

Análisis del comportamiento mecánico del concreto al adicionar residuos de fibras
de caña de azúcar

Por

Juan David Navia Hernández

Proyecto de Grado para optar al Título de Ingeniero Civil

Aprobado por:

Ing. Gabriel Santiago Silva Vega



Universidad Santo Tomas
Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá

2022

Tabla de Contenido

1. Análisis del comportamiento mecánico del concreto al adicionar residuos de fibras de caña de azúcar.....	8
2. Resumen	8
3. Abstract	8
4. Objetivo General.....	9
4.1. Objetivos Específicos.....	9
5. Descripción.....	9
6. Pregunta de Investigación.....	9
7. Hipótesis	9
8. Marco Teórico.....	9
8.1. Elaboración de muestras	9
8.2. Curado Inicial	10
8.3. Desencofrado	10
8.4. Curado Final	10
8.5. Método de Ensayo para la Determinación de la resistencia a la compresión de Cilindros de Concreto	11
8.6. Velocidad de la carga.....	12
8.7. Método de Ensayo para la Determinación de la Resistencia a la Tracción.	13
8.8. Método de Ensayo para la Determinación de la Durabilidad.....	14
8.9. Método de Ensayo para la Determinación de la Manejabilidad.....	16
8.10. Método de Ensayo para la Determinación de la Flexión.	17
8.11. Método de Ensayo para la Determinación del Fraguado.	17
8.12. Fibras.....	17
8.12.1 Fibras Naturales	18
8.13. Caracterización de la caña de azúcar	18
9. Metodología.....	19
9.1. Procedimiento secado 1 a la fibra.....	22
9.2. Procedimiento secado 2 a la fibra.....	22
9.2.1. Fibra + parafina método 1	23
9.2.2. Fibra + parafina método 2	23
9.2.3. Fibra + parafina método 3	23
9.2.4. Fibra + parafina método 4	23
9.2.5. Fibra + parafina método 5	23
9.3. Separación del material.....	23
9.4. Tiempos de mezcla del material	24
9.5. Mortero.....	25
9.6. Calorimetría.....	25
9.7. Absorción de energía	26
10. Impacto del Proyecto.....	26
11. Delimitación	26
11.1. Alcance.....	26
11.2. Limitantes.....	26
12. Justificación.....	26
13. Cantidades	26
14. Datos Materiales Mezcla de Concreto	28
14.1. Agregado Grueso	28
14.2. Agregado Fino	29
14.3. Cemento	31
14.4. Bagazo Caña de Azúcar	32
15. Cronograma	33
16. Resultados procedimiento de secado 1.....	35

16.1.	Humedad	35
16.2.	Asentamientos	35
16.3.	Masa unitaria	36
16.4.	Contenido de Aire.....	37
16.5.	Tiempo de fraguado.....	38
16.6.	Fluidez del mortero.....	38
16.7.	Compresión	38
16.8.	Tracción.....	44
16.9.	Módulo de rotura	47
16.10.	Módulo de elasticidad	48
16.11.	Absorción de energía	48
17.	Resultados procedimiento de secado 2 (CBP).....	50
17.1.	Pruebas Parafina	50
17.1.1.	Fibra	50
17.1.2.	Fibra + parafina método 1	51
17.1.3.	Fibra + Parafina método 2.....	53
17.1.4.	Fibra + parafina método 3.....	53
17.1.5.	Fibra + parafina método 4.....	54
17.1.6.	Fibra + parafina método 5.....	55
17.2.	Asentamiento	56
17.3.	Masa unitaria	56
17.4.	Contenido de aire.....	56
17.5.	Tiempo de fraguado.....	56
17.6.	Compresión	57
17.7.	Tracción.....	57
17.8.	Módulo de ruptura	58
17.9.	Módulo de elasticidad	58
17.10.	Absorción de energía	58
18.	Análisis de resultados procedimiento de secado 1	58
18.1.	Asentamiento	58
18.2.	Contenido de aire.....	58
18.3.	Fraguado.....	58
18.4.	Calorimetría.....	59
18.5.	Compresión	61
18.6.	Tracción.....	63
18.7.	Módulo de rotura	65
18.8.	Módulo de elasticidad	66
18.9.	Absorción de energía	66
19.	Análisis de resultados procedimiento de secado 2	67
19.1.	Pruebas parafina	67
19.2.	Contenido de aire.....	67
19.3.	Fraguado.....	67
19.4.	Calorimetría.....	67
19.5.	Compresión	70
19.6.	Tracción.....	72
19.7.	Módulo de rotura	73
19.8.	Absorción de energía	74
20.	Conclusiones.....	74
21.	Referencias	75
22.	Bibliografía.....	76
23.	Anexos.....	79

Lista de Tablas

Tabla 1. Edad de ensayo de los Especímenes	12
Tabla 2. “Valores límite para composición y propiedades del concreto”	16
Tabla 3. “propiedades típicas del bagazo de caña de azúcar”	19
Tabla 4. “Propiedades mecánicas del bagazo de caña de azúcar”.	19
Tabla 5. Material necesario para un m ³ de concreto con bagazo.	19
Tabla 6. Material necesario para un m ³ de concreto.	20
Tabla 7. Agua y contenido de agua para diferentes asentamientos y tamaño nominal del agregado	20
Tabla 8. Relación agua cemento y esfuerzo de compresión del concreto	21
Tabla 9. Cantidad de especímenes para ensayo de compresión.....	21
Tabla 10. Cantidad de especímenes para ensayo de tracción.....	22
Tabla 11. Cantidad de especímenes para viguetas.	22
Tabla 12. Mortero con fibra	25
Tabla 13. Mortero sin fibra	25
Tabla 14. Calculo de volúmenes para elaboración de concreto	27
Tabla 15. Proporción de material concreto con bagazo	27
Tabla 16. Proporción de material concreto.	27
Tabla 17. Granulometría grava	28
Tabla 18. Granulometría agregado fino	30
Tabla 19. Especificaciones técnicas cemento	32
Tabla 20. Cronograma concreto con bagazo.....	34
Tabla 21. Cronograma concreto normal.....	35
Tabla 22. Toma de datos compresión a 3 días CB.....	39
Tabla 23. Toma de datos compresión CB a 7 días	41
Tabla 24. Resultados compresión CB 14 días.....	43
Tabla 25. Resultados compresión CB a 28 días.....	43
Tabla 26. Resultado compresión especímenes CN a 1 día y 3 días	43
Tabla 27. Resultado compresión especímenes CN a 7 y 14 días	44
Tabla 28. Resultado compresión especímenes CN a 28 días.	44
Tabla 29. Datos obtenidos ensayo tracción especímenes CB 14 y 28 días.....	46
Tabla 30. Resultados ensayo tracción espécimen concreto convencional 1 día, 3 y 7 días	47
Tabla 31. Resultados ensayo tracción espécimen concreto convencional a 14 días y 28 días.	47
Tabla 32. Valores módulo de ruptura viguetas concreto convencional a 7 y 28 días.	48
Tabla 33. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado testigo	51
Tabla 34. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado metodo 1.	52
Tabla 35. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado metodo 2.	53
Tabla 36. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado metodo 3.	53
Tabla 37. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado método 4.	54
Tabla 38. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado método 5.	55
Tabla 39. Toma de datos compresión 1 día y 3 días CBP.....	57
Tabla 40. Toma de datos compresión 7 días y 14 días CBP	57
Tabla 41. Datos compresión 28 días CBP.....	57
Tabla 42. Datos obtenidos ensayo tracción especímenes CBP 1 día, 3 días y 7 días	57

Tabla 43. Datos obtenidos ensayo tracción especímenes CBP 14 días y 28 días.	58
Tabla 44. Valores módulo de ruptura VCBP a 7 y 28 días	58
Tabla 45. Resumen Valores obtenidos en compresión especímenes CN vs CB y rendimiento del CB	63
Tabla 46. Resumen valores de tracción especímenes CN vs CB y rendimiento	65
Tabla 47. Resumen valores módulo de rotura CN vs CB y su rendimiento	66
Tabla 48. Resumen valores de compresión CN vs CBP y su rendimiento	71
Tabla 49. Resumen valores de compresión CBP vs CB y su rendimiento	72
Tabla 50. Resumen valores tracción CN vs CBP y su rendimiento	73
Tabla 51. Resumen valores tracción CBP vs CB y su rendimiento	73
Tabla 52. Resumen valores módulo de rotura CN vs CBP y su rendimiento	74
Tabla 53. Resumen valores módulo de rotura CBP vs CB y su rendimiento	74
Tabla 54. Valores resistencias residuales a diferentes dosis para fibras sintéticas de Toxement	74

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. La resistencia del concreto aumenta con la edad	11
Ilustración 2. Esquema de los moldes de fractura típicos	13
Ilustración 3. Montaje para cilindros de concreto ensayo de tracción	14
Ilustración 4. Factores que afectan la durabilidad.....	15
Ilustración 5. Material separado.....	24
Ilustración 6. Viguetas con fibras de bagazo	25
Ilustración 7. Agregado grueso	28
Ilustración 8. Curva Granulometrica grava.....	29
Ilustración 9. Agregado fino	30
Ilustración 10. Curva granulométrica agregado fino.....	31
Ilustración 11. Muestra bagazo caña de azúcar.....	33
Ilustración 12. Fibra caracterizada longitud 5cm.....	33
Ilustración 13. Asentamiento concreto normal (sin adicciones)	36
Ilustración 14. Recipiente masa unitaria concreto con bagazo	37
Ilustración 15. contenido de aire concreto con fibras de caña	38
Ilustración 16. Espécimen de concreto con bagazo curado a 24 horas	38
Ilustración 17. Espécimen 1 CB.....	39
Ilustración 18. Espécimen CB 2.....	40
Ilustración 19. Espécimen CB 3.....	40
Ilustración 20. Espécimen CB 4.....	41
Ilustración 21. Espécimen CB 5.....	42
Ilustración 22. Espécimen CB 6.....	42
Ilustración 23. Configuración maquina de ensayo	43
Ilustración 24. Ensayo de tracción CB.....	44
Ilustración 25. Grafica carga vs tiempo ensayo de tracción.....	45
Ilustración 26. Composición interna CB.....	45
Ilustración 27. Composición interna espécimen CB a 28 días.....	46
Ilustración 28. Falla de VCB 1 Modulo de rotura.....	47
Ilustración 29. Composición interna espécimen VCB2 fallado a 28 días.....	48
Ilustración 30. Módulo de elasticidad espécimen CB	48
Ilustración 31. VCB ensayo absorción de energía	49
Ilustración 32. grafica absorción de energía y sus resultados metodo ASTM C1609	49
Ilustración 33. Absorción de energía espécimen VCB 28 días de curado	50
Ilustración 34. Registro cambio color agua testigo	51
Ilustración 35. Registro cambio de color metodo 1.	52
Ilustración 36. Registro cambio de color, resultado metodo 2.....	53
Ilustración 37. Registro cambio de color. Metodo 3.....	54
Ilustración 38. Registro cambio de color. Método 4.....	55
Ilustración 39. Registro cambio de color. Método 5.....	56
Ilustración 40. Calorimetría mortero vs mortero bagazo	59
Ilustración 41. Comparación poder térmico mortero vs mortero fibras.....	60
Ilustración 42. Muestra mortero vs muestra fibras.....	60
Ilustración 43. Grafica carga vs tiempo cilindro bagazo a tres días.....	61
Ilustración 44. Grafica Carga especifica Vs Tiempo CB a siete días	62
Ilustración 45. Comparacion graficca f'c CN vs CB	63

Ilustración 46. Tracción a siete días de curado	64
Ilustración 47. Grafica comparación resultados de tracción CN vs CB.....	64
Ilustración 48. Grafica modulo de rotura VCB	65
Ilustración 49. Comparacion Modulo de rotura CN vs CB.....	66
Ilustración 50. Grafica calorimetría mortero vs mortero con fibras de caña + parafina vs mortero fibras de caña + parafina + plastol.	68
Ilustración 51. Grafica calorimetria mortero vs mortero fibra de caña vs mortero fibras de caña + plastol vs mortero con fibras de caña + parafina vs mortero fibras de caña + parafina + plastol.....	69
Ilustración 52. Grafica resistencias estimadas de morteros mediante calorimetría.	70
Ilustración 53. Grafica Comparación CN vs CB vs CBP.....	71
Ilustración 54. Grafica comparación valores de tracción en los especímenes CN vs CB vs CBP	72
Ilustración 55. Grafica Comparación modulo de rotura CN vs CB vs CBP	73
Ilustración 56. Grafica comparación $f'c$ CN vs CB vs CTUFS vs CBP	80

1. Análisis del comportamiento mecánico del concreto al adicionar residuos de fibras de caña de azúcar.

2. Resumen

Este trabajo se realizó con el fin de realizar un análisis en la eficiencia de un concreto convencional en relación con un concreto de fibra-refuerzo (bagazo de caña), donde la mezcla de concreto convencional y con fibra tienen el mismo porcentaje de agua, cemento y grava, solo varia el agregado fino que es el que disminuye al agregar el bagazo en el concreto en una dosis de 6 kg/m³, pero a pesar de esto ambos concretos son diseñados para llegar a la misma capacidad de resistencia ultima.

Luego de realizar la dosificación se realiza la mezcla y se funde el concreto y se esperan los días de curado (1,3,7,14,28) respectivos para cada ensayo (Compresión, Tracción, módulo de elasticidad, módulo de rotura), para que de esta forma se pueda realizar el análisis del comportamiento mecánico entre un concreto convencional y el concreto con adiciones de bagazo.

Además de estos se realizó una comparación del desempeño entre la fibra natural y una fibra sintética (TUF STRAND SF LANZADO). Esto con el fin de analizar el potencial de la fibra natural para el mercado, por medio del análisis 1 a 1, en ambas se utilizaron el mismo diseño.

Se presento la problemática del adecuado curado de la fibra de caña, ya que la absorción de agua de esta fibra es alta y la existencia de la hemicelulosa (azúcar) esto afectaba negativamente los especímenes, por lo cual se realizaron dos procedimientos de secado a la fibra, con el fin de ajustar este efecto de la fibra en el concreto.

3. Abstract

This work was carried out in order to perform an analysis on the efficiency of a conventional concrete in relation to a fiber-reinforcement concrete (cane bagasse), where the mixture of conventional concrete and with fiber have the same percentage of water, cement and gravel, only the fine aggregate that was the one that decreases by adding the bagasse to the concrete varies in a dose of 6 kg/m³, but in spite of this both concrete is designed to reach the same ultimate endurance capacity.

After the dosing, the mixture is made and the concrete is melted and the respective curing days (1,3,7,14,28) are expected for each test (compression, traction, elasticity module, break module), so that the analysis of the mechanical behavior between conventional concrete and concrete with bagasse additions can be carried out in this way.

In addition to these, a performance comparison was made between the natural fiber and a synthetic fiber (TUF STRAND SF LAUNCHED). This in order to analyze the potential of natural fiber for the market, through the 1 to 1 analysis, in both the same design was used.

The problem of proper curing of cane fiber was presented, since the absorption of water from this fiber is high and the existence of hemicellulose (sugar) this negatively affected the specimens, so two drying procedures were performed to the fiber, in order to adjust this effect of the fiber in the concrete.

4. Objetivo General

Comparar las características de un concreto con residuos de caña de azúcar y un concreto convencional por medio de sus propiedades mecánicas, su costo de fabricación e impacto medio ambiental.

4.1. Objetivos Específicos

- Caracterización de la fibra de caña de azúcar que será adicionada a la mezcla de concreto. (Relación aspecto vs fibras sintéticas)
- Caracterización de un concreto Convencional. (Asentamiento, Contenido de aire, Tiempo de fraguado, Resistencias compresión, flexión)

5. Descripción

Los departamentos del Valle del Cauca y Cauca son conocidos por su gran cantidad de cultivos de caña de azúcar (cañales), con los cuales los ingenios al procesar esa caña de azúcar generan una gran cantidad de residuos que no son utilizados como lo es la fibra de la caña de azúcar, los cuales son quemados para su rápido y económico desecho, por lo cual se plantea comparar la calidad del concreto con adición del bagazo y estudiar su comportamiento y poder comprobar, si puede ser usado en elementos estructurales para que pueda ser usado en viviendas para personas de bajos recursos y veredas del municipio de Puerto Tejada, Cauca con esta mezcla, además esta alternativa provocaría el beneficio de valorizar el desecho y contribuiría a la reducción de gases de efecto invernadero que se generan durante la fabricación del cemento e incineración del bagazo de la caña.

6. Pregunta de Investigación

¿La inclusión de fibras de caña de azúcar como una alternativa de refuerzo en diferentes tamaños de fibras, pero misma longitud y diferentes tiempos de curado de los especímenes de concreto, podrá proporcionar características mecánicas necesarias aptas para ser utilizadas en el sistema constructivo y mejorar o igualar las de un concreto convencional, para llevar a cabo un proceso de integración y desarrollo sostenible?

7. Hipótesis

En la presente investigación se tiene como premisa evaluar la eficiencia de la inclusión de residuos de fibras de caña de azúcar en el concreto (concretos fibroreforzados), para impulsar el desarrollo sostenible, donde la fibra de la caña pueda comportarse como una alternativa de refuerzo en mezclas de concreto y posteriores pruebas mecánicas, esperando que pueda estar y superar el rango “210-280 Kg/cm² (20.59-27.45 MPa)” que es el rango requerido de compresibilidad admisible para concretos normales.

8. Marco Teórico

8.1. Elaboración de muestras

La fabricación del material (Especímenes Cilíndricos) se realiza con base a la norma técnica colombiana 1377.

“Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. La cual establece los parámetros de manufactura de cilindros de concreto (deben tener un mínimo de 50mm de diámetro y 100mm de longitud y por lo general al establecer la comparación

de cilindros hechos en obra, los cilindros deben ser de 150mm de diámetro y 300mm de longitud) tomados como muestras representativas para la posterior determinación de su resistencia a la compresión”. (ICONTEC, 1994).

“El número de especímenes de cilindros dependen del procedimiento establecido y la naturaleza del ensayo, usualmente se moldean tres o más muestras para cada edad o condición. Antes de usar los moldes se deben impregnar de aceite mineral”. (ICONTEC, 1994).

Antes de realizar la mezcla, de acuerdo con la norma (ASTM E 171), “los materiales se deben llevar a una temperatura ambiente entre 20-30°C. El cemento se debe pasar por un tamiz U.S Estándar” (ICONTEC) “No.20 o uno más fino con el fin de remover cualquier grumo. Los agregados finos o gruesos se deben mantener en una condición saturada y superficialmente seca hasta que se pesen para su utilización. Los aparatos de mezcla deben estar completamente limpios para garantizar las adiciones químicas. También es recomendable humedecer con agua las herramientas que van a estar en contacto con el concreto antes de iniciar el procedimiento”. (ICONTEC, 1994).

8.2. Curado Inicial

“El almacenamiento durante las primeras 48h de curado debe hacerse en un ambiente libre de vibraciones. Los especímenes para ensayos de resistencia a la flexión se curan de acuerdo con los numerales 7.1 y 7.2, Excepto que se deben sumergir en una solución saturada de cal a $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 20h mediatamente antes del ensayo, en el sitio de almacenamiento.” (ASTM. Año 2009, C 31).

8.3. Desencofrado

“Después de 24 horas se desmoldarán los cilindros e inmediatamente serán sumergidos en un tanque de curado con agua libre a temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.” (ASTM. Año 2009, C 31).

8.4. Curado Final

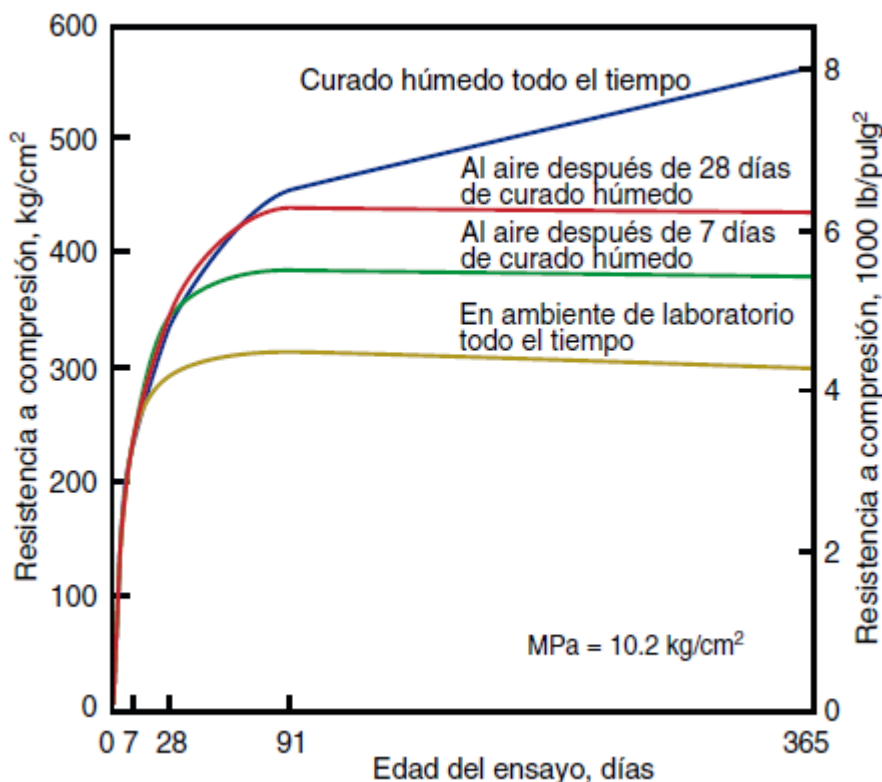
“Al completar el curado inicial y dentro de los 30 minutos después de quitar los moldes, cure los especímenes con agua libre mantenida sobre sus superficies todo el tiempo a una temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$. Utilizando tanques de almacenamiento de agua o cuartos húmedos que cumplan con los requisitos de la especificación C 511. Las vigas serán curadas igual que los cilindros excepto que ellas deben ser almacenadas en agua saturada con hidróxido de calcio a $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ al menos 20 h antes de ser ensayadas. El secado de las superficies de la viga debe ser evitado entre que se saca del almacenamiento de agua y la finalización de los ensayos. Los especímenes de concreto fueron retirados de los tanques de agua a los 11 días; Se secaron con lanillas de manera sencilla y se procedió a hacer la realización de los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.” Esto de acuerdo a lo indicado por la norma (ASTM. Año 2009, C 31).

