

EVALUACIÓN DE UN ADITIVO PLASTIFICANTE ALTERNATIVO ELABORADO A PARTIR
DE MATERIAL ORGÁNICO PARA MEJORAR LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO

NELSON DAVID CARDOSO HERRERA

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT-CUNDINAMARCA
2026

EVALUACIÓN DE UN ADITIVO PLASTIFICANTE ALTERNATIVO ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL ORGÁNICO PARA MEJORAR LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO

NELSON DAVID CARDOSO HERRERA
nelson-cardoso@upc.edu.co

Documento trabajo de grado, presentado como opción de grado para optar el título de
Ingeniero Civil

Asesor

MAURICIO ANDRÉS RIVERA SOTO
Ingeniero civil con especialización en diseño construcción y conservación de vías,
especialización en interventoría y supervisión de la construcción y
Maestría en infraestructura cual E.C
Correo: mauricio-rivera1@unipiloto.edu.co

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT-CUNDINAMARCA
2026

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Girardot, 17 de julio de 2026

DEDICATORIA

Afortunadamente presento este trabajo de grado con mis padres presentes, a quien les debo este título y la posibilidad de haber estudiado, mi madre Mary Ceyneth Herrera Cortes y mi padre Nelson Cardoso Feria, que con esfuerzo y dedicación lograron que su hijo estudiara.

Mi familia paterna y materna, que directa e indirectamente me han brindado mucho apoyo, mi hermano Diego Fernando Rodríguez Herrera con quién he podido resolver cualquier duda,

AGRADECIMIENTOS

Culminar este trabajo de grado fue posible con el apoyo de diferentes personas, siendo mi gran agradecimiento por haber sido parte o haber ayudado.

Al personal del laboratorio de la universidad, por la disposición de los equipos necesarios para la demostración de los resultados de los ensayos.

Al ingeniero Jesús Flaminio Ospitia, docente de la universidad, por su apoyo y colaboración durante el desarrollo del trabajo de grado.

Al ingeniero Mauricio Andrés Rivera Soto, asesor de este trabajo de grado, por su orientación y disposición durante el proceso de investigación.

A mi pareja Evelyn Aldana, quien, con su apoyo y amor, avivó ánimos para continuar con la determinación de seguir adelante.

Contenido

RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	15
4. MARCO REFERENCIAL	16
4.1 ANTECEDENTES.....	16
4.2. MARCO TEORICO	18
4.2.1 El concreto como material más relevante en la construcción	18
4.2.2 Relevancia en obras civiles e infraestructura.....	18
4.2.3 Características claves del hormigón o concreto	19
4.2.4 Cemento portland	19
4.2.5 Introducción de los aditivos en el sector constructor.....	20
4.2.6 Ensayo de asentamiento	20
4.2.7 Ensayo de compresión en Colombia según normativa vigente	20
4.2.8 Factores relevantes de la capacidad a la compresión	21
4.2.9 Normativa para el concreto estructural	22
4.2.10 Aparato de Vicat y tiempo de fraguado inicial	22
4.2.11 Extracción de la lignina	23
4.2.12 Lignina y lignosulfonatos como precursores de aditivos plastificantes	23
4.2.13 Agregados del concreto y su influencia.....	24
4.2.14 Concretos en climas cálidos	25
4.2.15 Retracción plástica del concreto	25
4.2.16 Superplastificantes o aditivos reductores de agua.....	26
4.2.17 Impacto ambiental del aserrín como residuo industrial	26
4.2.18 Optimización de residuos orgánicos de la madera	26
4.3 MARCO CONCEPTUAL	27
4.3.1 Relación agua cemento	27
4.3.2 Trabajabilidad del concreto	27

4.3.2 Resistencia a compresión del concreto:	27
4.3.4 Aditivos plastificantes (tipo a):.....	28
4.3.5 Extracto alcalino de lignina:	28
4.3.6 Curado del concreto.....	28
4.3.7 Consistencia normal del cemento hidráulico.....	29
4.3.8 Biomasa lignocelulósica.....	29
4.3.9 Fraguado del concreto	30
4.3.10 Hidratación del cemento	30
4.3.11 Especie Otobo.....	31
4.3.12 Exudación del concreto.....	31
4.3.13 Segregación del concreto	31
4.3.15 Economía circular	32
4.3.16 Polución	32
4.3.17 Dispersión electrostática de partículas cementantes	33
4.4 MARCO LEGAL	34
4.5 MARCO GEOGRAFICO	35
4.5.1 Localización geográfica	35
4.6 MARCO DEMOGRAFICO	36
5. DELIMITACIÓN.....	38
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	39
6.1 ENFOQUE Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	39
6.2 TIPOS DE MUESTREO	39
6.3 TECNICAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.	40
6.3.1 Técnicas	40
6.4 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	40
7. RECURSOS	42
7.1 HUMANO.....	42
7.2 MATERIAL	42
8. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	48
8.1 OBTENCIÓN DEL EXTRACTO ALCALINO DE LIGNINA.....	48
8.2 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO	49
8.3 ENSAYO DE ASENTAMIENTO	50
8.4 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL CON APARATO DE VICAT.....	51
8.5 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	54
9. CONCLUSIONES	59
10. RECOMENDACIONES	61

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Proyección del DANE de la población en 2024 Fuente: (telencuestas, 2024)</i>	36
<i>Ilustración 2: Distribución de la población por sexo y grupos de edad Fuente: (DANE, 2019)</i>	37
<i>Ilustración 3: Hidróxido de sodio en estado puro Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	42
<i>Ilustración 4: Recipiente plástico N2 HDPE Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	42
<i>Ilustración 5: Recipiente plástico N2 HDPE Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	42
<i>Ilustración 6: Elementos PPP Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	43
<i>Ilustración 7: Tamiz No.10 Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	43
<i>Ilustración 8 Estufa eléctrica Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	43
<i>Ilustración 9: Recipiente metálico para mezcla del extracto alcalino de lignina Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	44
<i>Ilustración 10 Termómetro Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	44
<i>Ilustración 11 Mezcladora de ½ bulto Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	44
<i>Ilustración 12: Cono de Abrams Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	45
<i>Ilustración 13 Moldes metálicos para cilindros de concreto Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	45
<i>Ilustración 14: Maquina de prensa de compresión Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	45
<i>Ilustración 15: Balanza Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	46
<i>Ilustración 16: Recipiente metálico Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	46
<i>Ilustración 17: Baldes de construcción Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	46
<i>Ilustración 18: Aparato de Vicat Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	46
<i>Ilustración 19 Moldes para pasta de cemento Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	46
<i>Ilustración 20 Aguja de 1 mm del aparato de vicat Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	46
<i>Ilustración 21 Paletas mezcladoras Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	47
<i>Ilustración 22 Probeta graduada Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	47
<i>Ilustración 23 : Solución de hidróxido de sodio al 5% Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	48
<i>Ilustración 24: NaOH en estado puro (escamas) Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	48
<i>Ilustración 25: Aserrín tamizado por tamiz No.10 Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	48
<i>Ilustración 26: Mezcla entre el NaOH al 5% con el aserrín tamizado Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	48
<i>Ilustración 27: Extracto alcalino de lignina Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	49
<i>Ilustración 28 : Tamizado de la mezcla entre aserrín y NaOH al 5% Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	49
<i>Ilustración 29: Cemento, arena y grava Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	49
<i>Ilustración 30: Moldes para los cilindros con concreto normal Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	50
<i>Ilustración 31: Vaciado en los moldes cilíndricos Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	50
<i>Ilustración 32: Asentamiento de 17cm de mezcla control Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	51
<i>Ilustración 33: Ensayo de asentamiento Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	51
<i>Ilustración 34: Asentamiento de 20.5cm de mezcla experimental Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	51

<i>Ilustración 35: Cilindros de concreto sumergidos en agua Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	54
<i>Ilustración 36: Cilindros de concreto desmoldados después de fraguar Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	54
<i>Ilustración 37: Gráfica de resistencias a la compresión de los especímenes Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	56
<i>Ilustración 38: Grafico del incremento porcentual de la resistencia a la compresión en ambas mezclas Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	57
<i>Ilustración 39: Cilindro de concreto fallado en máquina de resistencia a la compresión Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	58
<i>Ilustración 40: Cilindro de concreto fallado en máquina de resistencia a la compresión 2 Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	58

CONTENIDO DE TABLAS

<i>Tabla 1: Normativa vigente en Colombia para la realización del proyecto. Fuente: Elaboración propia</i>	34
<i>Tabla 2 : Datos geográficos de Girardot Fuente: https://www.girardot-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx</i>	35
<i>Tabla 3: Asentamientos de mezcla control y experimental Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	50
<i>Tabla 4: Composición de pastas de cemento para aparato de vicat Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	51
<i>Tabla 5 : Medidas de penetración pasta control Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	52
<i>Tabla 6: Medidas de penetración de la pasta experimental Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	52
<i>Tabla 7: Resultados de resistencia a la compresión a los 7 días de curado Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	55
<i>Tabla 8: Resultados de resistencia a la compresión a los 14 días de curado Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	55
<i>Tabla 9: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de curado Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	55
<i>Tabla 10: Análisis de resultados Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	56
<i>Tabla 11: Incrementos porcentuales de resistencias a la compresión Fuente: Tomado del autor investigativo</i>	57

RESUMEN

El presente trabajo de grado evaluó el potencial del extracto alcalino de lignina obtenido a partir de aserrín de la especie Otobo como bio-aditivo plastificante alternativo en mezclas de concreto, en el contexto de las condiciones climáticas cálidas de la ciudad de Girardot ubicada en el departamento de Cundinamarca. La investigación tuvo un enfoque mixto de tipo experimental comparativo, y para evaluar el efecto del bio-aditivo se determinaron tres variables: la trabajabilidad de la mezcla en su estado inicial (asentamiento), el tiempo de fraguado inicial y la comparación de resistencia a la compresión entre una mezcla convencional y una con el aditivo, a distintas edades de curado.

El extracto alcalino fue obtenido a partir de un proceso de calentamiento del aserrín junto con una solución de NaOH diluido al 5% (hidróxido de sodio) a una temperatura entre 80°C y 100°C durante 60 minutos, al finalizar ese lapso, la mezcla pasó a un proceso de filtrado para separar los sólidos residuales. Las mezclas de concreto se elaboraron con una dosificación empírica de 1:2:2 (cemento: arena: grava) con una relación de agua/cemento de 0.55, además adicionándole a la mezcla denominada experimental, el extracto alcalino de lignina, utilizando una proporción del 1% respecto a la cantidad de cemento incorporada en la mezcla.

Los resultados del ensayo de asentamiento evidenciaron un incremento en la trabajabilidad del 20.5%, pasando de 17 cm en la mezcla control a 20.5 cm en la mezcla experimental, confirmando el efecto plastificante del bio-aditivo mediante la dispersión electrostática de las partículas de cemento.

En cuanto al tiempo de fraguado inicial, determinado por medio del aparato de Vicat con base a la norma INV E-305-07, se registró un leve retardo de 5 minutos en la pasta con extracto respecto a la pasta control, con tiempos de 2 horas y 21 minutos y 2 horas y 26 minutos respectivamente, este siendo un comportamiento lógico en aditivos tipo A.

Respecto a la comparación de la resistencia a la compresión, el cilindro de hormigón experimental presentó valores inferiores a la mezcla control en todas las edades evaluadas, con diferencias de 0.86 MPa a los 7 días, 0.44 MPa a los 14 días y 0.49 MPa a los 28 días, sin embargo, al analizar el incremento porcentual de resistencia tomando como referencia los 7 días de curado, la mezcla experimental registró un incremento del 44.20% a los 28 días frente al 30.39% de la mezcla control, evidenciando que la mezcla con extracto gana resistencia a un incremento relativamente mayor con el tiempo, sugiriendo que el bio-aditivo no impide el desarrollo de resistencia mecánica a largo plazo.

Los resultados demuestran que el extracto alcalino de lignina obtenido a partir de aserrín tiene potencial como aditivo plastificante sostenible, mejorando la trabajabilidad del concreto sin comprometer significativamente su resistencia mecánica, representando una alternativa de bajo costo, fácil producción y un bajo impacto ambiental en comparación a aditivos elaborados de forma industrial.

Palabras clave: Lignina, extracto alcalino, bio-aditivo, plastificante, trabajabilidad, hormigón, aserrín, sostenibilidad.

ABSTRACT

This undergraduate thesis evaluated the potential of alkaline lignin extract obtained from Otobo species sawdust as an alternative bio-additive plasticizer in concrete mixtures, under the warm climatic conditions of Girardot, Cundinamarca. The research followed a mixed experimental-comparative approach, assessing three variables: fresh concrete workability, initial setting time, and compressive strength comparison between a conventional mix and one with the additive at different curing ages.

The alkaline extract was obtained by heating sawdust with a 5% sodium hydroxide solution at 80°C–100°C for 60 minutes, followed by filtration to separate residual solids. Concrete mixtures were prepared with a 1:2:2 empirical proportion (cement:sand:gravel) and a water/cement ratio of 0.55, incorporating the extract at 1% of the cement weight in the experimental mix.

Slump test results showed a 20.5% workability increase, from 17 cm in the control mix to 20.5 cm in the experimental mix, confirming the plasticizing effect through electrostatic dispersion of cement particles. Initial setting time determined using the Vicat apparatus per INV E-305-07, showed a 5-minute delay in the paste with extract compared to the control, consistent with expected Type A additive behavior.

Regarding initial setting time, determined using the Vicat apparatus per INV E-305-07, a slight 5-minute delay was recorded in the paste with extract compared to the control paste, with times of 2 hours 21 minutes and 2 hours 26 minutes respectively, consistent with expected Type A additive behavior.

Compressive strength results showed lower values in the experimental mix at all ages, with differences of 0.86 MPa at 7 days, 0.44 MPa at 14 days, and 0.49 MPa at 28 days. However, the experimental mix recorded a 44.20% strength gain at 28 days versus 30.39% for the control mix, suggesting the bio-additive does not inhibit long-term mechanical resistance development.

Results demonstrate that alkaline lignin extract from sawdust has potential as a sustainable plasticizing additive, improving workability without significantly compromising mechanical resistance, representing a low-cost, easily produced, and environmentally friendly alternative to industrially manufactured additives.

Keywords: lignin, alkaline extract, bio-additive, plasticizer, workability, concrete, sawdust, sustainability.

INTRODUCCIÓN

El concreto u hormigón es de los elementos más reconocidos y usados en obras de infraestructura, vías y proyectos a gran escala, asimismo su importancia radica en sus diferentes características, tales como su versatilidad, resistencia y durabilidad, sin embargo, esto se logra a partir de adecuadas dosificaciones en sus agregados y componentes. El concreto se compone principalmente de cemento, agregados finos, agregados gruesos y agua, siendo la relación agua/cemento (a/c) un factor determinante que influye de manera inversa sobre la resistencia mecánica y de forma directa sobre la trabajabilidad del concreto fresco., por esta razón, en ciertos casos resulta necesario el uso de aditivos en la mezcla, permitiendo modificar características del concreto, alcanzando una mejor resistencia, durabilidad, trabajabilidad, entre otros. (Jaimes, García, & Rondón, 2020)

Últimamente el empleo de aditivos químicos en las mezclas de concreto ha tenido gran influencia debido a la necesidad de mejorar propiedades como la trabajabilidad, impermeabilización y resistencia, entre otros aditivos están los plastificantes y superplastificantes, los cuales surten efecto dispersando las partículas de cemento y permitiendo un mayor tiempo al fraguado inicial y asimismo aumentando su trabajabilidad, esto sin disminuir su resistencia. (ASTM INTERNATIONAL, 2020)

Según la clasificación establecida por la norma ASTM C494, este efecto de aditivo corresponde al tipo A, esto depende de su función específica y comportamiento de la mezcla posterior al adicionarlo. (ASTM INTERNATIONAL, 2024)

Se conoce que la industria de la madera genera grandes volúmenes de residuos durante sus procesos de explotación y elaboración, esto siendo ocurrido antes del producto final, formando un desperdicio desaprovechado (Vignote & Martinez, 2006).

Para ello se investiga la posibilidad de usar de alguna forma ese material desecho, la madera es un material que se compone por tres polímeros principales: Lignina, celulosa y hemicelulosa. (Vargas, Urrego, & Mena, 2023). Siendo la lignina un material renovable conformado por químicos parecidos a los derivados del petróleo, esto conlleva a que puede usarse en una gran variedad de productos, reduciendo emisiones de CO₂, usado en bioplásticos, bio-asfalto, combustibles, entre otros. (VALMET, s.f.).

En el campo de la construcción, la lignina y sus derivados han demostrado tener alto potencial como efecto dispersante en mezclas de cemento, debido a su carga negativa superficial que genera repulsión entre las partículas de cemento, asimismo mejorando la fluidez y trabajabilidad del concreto, sin necesidad de incrementar la relación a/c (Tomas, Fadimatu, Benjamin, & Yahaya, 2025). Así que la presente investigación busca evaluar el comportamiento del concreto al momento de incorporar el extracto alcalino obtenido del aserrín, siendo un posible aditivo plastificante alternativo y sostenible, estudiando la influencia del extracto sobre las propiedades mecánicas y de manejabilidad del concreto.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En Colombia existen diferentes regiones en las cuales su temperatura de ambiente es distinta, en climas cálidos las temperaturas altas pueden variar el proceso de fraguado del concreto, endureciéndolo más rápido, debido a que el agua de la mezcla de concreto se evapora más rápido, generando fracturas en el concreto, dando paso a fisuras no deseadas y disminuyendo las propiedades mecánicas del elemento, debido a esto se opta por usar aditivos plastificantes, para retardar el tiempo de fraguado inicial. (ARGOS, s.f.)

