

**PROPUESTA DE ELEMENTO CONSTRUCTIVO A PARTIR DE
BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CEMENTO PÓRTLAND**

CIRO ALFONSO PARRA GUERRERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

**PROPUESTA DE ELEMENTO CONSTRUCTIVO A PARTIR DE
BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CEMENTO PÓRTLAND**

CIRO ALFONSO PARRA GUERRERO

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR:
ING. RICARDO CRUZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

A Dios, por ser el amigo que nunca me ha fallado.
A mi madre, por su amor, valentía y verriquera de llevar
la vida, por confiar en mis actos y decisiones.
A mi padre, por creer en mi.
A mis hermanas, quienes me conocen bien
y me han acompañado en todos los momentos.

CIRO ALFONSO PARRA GUERRERO

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento:

A Ricardo Alfredo Cruz H., Ingeniero Civil y Director de la Investigación, por su compromiso y colaboración.

A Raúl Costales, Ingeniero mecánico, Director de investigación ICIDCA, Cuba, por su colaboración, aportes y sus valiosas orientaciones.

A Javier Morales y Hernando, Ingenieros Civiles, por su colaboración y motivación incondicional.

A Miguel Agudelo, Jairo, Germán y Daniel Garavito, Personal técnico de Laboratorios UIS, a Oscar Parada y a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron y colaboraron en la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	3
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos Especificos	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	6
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE GUEPSA	7
2.1. GENERALIDADES	7
2.2. UBICACIÓN	7
2.3. DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA	8
2.4. USO DE LA ZONA	10
2.4.1. Caña de azúcar	11
2.4.1.1. Generalidades	11
2.4.1.2. Caracteres morfológicos	11
2.4.1.3. Composición química	12
2.4.1.4. Variedades cultivadas en la región	13
2.4.2. La industria panelera en la región	14
2.4.2.1. Generalidades	14
2.4.2.2. Proceso de fabricación de la panela	15
2.4.2.2.1. Manejo de la caña	16

2.4.2.2.2. Molienda	17
2.4.2.2.3. Limpieza o clarificación	18
2.4.2.2.4. Evaporación del jugo o concentración	19
2.4.2.2.5. Punteada	20
2.4.2.2.6. Batido	20
2.4.2.2.7. Moldeo	20
2.4.2.2.8. Empaque y almacenamiento	21
2.4.2.3. Comparación de trapiches	22
3. MATERIALES	27
3.1. BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	27
3.1.1. Generalidades	27
3.1.2. Composición física	29
3.1.3. Humedad	30
3.1.4. Caracterización morfológica	31
3.1.5. Composición química	31
3.1.6. Subproductos	32
3.2. CEMENTO PÓRTLAND	34
3.2.1. Generalidades	34
3.2.2. Composición química	34
3.3. ARENA	36
3.3.1. Generalidades	36
3.3.2. Arena natural	36
3.3.3. Arena fabricada	37
3.4. AGUA	37
3.4.1. Generalidades	37
3.4.2. Agua de amasado	37
3.4.3. Agua de hidratación	38
3.4.4. Agua evaporable	38
3.4.5. Agua de curado	38
4. TRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA	39

4.1.	BAGAZO DE CANA DE AZUCAR	39
4.1.1.	Procedencia	39
4.1.2.	Molienda o trituración	40
4.1.3.	Granulometría	42
4.1.4.	Gravedad específica y absorción	45
4.2.	MINIMIZACIÓN DE LA SACAROSA	47
4.2.1.	Generalidades	47
4.2.2.	Grados BRIX	49
4.2.3.	Pretratamiento	52
4.2.4.	Porcentaje de sacarosa	54
4.3.	TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LA FIBRA	57
4.3.1.	Generalidades	57
4.3.2.	Hidróxido de calcio o cal hidratada	59
4.3.3.	Silicato de sodio combinado con sulfato de aluminio	60
4.3.4.	Silicato de sodio	61
4.3.5.	Elección del tratamiento	62
4.4.	CEMENTO PÓRTLAND	63
4.4.1.	Procedencia	63
4.4.2.	Ensayos	63
4.5.	ARENA	69
4.5.1.	Procedencia	69
4.5.2.	Ensayos	69
4.6.	AGUA	73
4.6.1.	Procedencia	73
5.	DOSIFICACIÓN	74
5.1.	PRECEDENTES	74
5.2.	MEZCLA DE BAGAZO CON PASTA DE CEMENTO	76
5.2.1.	Fibra mineralizada con Silicato de Sodio	88
5.2.2.	Fibra mineralizada con Hidróxido de Calcio	89
5.3.	MEZCLA DE BAGAZO CON MORTERO DE CEMENTO	90

5.3.1. Fibra mineralizada con Silicato de Sodio	101
5.3.2. Fibra mineralizada con Hidróxido de Calcio	102
6. CARACTERIZACIÓN DEL ELEMENTO	104
6.1. COMPRESIÓN	106
6.1.1. Preparación de las probetas	106
6.1.2. Ensayo	107
6.1.3. Análisis y observaciones	109
6.2. TENSIÓN	111
6.2.1. Preparación de las probetas	111
6.2.2. Ensayo	112
6.2.3. Análisis y observaciones	113
6.3. FLEXIÓN	114
6.3.1. Preparación de las probetas	114
6.3.2. Ensayo	115
6.3.3. Análisis y observaciones	116
6.3.4. FICHA TÉCNICA DEL ELEMENTO	118
6.4. FICHA TÉCNICA RESUMEN	118
6.5. FICHA TÉCNICA PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN	119
6.6. FICHA TÉCNICA BAGAZO-CEMENTO-MINERALIZADOR DE SILICATO DE SODIO	120
6.7. FICHA TÉCNICA BAGAZO-CEMENTO-MINERALIZADOR DE HIDRÓXIDO DE CALCIO	121
6.8. FICHA TÉCNICA BAGAZO-MORTERO-MINERALIZADOR DE SILICATO DE SODIO	122
6.9. FICHA TÉCNICA BAGAZO-MORTERO-MINERALIZADOR DE HIDRÓXIDO DE CALCIO	123
7. CONCLUSIONES	124
8. RECOMENDACIONES	126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Composición química de la caña de azúcar	12
TABLA 2. Variedades de caña cultivadas en la región	13
TABLA 3. Cuadro comparativo entre las clases de trapiches existentes en Güepsa	26
TABLA 4. Composición física del bagazo	29
TABLA 5. Caracterización Morfológica del bagazo	31
TABLA 6. Composición química del bagazo	32
TABLA 7. Constituyentes del cemento Pórtland	34
TABLA 8. Componentes mineralógicos principales del clinker	35
TABLA 9. Mallas utilizadas en el molino de cuchillas	41
TABLA 10. Análisis granulométrico de la fibra	42
TABLA 11. Gravedad Específica y absorción de la fibra.	46
TABLA 12. Grados BRIS en las muestra de bagazo	50
TABLA 13. Muestreo para análisis de porcentaje de sacarosa y pH	55
TABLA 14. Análisis de porcentaje de sacarosa y pH	55
TABLA 15. Evaluación de los tratamientos superficiales	62
TABLA 16. Resultados de consistencia normal del cemento	64
TABLA 17. Muestreo para análisis de fraguado de la pasta de cemento frente a la sacarosa	67
TABLA 18. Resultados de análisis de fraguado de la pasta de cemento frente a la sacarosa	68
TABLA 19. Tiempo de fraguado de las muestras de pasta de cemento frente a la sacarosa	69

TABLA 20. Composición granulométrica de la arena	70
TABLA 21. Peso Específico y absorción de la arena	72
TABLA 22. Materiales para dosificación del elemento	74
TABLA 23. Combinación de la materia prima	75
TABLA 24. Granulometría de la fibra para mezcla de bagazo con pasta de cemento.	77
TABLA 25. Muestreo para dosificación de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.	81
TABLA 26. Resultado de pruebas para dosificación de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.	82
TABLA 27. Muestreo para relación agua/cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.	86
TABLA 28. Resultados de relación agua/cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.	86
TABLA 29. Peso específico y humedad en mezcla de bagazo con pasta de cemento	87
TABLA 30. Dosificación (B + Si + P)	88
TABLA 31. Dosificación (B + HC + P)	89
TABLA 32. Granulometría de la fibra para mezcla de bagazo con mortero de cemento	91
TABLA 33. Cantidad de agua de predosificación en mezcla de bagazo con mortero	92
TABLA 34. Muestreo para dosificación de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento	94
TABLA 35. Resultado de pruebas para dosificación de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento	94
TABLA 36. Muestreo para relación agua/cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.	99
TABLA 37. Resultados de relación agua/cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento	99

TABLA 38. Peso específico y humedad en mezcla de bagazo con mortero de cemento	100
TABLA 39. Dosificación (B + Si + M)	101
TABLA 40. Dosificación (B + HC + M)	102
TABLA 41. Cuadro resumen de la resistencia a la tensión de los diferentes elementos	113
TABLA 42. Cuadro resumen de la resistencia a la flexión de los diferentes elementos.	116

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Ubicación del municipio de Güepsa	8
FIGURA 2. Estructura morfológica del tallo de la caña de azúcar	12
FIGURA 3. Esquema general del proceso de fabricación panelera	16
FIGURA 4. Esquema de clasificación general de las fibras	28
FIGURA 5. Análisis granulométrico de la fibra	43
FIGURA 6. Estructura molecular de la sacarosa	48
FIGURA 7. Esquema explicativo del proceso de impureza en el cemento a causa de la sacarosa	49
FIGURA 8. Gráfica de consistencia normal del cemento	65
FIGURA 9. Composición granulométrica de la arena	70
FIGURA 10. Gráfica de resistencia Vs Cantidad de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento	82
FIGURA 11. Gráfica de Peso específico Vs Humedad en mezcla de bagazo con pasta de cemento.	87
FIGURA 12. Gráfica de resistencia Vs Cantidad de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento	95
FIGURA 13. Gráfica de Peso específico Vs Humedad en mezcla de bagazo con mortero de cemento	100

LISTA DE FOTOS

FOTO 1. Cargue de la caña de azúcar	17
FOTO 2. Motores de molienda según el trapiche	18
FOTO 3. Pailas para concentración de azúcar	20
FOTO 4. Moldeo de la panela	21
FOTO 5. Empaque y almacenamiento de la panela	21
FOTO 6. Trapiche semi-tradicional	22
FOTO 7. Trapiche con tecnología CIMPA	23
FOTO 8. Bagazo después de la molienda en el trapiche panelero	40
FOTO 9. Máquina molino de cuchillas. Planta de aceros UIS	41
FOTO 10. Máquina vibradora de tamicez y tamicez. Laboratorio de suelos y pavimentos UIS	44
FOTO 11. Carta de granulometría de la fibra	44
FOTO 12. Extracción de vacíos en la fibra	45
FOTO 13. Mineralización con Hidróxido de Calcio	59
FOTO 14. Mineralización con Silicato de Sodio combinado con Sulfato de Aluminio	60
FOTO 15. Mineralización con Silicato de Sodio	61
FOTO 16. Instrumentos para medición de tiempo de fraguado	66
FOTO 17. Prueba de contenido de materia orgánica en la arena	71
FOTO 18. Máquina universal de ensayos para maderas marca AMSLER. Laboratorio de resistencia de materiales UIS	78
FOTO 19. Formaleta y accesorios para ensayos de dosificación	79
FOTO 20. Mezcladora mecánica. Laboratorio de Concretos UIS	80

FOTO 21. Cilindro para prueba a compresión para cantidad de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento	81
FOTO 22. Cilindro fallado a compresión para cantidad de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento	84
FOTO 23. Cilindro para prueba a compresión para cantidad de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento	93
FOTO 24. Cilindro tipo fallado a compresión con 150 y 200 gramos de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.	97
FOTO 25. Cilindro fallado a compresión con 300 gramos de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.	98
FOTO 26. Cilindro fallado a compresión con 250 gramos de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.	98
FOTO 27. Probeta tipo para fallar a la compresión	106
FOTO 28. Máquina universal de ensayos marca TREBEL. Laboratorio de resistencia de materiales	107
FOTO 29. Ensayo a la compresión	108
FOTO 30. Forma de falla de las probetas sometidas a la compresión a los 7 y 14 días.	109
FOTO 31. Forma de falla de las probetas sometidas a la compresión a los 28 días.	110
FOTO 32. Probeta tipo falladas a la tensión	111
FOTO 33. Ensayo a la tensión	112
FOTO 34. Probeta tipo fallada a la tensión	114
FOTO 35. Ensayo a la flexión	116

ANEXOS

ANEXO A. ENSAYOS A LA COMPRESIÓN

ANEXO B. ENSAYOS A LA TENSIÓN

ANEXO C. ENSAYOS A LA FLEXIÓN

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE ELEMENTO CONSTRUCTIVO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CEMENTO PORTLAND*

AUTOR: CIRO ALFONSO PARRA GUERRERO**

PALABRAS CLAVES: Bagazo de caña de azúcar, cemento Pórtland, dosificación, sacarosa, fibra, tratamiento superficial.