“Pare el número de muestras y el número de cargas de ensayo la norma indica que estos se basan en un procedimiento establecido y en la naturaleza del programa de ensayo. Usualmente, se moldean tres o más muestras para cada edad de ensayo.” (ASTM. Año 2009, C 31).

Según la norma (NTC 550. 2017) “Las edades de ensayo usadas más a menudo son 7 días y 28 días para ensayos de resistencia a la compresión o 14 días y 28 días para ensayos de resistencia a la flexión. Los especímenes que contengan cemento tipo 3 se ensayan frecuentemente a 1 día, 3 días, 7 días y 28 días Para ensayos a edades más avanzadas, normalmente las más usadas son 3

meses, 6 meses y un año, tanto para ensayos de resistencia a la compresión como a la flexión. Se pueden requerir otras edades de ensayo para otros tipos de especímenes.”

Ilustración 1 La resistencia del concreto aumenta con la edad



Nota 1. Información tomada de NTC 550

Los ensayos que se realizarán para evaluar la eficiencia del concreto y realizar la correspondiente comparativa son los ensayos a la compresión, tensión, tracción, durabilidad y manejabilidad.

8.5. Método de Ensayo para la Determinación de la resistencia a la compresión de Cilindros de Concreto

“Este método de ensayo es usado para determinar la resistencia a la compresión de especímenes de cilindros preparados y curados” de acuerdo con las normas (NTC 1377) y (ASTM C 31). “El ensayo de resistencia a la compresión de especímenes curados en ambiente húmedo se debe efectuar inmediatamente después de retirar los elementos del recinto húmedo. Los especímenes de ensayo deben ser mantenidos húmedos por cualquier método conveniente durante el periodo en que se sacan del almacenamiento húmedo y el ensayo. Todos los especímenes de ensayo para una edad dada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisible”, descritas a continuación:

Tabla 1. Edad de ensayo de los Especímenes

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 h	$\pm 0,5$ h o 2,1 %
3 d	2 h o 2,8 %
7 d	6 h o 3,6 %
28 d	20 h o 3,0 %
90 d	2 d o 2,2 %

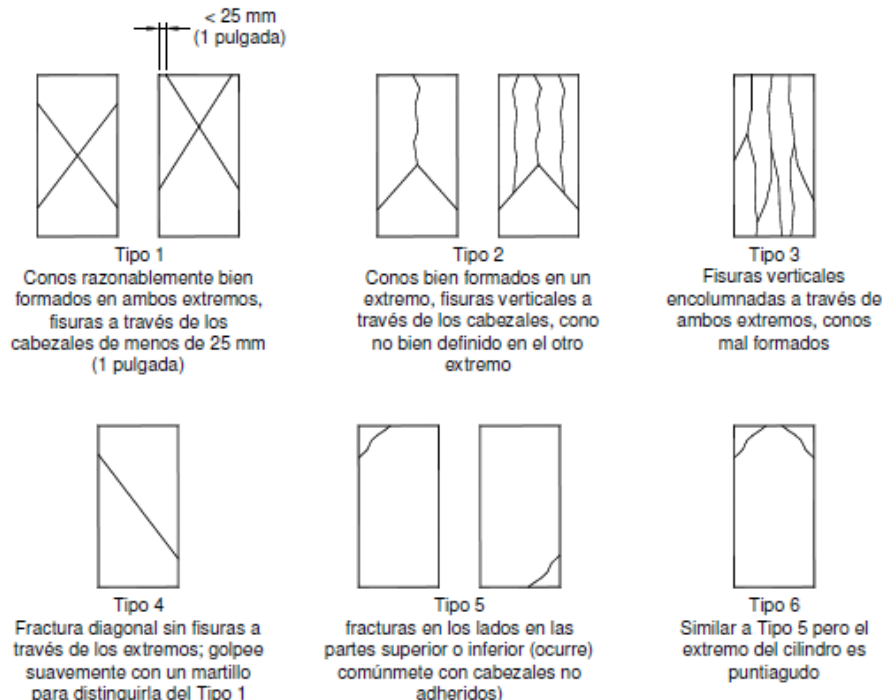
Nota 2. Información Tomada de NTC 1377**8.6. Velocidad de la carga**

“Se aplica la carga continuamente y sin impactos. La carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento medida desde la platina de la cruceta correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \text{ MPa/s} \pm 0,005 \text{ MPa/s}$. La velocidad del movimiento designada debe ser mantenida al menos durante la última mitad de la fase de carga anticipada. Cuando esté siendo alcanzada la última carga, la velocidad de esfuerzo decrece debido a la fractura en el espécimen”. (NTC 1377, 2010).

“Aplique la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que la carga está decreciendo constantemente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido. Una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, no se debe apagar automáticamente hasta que la carga registre un valor menor que el 95% de la carga pico. Continúe comprimiendo el espécimen hasta que este seguro de que ha alcanzado la capacidad ultima”.

Cuando se presenta falla se reporta la carga máxima que soporto el espécimen y el tipo de fractura que presento de acuerdo con la imagen que nos indica la norma (NTC 1377, 2010).

Ilustración 2. Esquema de los moldes de fractura típicos



Nota 3. Información tomada de NTC 1377 (2010)

8.7. Método de Ensayo para la Determinación de la Resistencia a la Tracción.

Según la NTC 722 este método de ensayo determina la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto.

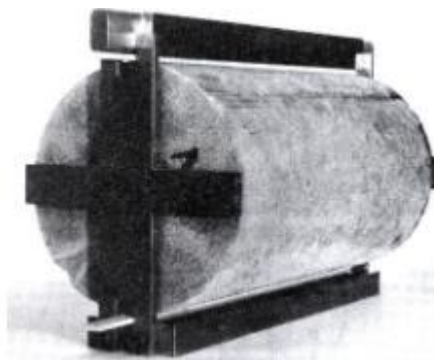
“este ensayo consiste en la aplicación de una fuerza de compresión diametral en la longitud de un espécimen de concreto cilíndrico a una velocidad que se encuentra dentro del intervalo prescrito hasta que ocurra la falla. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada. Ocurre falla por tensión, no por compresión, debido a que las áreas de aplicación de carga se encuentran en estado de compresión triaxial, lo que les permite soportar esfuerzos de compresión mayores que los indicados en el resultado del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial” (NTC 722, 2000).

“La resistencia a la tensión indirecta se usa para evaluar la resistencia al corte alcanzado por el concreto en elementos de concreto reforzado, fabricados con agregado liviano.” (NTC 722, 2000)

“Los especímenes de ensayo deben cumplir con los requisitos de tamaño, moldeo y curado” establecidos en la (NTC 550) - (ASTM C31) ó (NTC 1377) - (ASTM C192). “Los núcleos extraídos deben cumplir con los requisitos de tamaño y curado” establecidos en la (NTC 3658) - (ASTM C42). “Los especímenes curados en ambiente húmedo, durante el período comprendido

entre la remoción del ambiente de curado y el ensayo, deben mantenerse húmedos empleando un paño tejido y ensayarse en este estado tan pronto como sea posible.” (NTC 3357, 2006)

Ilustración 3. Montaje para cilindros de concreto ensayo de tracción



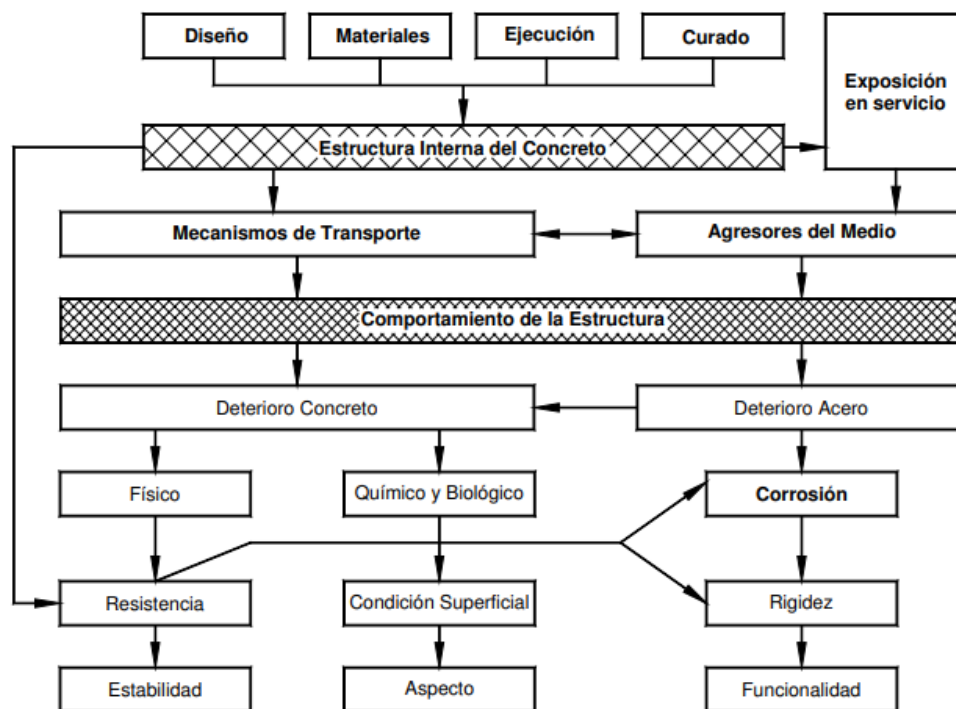
Nota 4. Información tomada de NTC 722 (2000)

“La resistencia a la tensión (resistencia a tracción) directa del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de la resistencia a compresión y se estima normalmente como 0.4 a 0.7 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en MPa o de 1.3 a 2.2 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cúbicos (5 a 7.5 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada)”. (NTC 722, 2000)

8.8. Método de Ensayo para la Determinación de la Durabilidad.

“La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto”, esto según la (NTC 5551, 2007)

Ilustración 4. Factores que afectan la durabilidad



Nota 5. Información tomada de NTC 5551

El concreto y su estructura interna “dependerá de estos cuatro factores fundamentales:

- Diseño de la estructura: en la cual incide el dimensionamiento, los cálculos, los tipos de agresores en el medio, dimensionamiento del recubrimiento, el tipo de materiales, tipo y frecuencia del mantenimiento.
- Materiales: uso de materiales adecuados y control de calidad.
- Ejecución: buen sistema constructivo, transporte, colocación y adecuado vibrado.
- Curado: etapa en de gran importancia para la durabilidad de la estructura.” (NTC 5551, 2007)

Tabla 2. “Valores límite para composición y propiedades del concreto”

		Clase																
		1			2			3			4			5	6			7
		1	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	4,1	4,2	4,3		6,1	6,2	6,3			
Parámetro	Subclases	1	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	4,1	4,2	4,3		6,1	6,2	6,3			
Máxima relación a/m.c.	Concreto no reforzado	0,65	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,45	0,5	0,5	0,45	0,5		
Máxima relación a/m.c.	Concreto reforzado	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,55	0,55	0,45	0,45	0,5	0,45	0,45	0,5		
Máxima relación a/m.c.	Concreto preesforzado	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,5		
Resistencia especificada mínima a compresión MPa		---	24	28	28	28	35	35	28	28	35	31	31	35	35	28		
Contenido mínimo de material cementante (kg/m³)	Concreto no reforzado	200	----	----	----	----	----	----	----	----	----	275	275	300	325	275		
Contenido mínimo de material cementante (kg/m³)	Concreto reforzado	250	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300		
Contenido mínimo de material cementante (kg/m³)	Concreto preesforzado	275	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300		
Contenido de aire incorporado mínimo (%)									**	**	**	**	**	**	**			
Otros requerimientos													*	*	*			

* Cemento resistente a sulfatos (Tipo II, Tipo V) o una adecuada dosis de microsilica o cemento adicionado que cumpla con las normas.

** Según Tabla 4 relación a/m.c. = relación agua / material cementante

Nota 6. Información tomada de NTC5551 (2007)

8.9. Método de Ensayo para la Determinación de la Manejabilidad.

Este método consiste en la evaluación y análisis del material y cómo se comporta su colocación, consolidación y el grado que resiste a la segregación, ya que el concreto debe ser manejable y sus materiales no deben separarse durante su transporte a obra.

“El grado de manejabilidad o trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad.” (ACI 211)

“Los factores que influyen en la manejabilidad del concreto son: (1) el método y la duración del transporte; (2) cantidad y características de los materiales cementantes; (3) consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento); (4) tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos; (5) aire incluido (aire incorporado); (6) cantidad de agua; (7) temperatura del concreto y del aire y (8) aditivos.” (ACI 211)

8.10. Método de Ensayo para la Determinación de la Flexión.

De acuerdo con la (NTC 2871, 2004) “Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso de una viga simple con carga en los tercios medios. Los resultados se calculan y reportan como el módulo de rotura. El espécimen con unas dimensiones de 150mm de altura por 150mm de ancho, con una longitud de 520 mm, se aplica una carga entre el 3 % y el 6 % de la carga última estimada.”

“Se carga el espécimen continuamente y sin impactos. La carga se debe aplicar a una tasa constante hasta el punto de rotura. La carga se aplica a una tasa que incremente en forma constante el esfuerzo extremo de la fibra entre 0,86 MPa/min y 1,21 MPa/min.” (NTC 2871, 2004)

8.11. Método de Ensayo para la Determinación del Fraguado.

Con base a la (NTC 3357, 2006) “Se basa en la determinación de la temperatura de mezclas de concreto y su capacidad de los agregados para transferir el calor al mortero y con el fin de determinar si una muestra fragua más rápido y como afectan sus agregados o aditivos en este proceso.”

8.12. Fibras

Las fibras se usaron durante mucho tiempo como material de construcción. “Las fibras de acero, plástico, vidrio y materiales naturales están disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesor; pueden ser cilíndricas, llanas, onduladas y deformadas con longitud típica de 60 mm a 150 mm y espesor variando de 0.005 mm a 0.75 mm.” (Eucomex, 2016)

“Estas se adicionan al concreto en el proceso de mezclado de material. Los principales factores que inciden en el desempeño del material son:

- Propiedades físicas de las fibras y de la matriz
- Resistencia de adherencia entre la fibra y la matriz.” (Eucomex, 2016)

Algunas diferencias que existen en los refuerzos convencionales y en los sistemas con fibras:

- “Las fibras se distribuyen aleatoriamente por toda la sección transversal, mientras que las barras de refuerzo se ponen sólo donde son necesarias.
- La mayoría de las fibras son relativamente cortas y poco espaciadas si comparadas a las barras continuas de refuerzo.
- Generalmente no es posible lograrse la misma relación de área de refuerzo- área de concreto con el uso de fibras si comparado a la red de refuerzo con barras.” (ACI 544, 1997)

“Las fibras se adicionan al concreto en general en bajos volúmenes frecuentemente menos del 1% y han mostrado eficiencia en el control de la fisuración por retracción. empleadas en cantidades adecuadas, pueden aumentar la resistencia al agrietamiento y disminuir la abertura de las fisuras” (Shah, Weiss e Yang 1998). “En las dosis elevadas, sin embargo, las fibras pueden proporcionar endurecimiento por deformación y aumentar la resistencia a la flexión final.” (Eucomex, 2016).

“Las microfibras se utilizan generalmente para el control de agrietamiento por contracción plástica y por lo general no añaden ninguna capacidad estructural a una sección concreta. Estas fibras son relativamente finas con un diámetro en el intervalo de 0,0008 a 0,002 pulgadas (0,02 a

0,05 mm) y una longitud en un intervalo típico de $\frac{1}{4}$ -1 pulgada (6-25 mm). Las Macro fibras de acero o sintéticas se utilizan para controlar las grietas por contracción / temperatura, así como proporcionar capacidad de carga post-agrietamiento de los elementos de concreto sometidos a flexión y tensión para reemplazar malla de alambre y barras de refuerzo de acero ligero para ciertas aplicaciones. Estas fibras son relativamente gruesas con diámetros en el intervalo de 0,02 hasta 0,03 pulgadas (0,5-0,7 mm) y una longitud en un intervalo típico de $\frac{3}{4}$ -2 pulgadas (19-50 mm)". (Eucomex, 2016)

8.12.1 Fibras Naturales

"Las fibras naturales se han usado como una forma de refuerzo desde mucho tiempo antes de la llegada de la armadura convencional de concreto. Los ladrillos de barro reforzados con paja y morteros reforzados con crin de caballo son unos pocos ejemplos de cómo las fibras naturales se usaron como una forma de refuerzo. Muchos materiales de refuerzo natural se pueden obtener con bajos niveles de costes y energía, usando la mano de obra y la pericia disponibles en la región. Estas fibras se usan en la producción de concretos con bajo contenido de fibras y, ocasionalmente, se han usado en planchas finas de concreto con alto contenido de fibras". (Eucomex, 2016)

"A pesar de que los concretos producidos con fibras naturales no procesadas presentan propiedades mecánicas buenas, tienen algunos problemas de durabilidad. Muchas de estas fibras son altamente susceptibles a los cambios de volumen debido a variaciones de la humedad que contienen. Los cambios de volumen de las fibras que acompañan los de humedad pueden afectar drásticamente la resistencia de adherencia entre la fibra y la matriz." (ACI 544, 1997)

8.13. Caracterización de la caña de azúcar

"El bagazo de caña de azúcar está constituido por fibras lignocelulósicas que forman paredes de celda, con humedad absorbida y condensada, varios extractos y algunos componentes minerales. Estos componentes pueden variar para diferentes partes y especies de la planta, si bien la composición media suele estar en torno a los siguientes valores: celulosa 25-45 %, hemicelulosa 25-50 % y lignina 10-30 %" (Shafizadeh, 1983). El bagazo es un material de granulometría y formas variables.

Celulosa: "Es uno de los componentes esenciales de todas las fibras naturales, constituyen aproximadamente el 50% de la biomasa vegetal, en dependencia del tipo de planta. La celulosa es un polisacárido insoluble en agua, rígido y de peso molecular variable." (Castillo, 2017)

Hemicelulosa: "La hemicelulosa consta de un grupo de polisacáridos, excluyendo a la pectina, que permanecen asociados a la celulosa, cuando la lignina ha sido eliminada. Los polisacáridos son, en su mayor parte, azúcares distintos de la D- glucosa, A pesar de ser similares a la celulosa, las hemicelulosas son de menor masa molecular, exhiben mayor solubilidad en agua y presentan mayor facilidad para su extracción y descomposición". (Castillo, 2017)

Lignina. "Su función principal es la de actuar como agente cementante entre las fibras vegetales y como barrera ante la degradación enzimática de las paredes celulares; además le confiere al tallo resistencia a impactos, compresiones y flexiones. La lignina también aporta rigidez a la pared celular y le brinda protección tanto al ataque de sustancias químicas como a la acción de los microorganismos sobre la célula impidiendo la penetración de enzimas destructivas". Esto en base a (Castillo, 2017, págs. 36-40).

Tabla 3. “propiedades típicas del bagazo de caña de azúcar”

Longitud de la fibra (mm)	N/A
Diámetro de la fibra (mm)	0.0508-0.4064
Gravedad específica	1.5
Módulo de Elasticidad (MPa)	32956.95- 39989.61
Máxima resistencia a la tracción (MPa)	350-500
Absorción de agua (%)	40-45

Nota 7. Información adaptada de ACI 544 (1997)**Tabla 4. “Propiedades mecánicas del bagazo de caña de azúcar”.**

Diámetro promedio (mm)	Longitud Promedio (mm)	Absorción después de 24 h (%)	Densidad Promedio de la fibra (SG)	Resistencia a la tracción promedio (MPa)	Fuerza de unión promedio (MPa)
0.0508	35.052	122.5	0.639	24.61	0.248

Nota 8. Información adaptada de ACI 544 (1997)

9. Metodología

Se evaluará la eficiencia del concreto por medio de ensayos en cilindros de concreto con fibras de bagazo de caña de azúcar atreves de una probeta de control de 3”X 6” atreves de una mezcla de control en la cual se manejará la misma cantidad de agregado grueso, agregado fino, cemento y agua para cada probeta. por lo cual se utilizará una mezcla base para 1 m³ de concreto y en relación con esto se calculará la cantidad de litros de mezcla que se requieran para elaborar los especímenes para los ensayos, de acuerdo a esto para la preparación de la mezcla de concreto de un m³ serán necesarios para un f’c probable 28 días de 3000 PSI (20.68 MPa), con un porcentaje de 6% de fibras respecto al material que se necesite fundir.

Tabla 5. Material necesario para un m³ de concreto con bagazo.

Agua	186	kg/m ³
cemento	350	kg/m ³
arena	1000	kg/m ³
grava	600	kg/m ³
fibra bagazo	6	kg/m ³

Nota 9. Elaboración propia

Tabla 6. Material necesario para un m³ de concreto.

Agua	211	kg/m ³
cemento	350	kg/m ³
arena	1000	kg/m ³
grava	600	kg/m ³

Nota 10. Elaboración propia

En relación con lo anterior se puede observar que la inclusión de la fibra de bagazo en el concreto impacta en la disminución de la cantidad de agregado fino necesario para la elaboración del mismo.