En la industria de la construcción existen muchos aditivos, siendo usados para mejorar diferentes propiedades como la impermeabilidad, resistencia o trabajabilidad, pero estos aditivos comerciales normalmente tienen costos relativamente elevados y son elaborados únicamente en procesos industriales generando contaminación por su proceso químico, sus emisiones y residuos. (Ramírez & Tapia, 2021)

De manera simultánea, la industria de madera genera grandes cantidades de residuos, entre los cuales se destaca el aserrín, siendo un material abundante y que generalmente no recibe un aprovechamiento eficiente, sino que termina siendo desechado o quemado, generando un fuerte impacto ambiental.

Ante esta problemática, el alto costo y la huella ambiental de los aditivos industriales junto con el desperdicio de residuos orgánicos, surge la necesidad de aprovechar materiales residuales de dicho origen empleándolos como materia prima en aditivos plastificantes para mezclas de concreto que pueden mejorar sus propiedades mecánicas, en este caso sus propiedades en su estado fresco. (Barracho Jr, Marangón, Rolin, Benigno, & Lazo, 2020).

Adicionalmente, el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos con origen de la industria maderera representa una alternativa en el desarrollo del uso de elementos sostenibles para la construcción, el aserrín al contener la lignina, polímero con la capacidad de dispersar ya ha sido utilizado de manera industrialmente en la producción de lignosulfonatos, empleados como plastificantes en mezclas cementantes, sin embargo aún no se cuenta con información más a detalle y de manera experimental sobre el uso de un extracto alcalino de lignina obtenido de un material residual como es el aserrín. (Magina, Barros, & V.Evtuguin, 2021) (Jerachard, Itthichai, Robert, Pawarut, & Tawanpon, 2023)

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta el aprovechamiento de materiales y el impacto agradable al medio ambiente, se plantea la propuesta.

- ¿Puede un extracto alcalino obtenido a partir del aserrín usarse como aditivo plastificante alternativo capaz de mejorar la trabajabilidad del concreto sin afectar significativamente su resistencia mecánica?

2. JUSTIFICACIÓN

En regiones donde la temperatura promedio es mayor a 22°C, se consideran zonas cálidas, siendo este un desafío en el fraguado y curado del concreto, debido a la evaporación del contenido de agua en la mezcla, en la ciudad de Girardot, se tiene una temperatura máxima en promedio de 36°C, ocasionando en varias ocasiones un endurecimiento prematuro del concreto, no permitiendo una trabajabilidad óptima de la mezcla de concreto. (Weather Spark, 2016)

La implementación de alternativas sostenibles en el sector de la construcción adquiere gran relevancia frente a los impactos ambientales asociados a los residuos de construcción y demolición (RCD) y al empleo de compuestos químicos de origen industrial. Así que el aprovechamiento de residuos orgánicos como el aserrín, puede presentar una oportunidad para generar aditivos alternativos de bajo costo y sostenibles, reduciendo la cantidad de desechos de la industria de madera.

De acuerdo con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 propuesto en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, orientado hacia la producción y el consumo responsables, el progreso de alternativas de materiales de construcción a partir de residuos orgánicos presenta una estrategia para reducir el impacto ambiental de la industria. La producción de aditivos químicos sintéticos para el concreto tiene procesos industriales con alto consumo energético y generación de residuos contaminantes, mientras que el aprovechamiento del aserrín como materia prima para la obtención del extracto alcalino de lignina propone una manera de que un residuo de bajo valor comercial se transforme en un potencial insumo para la industria de la construcción, disminuyendo la dependencia de productos derivados del petróleo, generando un modelo de economía circular. (Naciones Unidas, s.f.) (Heberto, 2026)

En Colombia, los subproductos residuales provenientes de la industria de la madera se han convertido en un problema operativo y ecológico, ya que el espacio disponible en las fábricas o centros de madera es reducido y esto representa diferentes riesgos ambientales, que pueden ocasionar incendios, autocombustión y propagación de plagas y enfermedades. (Asprilla, Estacio, & Bermúdez, 2023)

Además, es evidente el uso constante inadecuado que se le da a los residuos de la industria maderera, como la corteza, troncos y aserrín generados en diferentes procesos, especialmente de manera industrial, lo cual genera que los residuos terminen en lugares inadecuados como ríos, esteros y lotes vacíos, o usados como combustible en las calderas de las plantas, generando emisiones gaseosas y olores, siendo necesaria la implementación de estrategias que permitan mitigar esta problemática ambiental. (Trinidad, Vega, Rendón, & Tobón, 2021)

Así que esta investigación permitirá evaluar el comportamiento de un extracto alcalino mediante un proceso sencillo de obtención de la lignina, analizando su posible uso para la trabajabilidad y resistencia del concreto, los resultados obtenidos podrán aportar información relevante para el desarrollo de futuras investigaciones del uso de materiales orgánicos en la industria de la construcción. Asimismo, el estudio evaluativo permitirá ampliar el conocimiento del uso de bio-aditivos e impulsará el uso de residuos orgánicos en abundancia sin aprovechamiento en los materiales de la construcción como el concreto empleado ampliamente en la industria de la construcción civil. (Barracho Jr, Marangón, Rolin, Benigno, & Lazo, 2020)

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el potencial del extracto alcalino obtenido a partir del aserrín como aditivo plastificante sostenible, con el fin de mejorar la trabajabilidad del concreto en regiones cálidas sin afectar significativamente su resistencia mecánica final.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Obtener el extracto alcalino a partir del aserrín mediante un proceso químico de calentamiento con hidróxido de sodio al 5%.
- Comparar el tiempo de fraguado inicial en una muestra de concreto con el extracto añadido y en una muestra sin el extracto por medio del ensayo de la aguja de Vicat.
- Analizar el efecto en la trabajabilidad del concreto con el extracto en la mezcla mediante ensayos de asentamiento.
- Evaluar la resistencia a la compresión de cilindros de concreto con y sin adición del extracto alcalino, a diferentes edades de curado.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

En un documento de la ciudad de Jaén, se investigó el comportamiento del aditivo plastificante en polvo SikaCem sobre la trabajabilidad y la resistencia a la compresión del concreto elaborado en las cimentaciones de un proyecto en la ciudad de Jaén, Perú.

El estudio se realizó evaluando diferentes dosificaciones del aditivo en mezclas de concreto, mediante ensayos de asentamiento se realizó la evaluación de la trabajabilidad y la resistencia mecánica a través de pruebas de compresión a distintas edades de curado. Los resultados demostraron que el añadir el aditivo mejoró en gran parte el manejo o trabajabilidad del concreto en su estado fresco, permitiendo una mayor movilidad, además que la resistencia a la compresión aumentó hasta en un 44 % en comparación con las mezclas sin aditivos, esto surtió sin efectos negativos relevantes en las propiedades mecánicas finales. Este antecedente demuestra la efectividad de los plastificantes para optimizar las propiedades del concreto, aunque su alto costo y origen químico sintético es la razón por la que se analizan alternativas sostenibles.

(Campos, Martinez, Gonzales, & Aguirre, 2025)

En un artículo sobre el uso de los residuos lignocelulósicos que dejaba la industria de la madera, se evaluó el uso de desechos en la fabricación de insumos de cemento y madera no estructurales, estos pertenecientes del aserrín de bambú y maçaranduba, siendo usados ampliamente en el sector de la construcción, los residuos fueron tratados con una solución de hidróxido de al 2% durante 24 horas, los autores mediante pruebas de hidratación midieron la compatibilidad con el cemento con el coeficiente de aptitud adoptada por Vilela y Du Pasquier (1968), además realizaron ensayos de compresión y realizaron la determinación del módulo elástico dinámico con el fin de analizar el comportamiento físico y mecánico del material. Los resultados indicaron una buena compatibilidad con ambos residuos, además alcanzando resistencias a la compresión de 9.76Mpa y 10.08Mpa a los 28 días, valores aptos para materiales de usos no estructurales.

Además, el tratamiento alcalino disminuyó el efecto retardante de la lignina natural, facilitando la hidratación del cemento. Este estudio evidencia el potencial de los residuos de madera tratados alcalinamente como aditivos en mezclas de concreto o en cemento, sirviendo de base para la extracción de lignina como plastificante en concreto convencional. (Barracho Jr, Marangón, Rolin, Benigno, & Lazo, 2020)

En un estudio realizado por estudiantes de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, evaluaron el desempeño físico y morfológico de mezclas con cemento con aserrín de *Pinus montezumae* tratado químicamente como sustituto parcial del agregado fino, consistía en una alcalinización con NaOH (hidróxido de sodio) al 5% a 80°C durante 2 horas, con el fin de eliminar lignina y hemicelulosa, mejorando la compatibilidad como agregado fino con el cemento, los resultados demostraron con reemplazos de hasta el 20% de aserrín tratado hubieron resistencias a la compresión superiores a 34 kg/cm², junto con una disminución de la densidad aparente. El análisis morfológico reveló que el tratamiento con NaOH al 5% incrementó significativamente la rugosidad superficial y la adherencia entre las partículas de

aserrín y cemento, confirmando que la modificación alcalina surte efecto. Este estudio evidencia el potencial del tratamiento alcalino con NaOH al 5 % para valorizar el aserrín en mezclas de concreto, sirviendo de base directa para el uso de extractos alcalinos obtenidos del aserrín como aditivos plastificantes sostenibles en concreto convencional. (Garrido, Navarro, Rodriguez, Ceron, & Perez, 2025)

En el artículo “Extracción de lignina a partir de aserrín de *Chlorophora excelsa*”, obtuvieron la lignina a partir de un proceso llamado “organosolv” con una mezcla de agua y ácido sulfúrico como catalizador, evaluando temperaturas entre 100 °C y 200 °C. El rendimiento máximo de lignina obtenido fue del 49,81 % a 160 °C, caracterizándose por un alto contenido de carbono (60 %), grupos hidroxilo y unidades guaiacil y siringil, los autores determinaron que la lignina extraída puede servir como dispersante y modificador de mezclas de cemento, aunque el estudio se centró en la caracterización química de la lignina para otras aplicaciones, la investigación confirma que el aserrín es una fuente abundante y posible en la extracción de la lignina, cuya estructura con carga negativa puede servir como dispersante natural en mezclas de concreto, alineándose con el enfoque de un aditivo plastificante sostenible derivado de residuos orgánicos. (Tomas, Fadimatu, Benjamin, & Yahaya, 2025)

Se registró un estudio en que detallan el efecto de la lignina como aditivos en morteros de cemento, de origen de residuos de arroz, cáscara de piña y aserrín de madera, teniendo como base de referencia la lignina obtenida de manera comercial, los resultados mostraron que las diferencias de resistencia entre las ligninas de los residuos y las comerciales no fueron muy dispares, lo que demuestra el potencial de las ligninas naturales como sustitutos de los aditivos industriales convencionales. Además, se menciona el extracto de la lignina mediante un tratamiento que demora 24 horas y se realiza con una solución de NaOH al 5%, por medio de un proceso químico obtuvieron un polvo fino, lo clasificaron a partir del pH que era diferente. (Ramírez-Coretti, Marlen, María, & Manuel, 2016)

Investigaciones recientes han demostrado el potencial de la lignina y viabilidad para reemplazar recursos convencionales como los fósiles por recursos ambientales residuales, generando asimismo productos sostenibles de bajo impacto ambiental y con un alto valor adquirido en sectores como la construcción, donde ha sido empleada como aditivo para hormigones con resultados prometedores. LIGNOPRIZED ha conseguido con éxito introducir lignina modificada en aplicaciones variadas, como aditivos para mezclas de concreto, textiles o tuberías, lo que mejora sus propiedades tradicionales. También por su parte, REDEFINE ha logrado contener aromas y crear biotensioactivos con cualidades desengrasantes. (Campo, 2022)

4.2. MARCO TEORICO

4.2.1 El concreto como material más relevante en la construcción

El material más relevante del concreto es el cemento, este se remonta en los años 7000 a.C., donde se hallaron losas de hormigón a base de calizas calcinadas, de manera accidental al poner piedras de caliza cerca al fuego, donde se transformó al pasar de los días en cal y al momento de humedecerse tenía una consistencia adhesiva, por lo tanto, se comenzó a usar en labores constructivas. Cerca del año 2500 a.C, mezclando cal y yeso calcinados se usaron para pegar bloques en estructuras como las pirámides de Giza en Egipto. Ya en el año 500 a.C. la civilización gregoriana aprendió a elaborar concreto y más adelante en el año 300 a.C., los romanos se basaron en las técnicas para construir las edificaciones, más adelante en el siglo 11 a.C, la región de Puzzoli, elaboraron el cemento puzolánico, con la mezcla de caliza calcinada y finas arenas volcánicas. (Osorio)

En el año 1885, fue la primera vez que se usó el cemento en Colombia, importado desde Inglaterra, donde se elaboró el muelle Puerto Colombia, construido en 1893 por la gerencia del profesional Francisco Javier Cisneros, ingeniero originario de Cuba. En el año 1905 se presentó la primera planta de cementos, operando desde el año 1909, ubicadas cercanamente a la capital, sin embargo, hasta 1910, se comercializó el primer cemento colombiano. (Posada, s.f.)

4.2.2 Relevancia en obras civiles e infraestructura

El concreto tiene varios usos a lo largo de la construcción, en viviendas y edificios, como en obras de gran magnitud como túneles, puentes, presas, carreteras, etc. El concreto es de los elementos más conocidos y usados a escala internacional ya que su bajo costo y sus buenas características mecánicas, tal como su muy buena resistencia a la compresión, adaptabilidad, durabilidad, fácil trabajabilidad y su bajo, casi nulo mantenimiento después de elaborado, el concreto es un material conformado por la combinación de agregados finos, agregados gruesos, cemento y agua, cada material con el fin de aportar resistencia a la estructura. El concreto es un material muy firme ante las cargas a compresión, sin embargo, es débil ante los esfuerzos a tracción, por ende, existe el acero estructural, que se compone de varillas seleccionadas según parámetros de diseño, con el fin de equilibrar esos esfuerzos en el elemento estructura, siendo una viga o columna.

Existen riesgos inminentes en obras de infraestructura, y eventos o materiales naturales como el fuego o el agua, no son problema para el concreto, este al contener materiales como cemento, agua, arena y grava, siendo ninguno inflamable y el concreto al tener baja conductividad térmica, existe la resistencia a altas temperaturas, siempre y cuando se respete el tiempo de fraguado del concreto. (Jaimes, García, & Rondón, 2020)

4.2.3 Características claves del hormigón o concreto

La mezcla de concreto u hormigón, es un material que genera un proceso exotérmico, donde las partículas de agua se vaporan debido a la liberación de calor realizada por la reacción química que existe denominado hidratación, ocurrida entre el cemento y el agua, donde la temperatura aumenta y se endurece la mezcla; por lo tanto, para el concreto en su estado inicial y curado (endurecido) existen unas propiedades: el asentamiento, la temperatura, la masa unitaria, su resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción indirecta.

En el estado fresco el concreto el asentamiento determina la trabajabilidad que pueda tener la mezcla de concreto, este suele depender de los agregados, en su gradación, forma, distribución, proporción, fluidez de la mezcla y en ciertos casos, la cantidad de aire; la temperatura de la mezcla afecta directamente a las características mecánicas que tendrá el hormigón, debido a que en su etapa de fraguado, al tratarse de una reacción exotérmica, libera calor y al tener una temperatura no controlada, aumentará o disminuirá el tiempo de fraguado, tendrá retrasos en la resistencia a obtener y más riesgo a agrietarse.

Posterior al fraguado del concreto, el concreto endurecido proporciona unas características mecánicas, entre ellas la más relevante es la capacidad para soportar esfuerzos de compresión, los datos obtenidos de los ensayos de compresión determinan el desempeño que se requiere para la edificación o infraestructura; el módulo de elasticidad es la cantidad de soporte que tiene el concreto para deformarse, debido al resultado obtenido en los ensayos del módulo de elasticidad, se determina que tipo de concreto se usará y por ende, está relacionado con la resistencia a la compresión; y para la resistencia a la tracción indirecta, de manera experimental se realiza comprimiendo el cilindro de muestra de forma horizontal según el núcleo del cilindro, a lo largo de dos líneas centrales de acuerdo a la ASTM C496-96, con el fin de simular de generar tensiones de tracción en dirección transversal. (Novoa, 2017) (ASTM INTERNATIONAL, 2003) (ASTM INTERNATIONAL, 2003)

4.2.4 Cemento portland

La NTC 121 establece cuales son los requisitos físicos y mecánicos que debe cumplir el cemento Portland para garantizar un comportamiento adecuado, entre sus parámetros evaluados en la norma se encuentran la resistencia a la compresión, el tiempo de fraguado, su módulo de finura, estabilidad de volumen y la trabajabilidad o consistencia del cemento, esto permitiendo garantizar la calidad y desempeño del material antes de usarlo en mezclas de concretos o morteros. Esta norma es de vital importancia para rectificar que el material cumpla con los requerimientos aceptables de resistencia y durabilidad exigidas en obra. (INCONTEC-NTC 121, 1982)

Por otro lado está la ASTM C-150, la cual establece los requisitos químicos y físicos que deben cumplir varios tipos de cemento portland que serán usados para concretos y morteros, esta norma los clasifica por tipos según su comportamiento y aplicación, tales como algunos que cuentan con una resistencia moderada a sulfatos, un bajo calor de hidratación o una alta resistencia inicial, entre las propiedades reguladas por la ASTM C150 se encuentran la finura, resistencia mecánica, tiempo de fraguado, expansión y composición química del cemento,

aspectos que influyen directamente en la conducta de la mezcla de hormigón en su estado inicial (fresco) como curado. (ASTM INTERNATIONAL, 2007)

4.2.5 Introducción de los aditivos en el sector constructor

Los aditivos son compuestos químicos adicionados a la mezcla de concreto en estado fresco con el fin de alterar o mejorar determinadas propiedades físicas del material, tales como impermeabilidad, resistencia, trabajabilidad, etc. Sin embargo, no son elementos esenciales en el concreto, su uso se ha propagado debido a los beneficios económicos y técnicos que pueden aportar, permitiendo un uso más adecuado de los elementos en concreto.