DESCRIPCIÓN: El monocultivo de la caña de azúcar para la producción de panela en el municipio de Güepsa, trae como consecuencia el decrecimiento económico de la región en épocas de bajo consumo; de aquí surge la necesidad de buscar nuevos productos para reactivar la economía utilizando materiales de desecho industrial, como es el bagazo de la caña de azúcar. Para llegar a este fin se utilizó la pasta de cemento y el mortero de cemento Pórtland como materiales aglutinantes. El bagazo de caña se cortó mecánicamente con el fin de aprovechar al máximo la resistencia mecánica que proporciona la fibra. Se presentaron dos problemas debido a la misma naturaleza de la caña; el primero, es la cantidad de sacarosa presente, ya que está catalogada como impureza para el cemento al afectar el tiempo de fraguado. Para esto se realizó un pretratamiento con agua hirviendo, aprovechando la característica de solubilidad de la sacarosa en el agua. El segundo, se debe a que es una fibra vegetal, es decir, es una fibra orgánica que con el tiempo se descompone, problema que se solucionó sometiendo la fibra a varios tratamientos químicos en donde la solución de Silicato de Sodio fue el que garantizó mejor adherencia y protección superficial. Los materiales presentaron buenos resultados a la flexión, y las probetas a la compresión fallaron por deformación y no por rotura, característica especial en elementos de amortiguamiento.

* Trabajo de investigación

** Facultad de Ciencias Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ricardo A. Cruz Hernandez

SUMMARY

TITLE: PROPOSAL FOR A CONSTRUCTIV ELEMENT MADE FROM SUGAR CANE BAGASSE AND PÓRTLAND CEMENT.*

AUTOR: CIRO ALFONSO PARRA GUERRERO**

KEY WORDS: sugar cane bagasse, Portland cement, dosification, sucrose, fiber, superficial treatment .

The sugar cane plantation for the panela production in Guepsa leaves as consequence economic losses for the region when the demand is down. From here it comes the necessity of looking for new products to reactivate the economy using waste materials as the sugar cane bagasse. To achieve this goal the cement paste and the Portland mortar were used as gluing materials. The sugar cane bagasse was mechanically cut in order to get the best mechanic strength that the fiber offers. Two problems came up, because of the nature of the cane; the first is the amount of sucrose in the cane because this can affect the concrete hardening time. To avoid this a pre-treatment with boiling water to dissolve the sucrose was carried out. The second problem is due to the organic nature of the fiber, which means with the time it decompose, this problem were solved carrying out different chemical treatments where the sodium silicat solution was the best to grant best adherence and superficial protection. The materials showed good flexural performance and the cylinders failed by deformation and not by breaking, special characteristic in damping elements.

* Work of investigation

** Faculty of Fisicomecánicas Sciences, School of Civil Engineering, Ricardo A. Cruz Hernandez.

INTRODUCCIÓN

En la explotación de todos los recursos que estén al alcance del hombre, sobre todo cuando son identificados como desecho ó cuando son materiales que se desprecian porque no se conoce su función, cualquier estudio que se haga con el fin de cambiar ese concepto es ganancia. Si se encuentra una manejo favorable se han solucionado dos problemas fundamentales, el primero desde el punto de vista social, eliminando el desecho a causa que se le encontró una función, y el segundo desde el punto de vista económica, ya que se pueden generar grandes dividendos obteniendo innumerables beneficios.

El bagazo de caña de azúcar, subproducto de la industria panelera, es utilizado en una pequeña proporción como agente combustible para los respectivos hornos, función no apta para este material, porque la contaminación ambiental es muy alta y la energía de combustión muy baja, comparado con otros mecanismos como el gas natural. El bagazo que no se utilizó en el horno, se pasa como material sobrante, lo cual es amontonado y quemado para que no incomode.

Es difícil creer, después de un estudio realizado con este material, la noble función que puede cumplir desde el punto de vista constructivo, y pasar de ser un producto de desecho a materia prima en la elaboración de elementos constructivos.

El problema para la utilización del bagazo, radica generalmente en la sacarosa, sustancia predominante por la misma naturaleza de la caña, la cual es catalogada

como una de las más grandes impurezas dentro de los productos aglomerantes y adherentes, en especial para el cemento, ya que la sacarosa interviene en el funcionamiento de hidratación de las partículas de cemento. Este proyecto se centra, en forma específica a la solución de este problema, dando alternativas de minimización de esta impureza, para poder usar la fibra, no solo con el cemento como se realizó en este proyecto, sino para que sirva en estudios posteriores.

El proyecto busca incentivar a los docentes, estudiantes, y personal implicado con la problemática, a buscar incansablemente nuevas soluciones que sean factibles, de ser utilizadas en la actualidad, adaptándose a los medios existentes, no con el fin de lograr un equilibrio con la naturaleza, porque ya es muy tarde, sino para evitar seguir destruyéndola.

La conservación del medio ambiente, un manejo racional de los recursos naturales y un nuevo enfoque de la producción agropecuaria, buscando la sostenibilidad de cada sistema en el mediano y largo plazo, representan los desafíos más importantes a nivel mundial. “Kaimowitz, D., Trigo, E., Flores, R., 1991”

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. General

Encontrar una utilización noble al bagazo de la caña de azúcar existente en la región del municipio de Güepa (Santander), enfocada hacia la fabricación de nuevos elementos constructivos.

1.1.2. Específicos

Utilizar el cemento Pórtland como aglutinante para las fibras de bagazo de caña de azúcar, a fin de lograr un producto con propiedades suficientes para ser empleado en la construcción.

Encontrar la dosificación adecuada de la mezcla entre el bagazo de caña de azúcar y el cemento Pórtland, ya sea este último como pasta o mortero, para llegar a obtener un composite óptimo.

Evaluar las respectivas propiedades físico-mecánicas del material propuesto en la dosificación.

En base a las propiedades del material, establecer su ficha técnica y su posible alternativa de fabricación.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Güepsa (Santander) ubicado en la hoya del río Suárez es el principal productor de panela del departamento, cuya economía está basada alrededor de la industria de este producto, convirtiendo la caña de azúcar en panela y miel, en donde este segundo producto se destina únicamente para el consumo doméstico.

El residuo fibroso de la caña de azúcar, conocido como bagazo, es muy abundante dentro de la industria, usándose la mayor parte como material combustible en el proceso de la fabricación de la panela en los trapiches, y el sobrante es desechado e incinerado para que no haga estorbo. Las dos formas a las que se ha destinado el bagazo traen consecuencias, ya que contribuyen al impacto ambiental por emanación de gases tóxicos enviados a la atmósfera.

Una solución rápida dada a este problema sería depositar el bagazo directamente en el basurero, solución ignorante a sabiendas que todo material puede tener un uso indicado factible de encontrar con el respectivo estudio y correspondientes prácticas y ensayos, sin contar con el impacto ambiental y social, que traería consigo el lugar de depósito y áreas adyacentes.

La idea general de este proyecto es estudiar, analizar, comprobar y determinar el uso del bagazo de la caña de azúcar como materia prima en la generación de nuevos productos de construcción aplicables en el campo de la ingeniería civil, trayendo beneficios económicos y sociales al municipio de Güepsa.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La producción de panela juega un papel importante dentro del contexto económico en el municipio de Güepsa (Santander) y determina formas de vida que afectan social y culturalmente en la idiosincrasia de sus habitantes.

La utilización de todos los recursos por explotar de la industria panelera traerá muchos beneficios, pues la economía se abrirá en función del mismo cultivo pero se diversificará la producción no siendo solamente el aprovechamiento de la caña de azúcar para la producción de panela y miel, sino que dará origen a la variedad de productos en el mercado económico regional, aumentando el uso de mano de obra e industrialización local y reduciendo, por supuesto, el nivel de desempleo, o al menos mejorando el nivel de vida de sus habitantes, además de minimizar el impacto ambiental producido por el inadecuado manejo de los recursos.

Si la caña de azúcar se cultiva en casi la totalidad de la región y se puede establecer un producto como la panela que es capaz de mantener la economía de sus habitantes, entonces porqué no implementar otro que sin afectar al primero puede tener auge por si solo, aprovechando un producto llamado curiosamente desecho que por la ignorancia investigativa no se ha sabido utilizar.

Tener un uso adecuado de los residuos de la industria panelera lleva consigo ganancias tanto económicas como ambientales, pues es mejor la buena implementación del estudio en la utilización como materia prima, que llevarlos como “desecho” al basurero.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

La determinación de un nuevo producto a base de un desecho de la industria panelera incentivará tanto a estudiantes, profesionales y habitantes del sector al apreciar en esta industria un comercio de espectro más amplio.

Se quiere orientar los estudios de los subproductos industriales paneleros a un nivel global, es decir que abarque todos los campos o sectores de la industrialización, no solo los ya investigados y puestos en práctica con veracidad, sino que también se comience a incursionar en el campo de la construcción, ya reconocido como el factor que mas fomenta el crecimiento económico de una región.

Se busca además lograr un mejor conocimiento sobre los materiales constructivos, como también la concientización de estudiantes y profesionales en la importancia de tratamiento de residuos industriales. Para esto se comienza con el estudio de las propiedades de la materia prima disponible para su posible utilización como elemento constructivo.

El análisis de la composición bagazo cemento constituye uno de los elementos básicos del estudio a fin de que el compuesto satisfaga los requerimientos y posteriormente continuar con el desarrollo de los elementos constructivos, completamente caracterizados en base a sus propiedades básicas distintivas en relación a otros elementos afines obtenidos por vías tradicionales, analizando sus ventajas y desventajas comparativamente con similares del mercado.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE GÜEPSA

2.1. GENERALIDADES

El municipio de Güepsa es uno de los 88 municipios del departamento de Santander y también su principal productor de panela.

Se configuró como municipio antes de 1810, época en la cual figuraba como Parroquia del territorio de Vélez. Su nombre tiene origen indígena, pues los guanes fueron sus primitivos habitantes.