Para tener en cuenta las dimensiones de los especímenes se utilizarán cilindros de 100mm x 200mm, unas viguetas de 150mm de altura por 150mm de ancho, con una longitud de 520 mm, con base a esto se calculará el volumen exacto que se necesitará para la elaboración de los especímenes para cada tipo de concreto.

Tabla 7. Agua y contenido de agua para diferentes asentamientos y tamaño nominal del agregado

TABLA A1.5.3.3 - REQUISITOS APROXIMADOS DE CONTENIDO DE AGUA Y AIRE DE LA MEZCLA PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS Y TAMAÑOS NOMINALES MÁXIMOS DE AGREGADOS (SI)								
Asentamiento (mm)	Agua, Kg/m ³ de concreto para tamaños nominales máximos de árido indicados							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
Concreto sin aire incorporado								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incorporado, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
porcentaje de contenido de aire total promedio recomendado para el nivel de exposición								
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Nota 11. Información adaptada de ACI 211

Tabla 8. Relación agua cemento y esfuerzo de compresión del concreto

Resistencia a la compresión a los 28 días, psi	Relación agua-cemento, por peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
6000	0.41	-
5000	0.48	0.40
4000	0.47	0.48
300	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Nota 12. Información adaptada de ACI 211

Estas tablas se utilizaron para elegir el asentamiento esperado con el tamaño máximo nominal del agregado que vamos a trabajar con el fin de obtener la cantidad de agua que debemos utilizar y por consiguiente la relación agua cemento para después obtener con estos dos valores la cantidad de material cementante que debemos utilizar.

Para adicionar estas fibras se procurará que todas tengan la misma longitud entre (19-50 mm) y se adicionará primero la mitad de la cantidad necesaria y se dejará mezclar durante 30 segundos y luego se agregará la otra mitad.

Los especímenes de cilindro se fallarán a 1, 3, 7 y 28 días de curado. Para las pruebas de compresión se denominarán los cilindros (1C) al concreto normal y (2CB) al concreto con bagazo, para este ensayo se tendrán dos especímenes de cada uno para cada día de curado necesario.

Tabla 9. Cantidad de especímenes para ensayo de compresión

CANT. ESPECIMEN PARA COMPRESION		
DIAS	1C	2CB
1	3	3
3	3	3
7	3	3
28	3	3

Nota 13. Elaboración propia

Para los especímenes cilíndricos necesarios para el ensayo de módulo de elasticidad se fallarán a los 28 días de curado. Los cilindros se denominarán (1EC) para concreto normal y (2ECB) para el concreto con bagazo, en este ensayo se fundirá un espécimen para cada tipo de concreto.

Para el ensayo de tracción los especímenes se fallarán a edades de 1, 3, 7 y 28 días de curado, los especímenes se denominarán (1TC) para la mezcla del concreto normal, (2TCB) para la mezcla del concreto con fibrorefuerzo.

Tabla 10. Cantidad de especímenes para ensayo de tracción.

CANT. ESPECIMEN PARA TRACCIÓN		
DIAS	1TC	2TCB
1	1	1
3	1	1
7	1	1
28	1	1

Nota 14. Elaboración propia

Para las viguetas se fallarán a edades de 7 y 28 días de curado, los especímenes se denominarán (1VC) para la mezcla de concreto convencional, (2VCB) para la mezcla de concreto con fibrorefuerzo.

Tabla 11. Cantidad de especímenes para viguetas.

CANT. ESPECIMEN VIGUETAS		
DIAS	1VC	2VCB
7	1	1
28	1	1

Nota 15. Elaboración propia

Generalmente, la adición de las fibras al concreto no aumenta significativamente la resistencia a compresión de este, pero por otro lado si aumenta la deformación por compresión en la carga ultima lo que nos puede indicar que aumente el módulo de elasticidad, por lo cual la resistencia a la compresión nos da un indicativo para realizar la dosificación del concreto, sin embargo, las mejoras que pueda presentar el concreto como la resistencia a flexión, la tenacidad, capacidad de deformación por tracción y resistencia al agrietamiento son directamente atribuibles a las fibras.

9.1. Procedimiento secado 1 a la fibra

La caña obtenida deberá ser lavada y secada a una temperatura entre 80-90 °C durante 24 horas, para eliminar cualquier sustancia química, microorganismo y con el fin de disminuir la celulosa y hemicelulosa que contiene la caña, buscando que la lignina cumpla su función de agente cementante y brinde la rigidez que se busca en el concreto.

Se realizará el cálculo de la relación aspecto para cada procedimiento de secado que consiste en dividir la longitud de la fibra en el diámetro de la fibra ($R=L/D$) esto permite saber cuánta fibra se debe poner en la mezcla. Entre menor sea la relación aspecto menor será la fibra que se deba agregar en kg.

9.2. Procedimiento secado 2 a la fibra

La fibra se someterá a una serie de pruebas para decidir cuál es la que nos brinda mejor solución a la absorción de agua y la liberación de azúcar al poner la fibra en contacto con el agua, por lo cual se basó en el uso de sustancias hidrófobas como en el trabajo de (Juarez alvarado, Rodriguez Lopez, & Rivera villarreal, 2003) del cual se utilizó la sustancia que mejor resultados les dio en su fibra natural de lechuguilla esta sustancia en particular fue la parafina.

Como no se tiene el conocimiento del comportamiento que tendrá la fibra con adicción de parafina, se realizaron 5 pruebas comparándolas con la fibra sin modificación, los cuales consistían en dos etapas.

La primera etapa consiste en el lavado y secado de la fibra de caña, con lo cual esta se lava con agua y se deja secar 24 horas en horno a una temperatura de 80°-90°. Para definir la segunda etapa y escoger la más eficiente se realizaron las 5 pruebas en las cuales los parámetros que se dejaron constantes fue el peso inicial de 5g, el peso de agua a adicionar y la relación fibra-parafina que consistía en por cada gramo de fibra agregar 12g de parafina, el procedimiento detallado de las 5 pruebas se encuentra a continuación:

9.2.1. Fibra + parafina método 1

Este método consiste en pesar la fibra seca para luego sumergirla en la parafina (en estado líquida previamente derretida en horno a temperatura de 110°C) la fibra se sumerge en la parafina y se deja en el horno 5 minutos a una temperatura de 110°C, pasado los 5 minutos se saca la fibra de la parafina y se toma el peso de la fibra, como siguiente paso se agrega la parafina al horno para dejarla secar 15 minutos con una temperatura de 100 - 110°C. luego de esto se saca la fibra del horno y en un dosificador se le agrega al agua y como último paso pasada 24 horas se toma el peso de la fibra y se toma evidencia fotográfica del cambio del color del agua.

9.2.2. Fibra + parafina método 2

El desarrollo de esta prueba se basa en pesar la fibra seca para sumergirla en parafina 40 minutos a una temperatura de 80°C luego de esto se saca la fibra se pesa y se pone a secar una hora en el horno a una temperatura de 80°C, para luego agregarla aun dosificador y agregarle agua para tomar el peso a las 24 horas y la evidencia fotográfica del cambio de color del agua.

9.2.3. Fibra + parafina método 3

Se pesa la fibra seca y se sumerge en parafina, luego de esto se introduce al horno a temperatura de 80°C y esta se deja 24 horas en el horno, al cumplirse este tiempo se saca la fibra se pesa y se deja secar en un dosificador 24 horas, luego de esto se le agrega el agua y en 24 horas se pesa la fibra y una fotografía para registrar el cambio de color del agua.

9.2.4. Fibra + parafina método 4

Se toma la parte externa de la fibra seca y se pesa para cumplir con el mismo procedimiento del método 3.

9.2.5. Fibra + parafina método 5

se pesan 5 g de la parte externa de la fibra y se le realiza nuevamente un lavado y se deja en agua y esta se introduce al horno 4 horas a temperatura de 80°C, transcurridas 2 horas se realiza cambio de agua, cumplidas las 4 horas acumuladas se cambia nuevamente el agua y se pone en la estufa dos horas, luego de esto se bota el agua y se deja secar la fibra en horno 24 horas a una temperatura de 80°C, luego de esto se pesa la fibra nuevamente y se repite el método 3.

9.3. Separación del material

Se extenderá el material para homogenizarlo y luego tomar la humedad del mismo y hacer las correcciones por humedad a las cantidades para la mezcla. Teniendo esto se pesa el material para mezclarlo agregando primero la grava, segundo la arena, tercero el cemento, como curato el agua y se mezcla.

Ilustración 5. Material separado



Nota 16. Elaboración propia

9.4. Tiempos de mezcla del material

Se mezcla el material 3 minutos, se deja reposar 2 minutos y para finalizar se mezcla otros 3 minutos. Luego de esto se procede a tomar el asentamiento del concreto, la masa unitaria y el contenido de aire, luego de esto se procede a fundir en las diferentes probetas.

Ilustración 6. Viguetas con fibras de bagazo



Nota 17. Elaboración propia

9.5. Mortero

Esto con el objetivo de realizar análisis de fluidez y posterior calorimetría, el material que se utilizó para realizar el mortero con bagazo fue:

Tabla 12. Mortero con fibra

Fibra de caña de azúcar	6 g
Cemento	500 g
Agua	250 g
Aditivo	1.05 g
Arena	1350 g
Relación agua/cemento	0.5

Nota 18. Elaboración propia

El material que se utilizó para realizar el mortero sin fibras fue de

Tabla 13. Mortero sin fibra

Cemento	500 g
Agua	250 g
Arena	1350 g
Relación agua/cemento	0.5

Nota 19. Elaboración propia

9.6. Calorimetría

Se decide realizar una réplica de los concretos que se elaboran, en morteros con el fin de observar el comportamiento que tiene la fibra con el cemento y compararlo con la mezcla de mortero sin fibra y de esta forma determinar con exactitud el tiempo de fraguado de ambas mezclas. En el cual se pesan 100g de mortero y se agregan en un dosificador y se introduce a la máquina y se desarrolla el ensayo, la cual también indicara las resistencias que tendrán estos morteros.

9.7. Absorción de energía

Se fallarán dos viguetas a la edad de 7 y 28 días de acuerdo con la ASTM C 1609-12 con el fin de evaluar el comportamiento a flexión del concreto reforzado con fibras, el cual nos proporciona las cargas máximas y los esfuerzos correspondientes, también el cálculo de las resistencias residuales y la tenacidad del espécimen. Esto con el fin de saber cómo actúan las fibras hasta el inicio de la fisuración y después de la fisuración.

10. Impacto del Proyecto

Este Proyecto tendrá un impacto en la disminución de generación de dióxido de carbono debido a la incineración del bagazo en las zonas azucareras, aportando al cuidado del medio ambiente y a la rama de investigación de “construcción sostenible” debido a la implementación de una fibra natural al concreto, con el fin de crear un proceso de integración y hacer el concreto más sostenible desde el punto de lograr disminuir el uso de algunos materiales para la elaboración y una opción de mejorar las propiedades del concreto con opciones más viables y menos nocivas para las personas y medio ambiente.

11. Delimitación

11.1. Alcance

Analizar como la implementación del bagazo de caña de azúcar al concreto, en una relación del 6% con respecto al material, para la realización de pruebas de comportamiento mecánico estén dentro del rango de concretos normales, para disminuir el costo por uso de acero en el concreto.

11.2. Limitantes

Obtener el bagazo de caña en Bogotá ya que su principal zona de cultivo se encuentra en el valle del cauca y en el cauca, conociendo esto, otro limitante es su transporte ya que puede perder sus propiedades al ser transportadas durante varias horas o días, o sufrir ataques de plagas/microorganismos, al fermentarse el material.

12. Justificación

Esta investigación se propone con el fin de disminuir el impacto ambiental negativo que genera la quema del bagazo de caña de azúcar, en la industria azucarera y mediante la incorporación de este en el concreto y analizar su comportamiento, con el fin de promover el desarrollo sostenible y nuevas alternativas de construcción implementando estrategias de reutilización de materias primas.

Cabe resaltar que al realizar esta investigación se toman en cuenta los objetivos sostenibles propuestos por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Objetivos como el desarrollo de Ciudades y comunidades sostenibles, la innovación de infraestructura, la producción y consumo responsable.

13. Cantidades

Se realizaron los cálculos correspondientes para la elaboración de los especímenes en total 32 cilindros y 8 viguetas para la realización de los ensayos necesarios, teniendo en cuenta y buscando la resistencia de los 3000 psi en los cilindros de concreto normales.

De los cuales 16 cilindros y 4 viguetas son con bagazo de caña y la otra mitad de estos son sin este aditivo.

Tabla 14. Cálculo de volúmenes para elaboración de concreto

CILINDRO		VIGETAS	
h	200,00 mm	h	150,00 mm
d	100,00 mm	b	150,00 mm
r	50,00 mm	L	520,00 mm
V	1570796,33 mm ³	V	11700000,00 mm ³
	1570,80 cm ³		11700,00 cm ³
	0,0016 m ³		0,0117 m ³
V total	0,0251 m ³	V total	0,0468 m ³
total, material		0,0719 m ³	

Nota 20. Elaboración propia

Con respecto a este volumen que se encontró en relación con la cantidad de material necesario, se realiza la dosificación de la mezcla para encontrar la cantidad necesaria para el volumen que necesitamos para evitar desperdicio de este.

Tabla 15. Proporción de material concreto con bagazo

	Agua	18.99	kg	8.25%
	R A/C	0,500		
	cemento	32.20	kg	15.85%
	arena	94.4	kg	47.58%
	grava	56.57	kg	27.81%
6%	fibra bagazo	552	g	0.27%
	total	202.712	Kg	100%

Nota 21. Elaboración propia

Para encontrar la cantidad necesaria de mezcla desde el concepto de cuanto material se necesitaría para elaborar 1 m³ y se sacó el porcentaje del material de acuerdo con el volumen máximo necesario, con el fin de que el concreto tenga una buena relación de cada material y lograr la resistencia deseada.

Tabla 16. Proporción de material concreto.

Agua	18.99	kg	8.27%
R A/C	0,500		

cemento	32.20	kg	15.89%
arena	94.4	kg	47.71%
grava	56.57	kg	27.88%
total	202.147	Kg	100%

Nota 22. Elaboración propia

14. Datos Materiales Mezcla de Concreto

Los valores obtenidos son de suma importancia ya que con estos datos se ajusta y se le hacen las respectivas correcciones a la mezcla ya sea por humedad o absorción, también se puede analizar si el material nos ayudara a obtener los datos que se esperan y se ajusta a lo que se necesita.

14.1. Agregado Grueso

Ilustración 7. Agregado grueso



Nota 23. Elaboración propia

14.1.1. Granulometría

La masa total seca de material tamizada fue de 2913.3 g

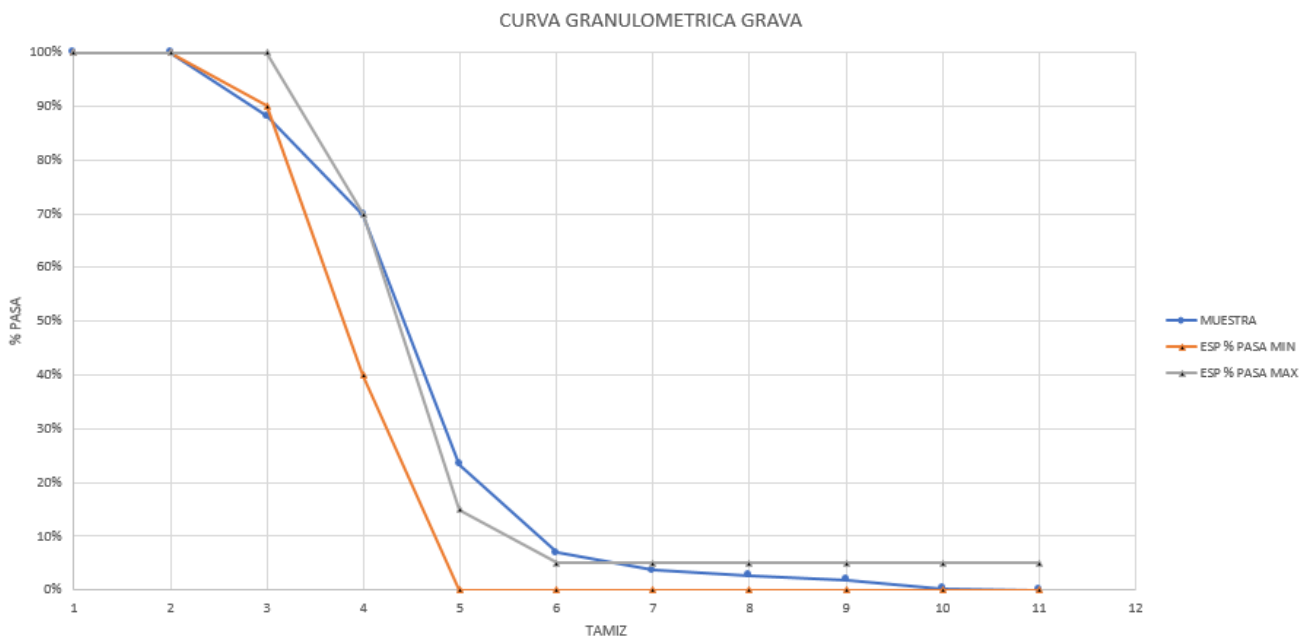
Tabla 17. Granulometría grava

MUESTRA			
TAMIZ	RETENIDO (g)	% RETENIDO	% PASA
1"	0	0,00%	100%
3/4"	0	0,00%	100,00%
1/2"	345,9	11,87%	88,13%
3/8"	532,9	18,29%	69,83%
N° 4	1351,8	46,40%	23,43%
N° 8	480,6	16,50%	6,94%
N° 16	94	3,23%	3,71%
N° 30	27,7	0,95%	2,76%

N° 50	25,7	0,88%	1,88%
N° 100	46,6	1,60%	0,28%
N° 200	7,9	0,27%	0,01%
FONDO	6,2	0,21%	

Nota 24. Elaboración propia

Ilustración 8. Curva Granulometrica grava



Nota 25. Elaboración propia

14.1.2. Densidad

Se calculó la densidad del material por medio del método (sss) el cual nos dio un valor de 2.66 kg/lt

14.1.3. Absorción

Masa muestra saturada y superficialmente seca (A): 3000g

Masa Seca (B): 2913.3g

$$\text{Absorción: } \frac{A-B}{B} * 100 \rightarrow \frac{3000-2913.3}{2913.3} * 100 = 2.976\%$$

14.2. Agregado Fino

Ilustración 9. Agregado fino



Nota 26. Elaboración propia

14.2.1. Granulometría

La masa seca que se utilizó para realizar la granulometría de la arena fue de 1180.7 g

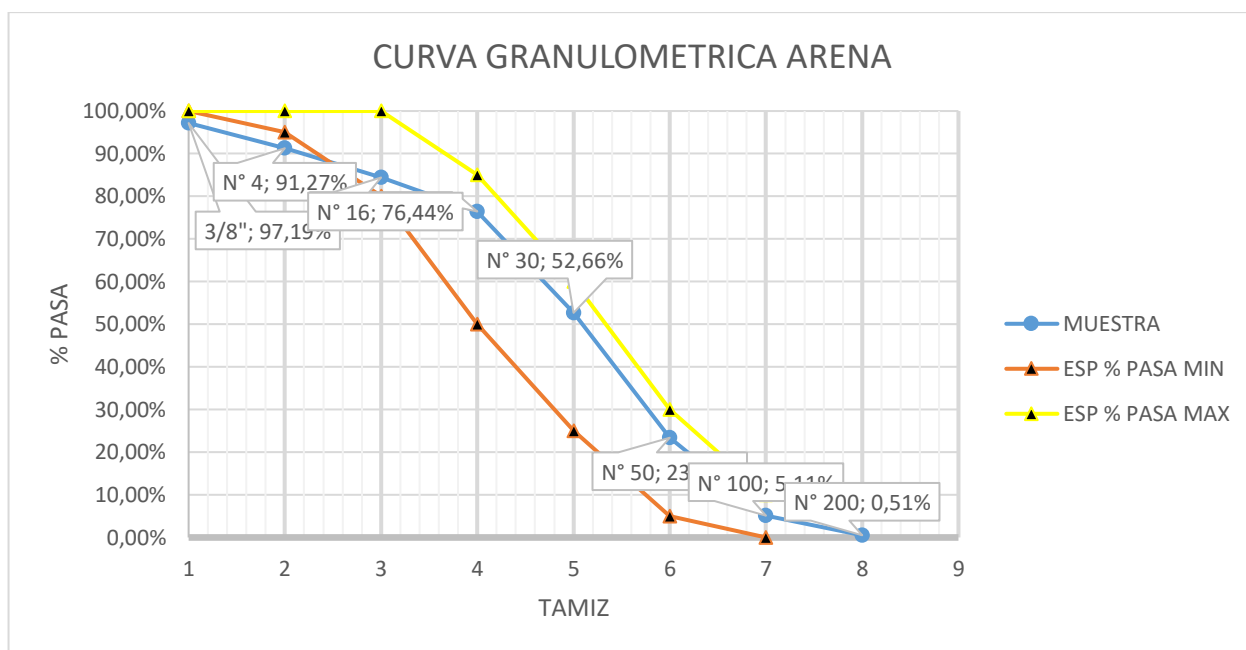
Tabla 18. Granulometría agregado fino

MUESTRA			
TAMIZ	RETENIDO (g)	% RETENIDO	% PASA
3/8"	33,2	2,81%	97,19%
N° 4	69,9	5,92%	91,27%
N° 8	80,9	6,85%	84,42%
N° 16	94,2	7,98%	76,44%
N° 30	280,7	23,77%	52,66%
N° 50	345,7	29,28%	23,38%
N° 100	215,8	18,28%	5,11%
N° 200	54,3	4,60%	0,51%
FONDO	34,8	2,95%	

Nota 27. Elaboración propia

En la curva granulométrica se puede observar como el agregado está dentro de lo establecido por la norma según el tamaño nominal que se utiliza para los resultados esperados.