De acuerdo con la norma ASTM C494, en Colombia la normativa NTC 1299, los aditivos se clasifican en 11 tipos según su efecto principal, entre ellos se destaca el tipo A, denominado reductor de agua o plastificante, el cual se refiere a la presente investigación, este aditivo permite reducir la cantidad de agua en una mezcla para mejorar sus propiedades físico-mecánicas, disminuyendo su relación agua/cemento, por consiguiente aumentando la resistencia, además mejorando la consistencia del concreto, permitiendo una mejor trabajabilidad en su estado fresco. (Ramírez & Tapia, 2021) (INCONTEC-NTC 1299, 2008)

4.2.6 Ensayo de asentamiento

La prueba de asentamiento o ensayo de Slump es uno de los métodos más empleados para evaluar la consistencia y trabajabilidad del concreto fresco, mediante la medición de la pérdida de altura que presenta la mezcla después de retirar el molde normalizado, de acuerdo a la norma colombiana NTC 396, consiste en llenar un cono con tres capas compactadas cada una con 25 golpes de manera punzante, posterior al levantar el cono, se observará el valor que disminuyó desde la punta del cono, siendo ese el valor de asentamiento de la mezcla, indicado en pulgadas o centímetros, siendo un resultado fundamental para conocer qué tan fluido y manejable puede ser el concreto, y asimismo la facilidad en la transporte, colocación y compactación, en el contexto de aditivos plastificantes, este ensayo representa un valor que destaca, debido a que el resultado determinará que tan eficiente es el aditivo plastificante ante la trabajabilidad del concreto. (Cure)

4.2.7 Ensayo de compresión en Colombia según normativa vigente

Para determinar la resistencia a la compresión del concreto, se debe basar en el procedimiento descrito en la NTC 673, donde se realiza el ensayo en probetas cilíndricas de concreto, el cual consiste en que a la muestra de concreto se le aplica una carga central de compresión hasta el momento en que se genere la falla del cilindro de concreto, la resistencia máxima que alcanzara la muestra de concreto se determina dividiendo la carga máxima aplicada entre el área transversal del cilindro. La resistencia a la compresión va ligada a las proporciones usadas y tamaños de agregados usados, la relación agua-cemento y parámetros de ensayo, tales como tiempo de curado, temperatura a la que estuvo la muestra y humedad requerida durante el fraguado.

En su procedimiento, existen parámetros relevantes a tener en cuenta, los especímenes deben estar siempre manteniéndose húmedos posterior a ser retirados del sitio donde se curaban las muestras de concreto, la muestra de concreto se debe ubicar en la máquina de ensayo de compresión ya estando calibrada, en los extremos de la muestra de concreto, se colocan unos bloques de apoyo planos, con el fin de distribuir de manera uniforme la carga axial por medio del concreto, posterior la carga empieza a ser aplicada a una velocidad constante sobre la muestra, entre $0.25\text{Mpa/s} \pm 0.05\text{Mpa/s}$, al inicio del ensayo la carga aplicada debe realizarse a una mayor velocidad, sin embargo sin que esté aplicado con una carga de impacto, en el ensayo la carga deja de aplicarse al momento en que el diagrama suministrado por la máquina, empiece a decrecer la gráfica de carga, para determinar la resistencia a compresión, se divide la carga máxima soportada por la muestra antes de la falla entre el área de la sección transversal del espécimen, si el parámetro de diseño no cumple, se corrige multiplicando por el factor de corrección. (INCONTEC- NTC 673, 2010)

4.2.8 Factores relevantes de la capacidad a la compresión

Las pruebas de compresión se realizan a distintas edades de curado, con el fin de demostrar su aumento a la resistencia en base a tres principales fuentes, la resistencia de los agregados, la resistencia de la adherencia entre los agregados y el cemento, y la resistencia del cemento con agua, siendo la mezcla en su estado endurecido e hidratado, sin embargo, a pesar del tiempo de curado, existen factores que podrían alterar la resistencia a la compresión, entre ellas:

- La cantidad de cemento, en donde la proporción es directamente proporcional a la capacidad de resistencia del concreto, debido a que es el material más influyente dentro de la mezcla, al tener su contacto con el agua y agregados, conforma una mezcla homogénea, y en ciertos casos de aumento del contenido, su resistencia incrementa.
- Al fraguado, el cual se refiere al proceso del concreto en pasar de un estado fresco (plástico) al estado endurecido, en este paso el concreto debe estar en constantes condiciones de humedad, temperatura y encofrado, con el fin de asegurar una transición adecuada del concreto.
- En la relación de cantidad de cemento y agua, debido a que el contenido de agua al ser menor produciría un porcentaje mayor a la resistencia del concreto, sin embargo, disminuyendo la trabajabilidad de la mezcla, lo cual en ciertos casos no sería factible.
- El tipo y calidad del cemento influye, debido a las variaciones en los tipos existentes, siendo algunos usados únicamente en casos específicos, aportando características como permeabilidad, mayor resistencia, menor tiempo de fraguado, etc.
- Las proporciones de la mezcla juegan un papel fundamental en el concreto y sus propiedades mecánicas, al tener un diseño de mezcla con proporciones adecuadas, asegura un porcentaje de resistencia, debido a que los agregados, cemento y agua se comportan de manera uniforme, sin riesgo a posibles fallas por esfuerzos.
- La edad del concreto va directamente proporcional a la resistencia del concreto, posterior al proceso de fraguado, la resistencia del concreto va aumentando progresivamente bajo condiciones óptimas, por esta razón se falla el concreto en ciertas edades, para comprobar la variación de la resistencia en base al tiempo de curado.

El curado es el proceso final del concreto, ya que será el lapso en que el concreto tiende a perder su contenido de agua por la evaporación, por ende, mantener el concreto en condiciones óptimas de contenido de agua, es indispensable para mantener la hidratación del concreto. (SÓLIDOS EL CONCRETO DE MÉXICO, 2024)

4.2.9 Normativa para el concreto estructural

En Colombia, la normativa que rige la forma y proceso constructivo de estructuras en concreto convencional y estructural es la NSR-10, título C, en el cual se establece las especificaciones generales, criterios de diseño y parámetros mínimos de resistencia.

La norma clasifica el concreto en base al uso que tendrá, siendo cuatro: **F** (Concreto exterior, expuesto a humedad y ciclos de congelamiento), **S** (Concreto con contacto a suelos o agua con sulfatos), **P** (Concreto que requiere impermeabilidad por el contacto con agua) y **C** (Concreto reforzado expuesto a condiciones de corrosión), subdivididas por clases en base a la severidad en la que está expuesto el concreto, siendo así, la resistencia mínima especificada a la compresión y la relación agua-cemento, están determinadas por la severidad a la que estará expuesto el concreto, se conoce que para un concreto diseñado en base a los lineamientos planteados en la NSR-10, la resistencia a la compresión no puede ser inferior a 17 MPa, sin embargo, para estructuras que usan sistemas de capacidad de energía disipada (DMO) y especial (DES), la resistencia a compresión no debe ser menor a 21 MPa y una relación agua-cemento no mayor a 0.60. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - NSR-10, 2010)

4.2.10 Aparato de Vicat y tiempo de fraguado inicial

El tiempo de fraguado del cemento hidráulico es la característica que determina el lapso desde que el material cementoso se mezcla con el agua y esta combinación comienza a alcanzar cierto grado de dureza, el tiempo de fraguado es una propiedad del cemento hidráulico que influye directamente en el comportamiento del concreto durante su colocación y curado. La norma INV E-305-07 dicta la forma de realizar el ensayo, para poder obtener el tiempo en que la mezcla inicia el fraguado del material cementoso hidráulico por medio del aparato de Vicat.

El aparato de Vicat fue inventado por el ingeniero francés Louis-Joseph Vicat y se usa para probar el fraguado del cemento y la consistencia normal de los morteros. El aparato está diseñado por una aguja que está cargada con un peso, un soporte para los moldes y una escala graduada, y se usa en ensayos sobre cemento para la determinación de los tiempos de etapas inicial y final del fraguado del cemento, este cuenta con dos formas de usarlo, con un émbolo de 10 mm de diámetro para determinar la consistencia normal de la pasta y con una aguja de 1 mm de diámetro para medir el tiempo de fraguado.

El tiempo de fraguado inicial se mide por medio de penetraciones a la masa de cemento con agua, dejando caer la aguja sobre aquella masa, esto en intervalos de 15 minutos, hasta el punto en que la penetración de la aguja es igual o menor que 25mm, en ese punto se da por comienzo al fraguado inicial y el tiempo de fraguado final se determina dejando bajar la aguja

hasta que ya no deje impresión en la superficie de la masa de cemento y agua. (Instituto Nacional de Vías INV E-305-07, 2007)

4.2.11 Extracción de la lignina

La lignina es encontrada en las paredes celulares de plantas leñosas, este sienta un biopolímero aromático que se puede extraer de desechos como el aserrín para reciclarlo como materia prima sostenible, se ha estudiado la extracción de lignina del aserrín de *Chlorophora excelsa* mediante un proceso llamado organosolv en condiciones ácidas. El método se refiere a tratar el aserrín con una solución de etanol-agua en presencia de ácido sulfúrico al 20% con una relación sólido a líquido de 1:10, durante 1 hora y 30 minutos, variando la temperatura de 100 °C a 200 °C. Se conoce que el rendimiento máximo de lignina se obtuvo a 160 °C, alcanzando un 49,81 %, superior a rendimientos determinados en otros estudios con aserrín. La lignina extraída resultó con un alto contenido de carbono, bajos contenidos de azufre (0,88 %) y nitrógeno (0,40 %), y grupos funcionales hidroxilo (alifáticos y fenólicos aromáticos), guaiacil y siringil, lo que le confiere potencial como materia prima para síntesis de polímeros, aromatización y producción de químicos de alto valor.

Aunque el estudio empleó extracción organosolv ácida, sus resultados confirman que el aserrín es una fuente abundante y posiblemente viable de lignina con estructura química adecuada para que actúe como dispersante de partículas gracias a su carga negativa en solución, permitiendo la posibilidad de emplear extractos alcalinos más sencillos y económicos como alternativa sostenible en la formulación de aditivos para concreto. (Tomas, Fadimatu, Benjamin, & Yahaya, 2025).

En esta investigación se determina usar el NaOH diluido al 5%, debido a un equilibrio entre eficiencia en la extracción y control en el proceso, el hidróxido de sodio tiene como función romper los enlaces de la estructura lignocelulósica, solubilizar la lignina y asimismo liberar las sustancias que contengan el efecto plastificante, en un estudio de la extracción de lignina de paja de arroz, este se diluyó el NaOH al 5% a 121°C durante 20 minutos, el cual arrojó el resultado de que el tratamiento con esa concentración logró remover hasta 73.6% de la lignina en biomasa vegetal. Por lo tanto, según investigaciones, la concentración de NaOH normalmente está en un rango entre 2%-10%, considerando el 5% un valor intermedio que logra un balance y extracción segura de lignina. (Shah, Khalid, Nafidi, Salamatullah, & Bourhia, 2023)

4.2.12 Lignina y lignosulfonatos como precursores de aditivos plastificantes

La lignina es un polímero orgánico natural presente en la estructura celular de materiales lignocelulósicos, como la madera y el aserrín, estos tienen un rol natural que consiste en dar rigidez estructural y resistencia a ataques biológicos dentro de la biomasa vegetal. Debido a su compleja estructura química, la lignina posee propiedades surfactantes y dispersantes que permiten el aprovechamiento en diferentes aplicaciones de la construcción o de manera industrial. (Magina, Barros, & V.Evtuguin, 2021)

El uso de aditivos enfocados para generar cambios en las propiedades físicas de las mezclas de concreto yace desde principios de la década de 1930, de los residuos industriales de producciones de pulpa de celulosa, denominados lignosulfonatos, fueron inicialmente empleados como los aditivos que podían reducir el contenido de agua, con efecto plastificante, que fueron comercializados de manera destacada a principios de la década de 1960.

El lignosulfonato de sodio, conocido como aditivo químico polimérico, que al separar la lignina de la pulpa de madera se genera como consecuencia natural, en presentación de polvo o solución líquida, soluble en agua, no tóxico y con una gran capacidad de dispersión, siendo así, aditivos plastificantes usados en la industria de la construcción, con el objetivo de mejorar la trabajabilidad de la mezcla de concreto. (Pochteca materias primas)

El principio que sirve como base de que los lignosulfonatos pueden servir como plastificante, es porque tiene carga negativa y neutraliza la presencia de cargas positivas en el cemento, de este modo, toda la partícula queda con carga negativa, lo que produce un impedimento estérico y evita que las partículas de cemento se aglomeren. El extracto alcalino de lignina proveniente del aserrín, cuya estructura química es parecida a la de los lignosulfonatos comerciales, se espera que produzca este efecto plastificante. (Putzmeister)

4.2.13 Agregados del concreto y su influencia

Los agregados representan aproximadamente entre el 60% y el 75% del volumen total de la mezcla de concreto, afectan considerablemente sus propiedades en estado fresco y endurecido. La NTC 174, la Norma Técnica Colombiana, es la encargada de regular en Colombia los estándares de calidad de los agregados que se usan para fabricar concreto, para mantener seguridad en que las mezclas de concreto cumplan con las propiedades mecánicas necesarias, esta norma determina los criterios del peso unitario, la absorción y la granulometría que deben respetar tanto el agregado grueso como el fino. (INCONTEC- NTC 174, 2000)

Estos se clasifican por su lugar de recolección y el lugar proveniente de sus procesos fisicoquímicos, entre ellos están las siguientes clases: Agregados ígneos, agregados sedimentarios y agregados metamórficos. De igual manera se pueden clasificar por su color, siendo una de las maneras menos complejas para identificarlos, también por su tamaño de partícula y su fragmentación.

Normalmente se tiene que distribuir de manera eficiente cada material, de tal forma que se efectúen los requerimientos necesarios según el diseño de mezcla, asimismo estos agregados deben estar regidos por ensayos de laboratorio y deben estar compuestos por partículas limpias, resistentes y libres de impurezas, tales como esas arcillas y materiales finos adheridos, que puedan alterar el comportamiento del concreto. (Silva)

4.2.14 Concretos en climas cálidos

En climas cálidos, al mezclar concreto se presentan diversas dificultades debido a que la temperatura del concreto es elevada y hay un aumento en la evaporación del agua de mezclado. Una temperatura ambiente alta provoca que la temperatura del concreto fresco suba, lo que conlleva una mayor necesidad de agua, pérdida de consistencia y aceleración del proceso de hidratación. Esto reduce los tiempos de fraguado y, si se añade agua para mejorar la trabajabilidad, disminuye la resistencia. (Ortiza, Aguadob, Ronceroc, & Zermeñoa, 2009)

Por lo tanto, teniendo como base el hecho de que no es posible incrementar la cantidad de agua en la mezcla sin afectar la resistencia del concreto, nace la necesidad el uso de aditivos plastificantes o superplastificantes para sostener los requerimientos de trabajabilidad o reducir las consecuencias de las altas temperaturas sobre el fraguado.

El clima cálido se refiere a las zonas que cuentan con una alta temperatura en la que se requiere tomar decisiones diferentes para garantizar un correcto vaciado, terminado y curado del concreto, las altas temperaturas tienden a que el asentamiento pierda efectividad y pueden variar el tiempo de manejabilidad del concreto, que fraguará más rápido y se requerirá un acabado más pronto. El concreto que se cura en altas temperaturas en edades tempranas no tendrá la misma resistencia que un concreto en condiciones óptimas (20°C) a los 28 días. (NRMCA) (Piqueras, 2024)

4.2.15 Retracción plástica del concreto

El concreto es un elemento que funciona muy bien a esfuerzos de compresión, pero al ser sometido a esfuerzos de tensión no es muy bueno, al tener esfuerzos de tensión y no reforzar en la posición correcta, pueden aparecer fisuras por retracción plástica, este fenómeno en el concreto sucede por la combinación de una evaporación rápida en la superficie del concreto junto con una baja velocidad de exudación del concreto. (Henaó)

Las fisuras de retracción plástica son características de climas cálidos, ya que su causa principal es la disipación rápida del agua en la lamina del hormigón. Esto sucede cuando el ritmo de evaporación superficial supera al ritmo de exudación o sangrado del agua desde el centro hacia la lamina. Este fenómeno provoca que la superficie se contraiga y surjan las grietas. (Toirac, 2004)

No han resultado muy eficaces los intentos de eliminar las grietas por retracción plástica mediante la modificación de la composición con el objetivo de modificar las propiedades de exudación del concreto mezclado, sin embargo para reducir el potencial de agrietamiento se requiere tener presente a tiempo antes del vaciado las condiciones climáticas, que con el tiempo y un manejo inadecuado conducirán a la aparición de grietas por contracción plástica, es importante mantener humedecido el concreto a partir de acciones adicionales como humedecer el encofrado, cubrir el concreto con mantas húmedas, considerar el uso de fibras sintéticas, entre otros. (NRMCA)

4.2.16 Superplastificantes o aditivos reductores de agua

Los superplastificantes, también denominados reductores de agua de alto rango, disminuyen la cantidad de agua de un concreto dado entre el 12-25%, por eso mismo se utilizan para aumentar la resistencia y disminuir la permeabilidad del concreto reduciendo la cantidad de agua en la mezcla, o para aumentar en gran medida el asentamiento y asimismo tener una óptima trabajabilidad de la mezcla.