Según la tradición, Güepsa para los guanes es "Tierra de Culebras", que traduce Tierra Santa, porque la culebra era un símbolo sagrado. Según otra versión, el nombre de Güepsa se deriva del término chibcha "GÜEPUSA o PUSA" que significa pueblo grande. [1]

2.2. UBICACIÓN

El municipio de Güepsa está situado al sur del departamento de Santander a 6-02 de latitud norte y a 73-34 de longitud occidental, es decir se halla en la zona intertropical o de latitudes bajas. Esta localización determina las siguientes consecuencias: recibe insolación permanente, los días y las noches tienen igual duración, no existen las estaciones climáticas y las oscilaciones de temperatura

promedio son mínimas durante el año, solamente son apreciables las oscilaciones diarias. [1]

Geográficamente se encuentra sobre un ramal de la cordillera de los Lloriqués, lo cual le permite tener un clima de piso térmico templado, con dos períodos de lluvia y dos de sequía.



FIGURA 1. Ubicación del municipio de Guepsa

El municipio de Güepsa tiene una extensión aproximadamente de 60 km repartidos entre siete veredas. Limita al norte con el municipio de San Benito, al sur con el municipio de Barbosa, al este con el municipio de San José de Pare, departamento de Boyacá, separados por el río Suárez y por el oeste con los municipios de Vélez y Chipatá, separados por la quebrada el Roperó. [1]

2.3. DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA

La actividad económica está constituida por mercados mayoristas locales, municipales y regionales, cuyos agentes directos son comerciantes mayoristas. Ellos despachan a las centrales de abastecimiento, plazas mayoristas, plazas satélites, supermercados e hipermercados, cuyos principales actores son los

almacenes de cadena. El mercado al menudeo es cubierto por tiendas rurales y urbanas. Los tenderos son entonces agentes directos de la mayor importancia que colocan una buena parte del producto al consumidor final. Se debe denotar que una parte del mercado es ejecutada a través de la Bolsa Nacional Agropecuaria. [1]

El municipio cuenta con un suelo apto para toda clase de cultivos propios de este clima, pero los agricultores se han dedicado al cultivo de la caña de azúcar, trayendo como consecuencia la importación de productos agrícolas de los municipios vecinos, causando a su vez un movimiento económico sustentado en un solo producto. Este sistema repercute notoriamente en el nivel de vida de sus habitantes y los hace dependientes de él, ya que si la producción panelera se encuentra en auge, la economía de la región es próspera, pero si la demanda de mercado baja, conduciría al estancamiento económico de la región.

Además del efecto que implica una cultura monoprodutora, se le anexa el desorden predominante en la comercialización de la panela, exenta de garantías en su comercialización sin empresas registradas, organización estructural alguna destinada para la exportación de la misma, un gremio único de compradores que manejan los precios y las políticas de mercadotecnia, resulta de todo ello una estructura perjudicial para los productores y con ello al debilitamiento de la economía regional.

Las transacciones son por lo general realizadas a políticas crediticias sin ninguna documentación de respaldo, lo cual hace que aumente el riesgo de los productores al realizar sus ventas, debido a que el crédito los obliga a recurrir a préstamos para poder cubrir todas las obligaciones de producción y/o a que el acopiador niegue el total o parcial monto de su deuda con el productor.

El mercado principal se lleva a cabo los domingos y uno pequeño los jueves. El mercado de los domingos se lleva a cabo de 5 a.m. a 7 a.m., al cual concurren patronos y trabajadores de la región y municipios vecinos. En la plaza de la población se forman grupos de trabajadores, cuyo trabajo se cotiza de acuerdo con el precio de la panela, es decir, cuando sube de precio la panela, suben de precio los trabajadores, de lo contrario se agrava aún más la situación de los productores y los trabajadores. [1]

Otro efecto predominante que afecta la situación de la región es el pensamiento social tradicionalista de sus habitantes, al no pretender el cambio, al estar en el mismo estado facilista, causando el retroceso modernista e industrial.

2.4. USO DE LA ZONA

A principios del siglo XX el principal cultivo en la región fue el algodón, especialmente en la hoya del río Suárez. El municipio tuvo una planta desmotadora de algodón que consumía toda la producción del municipio y además la proveniente de San Benito, la Aguada y Cite. La mota y la semilla eran llevadas al Socorro para su transformación. [1]

El uso del suelo de la región se presta para una gran variedad de cultivos, entre los cuales se destacan algodón, tabaco, café, maíz, frijol, tomate, guayaba, papayo, naranja, mango, plátano y otros; pero que a causa del atractivo impacto causado a principios de siglo XX por el cultivo de caña y la producción de panela, los anteriores y en particular el algodón y el tabaco (principales cultivos de apogeo en la región), fueron poco a poco desplazados hasta su casi total erradicación.

En la actualidad, la caña de azúcar es el producto cultivado de mayor importancia en el desarrollo de la región, en donde la industria panelera se convierte en el eje

económico de sus habitantes. Es por esto la centralización del proyecto por el bagazo de caña de azúcar, uno de los residuos de mayor importancia en la industria tanto por su posible utilización como combustible o en la producción de derivados de alto valor o de cotidiana aplicación en la industria y el hogar.

2.4.1. Caña de azúcar

2.4.1.1. Generalidades. El Cultivo de la caña de azúcar es uno de los más importantes en el contexto agrícola Latinoamericano. En Colombia ocupa el segundo lugar en extensión después del café entre los cultivos permanentes.

El 32% del área cultivada con caña de azúcar en Colombia se dedica a la producción de azúcar, el 7% a mieles, guarapo y forrajes y el 61% a panela. En el último grupo se encuentra Güepsa, quien aporta grandes áreas de cultivo que ocupan alrededor de un 60% del área total del municipio. Este porcentaje dedicado solo a la panela justifica de hecho cualquier esfuerzo que se haga para tecnificar la industria y aumentar su rentabilidad.

2.4.1.2. Características morfológicas. Las partes básicas de la estructura de una planta que determinan su forma son: la raíz, el tallo, las hojas y la flor. [5]

El tallo es la parte aprovechable en la molienda para la obtención de la panela del cual se obtienen los jugos y queda un residuo fibroso coincidente con nuestro objeto de estudio, llamado bagazo luego de la extracción de estos. Su longitud varía de menos de 1m a más de 10m, donde se mide del suelo al último cuello visible.

Dentro del tallo se encuentran el nudo y entrenudo, que conforman su estructura morfológica como tal

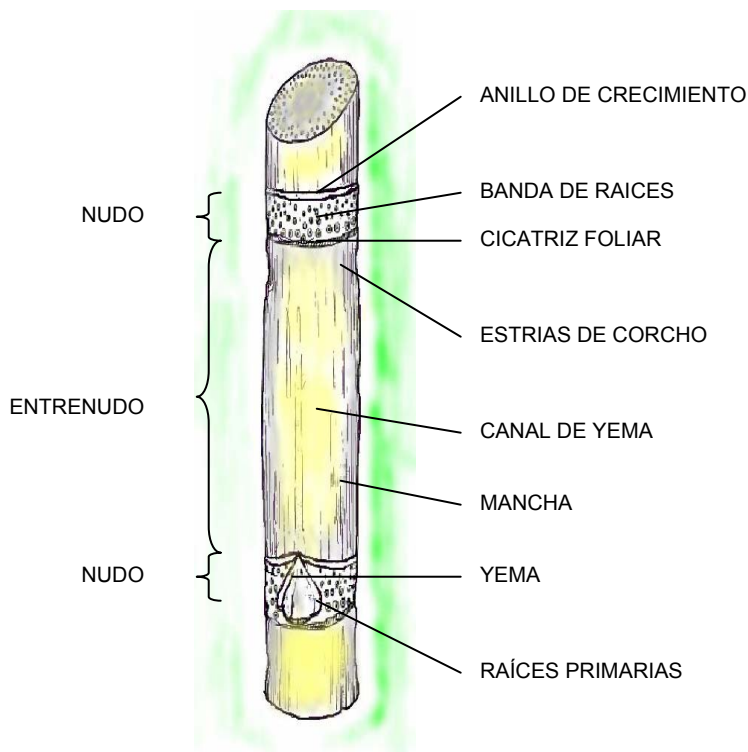


FIGURA 2. Estructura morfológica del tallo de la caña de azúcar.

2.4.1.3. Composición química. El tallo de la caña de azúcar tiene la siguiente composición química: [10]

COMPONENTE	PORCENTAJE
Fibra cruda	10
Agua	70
Sacarosa	16
Azúcares reductores	2
Sustancias minerales	1.5
Ácidos orgánicos y sustancias nitrogenadas	0.5

TABLA 1. Composición química de la caña de azúcar.

2.4.1.4. Variedades de caña cultivadas en la región. Las variedades de caña actualmente cultivadas en Colombia provienen en gran parte de hibridaciones introducidas de otros países y de algunas producidas en el país.

	POJ288	PR 61-632	PR 1141	My 54-65	RD 75-11	Co 421	CC 84-75	CC 85-92
Producción caña, t/ha	88.4	145.7	100.2	168.9	193.5	164.9	229.8	166.7
Producción palma, t/ha	14.59	26.95	14.73	22.8	51.03	26.02	37.92	26.17
Producción panela, t/ha	8.9	16.46	11.42	20.61	24.19	17.3	28.4	20.5
Rendimiento panela %	10.07	11.3	11.4	12.2	12.5	10.51	12.55	12.27
Producción melote, t/ha	1.04	1.82	1.73	2.29	2.7	2	3.96	2.77
Producción bagazo verde, t/ha	44.7	55.1	43.01	64.2	77.4	73.6	101.11	75
Calidad de panela	Muy buena	Muy buena	Muy buena	Muy buena	Excelente	Muy buena	Muy buena	Muy buena

TABLA 2. Variedades de caña cultivadas en la región.

Las introducciones mas importantes provienen de: JAVA (POJ), Barbados (B), Hawai (H), Puerto Rico (PR), india (CO), EE.UU. (CP), Venezuela (V), Brasil (S.P.,C.B) y Republica Dominicana (RD). Las producidas en Colombia se agrupan de la siguiente manera:

EPC: Las obtenidas en la Estación Experimental Palmira hasta el año 1961.

ICA: Las generadas por el Instituto Colombiano Agropecuario hasta 1975.

CC: Las producidas a partir del año 1981 por CEÑICAÑA, y que es en la actualidad la entidad que produce el mayor número de variedades de esta

especie, con destino al Sector Azucarero. Algunas producidas por ingenios particulares como Mayagüez Colombia (MZC) y Manuelita Colombia (MC).

Las primeras variedades cultivadas en la región panelera de la Hoya del Río Suárez fueron las “criollas”; Luego las POJ, destacándose las POJ 2878 y POJ 2714, posteriormente la CP 57-603 para nombrar únicamente las mas destacadas.
[7]

2.4.2. La industria panelera en la región

2.4.2.1. Generalidades. Hasta mediados de 1940 era muy generalizada la producción de miel en trapiches movidos por mulas, posteriormente al adquirir la producción de la panela importancia, los trapiches se modernizaron y se erradicó el uso de animales para este fin. En la actualidad sólo se produce miel para el consumo doméstico y la principal producción es la panela que se destina a los mercados de Bucaramanga, Cúcuta, Costa Atlántica, Bogotá, algunos pueblos de Boyacá y los Llanos Orientales. [1]

La industria panelera, desde la siembra de la caña hasta su distribución ocupa el 80% de la mano de obra en la región, la cual no es suficiente y se tiene que contratar obreros de diferentes pueblos que llegan cada semana a conseguir trabajo. [1]

El proceso de elaboración de la panela es un conjunto de operaciones semicontínuas, a través de las cuales los jugos extraídos de la caña de azúcar son purificados y concentrados, hasta la obtención de un producto sólido rico en azúcares.