Ilustración 10. Curva granulométrica agregado fino



Nota 28. Elaboración propia

14.2.2. Densidad

La masa de la muestra saturada y superficialmente seca (S) fue de 500 g

La masa del picnómetro vacío (M) fue de 133.9 g

La masa del picnómetro con la muestra y agua (C) con un valor de 943.5 g

La masa del picnómetro lleno de agua (B) se obtuvo un valor de 635.7 g

El valor que se obtuvo de masa seca (A) fue de 488.4 g

$$D_s = 0.9975 * \frac{A}{B+A-C} \rightarrow D_s = 0.9975 * \frac{488.4}{635.7+488.4-943.5} = 2.595$$

14.2.3. Absorción

Masa muestra saturada y superficialmente seca (S):500g

Masa Seca (A): 488.4g

$$\text{Absorción: } \frac{S-A}{A} * 100 \rightarrow \frac{500-488.4}{488.4} * 100 = 3.375\%$$

14.3.Cemento

El tipo de cemento que se usó para este proyecto fue cemento portland tipo 3 específicamente Argos, el cual nos proporciona resistencia a edades tempranas.

Tabla 19. Especificaciones técnicas cemento

ESPECIFICACIONES TECNICAS:				
PARAMETROS FISICOS		NORMA DE ENSAYO	NTC 121 TIPO UG	ESPECIFICACIÓN ARGOS (ASTM C1157)
Finura	Blaine (cm ² /gr) Retenido Tamiz 46 µm(%)	NTC 33 NTC 294	A A	A A
Cambio de longitus por autoclave, máx (%)		NTC 107	0.80	0.80
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat	Mínimo Máximo	NTC 118 NTC 118	45 450	45 450
Contenido de aire en volumen de mortero, máx (%)		NTC 224	12	12
Expansión de barras de mortero a 14 días, máx		NTC 4927	0.020	0.020
RESISTENCIA MINIMA A LA COMPRESIÓN (Mpa)		NORMA DE ENSAYO	NTC 121 TIPO UG	ESPECIFICACIÓN ARGOS (ASTM C1157)
3 días, Min (MPa)		NTC 220	8.0	13.0
7 días, Min (MPa)		NTC 220	15.0	20.0
28 días, Min (MPa)		NTC 220	24.0	28.0
PARAMETROS DE COLOR		NORMA DE ENSAYO	NTC 121 TIPO UG	ESPECIFICACIÓN ARGOS (ASTM C1157)
L sistema CIELAB	Mínimo, (%)	NTC 6274	85	90
a sistema CIELAB	Mínimo, (%)	NTC 6274	A	-1,5
b sistema CIELAB	Máximo, (%)	NTC 6274	A	5.9

Nota 29. Información tomada de Argos**14.4. Bagazo Caña de Azúcar**

La longitud de la caña recibida fue de 16 cm, la fibra que se pesó para realizar estudio de absorción fue de 95.48 g antes de ser lavada. La fibra se procedió a secar en horno a una temperatura de 82°C.

Fibra peso húmeda (A):186.16 g

Fibra peso seco a 1 hora (B): 103.9 g

$$\text{Absorción a 1 hora: } \frac{A-B}{B} * 100 \rightarrow \frac{186.16-103.9}{103.9} * 100 = 79.17\%$$

Fibra peso seco a 2 horas (c):68.2 g

$$\text{Absorción a 2 horas: } \frac{A-C}{C} * 100 \rightarrow \frac{186.16-68.2}{68.2} * 100 = 164.16\%$$

Fibra peso seco a 3 horas (D):44.3 g

$$\text{Absorción a 3 horas: } \frac{A-D}{D} * 100 \rightarrow \frac{186.16-44.3}{44.3} * 100 = 306.682\%$$

Fibra peso seco a 4 horas (E): 43.8 g

$$\text{Absorción a 4 horas: } \frac{A-E}{E} * 100 \rightarrow \frac{186.16-43.8}{43.8} * 100 = 311.324\%$$

Fibra peso seco a 5 horas (F):43.1g

$$\text{Absorción a 5 horas: } \frac{A-F}{F} * 100 \rightarrow \frac{186.16-43.1}{43.1} * 100 = 318.005\%$$

Absorción a 24 horas=400%

Esto nos indica comparando el peso del bagazo de caña en estado natural de 95.48g y el peso seco a 5 horas de 43.1g se obtiene una pérdida de peso de 52.38 g lo cual se debe tener en cuenta cuando se elabore el diseño de la mezcla para tener una fibra seca, sin exceso de agua o azúcar.

Ilustración 11. Muestra bagazo caña de azúcar



Nota 30. Elaboración propia

Se tiene como objetivo una fibra de longitud de 5cm (2 in), por lo cual se procedió a cortarla para dejarla a la longitud deseada.

Ilustración 12. Fibra caracterizada longitud 5cm



Nota 31. Elaboración propia

$$\text{La relación aspecto de la fibra } R_{asp} = \frac{L}{D} \rightarrow \frac{5cm}{0.5cm} = 10$$

15. Cronograma

En la tabla 20 se describe el cronograma que se llevara para las actividades relacionadas con el concreto de fibra-refuerzo (bagazo), en el cual están las actividades:

FUN: fundir; DES: desencofrar; COM: ensayo de compresión; E: Modulo de Elasticidad; TRA: ensayo de tracción; VIG: módulo de rotura.

La semana del 16 de agosto al 19 de agosto se realiza la caracterización del material

Tabla 20. Cronograma concreto con bagazo

FECHA						CB
	FUN (NTC 1377)	DES (NTC 550)	COM (NTC 673)	TRA (NTC 722)	VIG (NTC 2871)	
martes, 23 de agosto de 2022	X					16
miércoles, 24 de agosto de 2022		X				16
miércoles, 24 de agosto de 2022			X			3
miércoles, 24 de agosto de 2022				X		1
viernes, 26 de agosto de 2022			X			3
viernes, 26 de agosto de 2022				X		1
martes, 30 de agosto de 2022			X			3
martes, 30 de agosto de 2022				X		1
martes, 30 de agosto de 2022					X	2
martes, 20 de septiembre de 2022			X			3
martes, 20 de septiembre de 2022						1
martes, 20 de septiembre de 2022				X		1
martes, 20 de septiembre de 2022					X	2

Nota 32. Elaboración propia

En la tabla 16 se presenta el orden de actividades y ensayos que se realizaran para el concreto normal, el cual servirá de comparativo con el concreto con fibras.

Tabla 21. Cronograma concreto normal

FECHA	ACTIVIDAD					CANT
	FUN (NTC 1377)	DES (NTC 550)	COM (NTC 673)	TRA (NTC 722)	VIG (NTC 2871)	CN
lunes, 19 de septiembre de 2022	X					16
jueves, 22 de septiembre de 2022		X				16
jueves, 22 de septiembre de 2022			X			3
jueves, 22 de septiembre de 2022				X		1
lunes, 26 de septiembre de 2022			X			3
lunes, 26 de septiembre de 2022				X		1
lunes, 3 de octubre de 2022			X			3
lunes, 3 de octubre de 2022				X		1
lunes, 3 de octubre de 2022					X	2
lunes, 17 de octubre de 2022			X			3
lunes, 17 de octubre de 2022						1
lunes, 17 de octubre de 2022				X		1
lunes, 17 de octubre de 2022					X	2

Nota 33. Elaboración propia**16. Resultados procedimiento de secado 1****16.1. Humedad**

Se pesó 500 g de grava y arena y se pusieron a mezclar para encontrar el peso seco del material y con este la humedad de los mismo.

$$peso_{grava\ seca} = 487.9\ g$$

$$w_{grava} = \frac{500 - 487.9}{487.9} * 100 = 2.48\%$$

$$Peso_{arena\ seca} = 487.3$$

$$w_{arena} = \frac{500 - 487.3}{487.3} * 100 = 2.60\%$$

16.2. Asentamientos

Se midieron tres asentamientos el del concreto normal, el de concreto con bagazo y el del concreto con bagazo más aditivo (plastol 7000) esto con el objeto de que el asentamiento cumpliera y fuera igual al del concreto normal, este aditivo se agregó al 0.21%.

El valor del asentamiento del concreto normal fue de 7in (17.78 cm)

Ilustración 13. Asentamiento concreto normal (sin adicciones)



Nota 34. Elaboración propia

Asentamiento del concreto con la fibra de caña de azúcar se obtuvo un valor de 3 in (7.64 cm) cuando el material se estaba mezclando se pudo observar como la trabajabilidad del material disminuyó.

Por lo cual se decidió, adicionarle un aditivo plastificante (plastol 7000) con el fin de que el asentamiento del concreto con bagazo fuera igual al concreto normal, debido a esto se agregó 32g del plastol 7000 y el concreto llegó al asentamiento deseado de 7 in.

16.3.Masa unitaria

Para el concreto con adicción de bagazo

Masa recipiente (kg)=2.76

Masa recipiente + concreto(kg)=17.89

La masa neta del concreto (kg)=17.89-2.76=15.13

Ilustración 14. Recipiente masa unitaria concreto con bagazo



Nota 35.Elaboración propia

16.4.Contenido de Aire

Se encuentra el contenido de aire de cada concreto para saber la diferencia que hay entre uno y otro.

Para el concreto normal se encontró un contenido de aire de 5%

El concreto con bagazo obtuvo un contenido de aire de 9% como se puede observar en la siguiente imagen

Ilustración 15. contenido de aire concreto con fibras de caña



Nota 36. Elaboración propia

16.5. Tiempo de fraguado

Las Viguetas y los cilindros con fibra de caña de azúcar al cumplir las 24 horas de curado se encontró que no habían fraguado. Por lo cual se desencofro cumplidas 60 horas de curado el concreto en el molde.

Ilustración 16. Espécimen de concreto con bagazo curado a 24 horas



Nota 37. Elaboración propia

16.6. Fluidéz del mortero

El dato obtenido en el ensayo de fluidez del mortero tuvo un valor de 74, la fluidez del mortero con caña fue de 62 y la del mortero con caña y plastol 7000 fue de 90.

16.7. Compresión

Después de que los cilindros con fibra de caña de azúcar fraguaron se realizaron los correspondientes ensayos, con los siguientes resultados:

Tabla 22. Toma de datos compresión a 3 días CB

					viernes, 26 de agosto de 2022			
PRUEBAS CB					3 DIAS			
MUESTRA	CILINDRO	VIGA	N° MUESTRAS		MPa	MPa	MPa	Promedio
2CB	X		2	f'c	2,7	3,87	6,67	4,41

Nota 38. Elaboración propia

El espécimen 1 con una resistencia a la compresión de 2.70 MPa (21.2 kN)

Ilustración 17.Espécimen 1 CB**Nota 39. Elaboración propia**

El espécimen CB 2 presento una resistencia a la compresión de 3.87 MPa (30.4 kN)

Ilustración 18. Espécimen CB 2



Nota 40. Elaboración propia

El espécimen 3 presento una resistencia de 6.67 MPa (52.4 kN).

Ilustración 19. Espécimen CB 3



Nota 41. Elaboración propia

Los cilindros con bagazo presentaron un peso promedio de 3559.9 g. Los especímenes fallados a 7 días presentaron un peso promedio de 3625.4 g.

Tabla 23. Toma de datos compresión CB a 7 días

					martes, 30 de agosto de 2022			
PRUEBAS CB					7 DIAS			
MUESTRA	CILINDRO	VIGA	N° MUESTRAS		MPa	MPa	MPa	Promedio
2CB	X		2	f'c	7,56	7,91	10,6	8,70

Nota 42. Elaboración propia

El espécimen CB 4 presento una resistencia de 7.56 MPa (59.4 kN).

Ilustración 20. Especimen CB 4



Nota 43. Elaboración propia

El espécimen CB 5 presento una resistencia de 7.91 MPa (62.1 kN).

Ilustración 21. Espécimen CB 5



Nota 44. Elaboración propia

El espécimen CB 6 presento una resistencia de 10.63 MPa (82.5 kN)

Ilustración 22. Espécimen CB 6



Nota 45. Elaboración propia

Todo esto teniendo en cuenta la especificación de la máquina de ensayo

Ilustración 23. Configuración máquina de ensayo

The image shows a software interface for configuring a test machine. It includes several input fields and dropdown menus: 'Channel number' is set to 1; 'Test Speed' is 0.25 MPa/s; 'Peak sensibility' is 20 kN; 'Load limit' is 2000 [kN]; 'Y axis units' is MPa; and 'Time limit' is 999. There is also a 'SoftTouch' checkbox which is currently unchecked.

Nota 46. Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados de los especímenes de CB fallados a 14 días

Tabla 24. Resultados compresión CB 14 días

					martes, 6 de septiembre de 2022			
PRUEBAS CB					14 días			
MUESTRA	CILINDRO	VIGA	Nº MUESTRAS		MPa	MPa	MPa	Promedio
2CB	X		3	f'c	13,24	15,98	16,04	15,09

Nota 47. Elaboración propia

El valor correspondiente a los especímenes de CB fallados por compresión a 28 días.

Tabla 25. Resultados compresión CB a 28 días

					martes, 20 de septiembre de 2022			
PRUEBAS CB					28 DIAS			
MUESTRA	CILINDRO	VIGA	Nº MUESTRAS		MPa	MPa	MPa	Promedio
2CB	X		3	f'c	21,17	24,00	22,93	22,70

Nota 48. Elaboración propia

Los especímenes de concreto convencional fallados presentaron los siguientes resultados

Tabla 26. Resultado compresión especímenes CN a 1 día y 3 días

				martes, 20 de septiembre de 2022			jueves, 22 de septiembre de 2022		
PRUEBAS CN				1 día			3 días		
MUESTRA	CILINDRO	Nº MUESTRAS		MPa	MPa	Promedio	MPa	MPa	Promedio
1CN	X	2	f'c	3,5	4,06	3,78	7,5	8,97	8,235

Nota 49. Elaboración propia

Los especímenes de concreto convencional fallados a 7 y 14 días presentaron las siguientes resistencias:

Tabla 27. Resultado compresión especímenes CN a 7 y 14 días

			lunes, 26 de septiembre de 2022			lunes, 3 de octubre de 2022		
PRUEBAS CN			7 días			14 días		
MUESTRA	CILINDRO	N° MUESTRAS	MPa	MPa	Promedio	MPa	MPa	Promedio
1CN	X	2	19,23	20,89	20,06	25,65	26,23	25,94

Nota 50. Elaboración propia

Los especímenes de concreto fallados a 28 días presentaron las siguientes resistencias:

Tabla 28. Resultado compresión especímenes CN a 28 días.

				lunes, 17 de octubre de 2022		
PRUEBAS CN				28 DIAS		
MUESTRA	CILINDRO	N° MUESTRAS		MPa	MPa	Promedio
1CN	X	2	f'c	30,28	32,41	31,345

Nota 51. Elaboración propia

16.8.Tracción

El cilindro con fibras de caña de azúcar se le realizó ensayo de tracción indirecta en el cual tuvo una resistencia de 2.92 MPa (22.92kN).

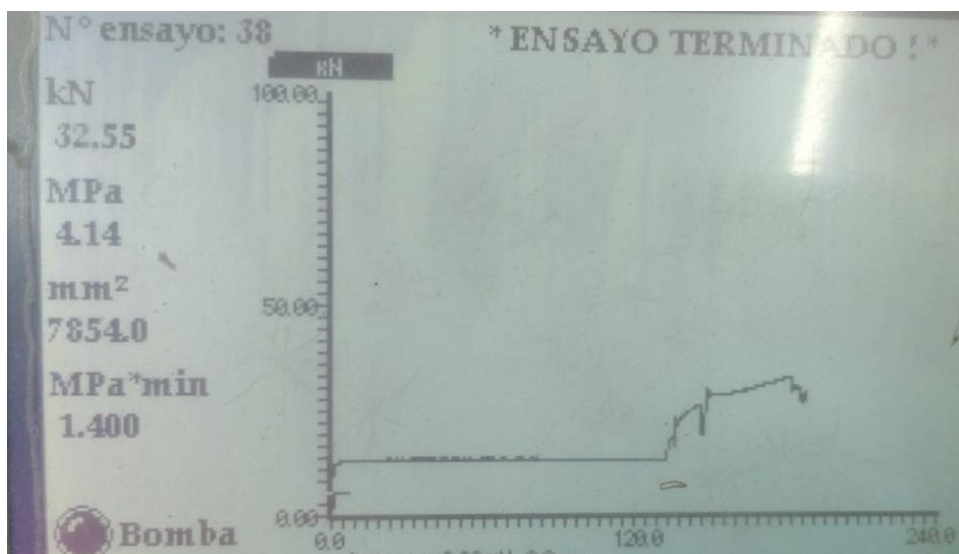
Ilustración 24. Ensayo de tracción CB



Nota 52. Elaboración propia

El cilindro ensayado a 7 días con fibras de caña de azúcar se obtuvo un valor de 4.14MPa (32.55 kN).

Ilustración 25. Grafica carga vs tiempo ensayo de tracción



Nota 53. Elaboración propia

Se puede observar la composición interna del concreto con fibras fallada a 7 dias de curado por metodo de tracción indirecta.

Ilustración 26. Composición interna CB



Nota 54. Elaboración propia

Los resultados obtenidos del espécimen con fibras fallado a tracción a 14 y 28 días presento los siguientes valores

Tabla 29. Datos obtenidos ensayo tracción especímenes CB 14 y 28 días

				martes, 6 de septiembre de 2022	martes, 20 de septiembre de 2022
PRUEBAS CB				14 días	28 DIAS
MUESTRA	CILINDRO	N° MUESTRAS	/	MPa	MPa
2TB	X	1	/	6,14	8

Nota 55. Elaboración propia

En la siguiente imagen se puede observar la composición interna del espécimen CB fallado a tracción a 28 días.

Ilustración 27. Composición interna espécimen CB a 28 días



Nota 56. Elaboración propia

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos del ensayo realizado a los especímenes de concreto convencional.

Tabla 30. Resultados ensayo tracción especimen concreto convencional 1 dia, 3 y 7 días

				martes, 20 de septiembre de 2022	jueves, 22 de septiembre de 2022	lunes, 26 de septiembre de 2022
PRUEBAS CN				1 día	3 días	7 días
MUESTRA	CILINDRO	N° MUESTRAS	/	MPa	MPa	MPa
1TC	X	1	/	2,24	3,01	6,61

Nota 57. Elaboración propia

Tabla 31. Resultados ensayo tracción espécimen concreto convencional a 14 días y 28 días.

				lunes, 3 de octubre de 2022	lunes, 17 de octubre de 2022
PRUEBAS CN				14 días	28 DIAS
MUESTRA	CILINDRO	N° MUESTRAS	/	MPa	MPa
1TC	X	1	/	7,23	9,59

Nota 58. Elaboración propia

16.9. Módulo de rotura

Las viguetas se fallarán a 7 y 28 días de curado, las viguetas con fibra presentaron los siguientes resultados:

La VCB 1 tuvo un resultado de 1.43 MPa y una carga (26.72 kN)

Ilustración 28. Falla de VCB 1 Modulo de rotura



Nota 59. Elaboración propia

La VCB 2 tuvo un resultado de 3.22 MPa fallada a 28 días.

Ilustración 29. Composición interna especimen VCB2 fallado a 28 días



Nota 60. Elaboración propia

Las viguetas del testigo de concreto normal presentaron los siguientes valores

Tabla 32. Valores módulo de ruptura viguetas concreto convencional a 7 y 28 días.

				lunes, 26 de septiembre de 2022	lunes, 17 de octubre de 2022
PRUEBAS CN				7 días	28 días
MUESTRA	VIGA	N° MUESTRAS		MPa	MPa
1VC	X	1		3,46	6,92

Nota 61. Elaboración propia

16.10. Módulo de elasticidad

El ensayo realizado del módulo de elasticidad en el espécimen de con fibras presento un resultado de 28.46 GPa.

Ilustración 30. Módulo de elasticidad espécimen CB

E.Module cycle 2	22.47	GPa
E.Module cycle 3	34.45	GPa
E. Module Avg.	28.46	GPa

Nota 62. Elaboración propia

El espécimen de concreto convencional alcanzo un valor de módulo de elasticidad de 31.31 GPa.

16.11. Absorción de energía

Se ensayaron 4 viguetas para comparar la absorción de energía de ellas, de las cuales dos fueron con fibras y las restantes sin fibras, estas se fallaron a 7 y 28 días.

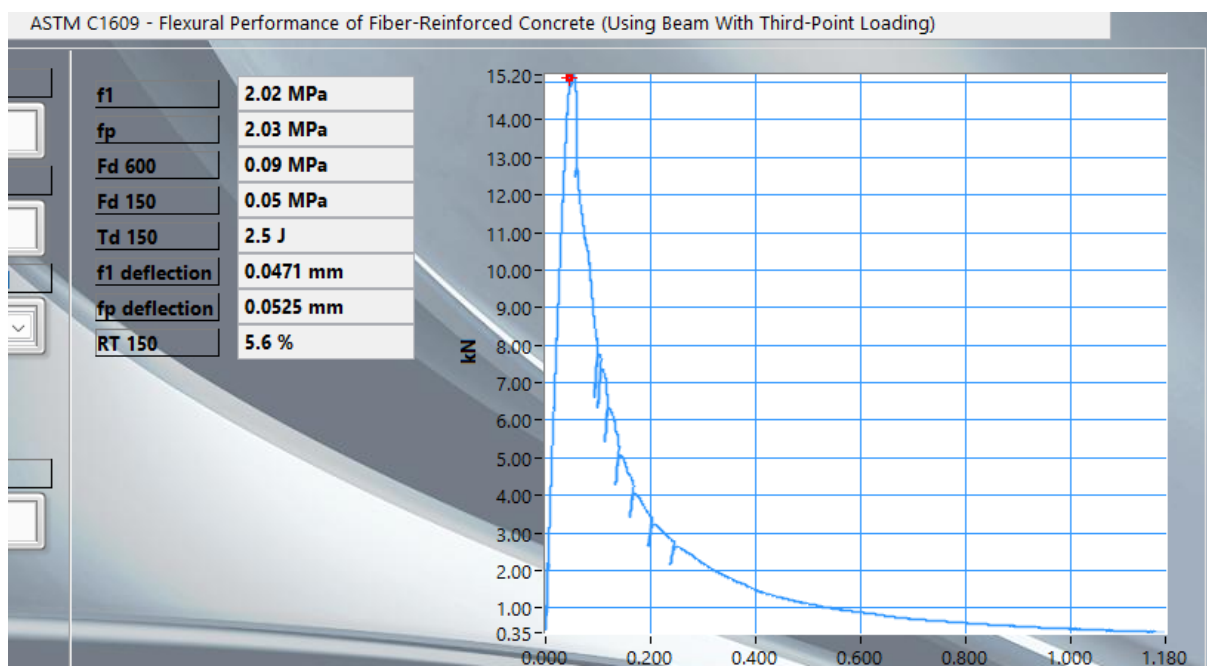
Ilustración 31. VCB ensayo absorción de energía



Nota 63. Elaboración propia

Esto con el fin de observar cómo se comporta la vigueta al fisurarse y llegar al punto de carga máxima.