Los primeros aditivos de tipo superplastificantes actuaban por su acción mediante mecanismos electrostáticos asociados a su carácter aniónico, provocando la dispersión de las partículas de cemento por repulsión eléctrica y disminuyendo la fricción entre ellas. La segunda generación se efectúan recubriendo la capa superior de las partículas de cemento y repercute sobre el desarrollo de hidratación, dejando tener a disposición su trabajo en altas temperaturas del concreto. (NRMCA) (Civilgeek, 2011)

4.2.17 Impacto ambiental del aserrín como residuo industrial

La explotación de la madera se relaciona en muchos sectores de la industria de la madera, en la que sus residuos son generados en campos como la producción, en el procesamiento mecánico de la madera, fabricación de materiales, combustión y entre otros.

Esto genera gran cantidad de impactos sociales y ambientales, originados en el procesamiento y transformación del uso de la madera, tales como emisiones de polvo, gaseosas y residuos sólidos, generalmente estos residuos sólidos los emplean como materia prima para materiales aglomerados, aprovechando y generando sostenibilidad, sin embargo esta práctica no es obligatoria, así que existen muchos residuos sin una correcta evacuación, el aserrín en general se generan muchas partículas finas, estas siendo no teniendo una frecuente utilidad. (Cornejo, s.f.)

De igual manera los residuos como aserrín, viruta, despuntes, entre otros, no son usados como materia prima, ni como residuo en un vertedero, sino que la industria de la madera los usa como combustible en las calderas de las plantas, esto generando un fuerte impacto ambiental, al ser quemado genera emisiones gaseosas liberando dióxido de carbono, monóxido de carbono y óxidos de azufre.

El impacto ambiental en la naturaleza se le denomina como perjudicial, con un tipo de efecto directo, y de los puntos más inconvenientes es que es de manera acumulativa a corto plazo, con una persistencia permanente y con posible recuperación, existen diferentes formas de mitigación, como el uso eficiente de aquellos recursos naturales, en la reutilización de estos residuos como materia prima en diferentes proyectos. (Martínez, García, & Martínez, 2014)

4.2.18 Optimización de residuos orgánicos de la madera

El sector agroforestal produce subproductos como el aserrín y la cascarilla de arroz que no tienen un valor comercial y no se disponen adecuadamente, las fábricas que producen normalmente eligen incinerar los desechos o tirarlos a ríos, quebradas y basureros, sin tomar en cuenta que estos materiales se degradan lentamente, lo cual contribuye a la polución de su

alrededor. El desarrollo de nuevas tecnologías para hacer uso de estos recursos en la producción de biocombustibles, gas, compostaje, humus y otros elementos fomenta el empleo racional de estos recursos y disminuye su efecto negativo en el medio ambiente.

La mayoría de las virutas y el aserrín generados en la industria de la madera tienen el potencial de ser utilizados en otros productos, lo que representa una oportunidad para minimizar el impacto ambiental producido por su mal manejo. (Sarmiento, 2011)

4.3 MARCO CONCEPTUAL

4.3.1 Relación agua cemento

En 1918 Duff Abrams, formuló la Ley de Abrams, también conocida como la ley de relación agua-cemento, la cual indica que la resistencia que tenga un concreto elaborado con iguales insumos y mismas condiciones de proceso, son inversamente proporcional con la relación agua-cemento, por lo tanto, se define que al paso en que aumente la cantidad de agua en una mezcla de concreto, la resistencia del concreto cambia de forma negativa, sin embargo esto no quiere decir que al disminuir la cantidad de agua en la mezcla, su resistencia incrementa, debido a que entre más contenido de agua, las partículas que no reaccionaran con el concreto, se evaporará, creando poros en el concreto.

Para mejorar la resistencia pueden existir dos formas, disminuir la cantidad de agua (teniendo en cuenta la trabajabilidad constante) o incrementar la cantidad de cemento, este principio es relevante para determinar el control en los requisitos estructurales específicos y las condiciones ambientales del entorno. (Luz, 2022)

4.3.2 Trabajabilidad del concreto

Según la NSR-10 (Título C, Capítulo 5, apartado C.5.2), la trabajabilidad (o consistencia) del concreto se define como la capacidad del material fresco para ser mezclado, transportado, colocado y compactado adecuadamente. Una buena trabajabilidad permite el transporte, colocación, compactación y acabado del concreto sin pérdida de homogeneidad ni segregación de sus componentes. La trabajabilidad se evalúa principalmente mediante el ensayo de asentamiento (Slump test) conforme a la norma NTC 396. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - NSR-10, 2010) (INCONTEC-NTC 396, 2021)

4.3.2 Capacidad a compresión del hormigón:

El hormigón o mezcla de concreto, se elaboran con el fin de que ofrezca una serie de propiedades mecánicas y de durabilidad requeridos según especificaciones, la resistencia a la compresión del concreto es la medida más característica al diseñar edificaciones capaces de soportar cargas significativas. Para determinar la resistencia máxima que pueda tener la mezcla de concreto, se fractura la muestra en una máquina de ensayos de compresión, aplicando una carga uniaxial al cilindro de muestra de concreto. Su cálculo se realiza a partir de la carga máxima a la que falla el concreto por el área de la cara del cilindro que resiste la

carga y se representa en unidades como PSI (libra-fuerza por pulgada cuadrada) o en MPa (megapascuales), la resistencia a la compresión tiene un rango de valores, iniciando con 17 MPa (2500 psi), hasta los 28 MPa (4000 psi), debido a que varía según el uso que tenga la mezcla, desde concreto de uso residencial o concreto para estructuras comerciales. (NRMCA, 2003)

En el mayor de los casos, la resistencia a compresión se mide una vez el concreto haya durado 28 días de curado, para obtener su máxima resistencia, aunque, de igual forma es común determinar la resistencia en periodos distintos a 28 días, con el fin de ser informativos, las edades más comunes en tales casos son: 1, 3, 7, 14, 90 y 360 días, se consideran estas edades en proyectos específicos donde se requiere una alta durabilidad o en los que se evalúa el proceso de la capacidad a resistir en un extenso plazo. (CEMEX, 2019)

4.3.4 Aditivos plastificantes (tipo a):

Los aditivos según el ingeniero (Omar Javier) se pueden referir como ingredientes adicionales a los componentes del concreto, o mortero, siendo adicionados a la preparación antes o durante el colado, con el fin de alterar las características del concreto, ya sea en su estado recién mezclado, fraguando o en su estado endurecido, con la finalidad de cumplir con requerimientos específicos, según la NTC 1299 los aditivos se clasifican según el efecto que surta en la mezcla, el tipo A, está dentro de los aditivos plastificantes, el cual da posibilidad de disminuir el contenido de agua en la mezcla, para lograr determinada consistencia sin afectar sus características mecánicas, facilitando la colocación del producto (hormigón), normalmente su uso radica en espacios muy delgados o en áreas con poca libertad debido al acero del elemento. (INCONTEC-NTC 1299, 2008)

4.3.5 Extracto alcalino de lignina:

La lignina es un tipo de polímero de origen orgánico, formado en la estructura de los tejidos relevantes de soporte en las plantas vasculares, se constituyen entre el 20% y el 35% de la masa seca de la madera, además siendo uno de los biopolímeros con más existencia en el medio ambiente, después de la celulosa. (Chávez & Domine, 2013).

El aserrín como residuo del uso procesado de madera, contiene una proporción significativa de lignina en su composición. La extracción alcalina consiste en la aplicación de NaOH para la remoción de la lignina contenida en la biomasa lignocelulósica, generalmente usando concentraciones entre 2% y 15% de NaOH a temperaturas entre 70 °C y 121 °C. Este proceso fractura las uniones entre la lignina y la celulosa, solubilizando la lignina en el medio alcalino. (Torres, Morales, & Quintero, 2017)

4.3.6 Curado del concreto

Al curado del concreto se le refiere al proceso que se debe realizar posterior a ser elaborado, teniendo los parámetros de saturación y temperatura controladas, hasta que el material logre el mayor desempeño requerido, dentro de las recomendaciones de la NSR-10, se tienen dos métodos para el curado del concreto, el curado del concreto a partir de aplicación constante

de agua y el curado a través de materiales selladores sobre la superficie del concreto elaborado. En casos para la aplicación constante de agua, se tiene diferentes formas como la inmersión completa del concreto al agua, rociado diario de agua, costales, mantas de algodón y alfombra, para el curado a través de selladores en la capa superior del concreto se tiene por medio de películas plásticas y compuestos líquidos para recrear membranas de curado. (Wilson, 2016)

Por otro lado, en la NTC 1377 se establece el paso a paso para la elaboración, manejo y curado de materiales de concreto utilizados en ensayos de laboratorio, con el fin de garantizar parámetros uniformes durante la preparación de las muestras y cerciorarse la confiabilidad de los resultados hallados. Esta norma tiene en cuenta aspectos relacionados con el moldeo de especímenes cilíndricos, métodos de compactación, almacenamiento y condiciones de curado, factores que influyen directamente sobre el comportamiento mecánico del concreto endurecido. (INCONTEC-NTC 1377, 2010)

4.3.7 Consistencia normal del cemento hidráulico

Se le denomina consistencia normal al contenido de agua requerido para que la pasta de cemento obtenga una trabajabilidad y plasticidad requerida, que permita ser moldeable, según la NTC 110, una pasta normal tiene valores de humedad entre el 22% y el 33% dependiendo del tipo de cemento a usar.

Esta propiedad se determina por medio del aparato de Vicat, donde no menciona directamente la cantidad de agua, sino el procedimiento correcto para llegar a una consistencia optima para cementos hidráulicos. (INCONTEC-NTC 110, 2008)

4.3.8 Biomasa lignocelulósica

Se refiere a la biomasa como una materia orgánica de origen vegetal o animal, siendo la lignocelulósica con más abundancia en el medio ambiente, teniendo potencial para la generación de combustibles y creación de energía, después de las formas de energía a través de los combustibles fósiles, investigada bajo métodos como la gasificación, métodos biológicos y la catálisis, principalmente producida o encontrada en residuos agrícolas, tales como tallos, virutas, pajas, aserrín, fibras de madera y entre otras biomásas agrícolas, también como residuo de la industria de alimentos como el bagazo o el compost de hongos. (Wang & Yanan, 2021)

El aserrín, como residuo de la industria de la madera, es un ejemplo de biomasa lignocelulósica desechada, que contiene un superior contenido de lignina, siendo una fuerte materia prima con potencial plastificante como bio-aditivo para la industria de la construcción. (Casillas, 2010)

4.3.9 Fraguado del concreto

Se le denomina al proceso por el cual la mezcla pasa de su etapa fresca y plástico a un estado con dureza y rigidez, al momento de colocar el concreto inicia su tiempo de fraguado, posterior al periodo hasta que endurece, las primeras 24 a 72 horas son de vital importancia para el desarrollo adecuado de sus propiedades mecánicas.

En la NTC 890 establece el procedimiento para obtener el tiempo de fraguado inicial y final de preparaciones de concreto y mortero mediante la medición de la resistencia a la penetración, este método permite evaluar el proceso de endurecimiento del material en estado fresco a partir de la resistencia que ofrece la mezcla al ingreso de una aguja o elementos de penetración bajo cargas determinadas de los aparatos.

La norma incluye la extracción del mortero de la preparación de concreto y la ejecución de mediciones constantes de resistencia a la penetración, lo cual permite determinar cómo va cambiando el fraguado en relación con el tiempo, asimismo, establece parámetros concretos para calcular el fraguado inicial y final basándose en valores de resistencia previamente fijados, siendo así, ofrece un método útil para examinar cómo se comporta el concreto ante cambios en la temperatura, el contenido de agua, la clase de cemento o la adición de aditivos químicos. (INCONTEC, 1995)

Según la NSR-10 establece que no debe añadir agua al concreto después de su mezclado, ni que se intente de mezclar luego de su fraguado inicial. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - NSR-10, 2010)

4.3.10 Hidratación del cemento

La hidratación es el desarrollo por medio en que el cemento al tener contacto con el agua estos reaccionan químicamente, formando las características aglutinantes y se transforma en un agente de enlace, generando propiedades útiles en aplicaciones de estructuras, una vez los compuestos del cemento forman la pasta, esta puede ser amasada, colocada y vibrada, luego del fraguado, toma una rigidez inicial y finalmente endurece obteniendo las propiedades al concreto endurecido como material estructural.

Tanto el acabado final como el fraguado del concreto son las pruebas de los procesos químicos y físicos que suceden en unión de cemento y agua, por lo que el desarrollo de hidratación es de suma relevancia para entender el proceso que tiene el concreto. (Facultad de estudios a distancia)

Según la NTC 117 el procedimiento para el ensayo de determinar el calor puede depender de factores como el conjunto químico del cemento, la finura de las partículas, la relación agua/cemento y las condiciones de curado, así que durante las primeras horas de hidratación se presentan las reacciones exotérmicas iniciales más rápidas, asociadas principalmente a los silicatos y aluminatos del cemento, esto generando un aumento de temperatura dentro de la mezcla. Pasado el tiempo, las reacciones continúan, pero de manera más lenta, dando inicio al desarrollo de la resistencia mecánica del concreto. (INCONTEC- NTC 117, 1999)

4.3.11 Especie Otobo

El Otobo, que se llama científicamente *Otoba gracilipes*, forma parte de la familia Myristicaceae. Es una especie predominante en los bosques húmedos de agua dulce del Pacífico colombiano, en los que establece rodales puros llamados guandales. Está presente en Perú, Venezuela, Colombia, Ecuador, Panamá y Costa Rica. Es un árbol de gran altura, que llega a medir entre 30 y 35 metros, con un tronco cilíndrico y recto de 60 centímetros de diámetro. (DFM Directorio Forestal Maderero, 2021)

El árbol *Otoba gracilipes* pertenece a la familia Myristicaceae y es originario de los Andes del Pacífico colombiano. Se desarrolla en elevaciones entre 0 y 540 metros sobre el nivel del mar, con alturas de 30 a 35 metros y un diámetro de 60 centímetros en sus contrafuertes. (NATURALISTA CO)

4.3.12 Exudación del concreto

La Exudación del concreto se refiere a la acumulación gradual del agua en la superficie de la mezcla, siendo denominado un tipo de segregación de la mezcla, siendo posible verse en la etapa de fraguado, es normal visualizar un poco de esta agua en la superficie y ayuda al concreto en el control de fisuración por contracción, pero en caso dado de ser muy alta la cantidad de agua en la superficie, ya puede generar un concreto débil y además, incrementando la relación agua/cemento. (Universidad Distrital FRANCISCO JOSE DE CLADAS, 2017)

El concreto presenta una reacción exotérmica dentro de la mezcla, liberando calor y asimismo evaporando las partículas de agua, esta misma empieza a resaltar por la superficie de la mezcla, el problema radica en el momento en que el contenido de agua es elevado y en su interior la preparación comienza a demandar más agua, esto afectando su resistencia directamente, en la INV-407 el ensayo proporciona procedimientos para determinar la cantidad de agua exudada mediante mediciones periódicas sobre la superficie, para poder relacionar el comportamiento con factores como la relación agua/cemento, granulometría de los agregados, contenido de finos y uso de aditivos químicos. (Instituto Nacional de Vías INV- 407, 2013)

4.3.13 Segregación del concreto

Se le refiere segregación a la acción en que los materiales que componen la mezcla de concreto en su estado fresco se separan, siendo que los agregados más pesados como es la grava se asientan en el fondo de la mezcla, mientras que materiales ligeros como el cemento, arena y agua se asomen en la superficie, esta separación afecta la homogeneidad, resistencia y durabilidad del concreto en cantidades críticas en su estado endurecido.

Esto sucede a múltiples factores tales como una mezcla inadecuada, no usar las dosificaciones exactas, insuficiencia de agua o mala adición de agregados, el transporte incorrecto, un vaciado incorrecto y en su mayoría de casos, el vibrado excesivo o poco del concreto, la mezcla necesita vibración para tener homogeneidad en la mezcla, pero en caso dado de excederse,

causa que los agregados finos y gruesos se separen, generando espacios de aire. (PADUA MATERIALES, 2024)

Según la normativa ACI 304R-00, que menciona la guía para medir, mezclar, transportar y colocar el concreto de manera correcta para evitar errores como la segregación del concreto. Recomienda controlar la consistencia del concreto mediante una adecuada relación agua/cemento, mejorar o usar la cantidad adecuada de agregados, según la granulometría de los agregados, no vaciar el concreto desde una gran altura, el vibrado que sea uniforme y no excesivo, usar aditivos que mejoren la cohesión del elemento, como el humo de sílice o agentes modificadores de viscosidad. (ACI Instituto americano del concreto, 2000)

4.3.15 Economía circular

La economía circular se define como la alternativa al modelo de economía lineal que se basa en extraer, fabricar, distribuir, usar y desechar, ayudando a lograr las metas de la Unión Europea de tener una economía sostenible, competitiva, que utilice los recursos de manera eficaz y esté libre de carbono. El sector de la construcción genera un flujo de residuos RCD que representa aproximadamente un tercio del total de desechos producidos en la UE, y tiene un gran potencial para mejorar.