Este proceso es análogo en cada uno de los trapiches, pero los resultados obtenidos, sobre todo en la calidad del producto final, varía evidentemente según el conformismo del productor y en función de la tecnología.

En la región aún prevalecen los trapiches conocidos como “tradicionales”, además de estos se encuentran ciertos trapiches que fueron en su comienzo tradicionales, y que gracias al impulso de sus dueños por el avance tecnológico y ganas de industrializarse han modernizado poco a poco la fabricación panelera en cuestión de manejo operativo y maquinaria, pero no con respecto a su distribución operacional ni con respecto a su planta física. También se encuentran los trapiches modernos comúnmente conocidos como de tecnología CIMPA en donde la principal diferencia con los demás trapiches radica en que el moderno organiza cada etapa de la producción en diferentes zonas o sitios especiales y solo para cada actividad, aumentando eficiencia, orden, higiene y calidad.

2.4.2.2. Proceso de fabricación de la panela. En la figura 3 se representa de una forma general el proceso de fabricación de la panela, explicándose posteriormente, en forma detallada, el análisis de cada uno de los pasos.

2.4.2.2.1. Manejo de la caña. El proceso se inicia con el corte de la caña, el cual se realiza manualmente por medio de machetes y a pie de suelo, es decir, se corta la caña hasta el piso, dejando un pequeño tallo a sus raíces para que vuelva a crecer; según sus habitantes la caña de azúcar se comporta como una maleza. El corte generalmente se realiza de 17 a 18 meses después de haber sido anteriormente cortada, pero a veces puede durar hasta 36 meses debido a que las demandas de los trapiches y mano de obra son tan grandes que no hay disposición por el momento.

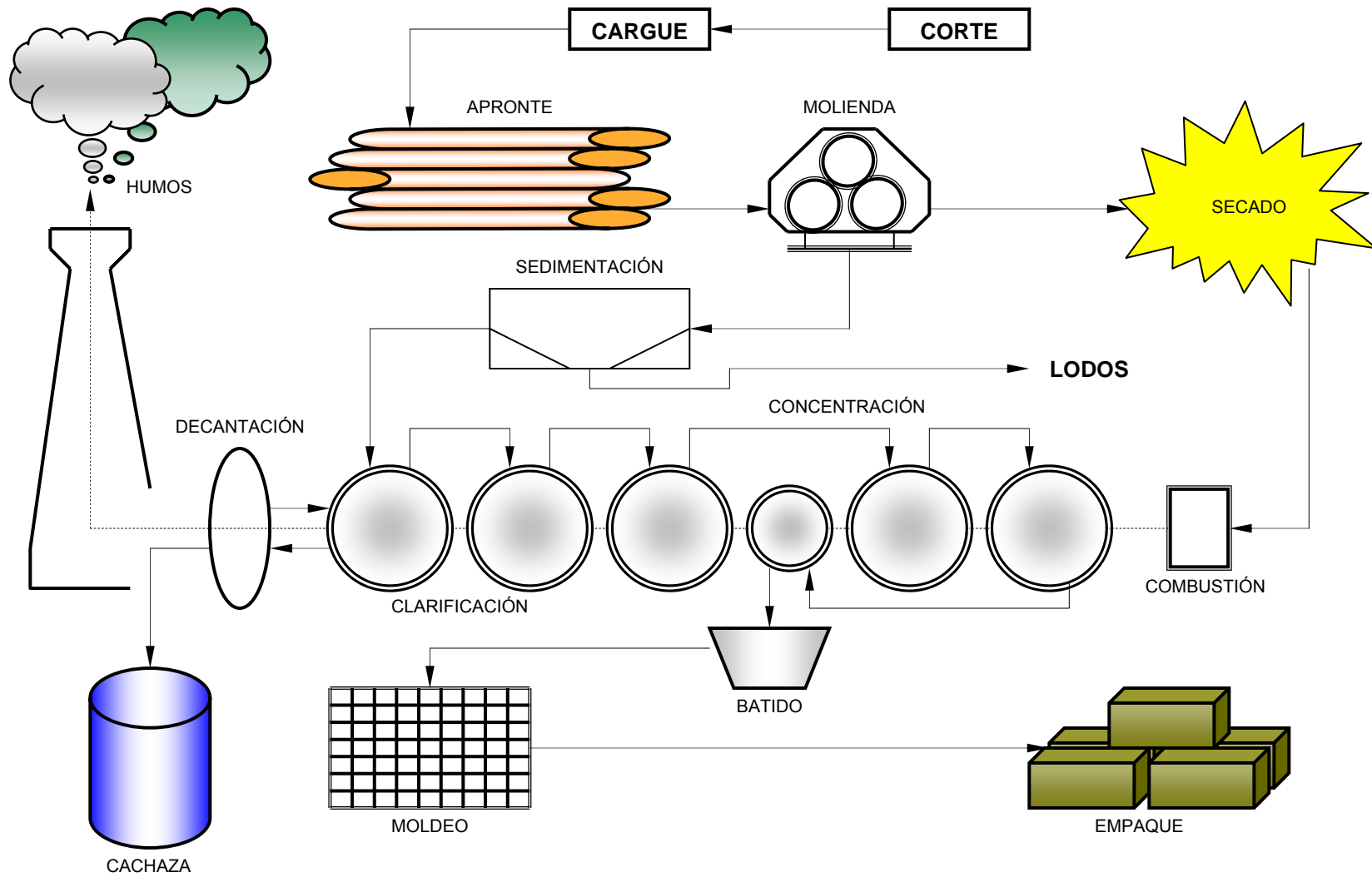


FIGURA 3. Esquema general del proceso de fabricación panelera.

Luego del corte viene el cargue, que se refiere al alce y transporte de la caña hasta el trapiche, por medio de mulas, como se muestra en la foto 1. Este cargue se realiza toda la mañana hasta mitad de la tarde, almacenando la caña de 2 a 9 días (apronte) en la mayoría de los casos.



FOTO 1. Cargue de la caña de azúcar.

El manejo de la caña es el mismo para las tres clases de trapiches referidos con anterioridad, pero aquí se deriva la decisión de donde se realiza la producción de la panela, pues la caña se lleva al trapiche más cercano al área de cultivo, y esto se debe generalmente a factores tanto de tiempo como de costo.

2.4.2.2.2. Molienda. Este paso es muy importante, pues además de ser el de la extracción del jugo contenido por la caña, es donde aparece el bagazo, materia prima de estudio en este proyecto, como resultado de la molienda.

En este momento es donde se observa la principal diferencia de trapiches para esta investigación, porque según la tecnología de extracción utilizada se recupera un porcentaje de un 40 a un 60% de jugo, dando como resultado la humedad y calidad de fibra del bagazo.

La extracción se incrementa notablemente al disminuir la velocidad (1 – 1.5% por cada minuto), al disminuir la abertura entre mazas (ajuste), y al aumentar los diámetros de las mazas del molino. [4]

La molienda dura de 2 a 7 días, según la cantidad de caña a moler. Desde que se inicia la molienda, el trabajo es continuo para todos los obreros que intervienen en la actividad trabajando día y noche descansando muy poco.



a) Tecnología tradicional



b) Tecnología CIMPA

FOTO 2. Motores de molienda según el trapiche.

El jugo se recoge en un pozuelo que hace las veces de sedimentador y en él son retenidas las impurezas de mayor peso y tamaño y el bagazo es almacenado para su posterior uso como combustible en la hornilla.

2.4.2.2.3. Limpieza o clarificación. Es el proceso mediante el cual son eliminados los sólidos en suspensión y demás sustancias coloidales presentes en el jugo de caña original. [4]

El jugo es luego llevado a la hornilla que consiste en un tren de evaporadores abiertos a la atmósfera (fondos, pailas), empotrados a nivel del piso sobre el hogar

de combustión por donde circulan los humos provenientes de la combustión del bagazo.

El bagazo se acostumbra a almacenar por cierto tiempo dependiente de la tecnología del molino, pues, para que este combustione su humedad no puede ser excesiva y por lo general en el entorno de 50 a 55%, alcanzando en ciertos trapiches hasta 100 días de almacenamiento para asegurar su secado.

La clarificación ocurre en las pailas con menores temperaturas y es el retiro de una torta compacta llamada cachaza (tradicionalmente utilizada para la alimentación de las mulas y otros animales), obtenida gracias a la acción de floculantes vegetales, que adicionados al jugo tienen la propiedad de aglutinar y hacer flotar parte de las impurezas, coloides y materiales en suspensión. A esta cachaza también se le suman los residuos sólidos contenidos en el pozuelo.

2.4.2.2.4. Evaporación del jugo o concentración. Es una operación donde al contenido de azúcares presentes en el jugo se eleva hasta en un 90%, a costa de la evaporación del agua en la mezcla y el aumento del contenido de los azúcares reductores ocasionado por la inversión de la sacarosa cuando se calienta y se concentra en medio ácido. [4]

La concentración de los jugos presenta vital importancia desde el punto de vista la calidad final de la panela, en donde juega papel importante la cantidad de agua evaporada, así como la concentración de azúcares en esta etapa. [4]

La concentración ocurre en las pailas con mayores temperaturas, hasta los 120° C, pasándose el jugo de paila en paila, alcanzando una consistencia cada vez más viscosa.



FOTO 3. Pailas para concentración de azúcar.

2.4.2.2.5. Punteada. El punteo es el proceso final en la hornilla y se refiere a la medición de la miel para ver si ya esta lista y dirigirse al siguiente paso que es el moldeo de la panela.

2.4.2.2.6. Batido. Una vez obtenido el punto se deposita la miel en una batea, observándose allí una ligera hinchazón de la miel y la formación de una gran cantidad de burbujas de aire. La panela líquida es batida constantemente, observándose que a medida que se avanza esta operación la panela va aclarándose un poco. [4]

Las bateas se utilizan para batir la panela, en las cuales se mece fuertemente por medio de palas de madera similares a remos, con lo cual la masa absorbe aire que ayuda a cristalizar la sacarosa y dar consistencia compacta a la panela. [3]

2.4.2.2.7. Moldeo. Cuando la panela comienza casi a enfriarse se deposita en unos moldes o formaletas obteniendo después de un reposo el producto esperado, el cual sale en forma de bloques cuadrados, figura trabajada por tradición.



FOTO 4. Moldeo de la panela.

2.4.2.2.8. Empaque y almacenamiento. La panela es sacada de los moldes y empacada correspondientemente en unas cajas de cartón. Estas cajas son las aceptadas por los compradores del producto en el mercado, así que todos los trapiches manejan la misma materia prima como empaque, colocando en igualdad todas las panelas de Güepsa sin importar la calidad del trapiche de donde fueron producidas.



FOTO 5. Empaque y almacenamiento de la panela.

2.4.2.3. Comparación de trapiches. Para esclarecer de una forma mas detallada el proceso de fabricación de la panela en la región de Güepsa, se

comparan las tres clases de trapiches desde el punto de vista operativo, paso a paso, no obstante describiendo una que otra diferencia a nivel de planta física. Para el mejor entendimiento y organización de la información, la comparación de los trapiches se realiza esquemáticamente en la tabla 3 en forma de paralelo.

Trapiche tradicional. Es el trapiche construido desde los comienzos de la producción panelera, el tiempo fue pasando y la ausente modernización de la producción en el tiempo causó que se siguieran construyendo los trapiches del mismo estilo. Se caracterizan por su infraestructura, pues es netamente de columnas de ladrillo sosteniendo su techo de madera y teja de barro. No contiene mampostería en ninguna parte exterior, es decir la producción se encuentra a la intemperie, expuesta a toda clase de organismos. No se encuentra separación física de una operación a otra, todas se entremezclan y a veces se pueden confundir.