Ilustración 32. grafica absorción de nergia y sus resultados metodo ASTM C1609



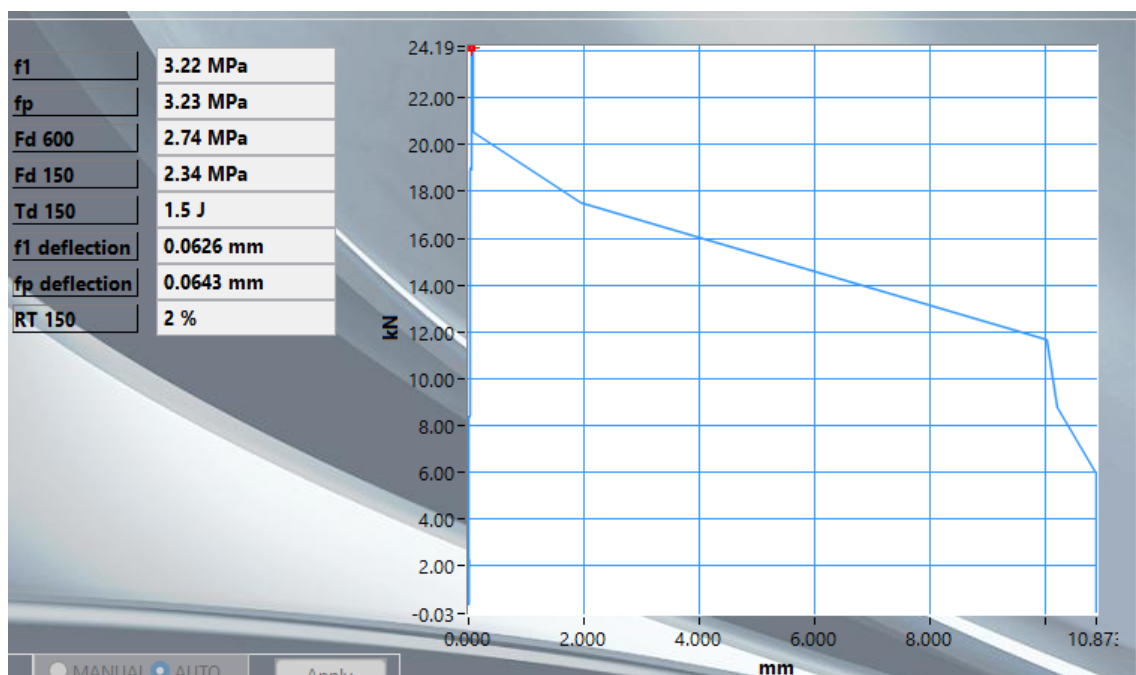
Nota 64. Elaboracion propia

Donde f1 es la fuerza del primer pico, fp la fuerza máxima, Fd 600 es resistencia residual en L/600, Fd 150 es el valor correspondiente a la resistencia residual a la flexión en L/150, Td 150

es la tenacidad de la muestra en el tramo L/150, RT 150 es el valor de la relación de la resistencia a la flexión equivalente o resistencia residual.

La vigueta fallada a 28 días para obtener la resistencia residual que aporta la fibra al concreto, presento los siguientes valores.

Ilustración 33. Absorción de energía especimen VCB 28 dias de curado



Nota 65. Elaboración propia

Se realizó el ensayo de absorción de energía a los especímenes de concreto convencional y estos como no tienen un refuerzo que les aporte para su resistencia a la flexión el valor obtenido de resistencia residual fue 0.

17. Resultados procedimiento de secado 2 (CBP)

17.1.Pruebas Parafina

A continuación, se presentarán los resultados de la segunda etapa del procedimiento 2 para determinar cuál es el método que se ajusta más a las necesidades que se tienen para evitar retardos en el concreto y absorción de agua de la fibra.

17.1.1. Fibra

Se realizó esta prueba para tener la relación y comparación que este ensayo sirviera como testigo y observar si se mejora o no.

Tabla 33. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado testigo

FIBRA		
peso inicial (g)	5	
peso + parafina (g)	0	
aumento de peso (g)	0	0
peso 24 horas (g)	15,33	
aumento peso en agua (g)	10,33	206,60%

Nota 66. Elaboración propia**Ilustración 34. Registro cambio color agua testigo****Nota 67. Elaboración propia****17.1.2. Fibra + parafina método 1**

Se presentarán los datos y la evidencia fotográfica de este método para su posterior análisis

Tabla 34. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado metodo 1.

FIBRA + PARAFINA MET 1		
peso inicial (g)	5	
peso + parafina (g)	9,1	
aumento de peso (g)	4,1	45,05%
peso 24 horas (g)	14,72	
aumento peso en agua (g)	5,62	61,76%

Nota 68. Elaboración propia

Ilustración 35. Registro cambio de color metodo 1.



Nota 69. Elaboración propia

17.1.3. Fibra + Parafina método 2

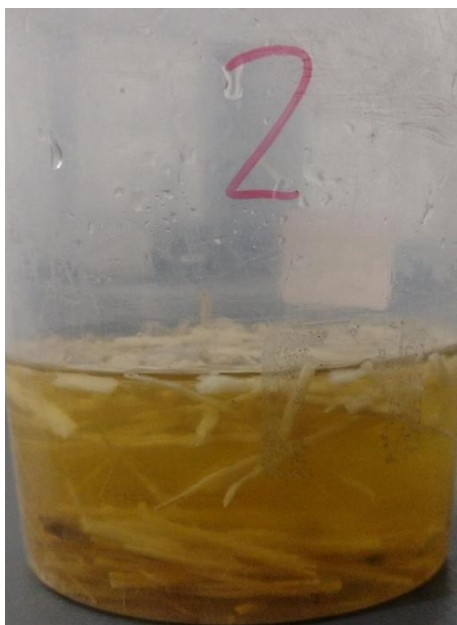
Los datos obtenidos por este método fueron los siguientes:

Tabla 35. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado metodo 2.

FIBRA + PARAFINA MET 2		
peso inicial (g)	5	
peso + parafina (g)	16,1	
aumento de peso (g)	11,1	68,94%
peso 24 horas (g)	25,3	
aumento peso en agua (g)	9,2	57,14%

Nota 70. Elaboración propia

Ilustración 36. Registro cambio de color, resultado metodo 2.



Nota 71. Elaboración propia

17.1.4. Fibra + parafina método 3

Los resultados obtenidos en este método fueron:

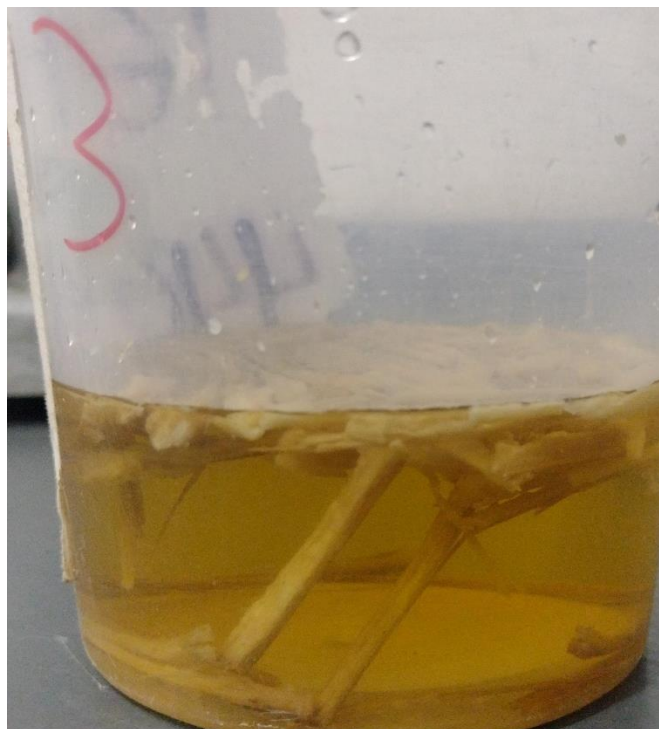
Tabla 36. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado metodo 3.

FIBRA + PARAFINA MET 3		
peso inicial (g)	5	
peso + parafina (g)	16,54	

aumento de peso (g)	11,54	69,77%
peso 24 horas (g)	21,4	
aumento peso en agua (g)	4,86	29,38%

Nota 72. Elaboración propia

Ilustración 37.Registro cambio de color. Metodo 3.



Nota 73. Elaboración propia

17.1.5. Fibra + parafina método 4

Este método se obtuvieron los siguientes datos:

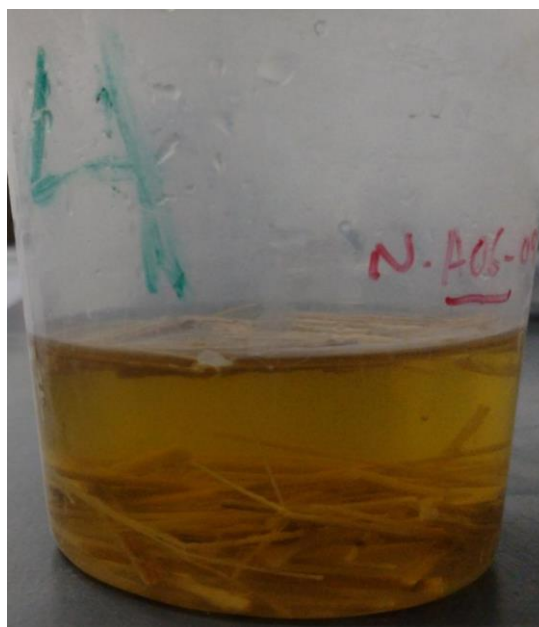
Tabla 37.Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado método 4.

FIBRA + PARAFINA MET 4		
peso inicial (g)	5	
peso + parafina (g)	8,15	
aumento de peso (g)	3,15	38,65%

peso 24 horas (g)	11,15	
aumento peso en agua (g)	3,00	36,81%

Nota 74. Elaboración propia

Ilustración 38. Registro cambio de color. Método 4.



Nota 75. Elaboración propia.

17.1.6. Fibra + parafina método 5

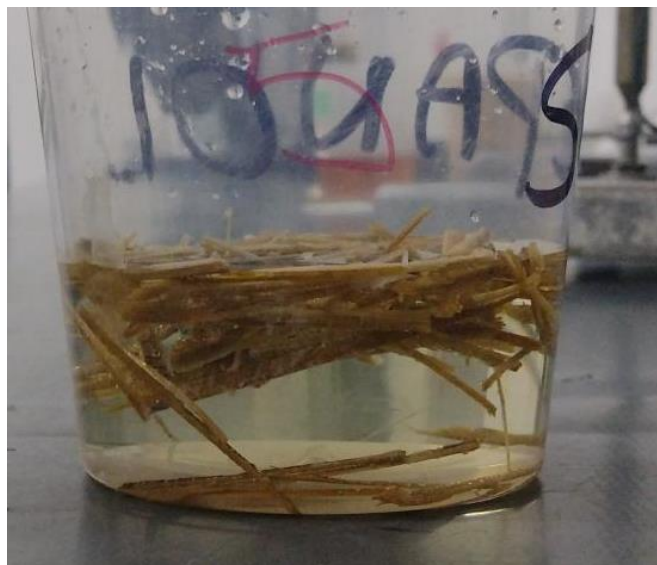
Los valores obtenidos para este método fueron de:

Tabla 38. Pruebas procedimiento de secado 2, etapa 2, resultado método 5.

FIBRA + PARAFINA MET 5		
peso inicial (g)	3,5	
peso + parafina (g)	8,8	
aumento de peso (g)	5,3	60,23%
peso 24 horas (g)	13,2	
aumento peso en agua (g)	4,4	50,00%

Nota 76. Elaboración propia

Ilustración 39. Registro cambio de color. Método 5.



Nota 77. Elaboración propia.

Este método al ser el más eficiente en el sellado de la fibra y absorción de agua ya que de los 250 g de agua que se pesaron, se perdió 2.47 g de agua por lo cual se obtiene un porcentaje de absorción de 0.97%.

17.2.Asentamiento

El asentamiento presentado por el concreto con fibras de caña con recubrimiento de parafina (CBP) fue de 6 1/2 in, por lo cual no se decide agregarle un plastificante.

17.3.Masa unitaria

El concreto con adicción de fibras de caña con recubrimiento de parafina (CBP) presento los siguientes valores:

Masa recipiente (kg): 2.76

Masa recipiente + concreto (kg)= 18.90

Masa neta concreto (kg)= 18.90-2.76=16.14

17.4.Contenido de aire

El concreto convencional presento un contenido de aire de 5% y el concreto con adiciones de fibra con recubrimiento de parafina presento un contenido de aire de 7%.

17.5.Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado a simple vista del CBP cumplió con las 24 horas que corresponden a un concreto normal, pero para ver a detalle el tiempo de fraguado se realizó la correspondiente calorimetría.

17.6. Compresión

Los valores obtenidos a compresión a continuación se muestra la tabla de resultados correspondientes a los especímenes de CBP:

Tabla 39. Toma de datos compresión 1 día y 3 días CBP

Fecha de falla			martes, 11 de octubre de 2022			jueves, 13 de octubre de 2022		
PRUEBAS CBP			1 día			3 días		
MUESTRA	CILINDRO		MPa	MPa	Promedio	MPa	MPa	Promedio
1CBP	X	f'c	5,35	5,75	5,55	6,98	8,21	7,595

Nota 78. Elaboración propia

Los especímenes de CBP fallados a 7 días y 14 días presentaron las siguientes resistencias a compresión:

Tabla 40. Toma de datos compresión 7 días y 14 días CBP

Fecha de falla			lunes, 17 de octubre de 2022			lunes, 24 de octubre de 2022		
PRUEBAS CBP			7 días			14 días		
MUESTRA	CILINDRO		MPa	MPa	Promedio	MPa	MPa	Promedio
1CBP	X	f'c	19,76	20,66	20,21	25,61	27,58	26,60

Nota 79. Elaboración propia

Los especímenes CBP fallados a 28 días presentaron los siguientes valores de resistencia:

Tabla 41. Datos compresión 28 días CBP

			lunes, 7 de noviembre de 2022		
PRUEBAS CBP			28 días		
MUESTRA	CILINDRO		MPa	MPa	Promedio
1CBP	X	f'c	35,74	38,95	37,345

Nota 80. Elaboración propia

17.7. Tracción

Los especímenes de vigueta CBP fallados a 1 día, 3 días y 7 días

Tabla 42. Datos obtenidos ensayo tracción especímenes CBP 1 día, 3 días y 7 días

Fecha de falla			martes, 11 de octubre de 2022	jueves, 13 de octubre de 2022	lunes, 17 de octubre de 2022
PRUEBAS CBP			1 día	3 días	7 días
MUESTRA	CILINDRO	Nº MUESTRAS	MPa	MPa	MPa
1TBP	X	1	4,01	4,78	7,265

Nota 81. Elaboración propia

Los especímenes fallados a 14 y 28 días presentaron los siguientes resultados al fallarse a tracción:

Tabla 43. Datos obtenidos ensayo tracción especímenes CBP 14 días y 28 días.

Fecha de falla			lunes, 24 de octubre de 2022	lunes, 7 de noviembre de 2022
PRUEBAS CBP			14 días	28 días
MUESTRA	CILINDRO	N° MUESTRAS	MPa	MPa
1TBP	X	1	7,885	10,245

Nota 82. Elaboración propia**17.8. Módulo de ruptura**

Las viguetas VCBP se fallarán a 7 y 28 días de curado, las cuales presentaron los siguientes valores de resistencia:

Tabla 44. Valores módulo de ruptura VCBP a 7 y 28 días

Fecha de falla			lunes, 17 de octubre de 2022	lunes, 7 de noviembre de 2022
PRUEBAS CBP			7 días	28 días
MUESTRA	VIGA	N° MUESTRAS	MPa	MPa
1VCBP	X	1	4,1	7,56

Nota 83. Elaboración propia**17.9. Módulo de elasticidad**

El espécimen de concreto con adiciones de fibra de caña con recubrimiento de parafina obtuvo un módulo de elasticidad 39.45 GPa a 28 días.

17.10. Absorción de energía

La vigueta fallada a 28 días para el ensayo de absorción de energía presentó un valor de resistencia residual del 12%.

18. Análisis de resultados procedimiento de secado 1**18.1. Asentamiento**

El asentamiento del concreto con adicción de bagazo disminuyó debido a que la fibra le redujo la manejabilidad al concreto, también visualmente y al manejarlo se veía con menor cantidad de agua, por lo cual se puede decir que la fibra pudo absorber agua en el proceso de mezclado. Por este motivo se propone adoptar otro método de secado y eliminación de hemicelulosa buscando un asentamiento más cercano al concreto convencional sin la necesidad de usar un aditivo.

18.2. Contenido de aire

El contenido de aire del concreto con adicción de fibras de caña fue de 9% en comparación a él concreto normal fue 5% de esto debido a que el concreto con fibra presenta menos manejabilidad.

18.3. Fraguado

La fibra de bagazo aún puede contener azúcar lo que actuó como retardador natural y por lo cual generó que el concreto se demorara en fraguar, lo cual se pudo ocasionar por dos factores/posibilidades, el primero que el bagazo le faltó tiempo para secar, segunda que hace falta

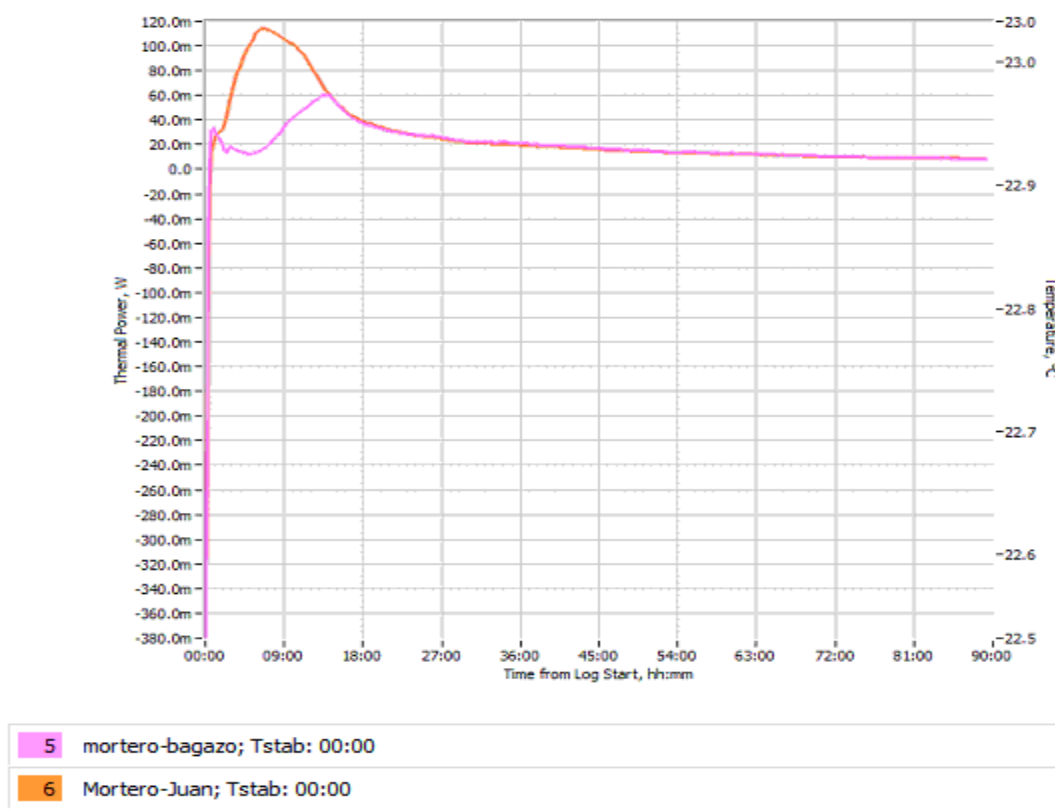
un proceso para eliminar el azúcar de la fibra de caña y que el concreto tenga un tiempo de curado de acuerdo a lo esperado. Por este motivo se realizó un segundo procedimiento de secado, con el fin de que tuviera un tiempo de fraguado similar o no tan alejado del concreto convencional.

El tiempo de fraguado del concreto normal fue de 24 horas.