La economía circular apuesta por mantener el precio de los insumos, los materiales y los recursos en un círculo productivo en gran cantidad de tiempo, reduciendo el uso de materias primas y la generación de residuos, y aprovechando al máximo aquellos residuos cuya generación no se puede evitar. (Serrano, 2024)

4.3.16 Polución

El termino de polución se refiere a la contaminación del medio ambiente, siendo específicamente al aire o agua, generada de manera antropogénica, el problema de este tipo de contaminación aparte de ser intensa y dañina, es su forma de generarse en grandes cantidades y son difícil de biodegradación, tanto así que es posible que se biodegrade en décadas, comparando la velocidad en que se produce, es alarmante y preocupante. Esta es causada por procesos industriales en los que generan emisiones de gases, residuos solidos y químicos, siendo que la polución es un problema complejo que exige la colaboración de empresas, ciudadanos y gobiernos, para proteger nuestra salud y la del planeta, es fundamental tomar acciones que busquen la sostenibilidad, reducir las emisiones contaminantes y aumentar la conciencia sobre sus efectos, es importante aclarar que la contaminación es cualquier forma de polución, pero no siempre se puede considerar a la contaminación ambiental como polución. (LUZYGAS, 2025)

4.3.17 Dispersión electrostática de partículas cementantes

Este fenómeno en mezclas cementantes es el proceso mediante el cual las partículas de cemento adquieren cargas eléctricas de manera superficial, haciendo que se genere repulsión entre ellas, evitando que se aglomeren o se formen flóculos dentro de la mezcla, este fenómeno es fundamental en el funcionamiento de aditivos plastificantes y superplastificantes, puesto que permite mejorar la distribución de las partículas de cemento, liberando el agua atrapada entre los conglomerados y por lo tanto aumentando la trabajabilidad sin necesidad de incrementar la cantidad de agua.

Los derivados de la lignina, como los lignosulfonatos, contienen grupos funcionales con carga negativa, pudiendo favorecer el efecto de dispersante sobre las partículas de cemento en la mezcla. (Espinosa, 2015)

4.4 MARCO LEGAL

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN	ARTÍCULO/TÍTULO
Constitución Política de Colombia	Item 8. Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano	Artículo 95
NSR-10	Reglamento colombiano de construcción sismoresistente	Título C
ASTM C-496-96	Método de ensayo estándar para esfuerzo de tensión por partidura en especímenes cilíndricos de concreto	
ACI 304R-00	Guía para medir, mezclar, transportar y colocar concreto	
ASTM C-150-07	Especificación normalizada para cemento Portland	
INV E-305-07	Tiempo del fraguado del cemento hidráulico método del aparato de Vicat	
INV E-321-07	Mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica	
INV E-407-13	Exudación del concreto	
ASTM C39/C39M-15	Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto	
ASTM C470/C470M-15	Especificación estándar para moldes para la formación de cilindros de prueba de hormigón verticalmente	
ASTM C494/C494-17	Especificación estándar para aditivos químicos para hormigón	
ASTM C494/C494M-24	Especificación estándar para aditivos químicos para hormigón	
NTC 110	Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico	
NTC 117	Método de ensayo para determinar el calor de hidratación	
NTC 121	Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Portland y especificaciones físicas y mecánicas	
NTC 174	Concretos. Especificaciones de los agregados para el concreto	
NTC 396	Concretos. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto	
NTC 550	Concretos. Elaboración y curado de especímenes en el sitio de trabajo	
NTC 673	Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto	
NTC 890	Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por medio de su resistencia a la penetración	
NTC 1299	Concretos. Aditivos químicos para concreto	
NTC 1377	Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio	

*Tabla 1: Normativa vigente en Colombia para la realización del proyecto.
Fuente: Elaboración propia*

La investigación se realiza con base diferentes entes normativos, nacionales e internacionales, con el fin de cumplir normativamente cualquier procedimiento y por consiguiente demostrar los resultados con base a desarrollos adecuados de cada ensayo y cálculo.

4.5 MARCO GEOGRAFICO

4.5.1 Ubicación geográfica

La ciudad de Girardot se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca, a una altura de aproximadamente 290 metros sobre el nivel del mar, con una extensión de 129 km², se encuentra localizado al suroccidente de Cundinamarca en la región del Alto Magdalena, delimitado al sur por el departamento del Tolima y el resto por distintos municipios aledaños como al oeste Nariño, al norte Tocaima, al este Ricaurte y al sur Flandes.

Girardot es una ciudad de clima cálido, con temperaturas que en las horas de la mañana está entre los 20 y 28°C, en la tarde entre 30 y 34°C, y en las noches alrededor de 27°C, con una temperatura promedio anual de 33.3°C y la temperatura máxima 38.3°C.

Estas condiciones climáticas extremas clasifican a Girardot como una zona cálida representativa del territorio colombiano, constituyendo el contexto físico principal de la presente investigación, dado que sus altas temperaturas aceleran el proceso de fraguado del concreto y dificultan su trabajabilidad en estado fresco. (Alcaldía de Girardot, 2026)

Ubicación astronómica	4.18.18 Latitud Norte y 74.48.06 Longitud Oeste
Altitud	290 metros sobre el nivel del mar
Temperatura promedio anual	33.3° C
Temperatura máxima	38.3° C
Temperatura mínima	29.3° C
Humedad relativa	66.38%
Distancia a Bogotá	124 km
Extensión municipio	129 km ²
Población del municipio	150.178 habitantes (según estadísticas del DANE para el año 2005)
Extensión conurbación	354 km ²
Población de la conurbación Girardot, Flandes y Ricaurte	184.075 habitantes.

Tabla 2 : Datos geográficos de Girardot

Fuente: <https://www.girardot-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

4.6 MARCO DEMOGRAFICO

Girardot es una de las ciudades más influyentes del departamento de Cundinamarca por su número de gente, espacios de educación superior y dinámica económica. Según las proyecciones del DANE con base en el censo de 2018, para el año 2024 el municipio contaba con una población de 103.831 habitantes, distribuidos en 53.830 mujeres, un 51.8% y 50.001 hombres, un 48.2%, siendo el 3% de la población total de Cundinamarca.

En cuanto a cómo se distribuye la población por edades, se tiene que los mayores de 18 años representan el 76.5% de la población total, con 79.394 personas, mientras que los adultos mayores de 60 años o más corresponden al 19.3% de la población, con 20.083 personas. (telencuestas, 2024)

El municipio de Girardot se destaca por ser un importante centro académico, comercial y turístico de la región, siendo uno de los lugares con mayor recibida de visitantes, lo que genera una demanda de infraestructura y proyectos de construcción en la zona. Este contexto demográfico y de desarrollo urbano aviva la apertura para investigar alternativas sostenibles para los materiales de construcción utilizados en el municipio y en regiones con características climáticas similares.

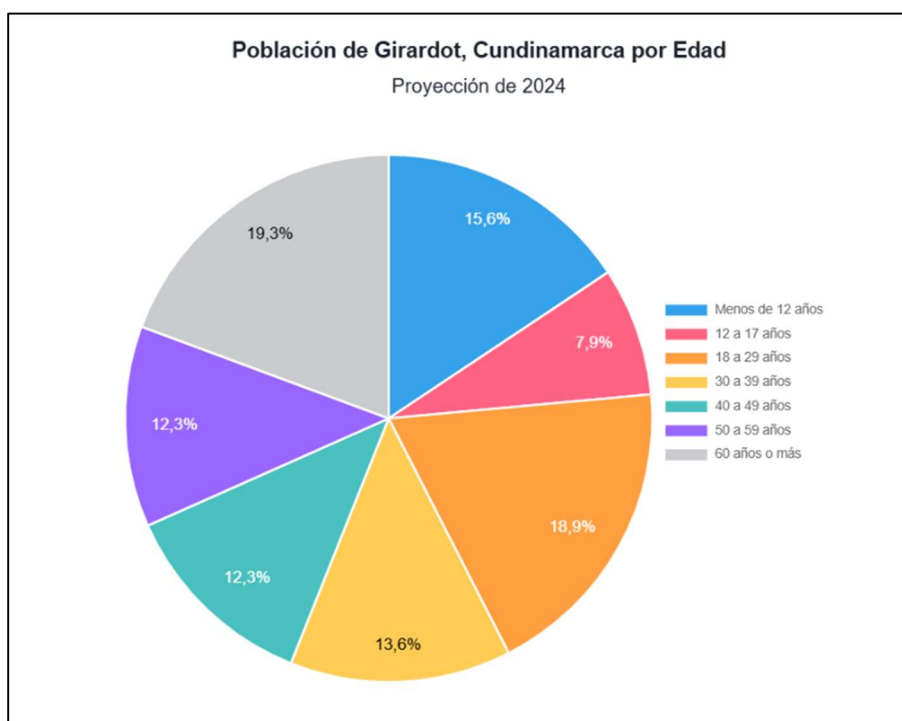


Ilustración 1: Proyección del DANE de la población en 2024
Fuente: (telencuestas, 2024)

Según el DANE, en el censo del 2018 para el departamento de Cundinamarca, la población total censada fueron 2.792.877 personas, de las cuales son 1.413.019 mujeres (50.6%) y 1.379.858 hombres (49.4%), donde por cada 100 habitantes hay 52 mujeres y 48 hombres, de igual forma por cada 100 mujeres hay 93 hombres. (telencuestas, 2024)

Las viviendas con acceso a servicios públicos se distribuyen de la siguiente manera: 98.4% cuentan con energía eléctrica, 89.7% con acueducto, 76.8% con alcantarillado, 69.9% con gas natural y el 42.3% con internet. En asistencia escolar las cifras entre niñas y niños son muy similares, siendo niños de 7 a 11 años con el mayor porcentaje de asistencia del 95%, y en su etapa de adolescencia entre los 12 a 17 años, se tiene un porcentaje de 88%, ya para jóvenes universitarios o pre-adultos hay un mayor porcentaje de mujeres, siendo de 36.9%, mientras que en los hombres es un 31.6%.

Por número de personas en cada hogar de la población, se clasifica de la siguiente manera: una persona el 20.2%, dos personas el 22.6%, tres personas el 23.3%, cuatro personas el 20%, cinco personas el 8.9% y seis personas o más el 5%. El tipo de vivienda más común es tipo casa, con un total de 710.791 y el menos común es la vivienda tipo étnica, con un total de 286 hogares, la forma en que vive el departamento de Cundinamarca se puede resumir en 1.124.017 total unidades de vivienda y 899.740 total de viviendas ocupadas con personal presente, donde el uso residencia es el 70%, no residencial el 27.5% y mixto 2.5%. (DANE, 2019)



Ilustración 2: Distribución de la población por sexo y grupos de edad
Fuente: (DANE, 2019)

5. DELIMITACIÓN

La investigación se enfoca exclusivamente en evaluar el efecto del extracto alcalino de lignina obtenido a partir de aserrín como bio-aditivo en mezclas de concreto. Los datos para presentar se limitan en 3 variables: la trabajabilidad del concreto en estado fresco, medida evaluada por medio el ensayo de asentamiento, la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado, y el tiempo de fraguado inicial. No se contempla el análisis de otras propiedades del concreto como durabilidad, permeabilidad, módulo de elasticidad o resistencia a la flexión.

Además, se usará solo una dosificación del extracto alcalino de lignina para la mezcla de concreto, al igual que se limita al uso del NaOH al 5% en el proceso de extracción.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 ENFOQUE Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se cuenta con un enfoque mixto, debido a que combina datos cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo se desarrolla a través de la medición de tres variables principales:

- El asentamiento de la mezcla en estado fresco expresado en centímetros mediante el ensayo Slump test
- La resistencia a la compresión de los especímenes endurecidos expresada en MPa o kg/cm², evaluada a diferentes edades de curado.
- El tiempo de fraguado inicial comparado entre la muestra con adición del extracto y una muestra sin aditivo.

El enfoque cualitativo complementa estos resultados mediante la observación directa de características como la cohesión, la consistencia y la apariencia visual de la mezcla en estado fresco.

El diseño de la investigación es experimental de tipo comparativo, realizado a partir de dos análisis: una mezcla de concreto de referencia (mezcla control), elaborado bajo parámetros normales sin ningún tipo de aditivo, y una mezcla experimental a la cual se le incorpora una dosificación del extracto alcalino de lignina obtenido a partir de aserrín mediante un proceso de calentamiento con hidróxido de sodio al 5%. La comparación entre ambas mezclas permite determinar el efecto del bio-aditivo sobre la trabajabilidad, la resistencia mecánica y el tiempo de fraguado del concreto, manteniendo constantes las demás variables de las proporciones del concreto.

6.2 TIPOS DE MUESTREO

El muestreo empleado en esta investigación es de tipo no probabilístico por conveniencia, debido que las muestras no se seleccionan aleatoriamente de una población, sino que son fabricadas y controladas directamente por el investigador bajo condiciones de laboratorio estandarizadas.

La unidad de muestreo corresponde a los especímenes cilíndricos de concretos fabricados conforme a la norma NTC 550. El tamaño de la muestra se establece en 12 cilindros en total, distribuidos de la siguiente manera: 2 cilindros por mezcla para cada edad de curado (7, 14 y 28 días), diferenciando entre la mezcla de concreto convencional sin aditivo (grupo control) y la mezcla con adición del extracto alcalino de lignina obtenido a partir de aserrín (grupo experimental). Esta distribución permite comparar el comportamiento mecánico de ambas mezclas en las tres edades de curado establecidas y promediar los resultados por grupo.

6.3 TECNICAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

6.3.1 Técnicas

La recolección de datos se realizará por medio de diferentes ensayos experimentales de laboratorio, ejecutadas en instalaciones propias y en el laboratorio de la universidad. Se emplearán dos ensayos principales, cada una asociada a un instrumento y una norma técnica específica:

- **Ensayo de asentamiento:** Para determinar la trabajabilidad del concreto en estado fresco, se empleará el cono de Abrams conforme a la norma NTC 396, registrando el asentamiento en centímetros tanto para la mezcla convencional como para la mezcla con adición del extracto alcalino de lignina. Este ensayo constituye el instrumento principal para dar respuesta al objetivo específico número dos.
- **Ensayo de resistencia a la compresión:** Para evaluar el comportamiento mecánico del concreto endurecido, se fabricarán cilindros de concreto, los cuales serán sometidos a ensayo de compresión axial a los 7, 14 y 28 días de curado, según la norma NTC 673. Los resultados se expresarán en MPa o kg/cm², comparando los especímenes con y sin adición del extracto.

Adicionalmente, se realizará la toma del dato de tiempo de fraguado en la muestra de concreto convencional y con el extracto, se llevará un registro fotográfico y un formato de recolección de datos para cada ensayo, en los cuales se registrará las proporciones de la mezcla, la dosificación del extracto y los resultados obtenidos en cada etapa experimental.

6.4 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

1. Obtención del extracto alcalino de lignina

Se recolecta aserrín de madera desde actividades de carpintería, para posterior tamizarlo para eliminar partículas de gran tamaño y secarlo al ambiente para reducir su contenido de humedad, se realizará un proceso de extracción alcalina con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5%, calentándolo a una temperatura aproximada de 80-90 °C durante una hora, y al finalizar, la mezcla será filtrada de nuevo para obtener el extracto líquido que será usado como aditivo experimental.

2. Elaboración de cilindros de concreto y ensayo de asentamiento.

Se elabora dos mezclas de concreto de forma independiente con una dosificación estándar 1:2:2 con una resistencia de diseño de resistencia de 280 kg/cm² con el extracto y sin el, antes de vaciar el concreto en las probetas cilíndricas, se procede a realizar el ensayo de asentamiento conforme a la norma NTC 396 para cada mezcla, registrando el valor obtenido en centímetros (cm) junto con observaciones visuales en términos de consistencia, trabajabilidad, cohesión y apariencia de la mezcla en su estado fresco. (INCONTEC-NTC 396, 2021)

3. Prueba de tiempo de fraguado inicial

El tiempo de fraguado inicial del cemento hidráulico se establece usando el procedimiento que se encuentra en la INV E-305, con el dispositivo de Vicat. La norma indica que se debe elaborar una pasta de cemento con consistencia normal para llevar a cabo el ensayo, utilizando como modelo el método de mezcla descrito en la INV E-321 para morteros y pastas con consistencia plástica. (Instituto Nacional de Vías INV E-305-07, 2007) (Instituto Nacional de Vías, 2007)

No obstante, como esa norma no precisa con exactitud la cantidad de agua que se requiere para conseguir una consistencia normal, el procedimiento se complementó con los parámetros establecidos en la NTC 110, que es el método para determinar dicha consistencia del cemento hidráulico. (INCONTEC-NTC 110, 2008)

Así, la elaboración de la pasta implicó añadir agua al cemento gradualmente hasta que se logró una combinación uniforme y plástica, lo cual permite crear una bola que puede ser manipulada y transferida de mano en mano tal como se describe en la INV E-305-07. Después de eso, la pasta se colocó en el molde del dispositivo de Vicat con el fin de hacer penetraciones cada quince minutos. Se determinó el tiempo de fraguado inicial en el instante en que la aguja penetró 25 mm en la muestra.