Trapiche semi-tradicional. Son trapiches que desde el punto de vista de planta físico son muy similares al tradicional, pero la diferencia radica en la tecnología de su maquinaria.



FOTO 6. Trapiche semi-tradicional.

Trapiche moderno. Es visualmente muy diferente a los trapiches anteriores en cuanto a su construcción, las columnas son de concreto reforzado, la estructura de cubierta es de estructura metálica y teja de asbesto cemento, y su exterior es de mampostería de ladrillo. Cada etapa o proceso de producción se encuentra separado de mampostería, en donde su único contacto con las otras etapas es por medio de ventanas o por tuberías. En algunos procesos, las zonas se encuentran totalmente aisladas de toda clase de microorganismos o gérmenes que puedan bajar la calidad del producto. La tecnología de la maquinaria es avanzada. Estos trapiches también conocidos como de tecnología CIMPA manejan una estructura organizacional muy avanzada, beneficiando factores higiénicos, energéticos, humanos, ambientales y otros.



FOTO 7. Trapiche con tecnología CIMPA.

TRAPICHES CONSIDERADOS EN GUEPSA		
TRADICIONAL	SEMI-TRADICIONAL	TECNOLOGÍA CIMPA
1. Manejo de la caña		
El corte se realiza manualmente y el transporte se hace en	El corte se realiza manualmente y el transporte se hace en	El corte se realiza manualmente y el transporte se hace en

<p>mulas.</p> <p>El almacenamiento es ordenado pero se confunde con el bagazo en los días de molienda.</p> <p>Una sola entrada general al trapiche.</p>	<p>mulas.</p> <p>El almacenamiento es ordenado pero se confunde con el bagazo en los Días de molienda.</p> <p>Una sola entrada general al trapiche.</p>	<p>mulas.</p> <p>El almacenamiento es ordenado y la zona esta bien distribuida y diferenciada de la zona de almacenamiento de bagazo.</p> <p>La zona de entrada de las mulas con la caña es diferente a la entrada del personal y toda clase de vehículos.</p>
---	---	--

2. Molienda

<p>Los motores de los molinos funcionan con diesel, pocos con electricidad.</p> <p>El bagazo sale del mismo tamaño o largor que la caña, casi no se produce trituración o extracción del jugo, y presenta un 60% de humedad.</p> <p>El jugo llega a un pozuelo que hace las veces de sedimentador.</p>	<p>Los motores de los molinos funcionan con electricidad y tienen de emergencia la conexión a electricidad.</p> <p>El bagazo sale casi del mismo tamaño que la caña, se presenta una trituración media y con un 40 a 50% de humedad.</p> <p>El jugo llega a un pozuelo pasando antes por un sedimentador.</p>	<p>Los motores de los molinos funcionan con electricidad, no tienen motor de emergencia.</p> <p>El bagazo sale bien triturado, presentando una humedad entre 30 y 40%.</p> <p>El jugo llega a un pozuelo pasando antes por un sedimentador.</p>
--	---	---

3. Limpieza o Clarificación

<p>La operación es al aire libre, cerca de donde cae el bagazo recién molido. El lugar esta abierto a la presencia de animales, insectos y toda clase de bichos.</p> <p>Las pailas son de acero galvanizado y oxidable con el tiempo.</p>	<p>La operación es al aire libre, cerca de donde cae el bagazo recién molido.</p> <p>El lugar esta abierto a la presencia de animales, insectos y toda clase de bichos.</p> <p>Las pailas son de acero inoxidable.</p>	<p>La operación es en sitio techado, separado de los otros pasos para la producción de panela.</p> <p>En este sitio solo se presentan las pailas.</p> <p>Las pailas son de acero inoxidable.</p>
<p>4. Evaporación del jugo o Concentración</p>		
<p>La hornilla utilizada es de tipo tradicional, el cual necesita un gran aforo de bagazo como material combustible, causando una gran contaminación ambiental.</p>	<p>La hornilla utilizada es de tipo tradicional, el cual necesita un gran aforo de bagazo como material combustible, causando una gran contaminación ambiental.</p>	<p>La hornilla utilizada es de tipo Warn conocida entre sus habitantes como hornilla de tipo CIMPA. Esta hornilla presenta mas eficiencia y disminuye la contaminación ambiental.</p>
<p>5. Punteada</p>		
<p>Se realiza a ojo de experiencia práctica.</p>	<p>Se realiza a ojo de experiencia práctica.</p>	<p>Se utilizan medidas y normas predestinadas, además de la experiencia.</p>
<p>6. Batido</p>		
<p>Se bate manualmente con palos o remos de madera.</p>	<p>Se bate manualmente con palos o remos de madera.</p>	<p>Se bate manualmente con palos o remos de madera.</p>

7. Moldeo		
<p>Las mesas con los moldes están cerca de las bateas.</p> <p>La operación es al aire libre, prácticamente compartida con el resto de zonas del proceso. El lugar esta abierto a la presencia de animales, insectos y toda clase de bichos.</p>	<p>Las mesas con los moldes están cerca de las bateas.</p> <p>La operación es al aire libre, prácticamente compartida con el resto de zonas del proceso. El lugar esta abierto a la presencia de animales, insectos y toda clase de bichos.</p>	<p>Las mesas con los moldes se encuentran separadas de las bateas y se conectan por medio de un compartimiento.</p> <p>La operación es a cuarto cerrado, aislado de toda clase de impurezas presentes, propias de la misma producción. El paso es restringido a esta zona.</p>
8. Empaque y almacenamiento		
<p>Se realiza en mesas colocadas al lado de las mesas de moldeo.</p>	<p>Se realiza en mesas colocadas al lado de las mesas de moldeo.</p>	<p>Se realiza en una sala ubicada aparte de la zona de moldeo, y esta adaptada para la acomodación directa en el transporte.</p>

TABLA 3. Cuadro comparativo entre las clases de trapiches existentes en Güepsa.

MATERIALES

3.1. BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

3.1.1. Generalidades.

El bagazo es un elemento lignocelulósico fibroso que se obtiene del último molino del tándem azucarero o panelero. Está formado por un conjunto heterogéneo de partículas de diferentes tamaños y su granulometría depende en lo fundamental del trabajo de los equipos de preparación de la caña y en menor grado del diseño del molino y de la variedad cañera. [10]

Según la definición anterior y como lo reitera la tabla 4 contenida en este capítulo, el 45% de la composición física del bagazo es fibra, y dada la importancia que tiene esta información en el proyecto, se analizará este concepto, aunque de una forma global, para tener un enfoque completo hacia de la información pertinente, objetivo de esta investigación.

Se define como fibra en valoraciones ambientales, a toda partícula con una relación longitud/grosor de, al menos, 3:1, además se entiende como fibra respirable a toda partícula de longitud superior a 5 micras y de diámetro inferior a 3 micras, guardando también la relación 3:1.

Dentro de la clasificación general de las fibras esquematizada en la figura 4, el bagazo se encuentra entre las fibras naturales, orgánicas y vegetales, constituidas principalmente por celulosa.

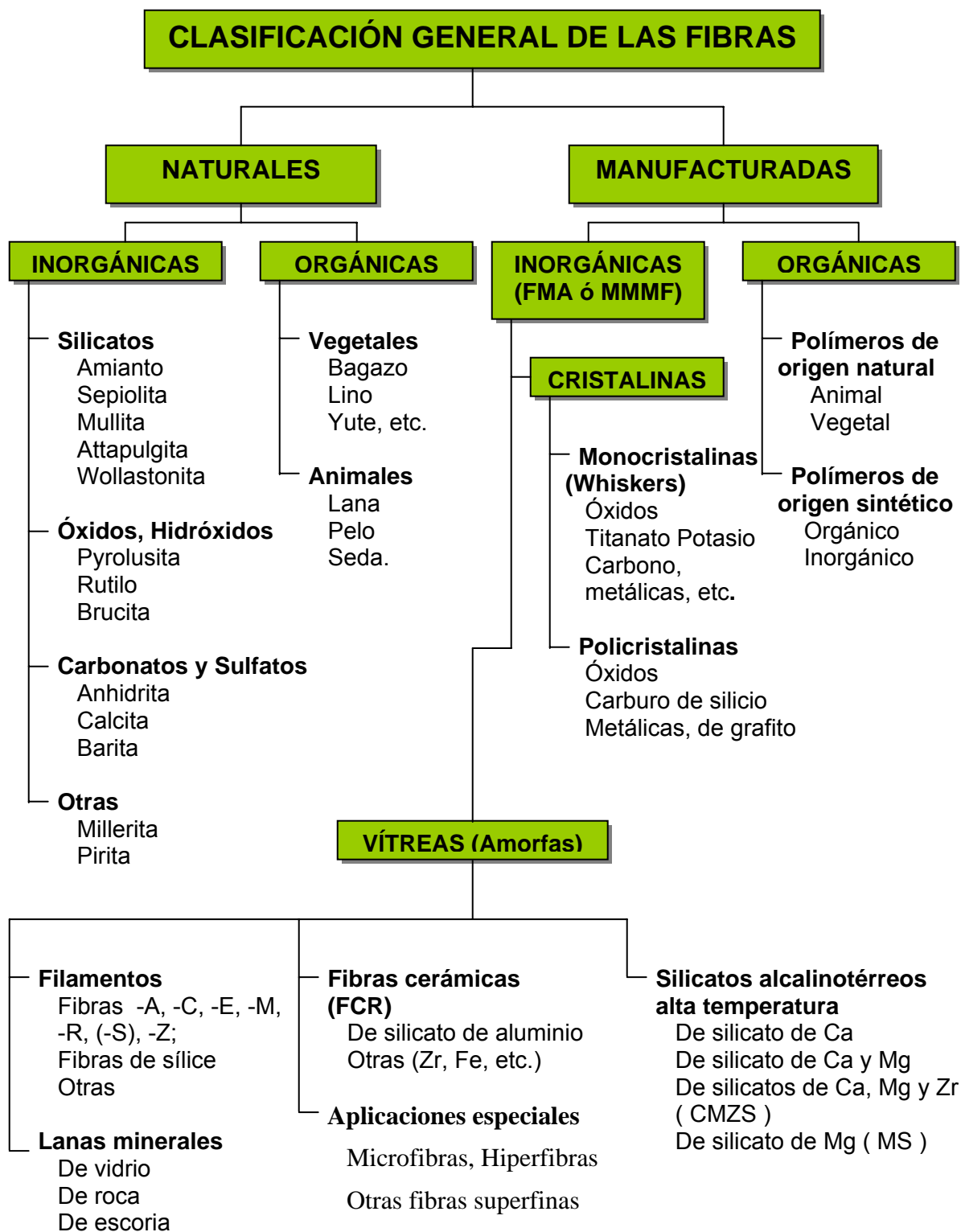


FIGURA 4. Esquema de clasificación general de las fibras

Desde el punto de su estructura las fibras vegetales se clasifican en cuatro tipos principales que son:.

Fibras de semillas. Forman el pelo suave que envuelve las semillas de algunas plantas.

Fibras de liber. Las fibras fuertes que crecen entre la corteza y el tallo de muchas plantas dicotiledóneas.

Fibras vasculares. Son las fibras fuertes que se encuentran en las hojas y en los tallos de las monocotiledóneas.

Fibras de tallos completos. La presentan algunas gramíneas.