18.4. Calorimetría

En las siguientes graficas se puede observar la diferencia térmica y por ende el tiempo de fraguado de ambas muestras

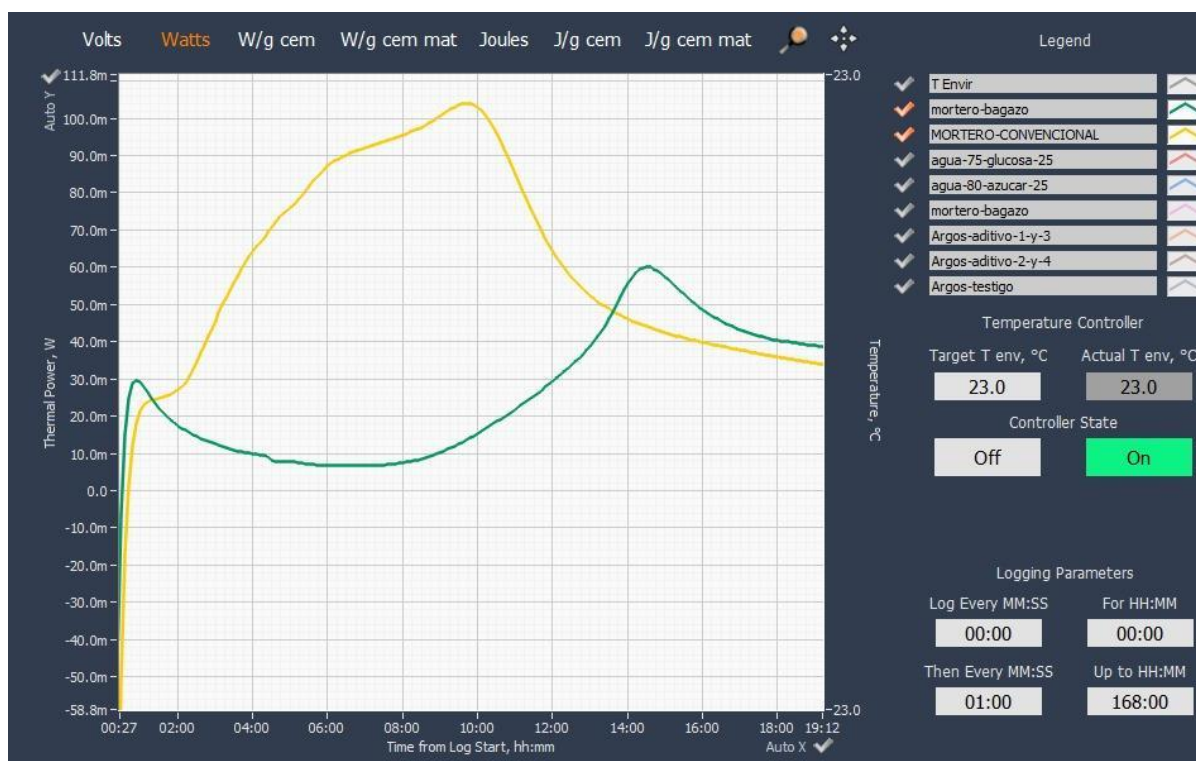
Ilustración 40. Calorimetría mortero vs mortero bagazo



Nota 84. Elaboración propia

En lo que cabe resaltar que se observa como a las 18 horas su poder térmico es similar y se mantiene constante hasta las 90 horas de ensayo.

Ilustración 41. Comparación poder térmico mortero vs mortero fibras



Nota 85. Elaboración propia

Se puede comparar como están los morteros luego de 90 horas de ensayo de calorimetría en lo cual se puede resaltar como la muestra con bagazo se nota aun húmeda y en mezcla suelta

Ilustración 42. Muestra mortero vs muestra fibras



Nota 86. Elaboración propia

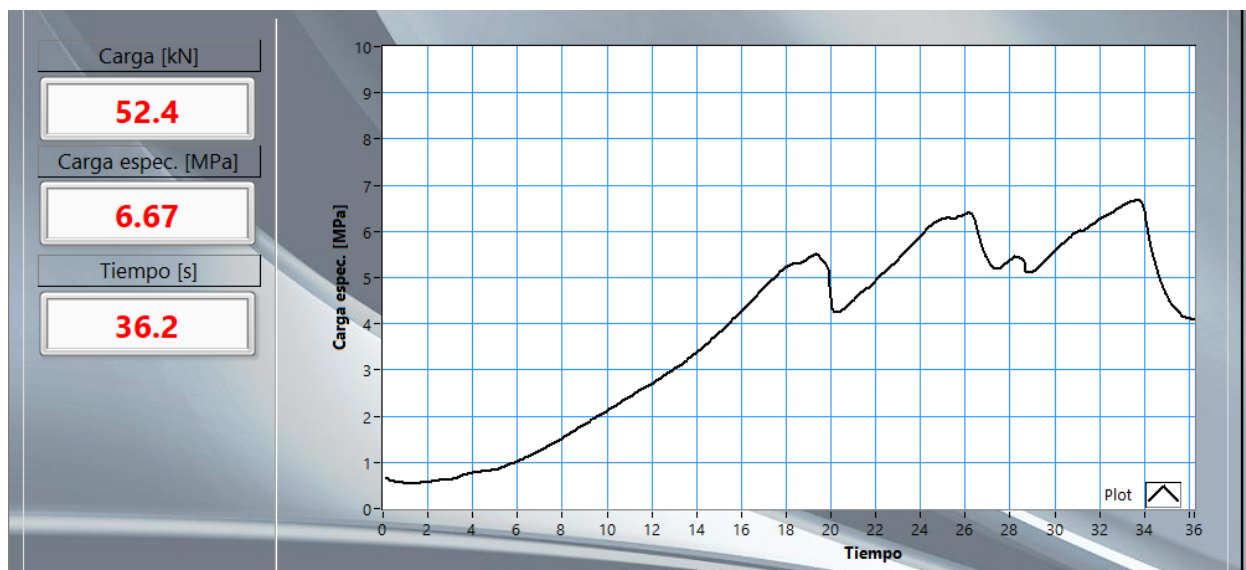
18.5. Compresión

El concreto con fibras de bagazo a tres días ensayado a compresión dio una resistencia promedio de 4,41 MPa.

En las cuales los especímenes tuvieron una falla típica tipo 3 de fisuras verticales.

En la siguiente grafica se puede observar cómo se comporta el concreto con fibras a compresión y permite que el cilindro no falle en diferentes picos de carga.

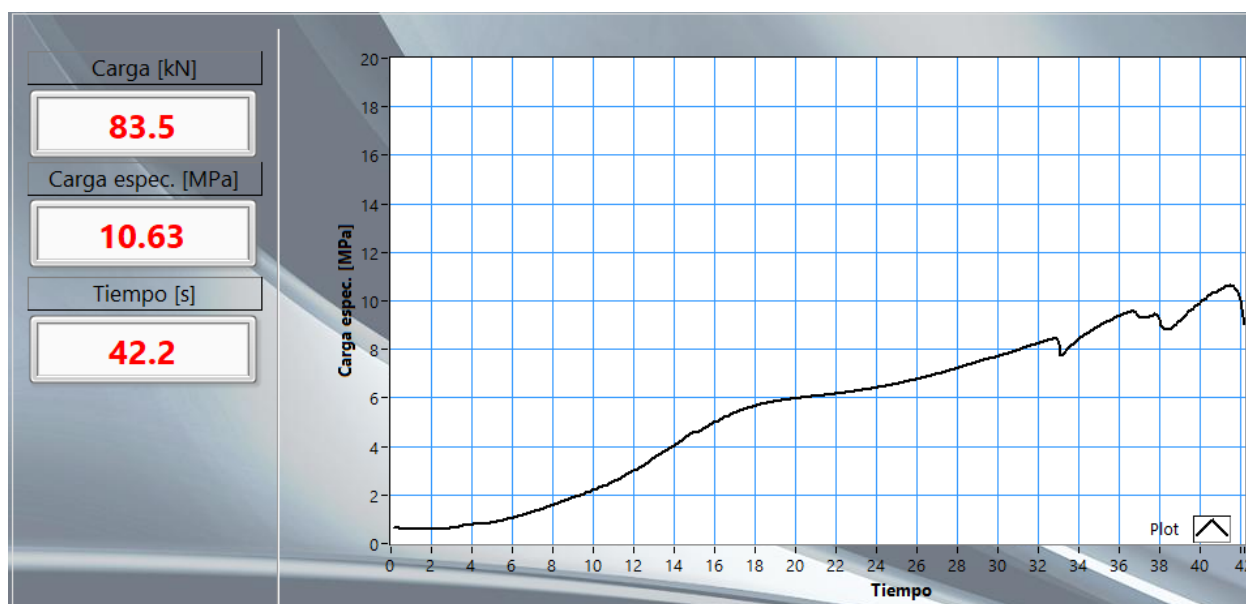
Ilustración 43. Grafica carga vs tiempo cilindro bagazo a tres días



Nota 87. Elaboración propia

Los cilindros fallados a 7 días de curado obtuvieron un rango promedio de 8.70 MPa y se puede observar en las gráficas los picos de carga que tuvo el cilindro antes de presentarse la falla. y estos presentaron una falla típica tipo 3

Ilustración 44. Grafica Carga especifica Vs Tiempo CB a siete días



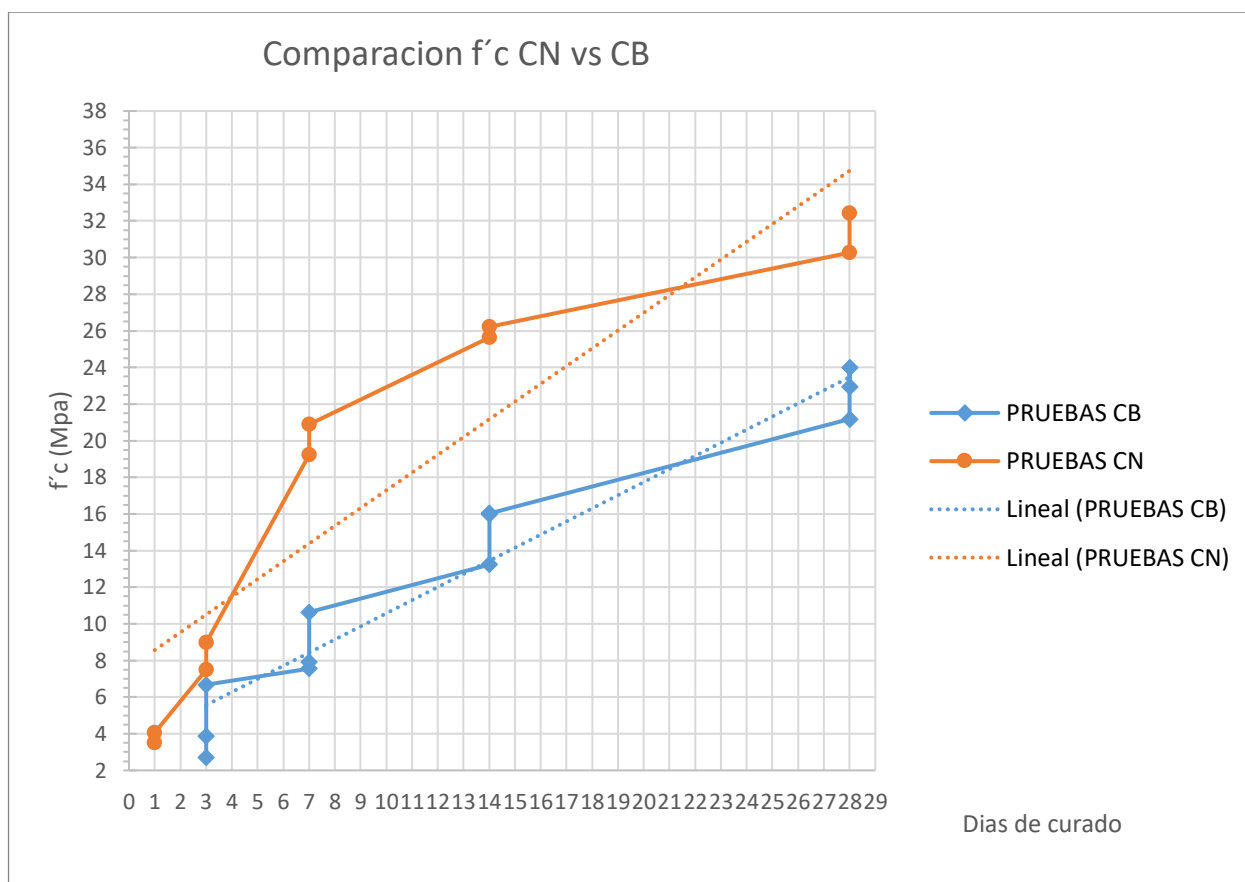
Nota 88.Elaboración propia

Con los datos obtenidos se puede comparar los especímenes de concreto normal vs el concreto con fibras con lo cual tenemos que sus resistencias a tres días de curado el concreto convencional obtiene resistencias promedio de 8.235 MPa y el concreto con fibras presenta una resistencia promedio de 4.41 MPa, con lo cual representa una diferencia 3.82 MPa, con lo cual el espécimen CB se encuentra por debajo un 46.41% del rendimiento ideal.

A los 7 días de curado el concreto convencional presenta resistencias promedio de 20.06 MPa y el concreto con fibras de caña presenta resistencias promedio de 8.70 MPa, lo que representa una diferencia de resistencia de 11.36 MPa, lo cual indica que el espécimen de CB se encuentra por debajo un 56.63% del rendimiento ideal.

A 14 días de curado el concreto convencional presenta resistencias promedio de 25.94 MPa vs el concreto con fibras de caña que presenta una resistencia de 15.09 MPa promedio, lo cual representa una diferencia de resistencia de 10.85 MPa. Lo cual indica que el espécimen aun a 14 días está por debajo del rendimiento óptimo en este caso un 41.8 % por abajo del esperado.

A los 28 días de curado el testigo de concreto presento una resistencia promedio de 31.345 MPa y concreto con fibras de caña obtuvo valores de resistencia de 22.70 MPa, lo cual presenta una diferencia de resistencia de 8.65 MPa. Lo cual indica que el espécimen de CB se encuentra 27.58 % por debajo del rendimiento óptimo. Como se puede observar en la siguiente gráfica:

Ilustración 45. Comparacion grafica f'_c CN vs CB**Nota 89. Elaboración propia****Tabla 45. Resumen Valores obtenidos en compresión especímenes CN vs CB y rendimiento del CB**

Días de curado	CN			CB				
	MPa	MPa	Promedio	MPa	MPa	MPa	Promedio	Rendimiento
1	3,5	4,06	3,78	0	0	0	0	-100,00%
3	7,5	8,97	8,235	2,7	3,87	6,67	4,41	-46,41%
7	19,23	20,89	20,06	7,56	7,91	10,63	8,70	-56,63%
14	25,65	26,23	25,94	13,24	15,98	16,04	15,09	-41,84%
28	30,28	32,41	31,345	21,17	24,00	22,93	22,70	-27,58%

Nota 90. Elaboración propia**18.6. Tracción**

El resultado a tres días por el método de tracción indirecta en cilindros con fibras fue de 2.92 MPa (22.92 kN) aunque cabe resaltar que se presentaron fisuras no se presentaron agrietamientos ni la separación del núcleo.

A siete días de curado el espécimen fallo a 4.14 MPa (32.55 kN), cuando se sacó del molde se desprendió parte del material del cilindro. Con lo cual al observar su estructura interna se pudo

observar que en algunos lugares el cemento y el agregado no habían generado la reacción química correspondiente para su unión y convertirse en el concreto.

Ilustración 46. Tracción a siete días de curado

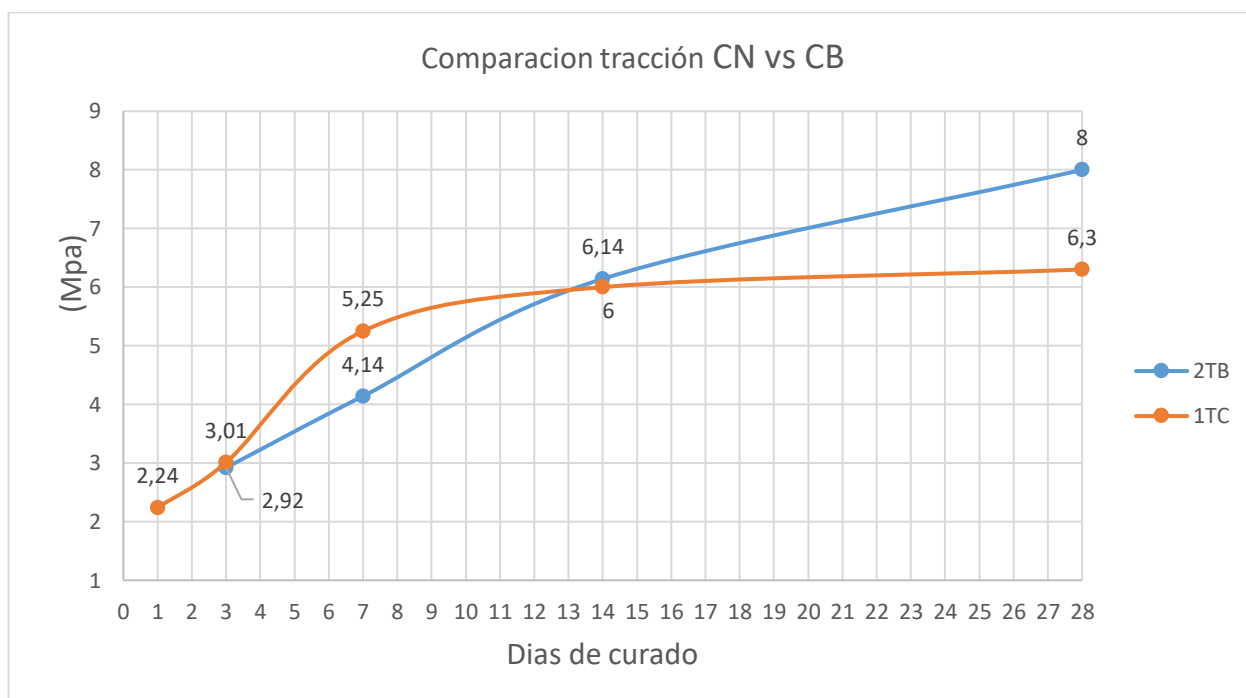


Nota 91. Elaboración propia

En su composición interna del espécimen de CB se encontró que, a los 28 días de curado, las zonas que contenían fibra aún no se habían secado ni reaccionado el agregado y el cemento.

También los valores de tracción del concreto convencional fueron más altos a edades tempranas, pero a los 14 y 28 días presento valores por debajo del concreto con fibras de caña, como se puede observar en la siguiente gráfica. t

Ilustración 47. Grafica comparación resultados de tracción CN vs CB



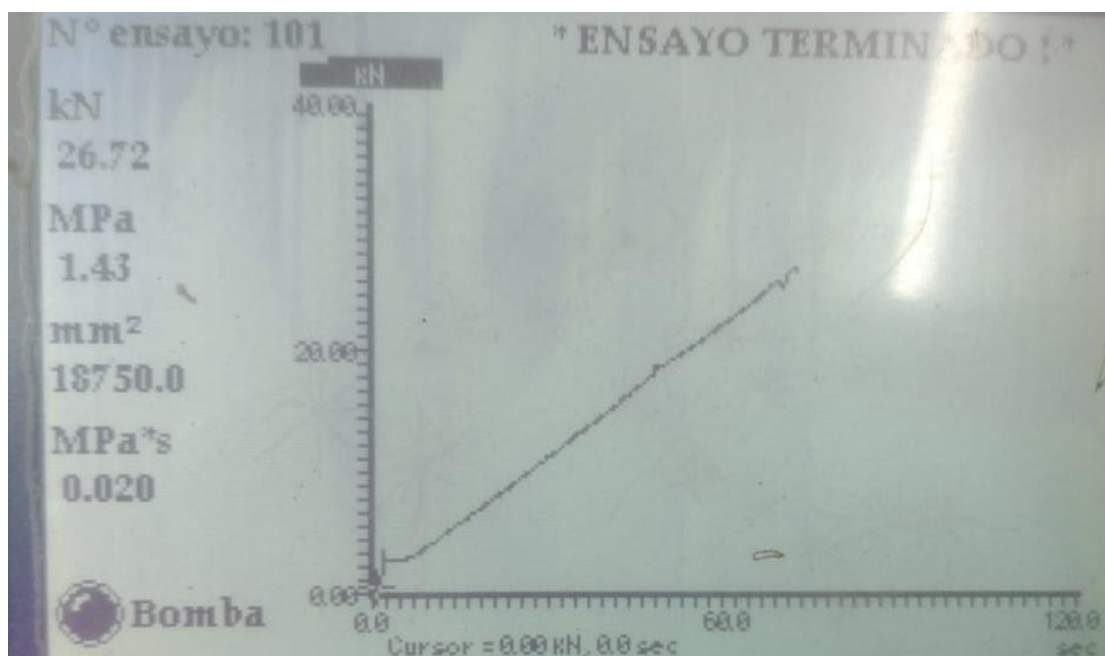
Nota 92. Elaboración propia

Tabla 46. Resuemen calores de traccion especimenes CN vs CB y rendimiento

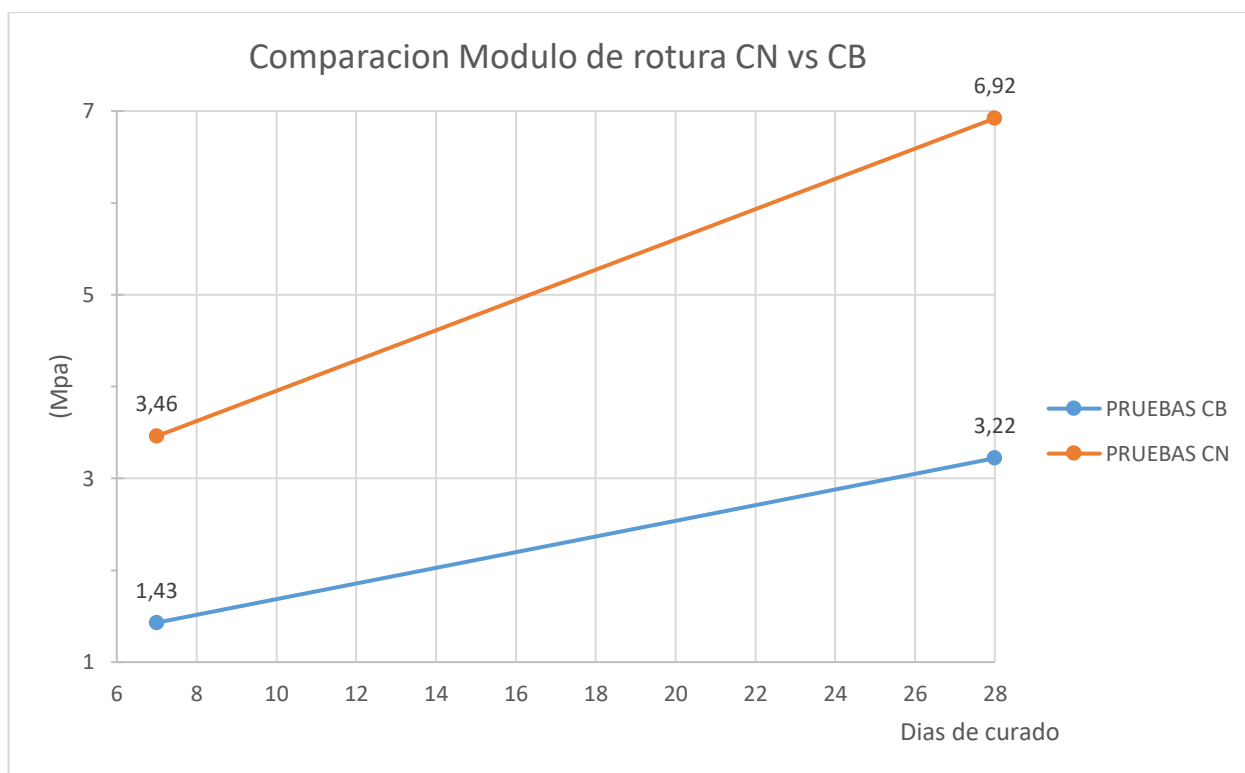
Días de curado	CN	CB	
	MPa	MPa	Rendimiento
1	2,24	0	-100,00%
3	3,01	2,92	-2,99%
7	6,61	4,14	-37,37%
14	7,23	6,14	-15,08%
28	9,59	8	-16,58%

Nota 93. Elaboración propia**18.7. Módulo de rotura**

Las viguetas con contenido de fibra ensayadas a 7 y 28 días de curado, en la cual en 7 días de curado su resistencia fue de 1.43 MPa y 3.22 MPa respectivamente, se observaba aun material que no reacciono químicamente con el cemento por lo cual se presume esta baja resistencia, además de esto el material aún se encontraba húmedo.