4. Fabricación de cilindros y curado

Se fabricarán 12 cilindros en total, siendo 6 para de la mezcla de concreto con el aditivo y 6 sin él, siguiendo el procedimiento normativo en la NTC 550, para posterior dejarlos curar siendo sumergidos en agua a temperatura ambiente durante los días correspondientes de edad, siendo 7, 14 y 28 días. (INCONTEC- NTC 550, 2020)

5. Ensayo de resistencia a la compresión

Al llegar al día correspondiente de la edad de curado, se desmoldan los cilindros de concreto para ponerlos a fallar en la máquina de compresión, siendo 2 muestras de concreto por mezcla específica, realizándolo con el respectivo procedimiento dictado en la NTC 673, registrando la carga máxima que pudo soportar al momento de producir la rotura, siendo en MPa o Kg/cm², posteriormente comparar los resultados promediados entre las muestras de la mezcla con el aditivo y sin él. (INCONTEC- NTC 673, 2010)

6. Análisis de resultados

Obteniendo los resultados del ensayo de asentamiento, toma de tiempo de fraguado inicial y ensayos de resistencia a la compresión, se elaborarán tablas comparativas y gráficas de evolución en la resistencia, para asimismo determinar el comportamiento del extracto alcalino añadido en la mezcla del concreto, verificando su mejoría en la trabajabilidad del concreto sin comprometer su resistencia mecánica final y además tomando en cuenta el tiempo de fraguado inicial en ambas mezclas.

7. RECURSOS

7.1 HUMANO

- Nelson David Cardoso Herrera, estudiante de ingeniería civil de la universidad Piloto de Colombia.
- Mauricio Andrés Rivera Soto, ingeniero, docente y asesor del presente trabajo de grado, de la universidad Piloto de Colombia.
- Jesús Flaminio Ospitia, ingeniero y docente de la universidad Piloto de Colombia.

7.2 MATERIAL

- Hidróxido de sodio puro



*Ilustración 3: Hidróxido de sodio en estado puro
Fuente: Tomado del autor investigativo*

- Recipiente de plástico N2 HDPE



*Ilustración 4: Recipiente plástico N2
HDPE
Fuente: Tomado del autor
investigativo*



*Ilustración 5: Recipiente plástico N2
HDPE
Fuente: Tomado del autor investigativo*

- Elementos PPP



Ilustración 6: Elementos PPP
Fuente: Tomado del autor investigativo

- Tamices



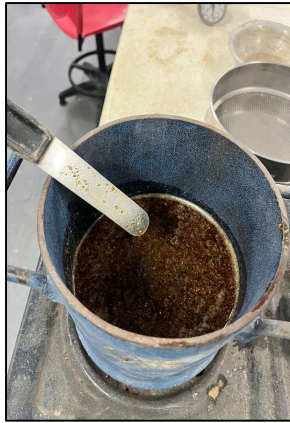
Ilustración 7: Tamiz No.10
Fuente: Tomado del autor investigativo

- Fuente de calor



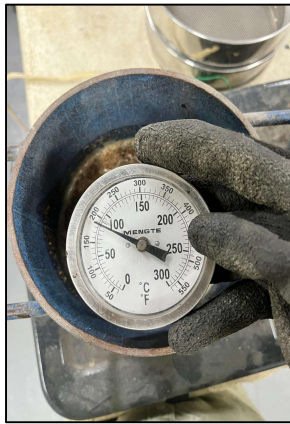
Ilustración 8 Estufa eléctrica
Fuente: Tomado del autor investigativo

- Recipiente metálico



*Ilustración 9: Recipiente metálico para mezcla del extracto alcalino de lignina
Fuente: Tomado del autor investigativo*

- Termómetro



*Ilustración 10 Termómetro
Fuente: Tomado del autor investigativo*

- Mezcladora de concreto



*Ilustración 11 Mezcladora de ½ bulto
Fuente: Tomado del autor investigativo*

- Cono de Abrams.



Ilustración 12: Cono de Abrams

*Fuente: Tomado del autor
investigativo*

- Moldes cilíndricos.



Ilustración 13 Moldes metálicos para cilindros de concreto

Fuente: Tomado del autor investigativo

- Prensa de compresión.



Ilustración 14: Máquina de prensa de compresión

Fuente: Tomado del autor investigativo

- Balanza.



Ilustración 15: Balanza
Fuente: Tomado del autor investigativo

- Recipientes de mezclado.



Ilustración 17: Baldes de construcción
Fuente: Tomado del autor investigativo



Ilustración 16: Recipiente metálico
Fuente: Tomado del autor investigativo

- Aparato de Vicat



Ilustración 19 Moldes para pasta de cemento
Fuente: Tomado del autor investigativo



Ilustración 20 Aguja de 1 mm del aparato de vicat
Fuente: Tomado del autor investigativo

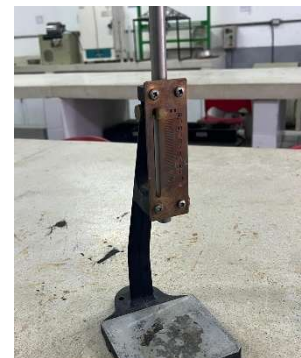


Ilustración 18: Aparato de Vicat
Fuente: Tomado del autor investigativo

- Paletas mezcladoras



Ilustración 21 Paletas mezcladoras
Fuente: Tomado del autor investigativo

- Recipiente graduado

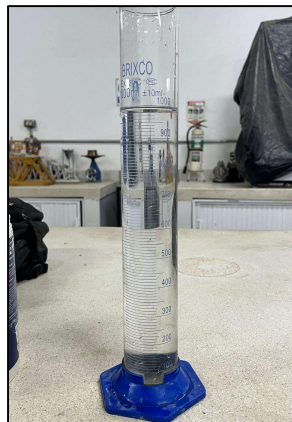


Ilustración 22 Probeta graduada
Fuente: Tomado del autor investigativo

8. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

8.1 OBTENCIÓN DEL EXTRACTO ALCALINO DE LIGNINA

Para obtener el extracto de lignina, se utilizó aserrín recolectado de una carpintería local, el cual pertenece a la especie Otobo, un género de árboles tropicales nativos de América tropical. Posteriormente el aserrín fue llevado a cabo a un tratamiento alcalino por medio de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5%, que se obtiene agregando 50gr de NaOH en estado puro (escamas) en 1 litro de agua limpia, se realiza agregando gradualmente el hidróxido de sodio al agua, debido a la reacción exotérmica durante el proceso de solubilidad.



Ilustración 23 : Solución de hidróxido de sodio al 5%
Fuente: Tomado del autor investigativo



Ilustración 24: NaOH en estado puro (escamas)
Fuente: Tomado del autor investigativo

Al tener la solución de hidróxido de sodio al 5%, se separaron las partículas grandes del aserrín por medio del tamiz No.10, para mezclarlo con el NaOH, en una proporción de 1:10 (100 gr de aserrín por 1 litro de solución), calentando la mezcla a una temperatura entre 80°C y 100°C durante 60 minutos en un recipiente metálico, revolviendo ocasionalmente la mezcla para asegurar la solubilización de la lignina contenida en el aserrín.



Ilustración 25: Aserrín tamizado por tamiz No.10
Fuente: Tomado del autor investigativo



Ilustración 26: Mezcla entre el NaOH al 5% con el aserrín tamizado
Fuente: Tomado del autor investigativo

Transcurrido los 60 minutos, se dejó enfriar la mezcla hasta temperatura ambiente y se procedió a filtrar el líquido resultante mediante el tamiz No.80, separando los sólidos residuales del aserrín, la sustancia filtrada de color café oscuro es el extracto alcalino de lignina determinado como el bio-aditivo para usar en la mezcla de concreto.



*Ilustración 28 : Tamizado de la mezcla entre aserrín y NaOH al 5%
Fuente: Tomado del autor investigativo*



*Ilustración 27: Extracto alcalino de lignina
Fuente: Tomado del autor investigativo*

La dosificación del extracto se estableció en el 1% del peso del cemento, valor usado normalmente en investigaciones similares con aditivos de base orgánica y de acuerdo con los rangos establecidos por la norma NTC 1299 para aditivos tipo A.

8.2 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

Las mezclas de concreto se elaboraron a partir de una dosificación común usada en obra, tales como las denominadas “dosificaciones empíricas estándar”, en una proporción de 1:2:2 (cemento: arena: grava), utilizando cemento Portland tipo I marca Argos, arena de río de la cantera Sumapaz y gravilla de tamaño $\frac{3}{4}$ ” de la cantera Agregados del Tolima, con una relación agua/cemento de 0.55, esta dosificación fue aplicada de manera igual para la mezcla de control y la mezcla experimental, en la que la única variable diferente es la adición del extracto alcalino de lignina.



*Ilustración 29: Cemento, arena y grava
Fuente: Tomado del autor investigativo*

Para la mezcla experimental se adicionaron 66ml de extracto alcalino de lignina, correspondientes al 1% del peso del cemento utilizado (6.6kg), por lo tanto, esa cantidad de extracto se descontó al volumen del agua total del mezclado, para mantener constante la variable de agua/cemento. Se fundieron en total 12 cilindros de concreto, 6 por cada tipo de mezcla, en moldes cilíndricos metálicos con dimensiones estándar de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura conforme a la norma ASTM C470/C470M (ASTM INTERNATIONAL, 2015)



Ilustración 30: Moldes para los cilindros con concreto normal
Fuente: Tomado del autor investigativo



Ilustración 31: Vaciado en los moldes cilíndricos
Fuente: Tomado del autor investigativo

8.3 ENSAYO DE ASENTAMIENTO

De manera inmediata después del mezclado, se realizó el ensayo de asentamiento conforme a la norma NTC 396, en la cual se usa el cono de Abrams, se realizó el vaciado de concreto en el molde en 3 partes con su respectiva cantidad de punzonamientos en cada llenada, los resultados son los siguientes:

Mezcla	Asentamiento (cm)
Mezcla control (sin aditivo)	17,0 cm
Mezcla experimental (con aditivo)	20,5 cm

Tabla 3: Asentamientos de mezcla control y experimental
Fuente: Tomado del autor investigativo

La mezcla de control presentó un asentamiento de 17 cm, mientras que la mezcla con adición del extracto alcalino de lignina registró valores de 20.5 cm, representando un incremento en la trabajabilidad del 20.5% respecto a la mezcla de control, demostrando el efecto plastificante del bio-aditivo sobre la mezcla de concreto en su estado fresco. Ambos valores se encuentran en un rango de un asentamiento alto, según la clasificación NTC 396, indicando que es una mezcla fluida apta para elementos muy reforzados o zonas con difícil acceso.



Ilustración 33: Ensayo de asentamiento

Fuente: Tomado del autor investigativo



Ilustración 32: Asentamiento de 17cm de mezcla control

Fuente: Tomado del autor investigativo

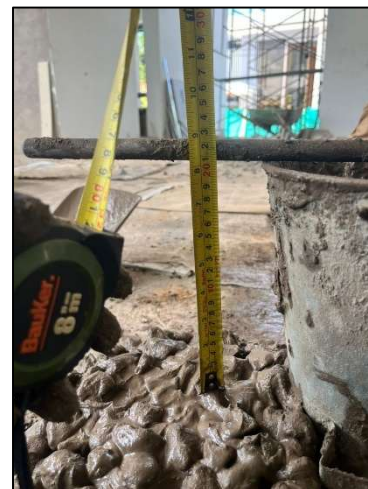


Ilustración 34: Asentamiento de 20.5cm de mezcla experimental

Fuente: Tomado del autor investigativo

8.4 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL CON APARATO DE VICAT

El ensayo de tiempo de fraguado inicial se realizó conforme a la norma INV E-305-07, en ella la aguja de Vicat del aparato con 1 mm de diámetro penetra en la pasta de cemento cada 15 minutos, se prepararon 2 pastas de cemento Portland tipo I con las siguientes composiciones:

Relación agua/cemento en ambas pastas (a/c) = 0,38			
Pasta control	650 gr de cemento	250 ml de agua pura	
Pasta experimental	650 gr de cemento	243.5 ml de agua pura	6.5 extracto alcalino de lignina

Tabla 4: Composición de pastas de cemento para aparato de vicat

Fuente: Tomado del autor investigativo

La consistencia normal se determinó agregando agua de manera gradualmente hasta obtener una pasta homogénea que permitiera el moldeado de una esfera según lo indicado la INV E-305-07, posterior cada 15 minutos se realizaron la toma de medidas de penetración, registrando los siguientes datos:

Pasta control - Tiempo cero: 3:14 pm			
Medición	Hora	Tiempo (min)	Penetración (mm)
P1	3:44 p. m.	30	41
P2	3:59 p. m.	45	40
P3	4:14 p. m.	60	40
P4	4:29 p. m.	75	40
P5	4:44 p. m.	90	39
P6	4:59 p. m.	105	39
P7	5:14 p. m.	120	34
P8	5:29 p. m.	135	28
P9	5:44 p. m.	150	21

Tabla 5 : Medidas de penetración pasta control

Fuente: Tomado del autor investigativo

Pasta experimental - Tiempo cero: 3:52 pm			
Medición	Hora	Tiempo (min)	Penetración (mm)
P1	4:22 p. m.	30	41
P2	4:37 p. m.	45	41
P3	4:52 p. m.	60	41
P4	5:07 p. m.	75	41
P5	5:22 p. m.	90	41
P6	5:37 p. m.	105	39
P7	5:52 p. m.	120	38
P8	6:07 p. m.	135	38
P9	6:22 p. m.	150	21

Tabla 6: Medidas de penetración de la pasta experimental

Fuente: Tomado del autor investigativo

Se interpola entre los valores de la penetración P8 y P9 de cada pasta, para determinar el tiempo inicial de fraguado correspondiente a una penetración de 25 mm:

- Pasta control:

Entre las mediciones de los puntos P8 y P9 pasaron 15 minutos, observando un cambio en la penetración de la aguja desde 28 mm hasta 21 mm, lo que representa una disminución de 7 mm durante dicho intervalo de tiempo.

Con el fin de determinar la hora exacta en el que la penetración alcanzó los 25 mm, valor establecido para el fraguado inicial según la normativa INV E-305, se realizó una interpolación lineal (regla de tres), obteniendo un tiempo aproximado de 6.4 minutos posteriores a la medición P8.

De acuerdo con lo anterior, se determinó que la aguja alcanzó una penetración de 25 mm aproximadamente a las 5:35 p.m., estableciendo un tiempo de fraguado inicial de 2 horas y 21 minutos.

- Pasta experimental:

Entre las mediciones correspondientes a los puntos P8 y P9 transcurrieron 15 minutos, observándose una variación en la penetración de la aguja desde 38 mm hasta 21 mm, lo que representa una disminución de 17 mm durante dicho intervalo de tiempo.

Para determinar el momento exacto en el que la penetración alcanzó los 25 mm, se realizó una interpolación lineal (regla de tres), obteniendo un tiempo aproximado de 11.5 minutos posteriores a la medición P8.

De acuerdo con lo anterior, se determinó que la aguja alcanzó una penetración de 25 mm aproximadamente a las 6:18 p.m., estableciendo un tiempo de fraguado inicial de 2 horas y 26 minutos.

Una diferencia de 5 minutos, el extracto alcalino generó un leve retraso en el tiempo de fraguado inicial respecto a la pasta control, concluyendo que se trata de un efecto plastificante al igual que un aditivo comercial, el cual tiene a retardar moderadamente el fraguado. Cabe resaltar el hecho de que la pasta experimental contó con 6.5ml menos de agua respecto a la pasta control, lo que pudo generar poca influencia en el resultado obtenido.

8.5 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Pasado días de curado, los cilindros fundidos fueron llevados a fallar por medio del ensayo de resistencia a la compresión conforme a la norma NTC 673, a las edades de 7 y 14 días de curado sumergidos en agua.