3.1.2. Composición física.

Desde el punto de vista físico el bagazo esta constituido por cuatro fracciones cuyos promedios son:

COMPONENTE	PORCENTAJE
Fibra de bagazo	45
Sólidos insolubles	2 – 3
Sólidos solubles	2 – 3
Agua	50

TABLA 4. Composición física del bagazo.

Sólidos insolubles. Son de naturaleza inorgánica y están compuestos, de manera fundamental, por tierra, piedras y otras materias extrañas. Esta fracción, aunque

pequeña, participa en la composición del bagazo de forma significativa y está influida por las características de la cosecha y el suelo.

Sólidos solubles. Forman la fracción que se disuelve en agua, compuesta fundamentalmente por *sacarosa*, cuya extracción ulterior en la fábrica azucarera no resulta económica, así como por otros compuestos químicos como la cera pero en menor proporción. [10]

El agua presente en el bagazo es retenida en este a través de mecanismos de absorción y de capilaridad. Este fenómeno desempeña un papel de gran importancia en algunos procesos tecnológicos a los que es sometido el bagazo en su aprovechamiento como materia prima. El contenido de sólidos solubles y la humedad del bagazo están relacionados con la operación del central azucarero.

3.1.3. Humedad.

El bagazo es un material constituido por partículas con espacios vacíos entre las mismas, además del volumen de los poros y el lumen. A esta densidad global se le denomina densidad en bulto y depende de una serie de factores entre los cuales la mayor incidencia la presenta el grado de compactación del material y su humedad.

La humedad del bagazo esta en relación directa con el alto nivel higroscópico de la medula, así como la elevada porosidad de las partículas. De ahí su gran capacidad de absorción, entre 80 y 85% de humedad, sin que haya agua sobrante. La humedad de equilibrio promedio del bagazo esta entre 9 y 10%.

El contenido de humedad esta relacionado directamente con la clase de trapiche donde se realizó la molienda, con el tiempo de almacenamiento y forma de almacenamiento.

3.1.4. Caracterización morfológica.

La epidermis, capa fina que recubre el tallo y lo protege, actúa como impermeabilizante del jugo, en el que abundan componentes no fundamentales de la caña de azúcar, que son químicamente clasificados en el bagazo como extractivos.

Los diferentes elementos morfológicos del bagazo se encuentran en la proporción siguiente:

COMPONENTE	PORCENTAJE
Fibras largas de la corteza	50
Parénquima	30
Haces fibrovasculares	15
Células epidérmicas	5

TABLA 5. Caracterización Morfológica del bagazo.

Al agrupar las fibras de la corteza y las fibras cortas del interior del tallo en una sola fracción denominada fibra o fibra útil, queda una segunda fracción formada por la médula y una tercera que aglutina finos, tierra y solubles. A la suma de las dos últimas fracciones se le conoce como médula o meollo. [10]

3.1.5. Composición química.

El bagazo está compuesto de celulosa, hemicelulosa y lignina como principales polímeros naturales. Presentan además, pequeñas cantidades de otros compuestos clasificados de conjunto como componentes extraños.

Estudios realizados, han permitido concluir que la composición química no se ve afectada, de manera significativa, por la variedad de Caña. De igual forma sucede al comparar los componentes morfológicos del bagazo. [10]

COMPONENTE	PORCENTAJE
Celulosa	41 – 44
Hemicelulosas	25 - 27
Lignina	20 – 22
Solubles en solventes orgánicos	2 – 3
Ceniza	2 – 3
Compuestos solubles en agua	4 – 6

TABLA 6. Composición química del bagazo.

3.1.6. Subproductos.

El creciente desarrollo de la industria de los derivados y el tradicional compromiso energético del bagazo comienzan a adquirir una relevante significación económica.

El bagazo se uso históricamente como combustible en la industria azucarera. Aunque su valor calórico es relativamente bajo al ser comparado con otros combustibles fósiles tradicionales (Bagazo 4600 cal/Kg. Petróleo 9800 cal/Kg), no hay duda que constituye un valioso potencial energético, sobretudo, para aquellos países que no tienen disponibilidades significativas de combustible y a la vez son grandes productores de azúcar de Caña.

Por otra parte la existencia cada vez menor de materiales fibrosos para ser empleados como materia prima en la industria de derivados y su carácter

renovable, han estimulado en las ultimas décadas un proceso acelerado de desarrollo en la utilización del bagazo en las producciones de pulpa, papel y productos aglomerados. Tiene relevante importancia en la alimentación animal y potencialmente puede convertirse en la materia prima que garantice el desarrollo de diversas producciones como furfural, carbón activado y productos moldeados entre otros.

Se ha demostrado la posibilidad de satisfacer las demandas energéticas de un trapiche con casi la mitad del bagazo que produce, por lo que el sobrante puede ser utilizado como materia prima.

La utilización del bagazo en dicha industria depende, en primer lugar, del costo y las características del producto a obtener, pero es necesario tener en cuenta las operaciones de transportación, desmedulado y almacenamiento íntimamente relacionadas. [10]

Algunos de los subproductos que se pueden obtener del bagazo, desde el punto de vista como elemento constructivo son:

Tableros de partículas. Se usan para la fabricación de muebles y en la construcción.

Tableros de fibra. Se usan para la fabricación de muebles como fondo de gavetas y estantes, gabinetes de cocina, en la industria automotriz y ferroviaria como recubrimiento interior.

Elementos moldeados. Se obtienen cajas para envases de frutas frescas, paletas para estribas, gabinetes para radios, televisores y bandejas.

3.2. CEMENTO PÓRTLAND.

3.2.1. Generalidades

Es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso. Estos componentes se encuentran en la tabla 7. Este material tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, presentándose un proceso de reacción química que se conoce como hidratación.

El nombre de cemento Pórtland obedece a la similitud en el aspecto del cemento endurecido con una piedra que abunda en Pórtland, Inglaterra. [11]

3.2.2. Composición química

Los óxidos principales (C, S, A, F) constituyen prácticamente más del 90% en peso del clinker como lo muestra la tabla 7 y dan lugar a la formación de los *componentes mineralógicos principales* del clinker como lo muestra la tabla 8.

NOMBRE	SEUDÓNIMO	ABREVIATURA	FÓRMULA	PORCENTAJE
Oxido de calcio	Cal	C	CaO	65
Dióxido de Sílice	Silicato	S	SiO ₂	20
Oxido de aluminio	Aluminato	A	Al ₂ O ₃	5
Oxido de Hierro	Hierro	F	Fe ₂ O ₃	5
Oxido de Magnesio	Magnesio	M	MgO	5

TABLA 7. Constituyentes del cemento Pórtland.

De los cuatro óxidos principales, la cal es de carácter básico y los otros tres de carácter ácido. De ellos, la sílice y la cal son los componentes activos y la alúmina y el hierro actúan como fundentes.

De los componentes principales los silicatos suman del 60 al 80 por ciento de la totalidad de ellos y son los responsables de las resistencias mecánicas del cemento.

NOMBRE	COMPOSICIÓN	ABREVIATURA	NOMBRE MINERAL
Silicato tricálcico	3 CaO, SiO ₂	C3S	Alita
Silicato bicálcico	2 CaO, SiO ₂	C2S	Belita
Aluminato tricálcico	3 CaO, Al ₂ O ₃	C3A	
Ferrito aluminato	4 CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	C4AF	Celita

TABLA 8. Componentes mineralógicos principales del clinker.

El *silicato tricálcico* o *alita* se puede considerar como componente decisivo del clinker. Determina la rapidez de fraguado y las resistencias mecánicas. Su cantidad en el clinker está entre el 35 y el 70 por ciento.

El *silicato bicálcico* o *belita* es metaestable, es decir, da lugar a pocas resistencias en los primeros días, pero luego las va desarrollando progresivamente hasta alcanzar al silicato tricálcico.

El *aluminato tricálcico* por sí solo contribuye poco a las resistencias pero, en presencia de los silicatos desarrolla unas resistencias iniciales buenas, aunque no está clara su forma de participar en la resistencia y endurecimiento del cemento, creyéndose que actúa como catalizador de la reacción de los silicatos. Su

fraguado es rapidísimo al tomar contacto con el agua, desprendiendo una gran cantidad de calor: 207 cal/g. Para retardar su gran actividad se emplea el yeso que actúa como retardador, regulador y normalizador del fraguado.

El *ferrito aluminato tetracálcico* o *celita* apenas si tiene contribución en la resistencia de los cementos. Su hidratación es rápida aunque menor que el aluminato. El hierro que forma la celita tiene una gran importancia como fundente en el horno y es el responsable del color gris verdoso de los cementos pòrtland.

3.3. ARENA

3.3.1. Generalidades

La arena en el mortero, actúa como llenante dando economía, como función básica, adicionalmente aporta trabajabilidad, reduce la retracción y contribuye en la adquisición de resistencia.

El módulo de finura de la arena deberá ser el mayor económicamente disponible y compatible con las dimensiones de la estructura, pero observando que la gradación en muchos casos depende del tipo de pega para la cual se va a utilizar.

Los módulos de finura bajos requieren más agua que los gruesos para una misma consistencia, obteniendo mayor plasticidad, por otra parte, si se aumenta el módulo de finura para una consistencia dada, el contenido de cemento disminuye.

3.3.2. Arena natural

Son arenas naturales las que cuya fuente son depósitos sedimentarios, ríos, playa, etc., presentando una textura lisa, y de forma redondeada, ofreciendo mayor manejabilidad al mortero. Su resistencia en el mortero es alta.

3.3.3. Arena fabricada

Son arenas fabricadas las obtenidas por medio de voladura, o por trituración de piedra, grava ó por enfriamiento al aire de la escoria, presentando una textura rugosa y de forma angulosa. Por su proceso de obtención resultan de finura deseada, pero su resistencia es menor que las arenas naturales.

3.4. AGUA

3.4.1. Generalidades

El agua es un componente fundamental ya que es quien se encarga de producir reacciones químicas con el cemento, dándole a este la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único.

Es importante tener en cuenta que para cada cuantía de cemento, existe una cantidad suficiente para producir la hidratación, el resto aplicado a la mezcla solo se encarga de aumentar la fluidez y dar la manejabilidad adecuada a la mezcla fresca.

El agua en el cemento no solo se determina por los requisitos de resistencia, sino también por factores como la retracción, adherencia, durabilidad y propiedades para el acabado.

3.4.2. Agua de amasado

Se encarga de lubricar los elementos presentes en la mezcla causando fluidez y plasticidad a la masa.

La pasta de cemento, inmediatamente se mezclan los elementos, es una mezcla plástica de cemento y agua que va adquiriendo nueva estructura conforme se produce la hidratación del cemento.

3.4.3. Agua de hidratación

Esta agua es la encargada de la formación del llamado gel del cemento y la redistribución del agua dentro de la pasta. Es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel. Es también conocida como agua no evaporable

3.4.4. Agua evaporable

Es el agua que se pierde o evapora producto de la reacción de calor exotérmica generada por la reacción química de las partículas de cemento. Esta agua se encuentra fuera de la influencia de las fuerzas de superficie causadas por el gel, de tal modo que tiene completa movilidad y puede evaporarse con facilidad.

3.4.5. Agua de curado

El agua de curado constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento, controlando la temperatura y los cambios de humedad del material.

TRATAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

4.1. BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

4.1.1. Procedencia.

El bagazo se recolectó de un trapiche de tipo tradicional, ver capítulo 2, comparación de trapiches, ya que es el sitio de operación panelera que más abunda en la región.

