumétrica

$$M = \frac{16542gr - 9930gr}{1943.1cm^3}$$

$$M = 3.401gr/cm^3$$

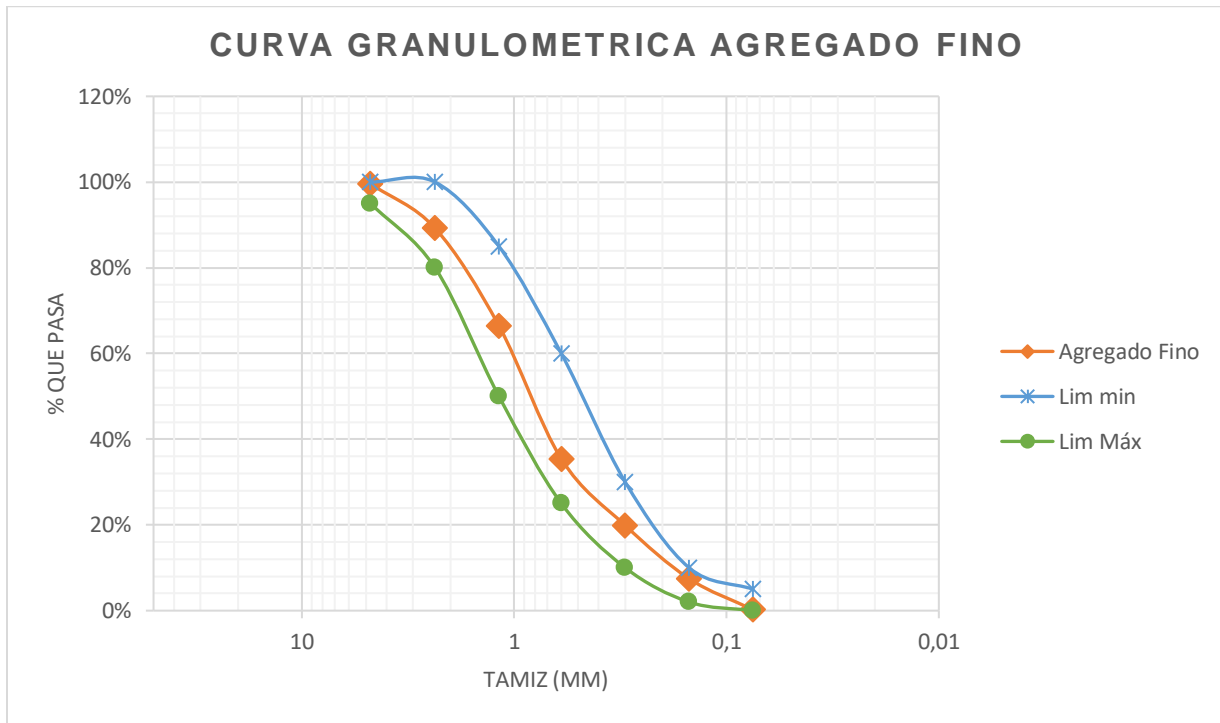
Agregado fino.

Granulometría.

Tabla 2 Resultado Granulometría.

TAMIZ	abertura mm	masa (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% acumulado pasante
# 4	4,75	4	0,87%	0,87%	99,13%
# 8	2,36	2	0,44%	1,31%	98,69%
# 16	1,18	8,1	1,76%	3,07%	96,93%
# 30	0,6	380	82,72%	85,79%	14,21%
#50	0,3	44	9,58%	95,36%	4,64%
#100	0,15	16	3,48%	98,85%	1,15%
# 200	0,075	3,3	0,72%	99,56%	0,44%
Fondo	-	2	0,44%	100,00%	0,00%

Gráfica 2 Curva granulométrica del agregado fino

**% Humedad, TMN, Modulo de Finura**

$$\omega (\%) = \frac{462gr - 460gr}{462gr} * 100$$

$$\omega (\%) = 0.43\%$$

$$Modulo de Finura = \frac{98.85\% + 95.36\% + 85.79.\% + 3.07\% + 1.31\% +}{100}$$

$$Modulo de Finura = 2.85$$

Densidad relativa y Porcentaje de Absorción.

- Densidad relativa

$$SH = \frac{578gr}{(640gr + 588gr - 1008gr)}$$

$$SH = 2.627$$

- Densidad relativa superficie saturada

$$SSS = \frac{588gr}{(640gr + 588gr - 1008gr)}$$

$$SSS = 2.673$$

- Densidad relativa aparente

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{578gr}{(640gr + 578gr - 1008gr)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = 2.75$$

- Porcentaje de absorción

$$\text{Absorción} = \left(\frac{588gr - 578gr}{578gr} \right) * 100$$

$$\text{Absorción} = 0.02\%$$

Densidad Volumétrica

$$M = \frac{1154gr - 488gr}{353.43cm^3}$$

$$M = 3.129gr/cm^3$$

Anexo 2

A continuación se muestran las imágenes de los cilindros fallados.

Tabla 1 Cilindros Concreto Normal













Dia	Especimen			
	1	2	3	4
7				
14				
28				

Tabla 2 Cilindros Concreto 5%









Dia	Especimen			
	1	2	3	4
7				
14				



Tabla 3 Cilindros Concreto 7%












Dia	Especimen			
	1	2	3	4
7				
14				
28				

Tabla 4 Cilindros Concreto 10%

Dia	Especimen			
	1	2	3	4
7				