Ilustración 35: Cilindros de concreto sumergidos en agua

Fuente: Tomado del autor investigativo



Ilustración 36: Cilindros de concreto desmoldados después de fraguar

Fuente: Tomado del autor investigativo

Los resultados tras realizar las pruebas de resistencia a la compresión por medio de la máquina de ensayo de compresión son los siguientes:

EDAD DE CURADO 7 DÍAS				
Muestra	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fuerza máx. (kN)	Resistencia (MPa)
Control M1	12.56	2369.17	95.00	5.38
Control M2	12.46	2350.31	96.90	5.48
Promedio control	12.51	2359.74	95.95	5.43
Aditivo M1	12.55	2384.28	86.10	4.87
Aditivo M2	12.37	2327.67	75.50	4.27
Promedio aditivo	12.46	2355.98	80.80	4.57

Tabla 7: Resultados de resistencia a la compresión a los 7 días de curado
Fuente: Tomado del autor investigativo

EDAD DE CURADO 14 DÍAS				
Muestra	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fuerza máx. (kN)	Resistencia (MPa)
Control M1	12.72	2399.35	102.90	5.82
Control M2	12.34	2327.67	99.80	5.65
Promedio control	12.53	2363.51	101.35	5.74
Aditivo M1	12.26	2312.58	90.00	5.09
Aditivo M2	12.20	2301.26	97.10	5.50
Promedio aditivo	12.23	2306.92	93.55	5.30

Tabla 8: Resultados de resistencia a la compresión a los 14 días de curado
Fuente: Tomado del autor investigativo

EDAD DE CURADO 28 DÍAS				
Muestra	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fuerza máx. (kN)	Resistencia (MPa)
Control M1	12,63	2382,37	125,1	7,08
Control M2	12,47	2352,19	54,3	3,07
Promedio control	12.53	2363.51	101.35	5.74
Aditivo M1	12,09	2280,52	116,4	6,59
Aditivo M2	12,66	2388,03	92,9	5,26
Promedio aditivo	12.23	2306.92	93.55	5.30

Tabla 9: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de curado
Fuente: Tomado del autor investigativo

EDAD DEL ESPECIMEN	Resistencia control (MPa)	Resistencia con aditivo (MPa)	Diferencia (MPa)
7 días	5,43	4,57	0,86
14 días	5,74	5,3	0,44
28 días	7,08	6,59	0,49

Tabla 10: Análisis de resultados
Fuente: Tomado del autor investigativo

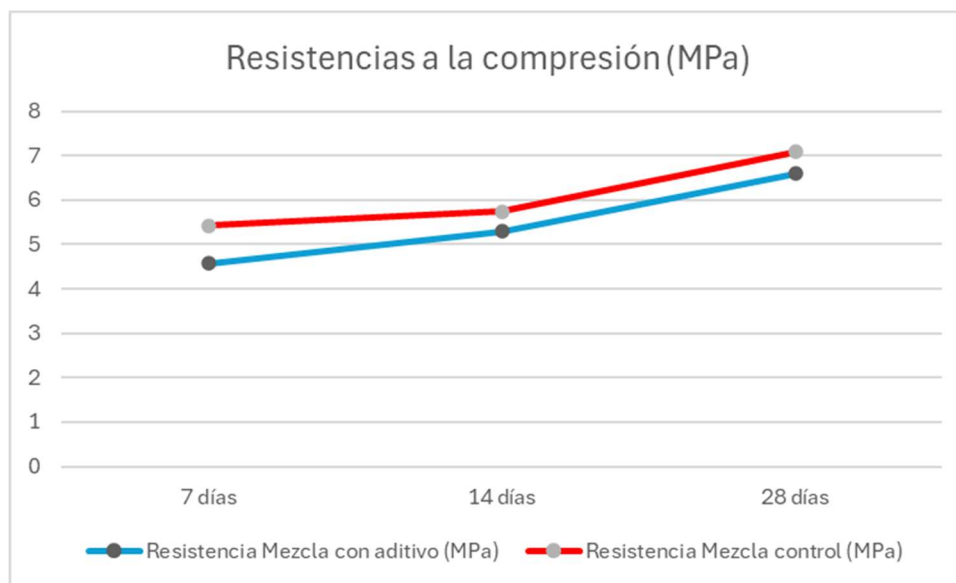
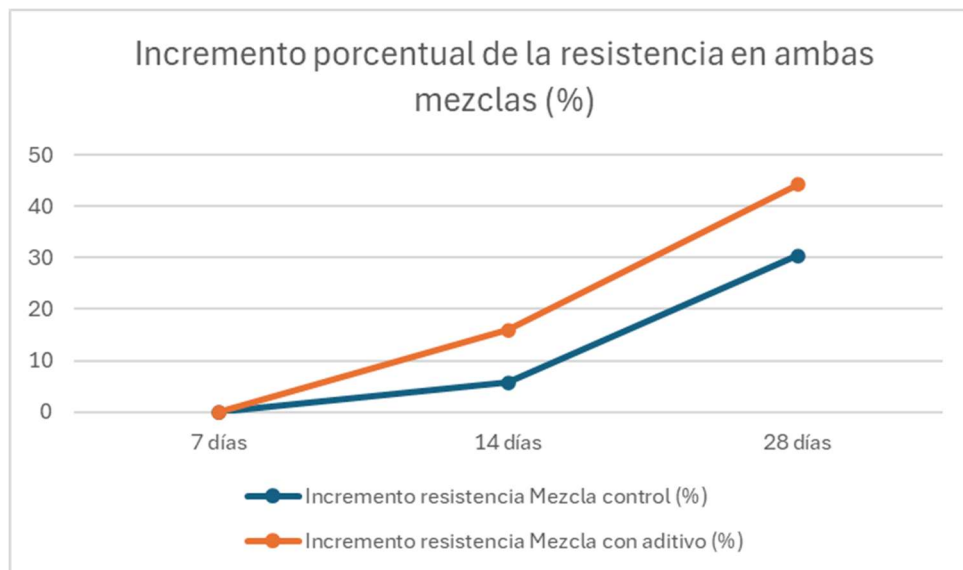


Ilustración 37: Gráfica de resistencias a la compresión de los especímenes
Fuente: Tomado del autor investigativo

Los resultados muestran que la mezcla con extracto alcalino de lignina presentó una resistencia a la compresión inferior a la mezcla control en todas las edades de curado evaluadas, la diferencia a los 7 días entre ambas mezclas fue de 0.86 MPa, reduciéndose a 0.44 MPa a los 14 días, y registrando un leve incremento a los 28 días de 0.49 MPa, lo que indica que la diferencia de resistencias entre ambas mezclas se mantiene en rangos relativamente bajos a lo largo de las edades evaluadas, de hecho, existe gran incremento por parte de la mezcla con aditivo.

EDAD DEL ESPECIMEN	Incremento resistencia Mezcla control (%)	Incremento resistencia Mezcla con aditivo (%)
7 días	0	0
14 días	5,71	15,97
28 días	30,39	44,2

*Tabla 11: Incrementos porcentuales de resistencias a la compresión
Fuente: Tomado del autor investigativo*



*Ilustración 38: Grafico del incremento porcentual de la resistencia a la compresión en ambas mezclas
Fuente: Tomado del autor investigativo*

Además, al analizar el incremento porcentual de resistencia tomando como referencia los 7 días de curado, la mezcla experimental registró un incremento del 44.20% a los 28 días frente al 30.39% de la mezcla control, evidenciando que la mezcla con extracto gana resistencia a una tasa proporcionalmente mayor con el paso del tiempo, lo que sugiere que el bio-aditivo no detiene o interrumpe el desarrollo de resistencia mecánica a largo plazo.

Los valores de resistencia obtenidos en todas las mezclas fueron inferiores a la resistencia de diseño esperada para una dosificación 1:2:2, lo cual se debe principalmente al uso de arena de río sin ensayo previo de granulometría, pudiendo presentar gran cantidad de finos o impurezas orgánicas afectando la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, este detalle no invalida los resultados, debido a que es posible hacer comparaciones dado que ambas mezclas fueron elaboradas bajo las mismas condiciones y materiales.



*Ilustración 39: Cilindro de concreto fallado en máquina de resistencia a la compresión
Fuente: Tomado del autor investigativo*



*Ilustración 40: Cilindro de concreto fallado en máquina de resistencia a la compresión 2
Fuente: Tomado del autor investigativo*

El tipo de falla al que corresponden los cilindros que fueron probados, son de falla tipo 5 y 6, donde su grieta o fractura se genera en los bordes del cilindro de concreto, esto según la ASTM C39 (ASTM INTERNATIONAL, 2015)

9. CONCLUSIONES

La presente investigación evaluó el potencial del extracto alcalino de lignina obtenido a partir del aserrín, un material orgánico residual de la madera como bio-aditivo plastificante alternativo en mezclas de concreto, analizando su efecto con base a la trabajabilidad, el tiempo de fraguado inicial y la comparación de resistencia a la compresión de una mezcla convencional y una con aditivo, una vez determinados los resultados de los ensayos y pruebas se concluyen lo siguiente:

El proceso de la extracción alcalina de lignina por medio de una solución NaOH al 5% que fue calentada a una temperatura entre 80°C y 100°C durante 60 minutos, resultó ser un método muy sencillo, de bajo costo y fácil de producir en un laboratorio básico, esto permitiendo obtener un líquido con potencial plastificante sin requerir equipos industriales especializados, demostrando una ventaja significativa frente a los aditivos industriales convencionales.

El extracto alcalino de lignina demostró un efecto plastificante positivo sobre la trabajabilidad de la mezcla de hormigón en su etapa fresca, incrementando el asentamiento de 17 cm de la mezcla convencional a 20.5 cm en la mezcla experimental, siendo un 20.5% de incremento. Este resultado confirma que el bio-aditivo actúa como dispersante de las partículas de cemento mediante la repulsión electrostática, esto beneficiando en la fluidez de la preparación sin modificar la relación agua/cemento, una cualidad que normalmente tienen los aditivos de base de lignina en otras investigaciones de este material.

En cuanto al tiempo de fraguado inicial, el extracto alcalino incrementó levemente el tiempo respecto a la pasta control, un retardo de 5 minutos, pasando de 2 horas y 21 minutos en la pasta control a 2 horas y 26 minutos en la pasta con el aditivo, aunque esta diferencia es relativamente poca, es importante destacar el comportamiento ya que según la norma ASTM C494, para los aditivos tipo A este es un comportamiento esperado, ya que no debería alterar significativamente el tiempo de fraguado, validando la clasificación dentro de esa categoría. Este retardo puede resultar útil en condiciones de clima cálido como las de Girardot, donde las altas temperaturas aceleran el proceso de fraguado y disminuyen la capacidad de trabajar la mezcla.

Respecto a la capacidad a la compresión, la preparación con extracto alcalino presentó valores inferiores a la mezcla control en todas las edades de curado evaluadas, con diferencias de 0.86 MPa a los 7 días, 0.44 MPa a los 14 días y 0.49 MPa a los 28 días, por lo tanto esta diferencia no sigue una disminución constante, al determinar y analizar el incremento porcentual de resistencia tomando como referencia los 7 días de curado, la mezcla experimental registró un incremento del 44.20% a los 28 días frente al 30.39% de la mezcla control, determinando que la mezcla con extracto gana resistencia a una tasa proporcionalmente mayor con el paso del tiempo, este comportamiento sugiere que el bio-aditivo no detiene o interrumpe el desarrollo de la resistencia mecánica a largo plazo, sino que puede presentar un desarrollo más lento en edades tempranas que se mejora con el paso del tiempo de curado.

Aclarando, los valores de resistencia obtenidos en ambas mezclas fueron inferiores a la resistencia de diseño esperada para una dosificación de 1:2:2, este comportamiento se asocia a la falta de un ensayo granulométrico previo de los agregados, estimando una posible

presencia excesiva de material fino dentro de la composición de los agregados. Sin embargo, dado que ambas mezclas se elaboraron bajo las mismas condiciones, materiales y dosificaciones, la comparación entre ellas mantiene su validez y los resultados son representativos del efecto del bio-aditivo sobre el concreto.

Por lo tanto, en términos generales, el extracto alcalino de lignina obtenido a partir de aserrín demostró tener potencial como aditivo plastificante alternativo y sostenible, mejorando la trabajabilidad del concreto sin comprometer significativamente su resistencia mecánica a inicios de la edad de curado, representando una alternativa viable, económica y ambientalmente positiva, comparando frente a los aditivos plastificantes industriales.

10. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y las limitaciones que hubo en el desarrollo de la investigación, se plantean las siguientes recomendaciones para un futuro estudio que profundice más en el tema:

Se recomienda realizar ensayos de resistencia a la compresión a edades superiores a los 28 días, como los 56 y 90 días de curado, dado que los resultados obtenidos evidenciaron que la mezcla experimental gana resistencia a una tasa proporcionalmente mayor que la mezcla control, por lo que aumentar el tiempo de edades evaluadas daría paso a confirmar si existe una igualación o superación de resistencias en edades avanzadas de curado.

Se sugiere realizar un análisis granulométrico completo de los agregados utilizados, especialmente al usar arena de río, con el fin de garantizar que las resistencias de diseño estén de manera más específica y controladas, además con esto podría compararse con más precisión la resistencia que tiene la mezcla experimental al usar el extracto en ella, no tener variaciones por falta de control en los agregados.

Se recomienda probar diferentes dosificaciones del extracto alcalino de lignina, evaluando concentraciones menores y mayores a la usada en esta investigación, con el objetivo de identificar que dosificación es más óptima al momento de aumentar la trabajabilidad sin afectar la resistencia mecánica del concreto.

Se sugiere caracterizar y estandarizar químicamente mejor el extracto alcalino obtenido mediante técnicas como espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), que mide si la muestra absorbe, transmite o refleja radiación, análisis de pH y densidad, con el objetivo de determinar parámetros de calidad y seguridad, permitiendo comparar resultados entre diferentes lotes del bio-aditivo.

Se recomienda evaluar el extracto alcalino de lignina en mezclas de concreto con diferentes tipos de cemento en el mercado nacional, de igual manera evaluar su efecto en mezclas con diferentes proporciones y relaciones agua/cemento, para determinar qué tan versátil puede ser este aditivo y su compatibilidad con diferentes diseños de mezcla.

Se recomienda evaluar el aprovechamiento del residuo sólido generado tras el proceso de filtrado del extracto alcalino de lignina, el cual está compuesto principalmente por celulosa y hemicelulosa del aserrín tratado con hidróxido de sodio, con el fin de evitar que este subproducto sea descartado como residuo ordinario, ya que podría tener potencial de uso en procesos de compostaje, como material de refuerzo en compuestos de cemento no estructurales o como insumo para la producción de biocombustibles, contribuyendo así a un aprovechamiento más completo del aserrín dentro del proceso de obtención del bio-aditivo.

Por último, se recomienda realizar un análisis profundo de costo del extracto de lignina producido a partir del aserrín en comparación con los plastificantes comerciales de origen industrial, para asimismo poder cuantificar la viabilidad económica de su comercialización en escala industrial, complementando así el análisis técnico de esta investigación.

REFERENCIAS

- DFM Directorio Forestal Maderero. (27 de Enero de 2021). *Otobo, cuángare (Dialyanthera gracilipes / Otoba gracilipes)*. Obtenido de FORESTAL MADERERO: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/otobo-cuangare-dialyanthera-gracilipes-otoba-gracilipes.html>
- ACI Instituto americano del concreto. (10 de Enero de 2000). *304R-00 Guía para Medir, Mezclar, Transportar y Colocar Concreto*. Obtenido de Studocu: <https://es.scribd.com/document/518490678/304R-00-Guia-para-medir-mezclar-transportar-y-colocar-concreto>
- Alcaldía de Girardot. (1 de Mayo de 2026). *Alcaldía de Girardot*. Obtenido de Información del municipio: <https://www.girardot-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- ARGOS. (s.f.). *5 recomendaciones para la construcción con concreto en climas cálidos y fríos*. Recuperado el 04 de 02 de 2026, de Colombia ARGOS: <https://colombia.argos.co/autoconstructores/5-recomendaciones-para-la-construccion-con-concreto-en-climas-calidos-y-frios/>
- Asprilla, H. M., Estacio, G. L., & Bermúdez, Q. L. (21 de noviembre de 2023). *Problemáticas de Aserraderos en Zonas Urbanas*. Obtenido de Boletín de innovación, logística y operaciones: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/5492>
- ASTM INTERNATIONAL. (2003). *ASTM C-496-96: Metodo de ensayo estandar para esfuerzo de tensión por partidura en especímenes cilindricos de concreto*. Recuperado el 28 de Abril de 2026, de SCRIB: <https://es.scribd.com/document/239764083/ASTM-C-496-96>
- ASTM INTERNATIONAL. (2007). *ASTM C-150-07 Especificación normalizada en cemento portland*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/608564881/ASTM-C150-Especificacion-Normalizada-para-Cemento-Portland>
- ASTM INTERNATIONAL. (1 de Abril de 2015). *ASTM C39/C39M-15 Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilindricos de concreto*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/587155228/ASTM-C39-RESISTENCIA-A-LA-COMPRESION-DE-CONCRETO>
- ASTM INTERNATIONAL. (1 de marzo de 2015). *ASTM C470/C470M-15 Especificación estándar para moldes para la formación de cilindros de prueba de hormigón verticalmente*. Obtenido de SCRIBID: <https://es.scribd.com/document/570830515/ASTM-C470-15>
- ASTM INTERNATIONAL. (10 de MARZO de 2020). *ASTM C494/C494-17 Especificación estándar para aditivos químicos para hormigón*. Obtenido de ASTM: https://store.astm.org/c0494_c0494m-17.html?utm=
- ASTM INTERNATIONAL. (6 de AGOSTO de 2024). *ASTM C494/C494M-24 Especificación estándar para aditivos químicos para hormigón*. Recuperado el 2 de MAYO de 2026, de ASTM: https://store.astm.org/c0494_c0494m-24.html?utm=
- Barracho Jr, E., Marangón, C. L., Rolin, M., Benigno, P. J., & Lazo, A. D. (2 de agosto de 2020). *Use of lignocellulosic waste in the manufacture of wood-cement composites for non-structural construction purposes*. Obtenido de Revista Cubana de Ciencias Forestales, 8(2), 220-230.: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2310-34692020000200220&script=sci_arttext&lng=en#B4
- Campo, G. (02 de Junio de 2022). *Ensayan con éxito usos de la lignina de la madera como aditivo para hormigones, tuberías, fibras textiles y productos desengrasantes*. Obtenido de Campo Galego: <https://www.campogalego.es/ensayan-con-exito-usos-de-la-lignina->

de-la-madera-como-aditivo-para-hormigones-tuberias-fibras-textiles-y-productos-desengrasantes/