La apariencia física es de un bagazo poco molido o de leve extracción de jugo, ya que las fibras continúan adheridas las unas a las otras conservando prácticamente la apariencia del tallo de la caña, es decir, manteniendo sobretodo la misma longitud del tallo, entre 0.6 y 1.5 m, donde la operación de la molienda se refleja en el aplastamiento logrado por la máquina y no por la trituración. La cantidad de fibras cortas y de finos es muy poca.

Cabe aclarar que el bagazo se encontraba mes y medio en la bagacera o lugar de almacenamiento en el trapiche, por esto la humedad presente es inferior al 40% normal después de la molienda, presentando un rango entre 25 y 30% según análisis de laboratorio.



FOTO 8. Bagazo después de la molienda en el trapiche panelero.

4.1.2. Molienda o trituración.

Los tallos tratados por el molino fueron expuestos al sol durante un tiempo determinado, con el fin de bajar la humedad presente en las fibras, hasta tener un material factible de ser molido sin presentar dobleces elásticas, se realizó la molienda del bagazo para obtener las fibras sueltas y de una longitud óptima, necesaria en el proyecto.

En la literatura se encuentran varios estudios sobre longitudes de fibras incorporadas en la fabricación de elementos constructivos; como es el caso del “bacrete”, elemento originario de Indonesia, que consistía en un concreto reforzado con fibra de bagazo de caña de azúcar, cuyas longitudes máximas de fibra no sobrepasan de 0,5” a 1,0”. Un estudio muy importante sobre mineralización de las fibras realizado por C. Ramirez Sarmiento y W. J. Freire, identifican a la fibra con longitudes entre 2 y 5 mm. En Colombia, estudios realizados en 1992 por Silvio Desvasto y Ruby Gutiérrez de la universidad del Valle, describen que la mejor longitud de fibra dentro del análisis a tensión de elementos fibroreforzados es de 2 cm y la mejor longitud de fibra dentro del análisis a flexión es de 5 cm. [15, 16 y 17]

Para efecto de trabajo, se optó por buscar una longitud de fibra promedio comparada con los estudios anteriores, en donde para llegar a las longitudes de fibra correspondientes, se utilizaron varios diámetros de mallas en el molino de cuchillas que se encuentra en la planta de aceros de la Universidad Industrial de Santander. La malla de esta máquina es la encargada de llegar a la finura requerida. En la tabla 9 se encuentran los diferentes diámetros de mallas utilizadas con las correspondientes longitudes de fibra alcanzadas en cada una de ellas.

DIÁMETRO DE MALLA		LONGITUD (mm)	CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
PULGADAS	MILIMETROS			
1/8	3.175	0.3 – 5	Mala	Muy corta
1/4	6.35	1 - 15	Buena	Casi en el rango
1/2	12.7	5 – 25	EXCELENTE	En el rango
1	25.4	10 – 50	Mala	Muy larga
1 1/2	38.1	20 - 80	Mala	Demasiado larga

TABLA 9. Mallas utilizadas en el molino de cuchillas.



FOTO 9. Máquina molino de cuchillas. Planta de aceros UIS

Se decidió utilizar la malla de 1/2 pulgada, ya que la fibra lograda esta dentro del rango que prácticamente encierran todas las teorías.

4.1.3. Granulometría.

El análisis granulométrico da a conocer la distribución en tamaño de las fibras después de la molienda en el molino de cuchillas, cuyos resultados se encuentran en la tabla 10 y figura 5.

Cabe destacar la presencia de dos partes en el análisis, fibra y fino; pues del tamiz número 60 en adelante ya no se encuentra la relación de longitud/grosor 3:1, obteniéndose una especie de polvillo al que se le denominó para mejor entendimiento en este proyecto como *fino*. La carta de granulometría de la fibra se encuentra en la foto 11.

NOTACIÓN	MALLA No	ABERTURA (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
FIBRA	4	4.75	30.84	6.17	6.17	93.83
	10	2	196.42	39.28	45.45	54.55
	20	0.84	175.35	35.07	80.52	19.48
	40	0.42	46.47	9.29	89.81	10.19
FINO	60	0.25	39.34	7.87	97.68	2.32
	100	0.149	6.59	1.32	99.00	1.00
	PASA100		4.39			
TOTAL			499.40			

PESO (gr) MUESTRA	500
-------------------	-----

MÓDULO DE FINURA	4.19
------------------	------

TABLA 10. Análisis granulométrico de la fibra.

Esta división se hizo con el fin de separar las partes en cuanto a su funcionalidad, es decir, la fibra es la encargada de proporcionar las resistencias mecánicas al elemento, mientras que el fino, su mejor utilización y no menos importante, es en la textura, esta parte es la encargada del acabado superficial y presentación visual del elemento.

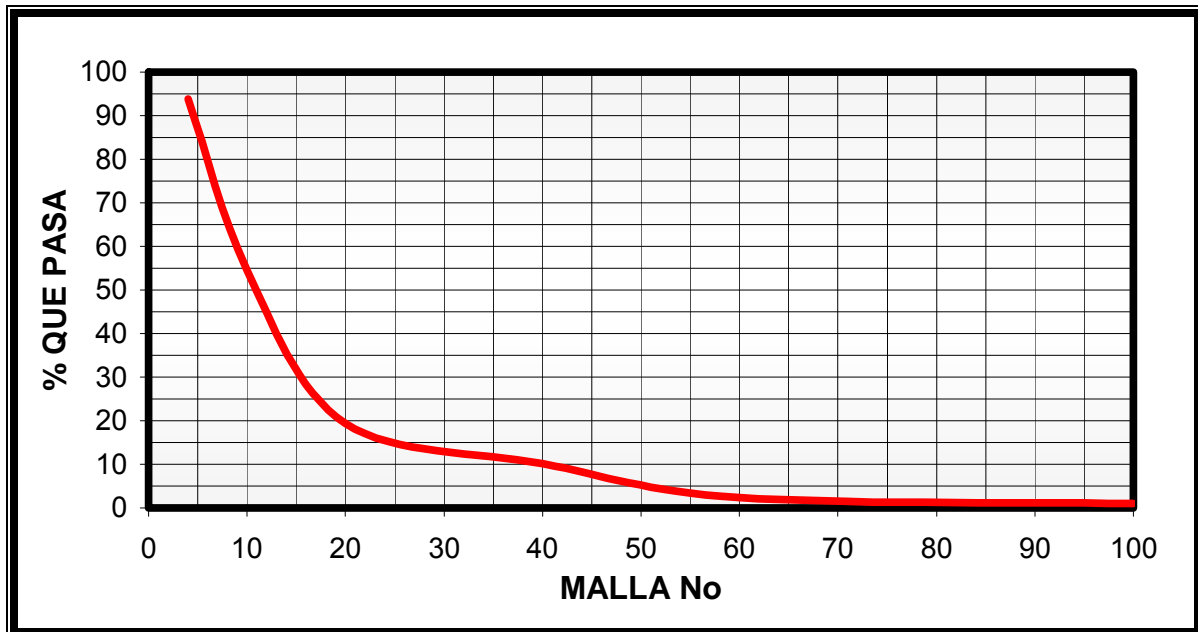


FIGURA 5. Análisis granulométrico de la fibra.

El módulo de finura de 4 representa la presencia neta de material fibroso con la presencia de fino en solamente un 10%.

El tamizado se llevó a cabo en los tamices y máquina vibradora de tamices presente en el laboratorio de suelos y pavimentos de la escuela de ingeniería civil, que se ilustra en la foto 10.



FOTO 10. Máquina vibradora de tamicez y tamicez.
Laboratorio de suelos y pavimentos UIS



FOTO 11. Carta de granulometría de la fibra.

En la figura 5 se puede observar la forma gradada de la fibra desde el tamiz 4 al tamiz 40, mientras que la curva descrita del 60 en adelante, el fino presenta relación asintótica con respecto a la ordenada, es decir mal gradada.

La idea de este proyecto es aprovechar la fibra en sus condiciones mas óptimas en elementos constructivos, es por esto que se recalca en la longitud y tamaño de la misma, ya que con longitudes y tamaños menores no se aprovecharían las resistencias mecánicas de la fibra, y longitudes y tamaños mayores, tendería a parecerse a otros materiales empleados en la construcción tales como el adobe, material hecho de paja y arcilla o tierra, muy empleado en construcciones del siglo pasado y antepasado en zonas de bajos recursos económicos.

4.1.4. Gravedad específica y absorción.

La fibra se sometió a un proceso para estimar la gravedad específica y absorción con el criterio basado en la norma ICONTEC 237 para agregados finos. No es el procedimiento indicado pero da una apreciación sobre la cantidad de agua que tomaría la fibra en el momento de la mezcla con el cemento, resultado importante, analizado en el capítulo de dosificación del elemento.



FOTO 12. Extracción de vacíos en la fibra.

El procedimiento fue contrario al de la norma, pues se vertió la fibra en el frasco, permaneció un promedio de 5 horas en la extracción de vacíos, por medio de una bomba, mediante aumento en la presión y constante agitación, garantizando la

extracción total de los vacíos demostrado en que la totalidad de las fibras se precipitaron en el fondo del frasco.

Las fibras fueron secadas con ayuda de un ventilador al aire libre, hasta que la fuerza de atracción entre ellas que ejerce la superficie húmeda no formó aglomeraciones. En este punto se tomó la medida de peso de la muestra en condición S.S.S., luego se envió al horno y se tomó el correspondiente peso de la muestra totalmente seca.

GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = Peso de frasco + agua hasta la marca, en el aire	665.6	gramos	
B = Peso de la muestra en condición S.S.S. en el aire	27.14	gramos	
C = Peso de la muestra, frasco y agua agregada, en el aire	667.4	gramos	
D = Peso de la muestra secada al horno, en el aire	18.5	gramos	
CÁLCULOS			
Gravedad Específica Real	$= \frac{D}{A - C + D}$	$= \frac{18.5}{16.7}$	$= 1.1078$
Gravedad Específica Aparente	$= \frac{D}{A + B - C}$	$= \frac{18.5}{25.34}$	$= 0.7301$
Gravedad Específica Aparente S.S.S.	$= \frac{B}{A + B - C}$	$= \frac{27.14}{25.34}$	$= 1.071$
ABSORCIÓN			
Absorción	$= \frac{B - D}{D}$	$= \frac{27.14}{18.5}$	$= 46.703 \%$

TABLA 11. Gravedad Específica y absorción de la fibra.

4.2. MINIMIZACIÓN DE LA SACAROSA

4.2.1. Generalidades

El efecto que las sustancias orgánicas presentes en las aguas naturales puedan tener en el tiempo de fraguado del cemento Portland o en la resistencia última del concreto, es un problema que presenta una complejidad considerable.

La sustancia a tener mas cuidado dentro de los sólidos solubles es la sacarosa, ver tablas 1 y 4 del capítulo 3, pues una pequeña cantidad, alrededor de 0.03% a 0.15% del peso del cemento, altera el proceso normal del fraguado, es decir, afecta en forma significativa la acción del silicato tricálcico. La resistencia a los 7 días puede verse reducida, en tanto que la resistencia a los 28 días podría aumentar. El azúcar en cantidades de 0.25% o más del peso del cemento puede provocar un fraguado rápido y una reducción sustancial de la resistencia a los 28 días. [19]

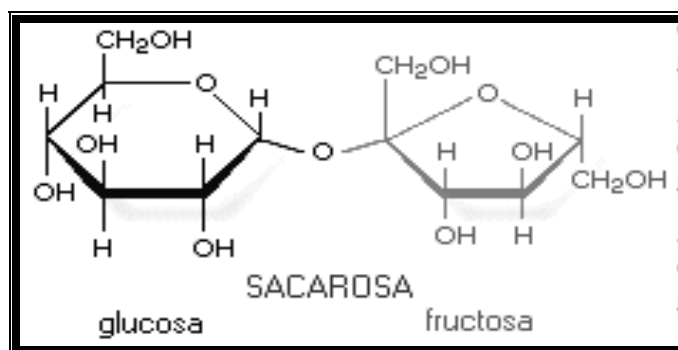


FIGURA 6. Estructura molecular de la sacarosa.