Ilustración 48. Grafica modulo de rotura VCB**Nota 94. Elaboración propia**

Las viguetas de espécimen de concreto convencionales falladas a 7 y 28 días presentaron resistencias de 3,46 MPa y 6,92 MPa respectivamente.

Ilustración 49. Comparacion Modulo de rotura CN vs CB**Nota 95. Elaboración propia****Tabla 47. Resumen valores módulo de rotura CN vs CB y su rendimiento**

Días de curado	CN	CB	
	MPa	MPa	Rendimiento
7	3,46	1,43	-58,67%
28	6,92	3,22	-53,47%

Nota 96. Elaboración propia**18.8. Módulo de elasticidad**

Los valores obtenidos representan los valores obtenidos de compresión ya que los especímenes de concreto convencional al alcanzar resistencias mayores que los especímenes de concreto con fibras de caña, esto se ve reflejado en el módulo de elasticidad de cada uno de ellos.

18.9. Absorción de energía

Se pudo evidenciar un aumento, aporte del 2% por parte de la fibra en la resistencia residual que le aporta al concreto antes de fallar, pero este valor comparado al de las fibras existentes en el mercado se encuentra por debajo de lo esperado teniendo en cuenta la dosis que se agregó al concreto ya que los valores de resistencia residual en concretos con otras fibras con una dosis de 1.8 kg/m^3 presentan resistencias residuales de 19,89% y un concreto convencional no presenta resistencia residual.

19. Análisis de resultados procedimiento de secado 2

19.1.Pruebas parafina

De acuerdo a los resultados obtenidos por absorción de agua y cambio de color de agua el método más eficiente para sellar la fibra es el método 5, ya que esta evita la expulsión de sacarosa al agua esto se evidencia por el poco cambio de color que la fibra le produce al agua, aunque la fibra llega absorber agua un 0.97% de agua, comparado con la fibra que es capaz de aumentar su peso un 206% al estar al contacto con agua, ese 0.97% de absorción de agua se debe tener en cuenta para el diseño del concreto, para de esta manera evitar perder manejabilidad y tener que usar algún tipo de aditivo. La fibra + parafina al estar 24 horas sumergida en agua aumenta su peso 5.61 g, pero sin absorber una gran cantidad de agua.

19.2.Contenido de aire

La diferencia de contenido de aire que se ve reflejado en el concreto de fibras con parafina se debe al asentamiento que este tiene y la separación que se da por la fibra.

19.3.Fraguado

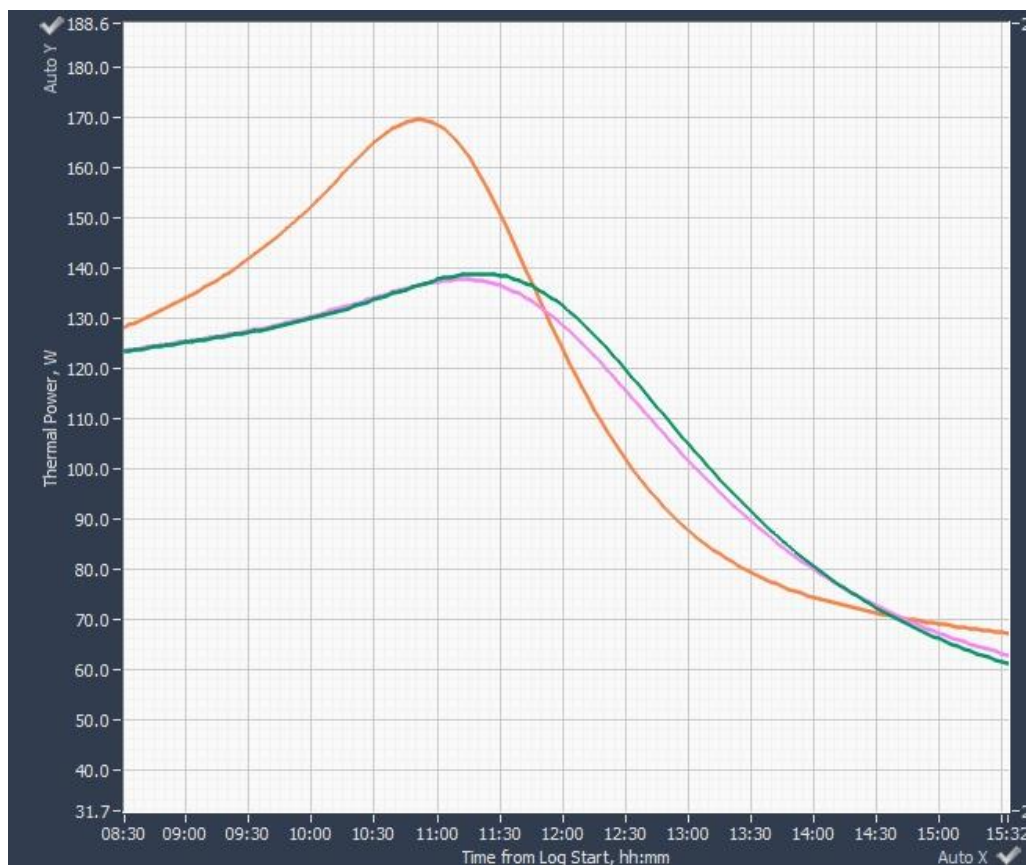
Los especímenes visualmente tuvieron un fraguado normal, entre 16 – 24 horas desde que se fundieron, esto se puede observar a detalle por medio de la calorimetría.

19.4.Calorimetría

A continuación, se puede observar un comparativo por medio grafico a través de la calorimetría de diferentes morteros:

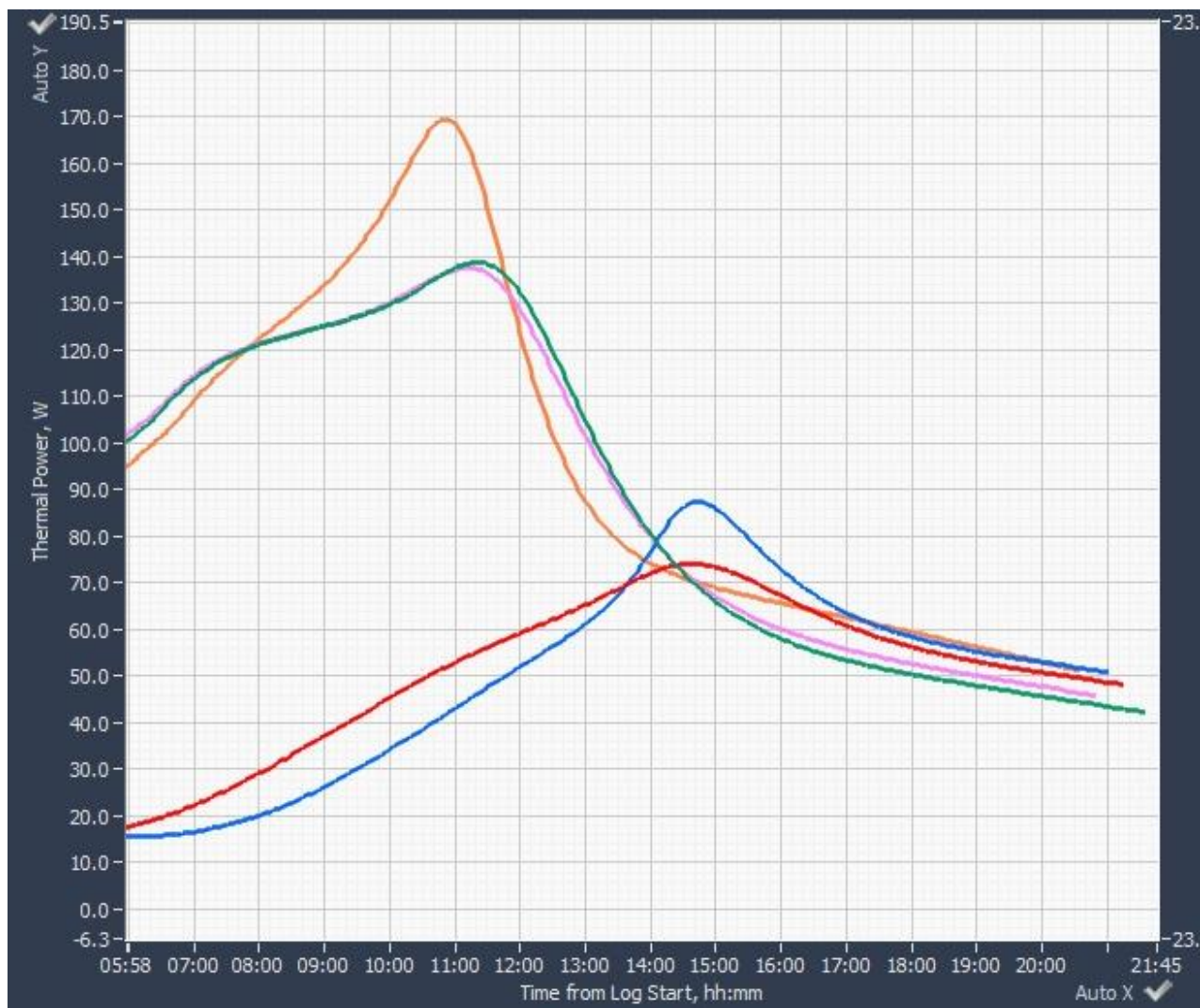
Mortero color verde, mortero fibra de caña color rojo, mortero fibras de caña + plastol color azul, mortero con fibras de caña + parafina color rosado, mortero fibras de caña + parafina + plastol color naranja.

Ilustración 50. Grafica calorimetría mortero vs mortero con fibras de caña + parafina vs mortero fibras de caña + parafina + plastol.



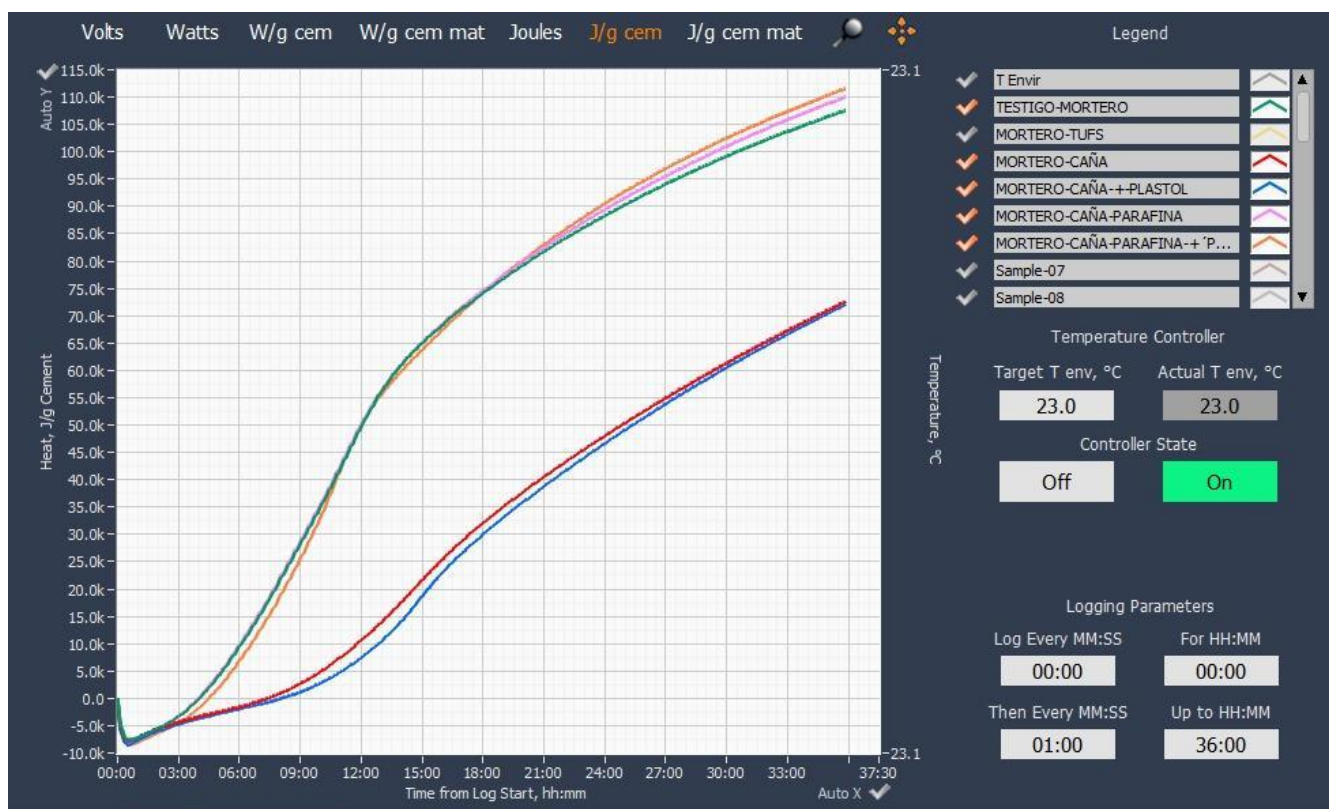
Nota 97. Elaboración propia

Ilustración 51. Grafica calorimetria mortero vs mortero fibra de caña vs mortero fibras de caña + plastol vs mortero con fibras de caña + parafina vs mortero fibras de caña + parafina + plastol.



Nota 98.Elaboración propia

Ilustración 52. Grafica resistencias estimadas de morteros mediante calorimetría.



Nota 99. elaboración propia.

Con esto se puede analizar y descartar la fibra de caña ya que la curva nos indica que tanto el fraguado y las resistencias se encuentran por debajo del testigo.

Las fibras de caña con recubrimiento de parafina presentan mayor resistencia que el testigo de mortero sin adiciones.

19.5.Compresión

Con base a los datos obtenido se puede analizar y comparar los especímenes de CBP, CB y CN. Con lo cual los valores obtenidos a 1 día de curado el CBP obtuvo resistencias promedio de 5.55 MPa, mientras que el CB no presento resistencias, el CN presento resistencias promedio de 3.78 MPa, una diferencia de 1.77 MPa lo que nos indica que el CBP tiene un rendimiento por mayor al CN a un día.

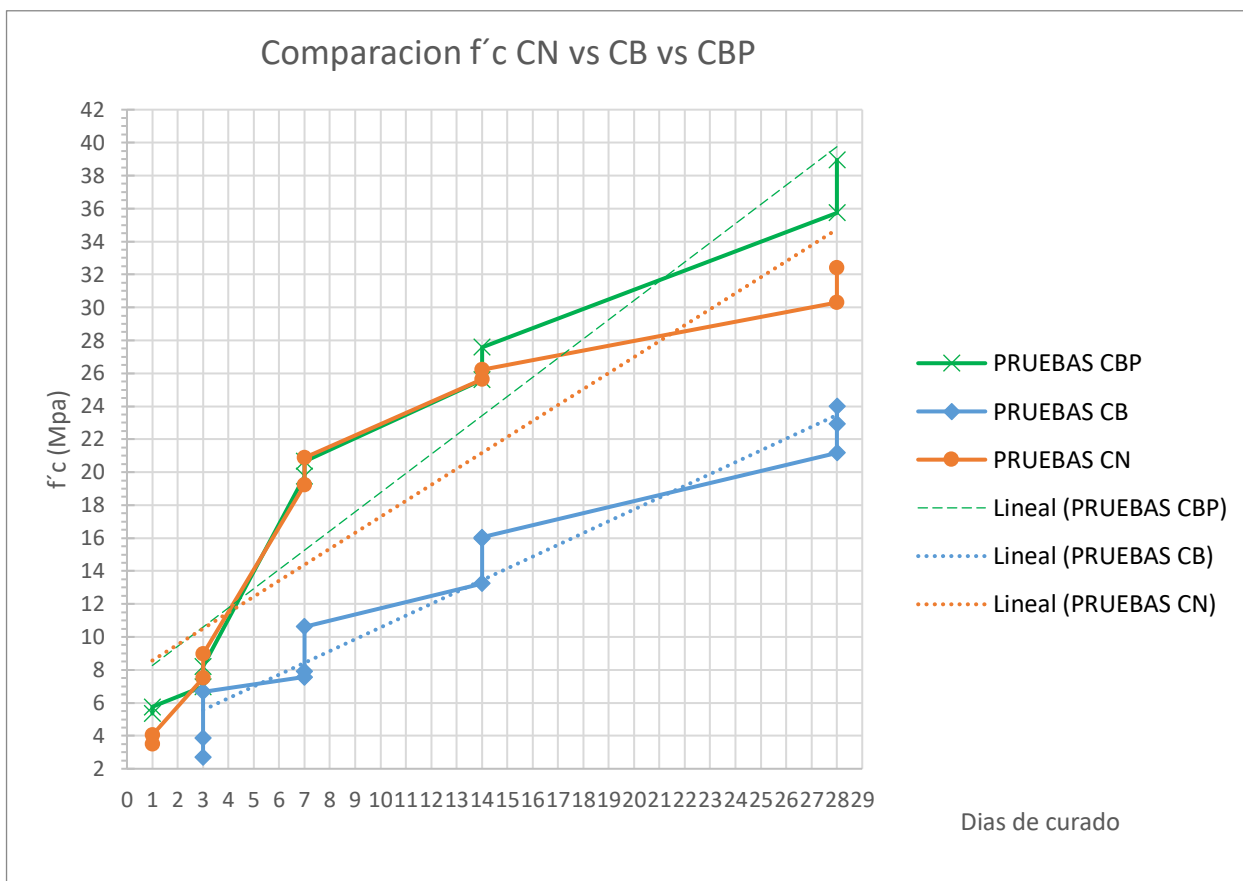
A los 3 días de curado el CBP presento resistencia promedio de 7.595 MPa, el CB de 4.41MPa y el CN de 8.235, por lo cual el rendimiento a tres días del CBP es 3.18 MPa superior al CB, mientras que el CBP se encuentra 0.64 MPa del rendimiento esperado comparándolo con el CN.

El CBP a 7 días de curado presento resistencias de 20.21 MPa en promedio, el CB obtuvo resistencias de 8.70 MPa y el CN de 20.06 MPa. Por lo cual su rendimiento vs su contratipo CB es de 11.51 MPa mas, el rendimiento con respecto al CN también se encuentra por encima por 0.15 MPa de diferencia.

El rendimiento a 14 días del CBP fue 11.50 MPa por encima al del CB, Por otro lado, el rendimiento del CBP se encuentra por encima 0.655 MPa respecto al CN.

A 28 días el CBP presenta un rendimiento superior de 14.70 MPa comparándolo con el CB, Mientras que el rendimiento vs el CN es de 7.17 MPa superior en los especímenes de CBP. Esto se puede observar gráficamente en la siguiente ilustración.