- Campos, K., Martinez, M., Gonzales, M., & Aguirre, I. (3 de Abril de 2025). *Influencia del Aditivo Sikacem Plastificante en Polvo sobre la Consistencia y Resistencia del Concreto para Cimentaciones-Ciudad de Jaén*. Obtenido de Dialnet: file:///D:/Dialnet-InfluenciaDelAditivoSikacemPlastificanteEnPolvoSob-10118036.pdf
- Casillas, M. B. (2010). *PRETRATAMIENTO DE BIOMASA LIGNOCELULOSICA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL EN EL MARCO DE UNA BIORREFINERIA*. Recuperado el 12 de abril de 2026, de Universida politecnica de Madrid: https://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf
- CEMEX. (05 de Abril de 2019). *CEMEX PERÚ*. Obtenido de <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto>
- Chávez, S. M., & Domine, M. E. (Octubre-diciembre de 2013). *LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: MÉTODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DERIVADOS AROMÁTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL*. Obtenido de Avances en ciencias e ingeniería: <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323629266003.pdf>
- Civilgeek. (10 de Diciembre de 2011). *Aditivos superplastificantes*. Obtenido de civilgeek: <https://civilgeeks.com/2011/12/10/aditivos-superplastificantes/>
- Cornejo, D. (s.f.). *Impacto ambiental de un aserradero*. Recuperado el 1 de Mayo de 2026, de Slideshare: <https://es.slideshare.net/slideshow/impacto-ambiental-de-un-aserradero/22879399#2>
- Cure, L. (s.f.). *ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO NTC 396*. Recuperado el 24 de Marzo de 2026, de 360 en concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/ensayo-de-asentamiento-del-concreto/>
- DANE. (30 de AGOSTO de 2019). *Explorador de datos Cundinamarca*. Obtenido de DANE: <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#/>
- Espinosa, L. I. (Junio de 2015). *Evaluación del comportamiento reológico y de la cinética de hidratación de las pastas de cemento con mezclas de aditivos MEF 32 y SX-32*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/337481426_Evaluacion_del_comportamiento_reologico_y_de_la_cinetica_de_hidratacion_de_las_pastas_de_cemento_con_mezclas_de_aditivos_MEF_32_y_SX-32
- Facultad de estudios a distancia. (s.f.). *Hidratación del cemento portland*. Recuperado el 1 de Mayo de 2026, de Universidad Militar Nueva granada: http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria_civil/tecnologia_del_concreto_y_laboratorio/unidad_1/medios/documentacion/p6h20.php
- Garrido, D., Navarro, I., Rodriguez, C., Ceron, J., & Perez, O. (Julio de 2025). *DESEMPEÑO FÍSICO Y MORFOLÓGICO DE COMPUESTOS CEMENTANTES CON ASERRÍN TRATADO COMO SUSTITO DEL AGREGADO FINO*. Obtenido de Ciencia Latina Tecnología: file:///D:/Dialnet-DesempenoFisicoYMorfologicoDeCompuestosCementantes-10385213.pdf
- Heberto, A. M. (28 de Enero de 2026). *La economía circular en la industria de la construcción: residuos que se transforman en oportunidades*. Obtenido de bnzero: <https://bnzero.com/ingenieria/economia-circular-construccion-gestion-residuos/>
- Henao, K. (s.f.). *La fisuración en el concreto*. Recuperado el 29 de Abril de 2026, de Grupo San Pío: <https://gruposanpio.com/la-fisuracion-en-el-concreto/>
- INCONTEC. (10 de MAYO de 1995). *NTC 890: DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR MEDIO DE SU RESISTENCIA A LA*

- PENETRACIÓN.** Obtenido de SCRIBD:
<https://es.scribd.com/document/355656660/NTC-890-Tiempo-de-fraguado-pdf>
- INCONTEC- NTC 117. (28 de Julio de 1999). *NTC 117: Método de ensayo para determinar el calor de hidratación.* Obtenido de SCRIBD:
<https://es.scribd.com/document/223574774/NTC-117-Cementos-Metodo-de-Ensayo-para-Determinar-el-Calor-de-Hidratacion-del-Cemento-Hidraulico-pdf>
- INCONTEC- NTC 174. (21 de Junio de 2000). *Concretos. Especificaciones para los agregados para el concreto.* Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/359996341/NTC-174-Concretos-Especificaciones-de-los-Agregados-Para-Concreto-pdf>
- INCONTEC- NTC 550. (18 de Marzo de 2020). *Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en sitio de trabajo.* Obtenido de SCRIBD:
<https://es.scribd.com/document/783942527/NTC-550-2020?v=0.893>
- INCONTEC- NTC 673. (17 de Febrero de 2010). *NTC 637 (Concretos. Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto).* Recuperado el 11 de Septiembre de 2025, de Stoducu: <https://www.studocu.com/in/document/itm-university/circuitos-electricos/ntc673-concretos-ensayo-de-resistencia-a-la-compresion-de-especimenes-cilindricos-de-concreto/4717071>
- INCONTEC-NTC 110. (24 de 09 de 2008). *METODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO HIDRAÚLICO.* Obtenido de scribd:
<https://es.scribd.com/doc/91753027/Norma-NTC-110>
- INCONTEC-NTC 121. (05 de Mayo de 1982). *NTC 121 INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. CEMENTO PÓRTLAND. ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y MECÁNICAS.* Obtenido de STUDOCU:
<https://www.studocu.com/co/document/escuela-colombiana-de-ingenieria-julio-garavito/materiales-de-ingenieria-civil/ntc-121-cemento-portland-especificaciones-fisicas-y-mecanicas/38464705>
- INCONTEC-NTC 1299. (16 de DICIEMBRE de 2008). *NTC 1299 : CONCRETOS. ADITIVOS QUIMICOS PARA EL CONCRETO.* Obtenido de SCRIBD:
<https://es.scribd.com/document/360314460/NTC-1299-pdf>
- INCONTEC-NTC 1377. (15 de Diciembre de 2010). *NTC 1377: Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio.* Obtenido de SCRIBD:
<https://es.scribd.com/document/458478525/NTC-1377-pdf>
- INCONTEC-NTC 396. (2021). *NTC 396: Concretos. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.* Obtenido de Ministerio de Comercio, Industria y Turismo:
https://gestion.mincit.gov.co/Athena/GestionContratistas/anexos/1.18_ei4j8olr.pdf
- Instituto Nacional de Vias. (2007). *INV E-321-07 Mezcla mecánica de pastas de cemento hidraulico y morteros de consistencia plastica.* Obtenido de SCRIBD:
<https://es.scribd.com/document/170135002/Norma-INV-E-321-07?v=0.968>
- Instituto Nacional de Vias INV- 407. (2013). *INV E – 407 – 13 EXUDACIÓN DEL CONCRETO.* Recuperado el 29 de Abril de 2026, de labicivil:
<https://www.labicivil.com/Media/pdfs/INV%20E-407-13%20EXUDACI%C3%93N%20DEL%20CONCRETO.pdf>
- Instituto Nacional de Vias INV E-305-07. (2007). *Tiempo de Fraguado del Cemento INV E-305-07.* Recuperado el 24 de Abril de 2026, de Scribd:
<https://es.scribd.com/doc/205442583/Norma-INV-E-305-07-pdf>
- Jaimes, D., Garcia, J., & Rondón, J. (Abril de 2020). *Importancia del concreto en la construcción.* Obtenido de Formación Estratégica:
<https://www.formacionestrategica.com/index.php/foes/article/download/18/14/25>

- Jaimes, E. D., García, C. J., & Rondón, P. J. (2020). *Importancia del concreto en el campo de la construcción*. Cucúta: REVISTA FORMACIÓN ESTRATÉGICA Vol 01 N 2.
- Jerachard, K., Itthichai, P., Robert, P., Pawarut, J., & Tawanpon, K. (1 de Junio de 2023). *Investigación experimental de los procesos de tratamiento alcalino (NaOH, KOH y cenizas) sobre la resistencia a la tracción del haz de fibras de bambú*. Obtenido de Cornell University: https://arxiv.org/abs/2306.13771?utm_
- Luz, G. (11 de Junio de 2022). *¿Qué es 'Ley de Abrams' - Abrams' law*. Obtenido de Gelson Luz Blog Materiales: <https://www.materiales.gelsonluz.com/2022/06/que-es-ley-de-abrams-abrams-law.html>
- LUZYGAS. (12 de Junio de 2025). *Conoce la definición de Polución*. Obtenido de LUZYGAS: <https://www.yoigoluzygass.com/blog/glosario/definicion-polucion/>
- Magina, S., Barros, T. A., & V.Evtuguin, D. (2 de Diciembre de 2021). *Síntesis de dispersantes a base de lignosulfonato para su aplicación en formulaciones de hormigón*. Obtenido de MDPI: https://www.mdpi.com/1996-1944/14/23/7388?utm_
- Martínez, L. Y., García, G. M., & Martínez, R. E. (2 de Junio de 2014). *Impacto ambiental de residuos industriales de aserrín y plástico*. Obtenido de Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5350876.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - NSR-10. (2010). *ACADEMIA*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2025, de NSR-10 - CAPITULO C.1 - REQUISITOS GENERALES: https://www.academia.edu/34195104/Titulo_C_NSR_
- Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Recuperado el 29 de Abril de 2026, de Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- NATURALISTA CO. (s.f.). *Otoba gracilipes*. Recuperado el 29 de Abril de 2026, de NATURALISTACO: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/933730-Otoba-gracilipes>
- Novoa, S. G. (17 de Noviembre de 2017). *Repositorio Escuela Colombiana de Ingeniería*. Obtenido de Propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregados finos reciclados procedentes del concreto sometidos a un proceso de carbonatación acelerada.: <https://apiescuelaing.bibliolabtech.com/server/api/core/bitstreams/c8a16680-1c2e-48ac-bad5-ea0362c0e537/content>
- NRMCA. (2003). *National Ready Mixed Concrete Association*. Recuperado el 2 de SEPTIEMBRE de 2025, de <https://alconcrete.org/wp-content/downloads/cip/35p.pdf>
- NRMCA. (s.f.). *Aditivos químicos para el concreto*. Recuperado el 29 de Abril de 2026, de NRCMA: <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP15es.pdf>
- NRMCA. (s.f.). *Agrietamiento por contracción plástica*. Recuperado el 29 de Abril de 2026, de NRMCA: <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP5es.pdf>
- NRMCA. (s.f.). *Colocación del concreto en clima cálido*. Recuperado el 29 de abril de 2026, de NRMCA: <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP12es.pdf>
- Omar Javier, S. (s.f.). *GENERALIDADES Y TIPOS DE ADITIVOS PARA EL CONCRETO SEGÚN LA NTC 1299*. Recuperado el 06 de Abril de 2026, de 360 en concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/generalidades-tipos-de-aditivos-para-el-concreto/>
- Ortiza, J., Aguadob, A., Ronceroc, J., & Zermñoa, M. (Diciembre de 2009). *Influencia de la temperatura ambiental sobre las propiedades de trabajabilidad y microestructurales de morteros y pastas de cemento*. Recuperado el 29 de Abril de 2026, de SCIELO:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112009000100001

- Osorio, J. . (s.f.). *HISTORIA DEL CONCRETO Y CEMENTO*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2025, de 360 en concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/historia-del-concreto-y-del-cemento/>
- PADUA MATERIALES. (11 de Agosto de 2024). *Qué es la segregación en la construcción? causas, consecuencias y soluciones*. Obtenido de PADUA MATERIALES: <https://paduamateriales.com/que-es-segregacion-en-construccion/>
- Piqueras, V. . (27 de Mayo de 2024). *Efectos del calor en el fraguado del hormigón fresco*. Obtenido de UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2024/05/27/efectos-del-calor-en-el-fraguado-del-hormigon-fresco/>
- Pochteca materias primas. (s.f.). *Lignosulfonato de sodio: mejorando el concreto*. Recuperado el 29 de abril de 2026, de Pochteca.
- Posada, F. (s.f.). *Academia san marcos*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2025, de Una breve reseña de la historia del cemento: <https://cementosanmarcos.com/una-breve-resena-de-la-historia-del-cemento/>
- Putzmeister. (s.f.). *Plastificantes y super-plastificantes: aditivos para la trabajabilidad del hormigón*. Recuperado el 30 de Abril de 2026, de Putzmeister: <https://bestsupportunderground.com/plastificantes-hormigon/>
- Ramírez, J. M., & Tapia, C. (20 de Agosto de 2021). *Aditivos especiales para concreto reforzado: Mejoramiento de las propiedades físicas del concreto por medio de aditivos especializados*. Obtenido de Jóvenes en la ciencia: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3265>
- Ramírez-Coretti, A., Marlen, D.-C., María, S.-B., & Manuel, M.-P. (7 de Octubre de 2016). *Uso de Ligninas de Granza de Arroz, Cáscara de Piña y Aserrín de Madera como Aditivos para Concreto*. Obtenido de Tecnológico de Costa Rica: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2632
- Sarmiento, M. B. (Octubre de 2011). *Alternativas de compostaje de aserrín de pino caribe (Pinus caribaea) en la industria maderera Refocosta S.A., municipio de Villanueva, Casanare, Colombia*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/316000767_Alternativas_de_compostaje_de_aserrin_de_pino_caribe_Pinus_caribaea_en_la_industria_maderera_Refocosta_SA_municipio_de_Villanueva_Casanare_Colombia
- Serrano, P. (16 de Julio de 2024). *Economía circular: ejemplos aplicados a la construcción*. Obtenido de Caloryfrio: <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/materiales/la-economia-circular-aplicada-a-la-construccion-materiales-reciclados.html>
- Shah, T. A., Khalid, S., Nafidi, H.-A., Salamatullah, A. M., & Bourhia, M. (29 de Mayo de 2023). *Extracción hidrotermal de lignina de residuos de paja de arroz con hidróxido de sodio y fermentación para la producción de biometano*. Obtenido de MDPI: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/11/8755?utm_source=chatgpt.com
- Silva, O. J. (s.f.). *TIPOS DE AGREGADOS Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO*. Recuperado el 30 de Abril de 2026, de 360 en concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto/>

- SÓLIDOS EL CONCRETO DE MÉXICO. (Abril de 2024). *Factores que influyen en la resistencia a la compresión del concreto*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2024, de concretosolido.mx: <https://www.concretosolido.mx/factores-que-influyen-en-la-resistencia-a-la-compresion-del-concreto/>
- telencuestas. (2024). *Población de Girardot en 2024*. Recuperado el 25 de abril de 2026, de Telencuestas: <https://telencuestas.com/censos-de-poblacion/colombia/2024/cundinamarca/girardot>
- Toirac, C. J. (1 de Marzo de 2004). *Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención*. Obtenido de Ciencia y Sociedad: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87029104.pdf>
- Tomas, A., Fadimatu, N., Benjamin, A., & Yahaya, S. (16 de Julio de 2025). *MDPI*. Obtenido de Extracción de lignina del aserrín (*Chlorophora excelsa*): <https://www.mdpi.com/2673-4583/17/1/2>
- Torres, D., Morales, S., & Quintero, J. (Diciembre de 2017). *Chemical petreatments evaluation on lignocellulosic materials*. Obtenido de Scielo: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052017000400733
- Trinidad, L. C., Vega, R. L., Rendón, C. C., & Tobón, R. S. (01 de Junio de 2021). *Caracterización de los residuos de la industria maderera para su aprovechamiento en diferentes aplicaciones*. Obtenido de SCIELO: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612020000100104
- Universidad Distrital FRANCISCO JOSE DE CLADAS. (04 de Octubre de 2017). *GUÍA DE LABORATORIO PARA ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO*. Obtenido de Universidad Distrital FRANCISCO JOSE DE CLADAS: <https://ftecnologica.udistrital.edu.co/laboratorios/civiles/sites/lab-civiles/files/practica/2023-06/EXUDACI%C3%93N%20DEL%20CONCRETO.pdf>
- VALMET. (s.f.). *Usos de la lignina*. Recuperado el 24 de abril de 2026, de Valmet: <https://www.valmet.com/pulp/other-value-adding-processes/lignin-extraction/lignin-uses/>
- Vargas, C., Urrego, W., & Mena, J. (8 de febrero de 2023). *Desempeño Mecánico de Compuestos de Madera Plástica de Matriz Poliolefínica*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492022000100265
- Vignote, S., & Martinez, I. (2006). *Tecnología de la madera*. Madrid: Mundi-presa.
- Wang, J., & Yanan, Y. (11 de Octubre de 2021). *Especies de Clostridium para la producción fermentativa de hidrógeno: una visión general*. Obtenido de Science direct: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/lignocellulosic-biomass>
- Weather Spark. (2016). *Weather Spark*. Recuperado el 02 de 04 de 2026, de El clima y el tiempo promedio en todo el año en Girardot City Colombia: <https://es.weatherspark.com/y/23366/Clima-promedio-en-Girardot-City-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=En%20Girardot%20City%2C%20los%20veranos%20son%20cortos%2C,o%20sube%20a%20m%C3%A1s%20de%2038%20%C2%B0C.>
- Wilson, M. S. (Diciembre de 2016). *El curado del concreto en la construcción*. Recuperado el 08 de 09 de 2025, de Universidad Santo Tomás: <https://revistas.santototunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1368/1267>