Ilustración 53. Grafica Comparación CN vs CB vs CBP



Nota 100. Elaboración propia

Tabla 48. Resumen valores de compresión CN vs CBP y su rendimiento

Días de curado	CN			CBP			
	MPa	MPa	Promedio	MPa	MPa	Promedio	Rendimiento
1	3,5	4,06	3,78	5,35	5,75	5,55	46,83%
3	7,5	8,97	8,235	6,98	8,21	7,595	-7,77%
7	19,23	20,89	20,06	19,76	20,66	20,21	0,75%
14	25,65	26,23	25,94	25,61	27,58	26,60	2,53%
28	30,28	32,41	31,345	35,74	38,95	37,345	19,14%

Nota 101. Elaboración propia

Tabla 49. Resumen valores de compresión CBP vs CB y su rendimiento

Días de curado	CBP			CB				Rendimiento
	MPa	MPa	Promedio	MPa	MPa	MPa	Promedio	
1	5,35	5,75	5,55	0	0	0	0	-100,00%
3	6,98	8,21	7,595	2,7	3,87	6,67	4,41	-41,89%
7	19,76	20,66	20,21	7,56	7,91	10,63	8,70	-56,95%
14	25,61	27,58	26,60	13,24	15,98	16,04	15,09	-43,27%
28	35,74	38,95	37,345	21,17	24,00	22,93	22,70	-39,22%

Nota 102. Elaboración propia**19.6.Tracción**

Al analizar el concreto de fibra de caña con recubrimiento de parafina se encuentra que en su composición interna se encuentra con una adecuada reacción entre cemento y agregados. Con lo cual el rendimiento que presentaron los especímenes de CBP a todas las edades fueron superiores a sus contratipos como se puede observar en la siguiente grafica

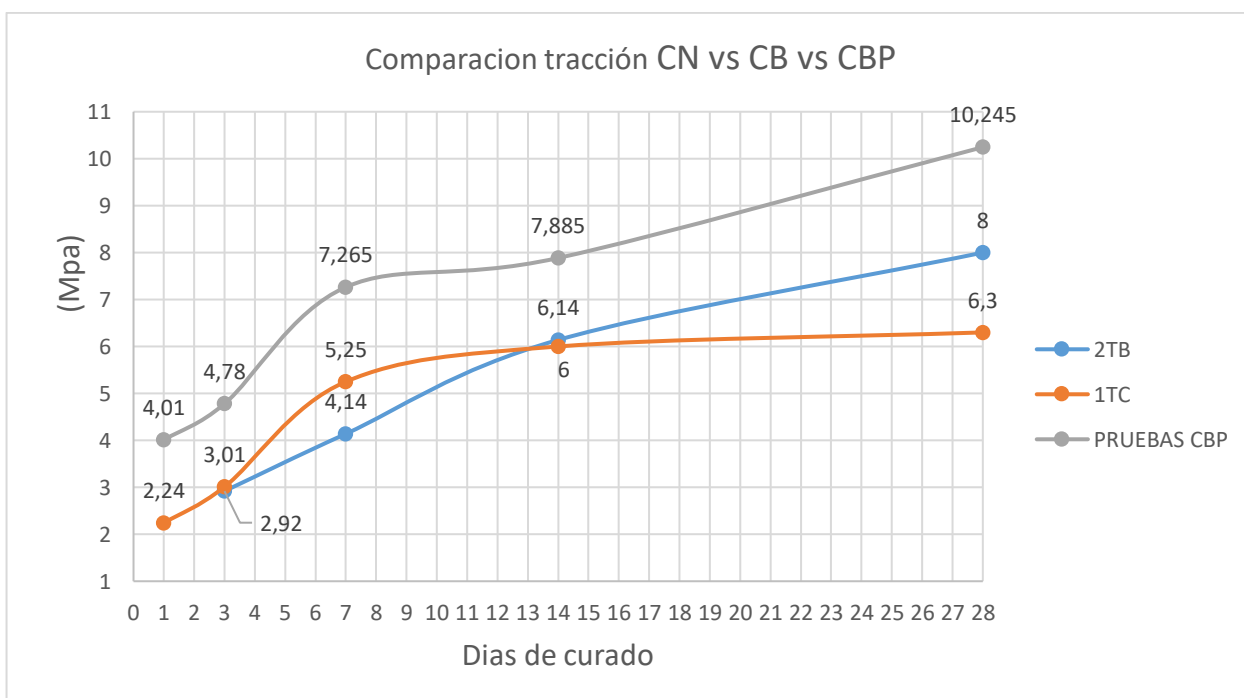
Ilustración 54. Grafica comparación valores de tracción en los especímenes CN vs CB vs CBP**Nota 103. Elaboración propia**

Tabla 50. Resumen valores tracción CN vs CBP y su rendimiento

Días de curado	CN	CBP	
	MPa	MPa	Rendimiento
1	2,24	4,01	79,02%
3	3,01	4,78	58,80%
7	6,61	7,265	9,91%
14	7,23	7,885	9,06%
28	9,59	10,245	6,83%

Nota 104. Elaboración propia**Tabla 51. Resumen valores tracción CBP vs CB y su rendimiento**

Días de curado	CBP	CB	
	MPa	MPa	Rendimiento
1	4,01	2,24	-44,14%
3	4,78	3,01	-37,03%
7	7,265	6,61	-9,02%
14	7,885	7,23	-8,31%
28	10,245	9,59	-6,39%

Nota 105. Elaboración propia**19.7. Módulo de rotura**

Se encontró que el espécimen de CBP también presento un rendimiento mejor ya que la absorción de energía que este le aporta al concreto y su buen fraguado le permite tener mejores valores que sus contratipos.

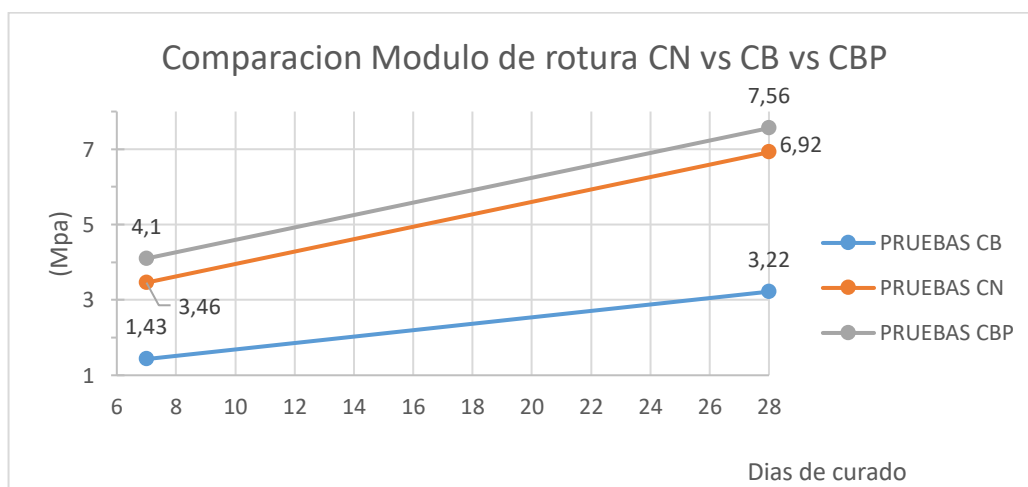
Ilustración 55. Grafica Comparación modulo de rotura CN vs CB vs CBP**Nota 106. Elaboración propia**

Tabla 52. Resumen valores modulo de rotura CN vs CBP y su rendimiento

Días de curado	CN	CBP	
	MPa	MPa	Rendimiento
7	3,46	4,1	18,50%
28	6,92	7,56	9,25%

Nota 107. Elaboración propia**Tabla 53. Resumen valores modulo de rotura CBP vs CB y su rendimiento**

Días de curado	CBP	CB	
	MPa	MPa	Rendimiento
7	4,1	1,43	-65,12%
28	7,56	3,22	-57,41%

Nota 108. Elaboración propia**19.8. Absorción de energía**

La absorción de energía del espécimen CBP se encuentra en un 12% lo cual nos indica un mejor rendimiento que el CB y CN. Aunque para la dosis que se está utilizando debería ser un rango de valor más alto entre 30 y 44 % ya que estos son los valores de resistencia residual de las fibras del mercado.

Tabla 54. Valores resistencias residuales a diferentes dosis para fibras sintéticas de Toxement

Dosis lb/yd ³ (kg/m ³)	f_{e3} psi (MPa)	R_{e3} %
3.0 (1.8)	128 (0.9)	22±3
5.0 (3.0)	203 (1.4)	30±2
7.5 (4.5)	288 (2.0)	44±4

Nota 109. Información tomada de (Eucomex, 2016)**20. Conclusiones**

- Por el procedimiento de secado 1, la fibra al contener aun sacarosa en el proceso de elaboración de la mezcla, afecta en el concreto retardando el fraguado de este y por ende las resistencias a edades tempranas, esto se ve reflejado en la **ilustración 41. Comparación poder térmico mortero vs mortero fibras** donde el área bajo la curva es la resistencia a compresión y el concreto con fibra se ve afectado por la existencia de la sacarosa, el espécimen CB alcanza su pico más alto dos horas después del pico máximo del concreto convencional, pero sin llegar a igualar el poder térmico del concreto convencional. Por lo cual nos indica que a la fibra se le debe realizar un procedimiento de secado más riguroso para no ver afectado esa resistencia a edades tempranas.

- El concreto con fibras se encuentra en el rango de valores de compresión planteados en la hipótesis (20.59-27.45 MPa) a edad de 28 días con resistencias promedio de 22.70 MPa. Pero comparado con los valores obtenidos del concreto convencional se encuentra 8.65% por debajo del rendimiento ideal que presenta el concreto sin adicciones.
- Por medio del procedimiento de secado 1 las fibras de caña pueden aportar un esfuerzo adicional antes de que falle el concreto, ya que estas le aportan una resistencia residual del 2% y un concreto convencional no tiene resistencia residual.
- Procedimiento de secado 2 método 5, Resulta ser más eficiente para sellar la fibra y de esa forma evitar el retardo en el concreto producido por la expulsión de la sacarosa y la absorción de agua de la fibra, lo cual influye en la manejabilidad y fraguado del concreto en comparación con el procedimiento de secado 1.
- Las resistencias a compresión obtenidas mediante el procedimiento de secado 2 nos indican que el rendimiento del concreto con fibras con recubrimiento de parafina (CBP) a 28 días es mayor al del testigo de concreto (CN) y al de concreto con fibras (CT). Ya que el CBP presenta resistencias a compresión de 37.345 MPa mientras que el CN 31.345 MPa y el CB 22.70 MPa.
- Mediante calorimetría en morteros y posterior compresión de cubos se presentó que las resistencias de las fibras de caña con recubrimiento de parafina por el método de curado 5, demostró mejor rendimiento que las demás fibras analizadas y un rendimiento igual al testigo de mortero.
- Los curados de los especímenes de fibra con recubrimiento de parafina presentaron un proceso de curado sin alteración en comparación con el testigo de mortero y una solución efectiva sellando la fibra evitando que esta absorba el agua del concreto y expulse azúcar al concreto.
- El proceso de inclusión de las fibras al concreto presenta dos dilemas ya que las fibras de caña presentan retardo en el concreto, si no se le hace un proceso adicional de secado, por lo cual se ve afectada las resistencias como lo refleja el CB, Por otro lado, ese procedimiento adicional de secado que incluye más gasto de agua por lavado, gasto energético por más tiempo de secado en horno y consumo de parafina, se desvía del objetivo sostenible del proyecto.
- Por otro lado, queda abierta la discusión si por medio de un proceso de lavado o secado más agresivo en las fibras de caña estas pueden mejorar su rendimiento, o variando el diámetro de la fibra a un espesor menor puedo permitir que su acomodación en la mezcla se dé mejor.
- Los especímenes de CBP con sus resistencias de compresión superiores a concretos con fibras del mercado, Pero el concreto con fibras al someterse el ensayo de absorción de energía, la fibra de caña presento valores por debajo del rendimiento optimo, ya que, al compararla con la fibra sintética, la fibra de caña es más densa por lo cual al agregar la misma dosis al concreto la fibra sintética tenia mas volumen en el concreto por lo cual la separación entre fibras en los especímenes es menor.

21. Referencias

ASTM. (2009). Editorial Staff, C 31/C 31 M – 08ª preparación y curado de especímenes de concreto en la obra.

ASTM. (2009). Editorial Staff, C 39/C 39 M – 05^{ed} Método de ensayo normalizado para resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

ACI 211. (s.f.). *DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO*.

ACI 544. (1997). *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete (Informe del Estado del Arte del Concreto Reforzado con Fibras)*.

Castillo, E. (2017). *Influencia Del Porcentaje De Adición En Peso De Fibra De Cabuya y Temperatura De Curado Sobre La Resistencia Al Impacto De Un Compuesto De Matriz Poliéster – Fibra De Vidrio*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo .

Eucomex. (2016). Historia, Propiedades, Diseño y Aplicaciones exitosas de Concreto Reforzado con Fibras (CRF) para construcciones de concreto. *GUÍA DE INGENIERÍA*, 3.

Juarez alvarado, C., Rodriguez Lopez, P., & Rivera villarreal, R. (2003). *Uso de las fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto*. Monterrey, Mexico: ciencia UANL.

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. PCA.

NTC 2871. (2004). *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA FLEXIÓN (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS MEDIOS)*. ICONTEC.

NTC 3357. (2006). *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO DE CEMENTO HIDRÁULICO*.

NTC 5551. (2007). *DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*. ICONTEC.

NTC 722. (2000). *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO*. ICONTEC.

NTC 673. (2010). Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. ICONTEC

NTC1377. (2010). Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos en el Laboratorio. ICONTEC

NTC 550. (2017). Elaboración y curado de especímenes de concreto en el sitio de trabajo. ICONTEC

NTC 2275. (1997). Procedimiento recomendado para la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia del concreto. ICONTEC

Shah, S. P.; Weiss, W. J. y Yang, W., “Shrinkage Cracking – Can it be prevented? (Fisuración por Contracción – ¿se puede prevenir?),” Concrete International, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, Abril 1998,

22. Bibliografía

Agencia iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología. (2014). *Bagazo de caña, posible componente de concreto hidráulico*. Recuperado de <http://www.dicyt.com/noticias/bagazo-de-cana-posible-componente-de-concreto-hidraulico>.

Arboleda botina, g. (2018). Estudio de factibilidad técnica y económica para la elaboración de concreto, reemplazando la malla electro soldada por fibras sintéticas. <https://repository.unicatolica.edu.co/handle/20.500.12237/1564>

Baca uscamayta, c., & vela cáceres, l. (2020). Evaluación de las propiedades mecánicas de un concreto autocompactante adicionando fibras sintéticas. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3831>

Belén maría paricaguán morales; josé luis muñoz cuevas estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar studies of the mechanical properties of concrete reinforced with sugar cane bagasse fibers revista ingeniería uc, vol. 26, núm. 2, 2019 universidad de carabobo <https://www.redalyc.org/journal/707/70760276009/movil/>

Castaldelli, v., akasaki, j., melges, j., tashima, m., soriano, l., borrachero, m., ... payá, j. (2013). Sugar-cane bagasse ash (scba): studies on its properties for reusing in concrete production, *materials*, 6, 3108-3127. Doi: 10.3390/ma6083108

Christ,r., pacheco,f., ehrenbring,h., quinino,u., mancio,m., & tutikian,b.f. (2019). Estudio del comportamiento mecánico del hormigón de ultra-altas prestaciones (uhpc) reforzado con fibras híbridas y con consumo reducido de cemento. https://www.lareferencia.info/vufind/record/cl_8311504ca1943ad971050426ebdb50b8

Cordeiro, g., tavares, l., & toledo, r. (2016). Improved pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash by selective grinding and classification. *Cement and concrete research*, 89, 269-275. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.08.020>

De soares, m., garcía, d., figueiredo, r., aguilar, m., & cetlin, p. (2016). Comparing the pozzolanic behavior of sugar cane bagasse ash to amorphous and crystalline sio₂. *Cement and concrete composites*, 71, 20-25. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.04.005>

Espinoza carvajal, m. J. (2015). Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. https://www.lareferencia.info/vufind/record/ec_2904138b8ba07477014ae5da6291921e/descripti on#tabnav

Fördös, z., natural or modified cellulose fibres as reinforced in cement composites, concrete technology and design vol. 5, natural fibre reinforced cement and concrete, edited by r. N, swamy, blackie and son ltd, u.k., 1988

Garcia aymar, p. (2007). Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto. Universidad ricardo palma. http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/113/garcia_pa.pdf?sequence=1&isallowed=y

Gram., hans. E. Durability of natural fibres in concreto., natural fibre reinforced cement and concrete. (concrete technology and desingn, swamy, ramnath narayan, de.), glasgow, blackie. 1988.

Herrera lazarte, s. R., & polo roca, m. E. (2017). Estudio de las propiedades mecánicas del concreto en la ciudad de arequipa, utilizando fibras naturales y sintéticas, aplicado para el control de fisuras por retracción plástica. [Http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/record/ucsm_10a56d8d0dfa72e9adb9b24fddbd255a](http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/record/ucsm_10a56d8d0dfa72e9adb9b24fddbd255a)

J.c.b. Moraes, j.l. Akasaki, j.l.p. Melges, j. Monzó, m.v. Borrachero, l. Soriano, j. Payá, m.m. Tashima, assessment of sugar cane straw ash (scsa) as pozzolanic material in blended portland cement: microstructural characterization of pastes and mechanical strength of mortars, construction and building materials, volume 94, 2015.

J.m.l reis. Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete. Construction and building materials 20 (2006)

Mendoza, carlos javier, aire, carlos, & dávila, paula. (2011). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. Concreto y cemento. Investigación y desarrollo, 2(2), 35-47. Recuperado en 11 de febrero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s2007-30112011000100003&lng=es&tlng=.

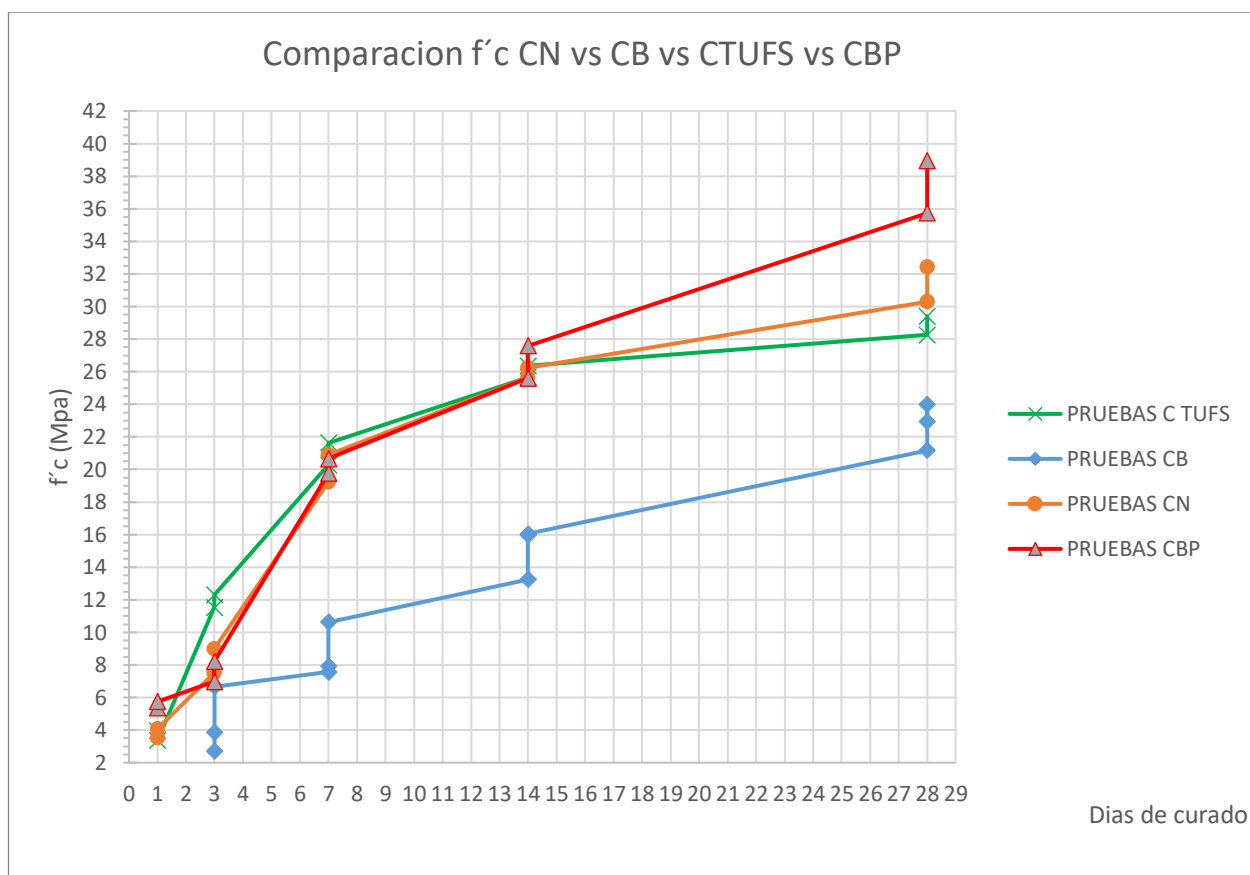
Osorio saraz, jairo alexander, varón aristizabal, fredy, & herrera mejía, jhonny alexander. (2007). Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Dyna, 74(153), 69-79. Retrieved february 11, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0012-73532007000300008&lng=en&tlng=es.

Shah, s. P., " marikunte, s. S., fiber reinforced concrete, proc. Of acbm faculty enhancement workshop, 1993

23. Anexos

En esta grafica se presenta como un adicional ya que esta fibra es del mercado de la compañía en la que me encontré realizando prácticas y es pertinente tener idea del rendimiento de las fibras de caña tienen vs una fibra del mercado.

Ilustración 56. Grafica comparación f'_c CN vs CB vs CTUFS vs CBP



Nota 110. Elaboración propia