La sacarosa (azúcar de mesa) es un disacárido de glucosa y fructosa. Se sintetiza en plantas pero no en animales superiores. No contiene ningún átomo de carbono anomérico libre, puesto que los carbonos anoméricos de sus dos unidades

monosacáridos constituyentes se hallan unidos entre sí covalentemente mediante un enlace O-glucosídico. Por esta razón, la sacarosa no es un azúcar reductor y tampoco posee un extremo reductor. Su nombre abreviado puede escribirse como Glc(a -1à 2)Fru o como Fru(b 2à 1)Glc.

Las partículas de cemento al ser mezcladas con agua forman una pasta, que tiene la propiedad de rigidizarse progresivamente hasta constituir un sólido de creciente dureza y resistencia. Las moléculas de agua llenan los intersticios entre las partículas del cemento comenzando la hidratación de cada una desde su superficie hasta el centro, proceso que puede durar meses, años y en ocasiones nunca se hidratan completamente.

La mayor hidratación de las partículas se produce en las horas iniciales por medio del agua de mezclado, la cual se evapora por la misma reacción exotérmica generada. Una vez evaporada el agua de la mezcla, la hidratación adicional será muy lenta, dependiendo de la humedad ambiental, es por esto la necesidad del agua de curado.

Si el agua de mezclado contiene sustancias orgánicas o propiamente impurezas, los intersticios serán ocupados por estas, no dejando hidratar completamente la partícula de cemento, además, la sacarosa al igual que el agua, presenta en su estructura molecular iones de hidrógeno, los cuales son atraídos por el cemento, enlazándose mas fuertemente a las partículas, ocupando el espacio que debería ocupar el agua.

No es que la sacarosa reaccione directamente con el silicato tricálcico formando un nuevo compuesto químico, realmente le hurta el espacio al agua siendo absorbido por los granos de cemento, produciendo una capa relativamente impermeable, la cual posterga el proceso de hidratación normal.

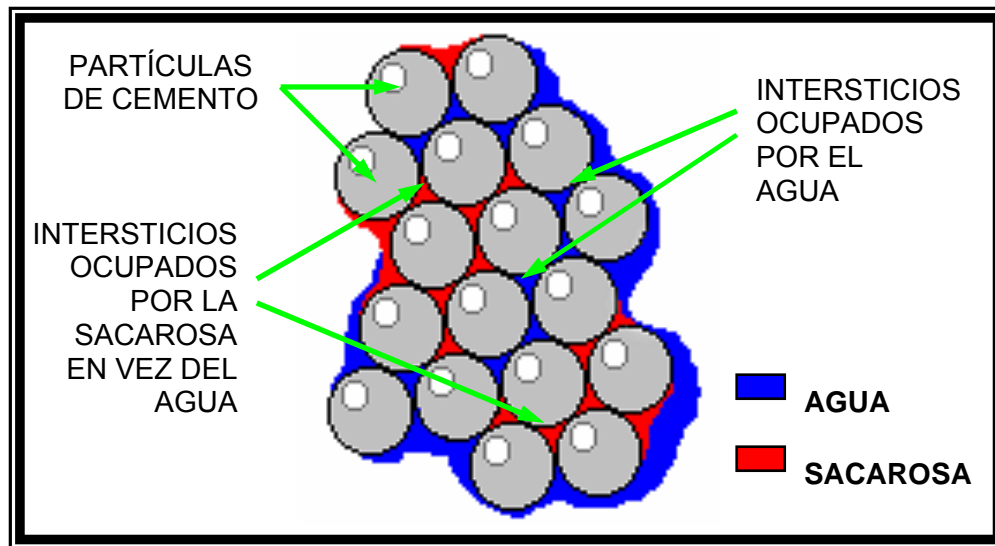


FIGURA 7. Esquema explicativo del proceso de impureza en el cemento a causa de la sacarosa.

De aquí nace la necesidad y la importancia de encontrar alguna forma de disminuir ó combatir la sacarosa presente en el bagazo.

4.2.2. Grados BRIX.

El porcentaje de sólidos solubles en el bagazo es de suma importancia para la investigación, pues estos contienen materia orgánica y la sacarosa, impurezas perjudiciales para el cemento. Los grados BRIX se refiere al porcentaje de sólidos solubles en una muestra.

Como primer mecanismo de medición de las impurezas se tomó el grado BRIX a las muestra luego de estar en almacenamiento un mes y medio, más dos meses y medio en el correspondiente secado, molienda y análisis granulométrico.

Posteriormente se tomo el grado BRIX a una muestra mineralizada ó con tratamiento superficial, concepto tratado más adelante, en el numeral 4.3., ya que

se quería saber la participación ó efecto del tratamiento en la fibra con respecto a los sólidos solubles.

MUESTRA	GRADOS BRIX (%)	PH
Bagazo después de la molienda en el trapiche.	4 – 6	5
Bagazo después de 4 meses de almacenamiento.	2	5.7
Bagazo mineralizado con hidróxido de calcio.	2	11.2

TABLA 12. Grados BRIX en las muestra de bagazo.

Posteriormente se tomo el grado BRIX a una muestra mineralizada ó con tratamiento superficial, concepto tratado más adelante, en el numeral 4.3., ya que se quería saber la participación ó efecto del tratamiento en la fibra con respecto a los sólidos solubles.

Los datos arrojados de grados BRIX no son muy alentadores para el proyecto, además son muy confusos y con una incertidumbre muy alta con respecto a la cantidad de sacarosa que tiene en ese instante el material. De la tabla 12 se pueden obtener las siguientes observaciones:

- * Los sólidos solubles en el bagazo de caña de azúcar disminuyen con el tiempo de almacenamiento, es decir, es inversamente proporcional al tiempo, pero directamente proporcional a la humedad del mismo.

- * La cantidad de sólidos solubles permanecen constantes en el bagazo después de ser mineralizado, dando a entender que este proceso tiene una finalidad distinta a neutralizarlos o minimizarlos.
- * El pH del bagazo también está relacionado con el tiempo de almacenamiento, pues es menos ácido.
- * El tratamiento superficial está muy relacionado con el pH, convirtiendo al material altamente básico debido al alto nivel alcalino que aporta, de aproximadamente $\text{pH} = 12.5$, siendo una característica primordial para la investigación, ya que sirve de escudo ante la de corrosión.

Hasta el momento, es muy incierta la cantidad de sacarosa presente en el bagazo, ya que los grados BRIX no me dan el dato con claridad, lo que si se sabe es que está por debajo del 2%.

Si se usase el bagazo con esta información, tomando como medida de seguridad el 2% por completo de sacarosa, se tendría que realizar la mezcla con 2000 gramos o más de cemento por cada 100 gramos de bagazo, manteniendo inclusive el rango de 0.03 – 0.15, relación descrita con anterioridad, alterando solamente el proceso normal del fraguado sin alterar las resistencia finales. Para no afectar ni siquiera el tiempo de fraguado se tendría que utilizar 7000 gramos o más de cemento por cada 100 gramos de bagazo.

El análisis anterior muestra de una forma más comprensible la problemática con respecto a la sacarosa, característica principal e inmutable en el bagazo, obteniéndose un material antieconómico y sin resultados positivos para esta investigación, pues la participación del bagazo en la mezcla es muy escasa, perdiéndose la finalidad del proyecto al no utilizar el bagazo en su máxima proporción.

4.2.3. Pretratamiento.

Existe una forma muy económica de minimizar el nivel de sacarosa en el bagazo, fundamentada en las observaciones de la tabla 12, en donde estudios realizados recientemente en Cuba sugieren la erradicación de los azúcares en el almacenamiento.

Este proceso de erradicación de azúcares está íntegramente relacionado con actividades de recolección del bagazo y manipulación, forma de almacenamiento del mismo, seguimientos en el proceso fermentativo y evaluación de la reducción del contenido de sacarosa.

Con el proceso de desmedulado del bagazo comienza el pretratamiento, removiendo una gran cantidad del contenido de azúcares. La fibra que queda, entonces se traslada al almacenamiento en forma de pacas o pilas.

En el almacenamiento el contenido de sacarosa disminuye, debido a una fermentación acética (puede ser láctica también) de los azúcares presentes, aumentando la temperatura de las pilas y que unida a las condiciones ambientales, reducen la humedad hasta las condiciones de equilibrio. Si la zona es muy seca, entonces el material se deteriora poco y se seca rápido, y si es húmeda o muy húmeda, el almacenamiento se transcurre mas lento y las pérdidas son mayores, es por esto último que en la industria de los aglomerados se hallan incorporado equipos de presecado a fin de reducir la humedad del bagazo a +/- 20% antes de ser llevado al lugar de almacenamiento.

Resulta importante estar frente a una industria panelera donde los molinos son de baja eficiencia y les queda un remanente de azúcar muy elevada. Si la eficiencia de los molinos fuese superior (por ejemplo en un sistema normal de un central

azucarero), la solución sería la misma pero el tiempo de almacenamiento menor por cuanto el azúcar desaparece más rápido.

Otra forma para extraer la mayor cantidad de sacarosa posible es aprovechar el hecho de que es soluble en el agua, proceso descrito por C. RAMIREZ SARMIENTO, y W. J. FREIRE, en su estudio de tratamiento de la fibra del bagazo de caña de azúcar. El pretratamiento consiste en la inmersión de la fibra de bagazo en agua hirviendo durante 30 minutos, seguido de un lavado con agua a temperatura ambiente y posterior secado al aire libre.

Para consecución del proyecto se tomó la segunda opción, que aunque es muy costosa considerando el insumo de agua y energía que implica el procedimiento, se adecua más al proyecto, ya que es una alternativa rápida, factible y eficaz.

Se quiso enfatizar en estas dos formas de minimización de sacarosa, pues es válida la opción de crear industria, explicando el mejor procedimiento cuando de un gran número de material se trate, método por investigar y adaptar, ya que el clima de la zona y la humedad del bagazo son piezas fundamentales en el proceso, dando a su vez, pautas para una nueva tesis u otra investigación al respecto dedicada en su totalidad a este tema.

“Para la tecnología del bagazo cemento, la mayor importancia atribuida al sistema de almacenamiento constituye la reducción del contenido de azúcares presentes en la fibra hasta los valores conocidos y una vez que ello se logre, ya se puede introducir la fibra en el proceso tecnológico”.

Costales Sotelo Raúl.

Ingeniero Consultante División de Desarrollo ICIDCA, Cuba.

Esta afirmación está definida por el hecho de que el contenido de humedad de la mezcla está definida tanto por el agua de constitución (atrapada o contenida en el

bagazo) como por el agua de adición, en la medida que la primera es mayor, la segunda ha de reducirse, de aquí que el almacenamiento se analice en esta tecnología mas como un reactor biológico que como plato de secado.

Las mayores implicaciones sobre que tecnología emplear se manifiestan en el índice de pérdidas inducidas por el almacenamiento, siendo deseable una fibra larga y resistente, en lugar de una corta fraccionada por los procesos degradativos de la fermentación. No obstante lo anteriormente analizado, la necesidad de un parque para almacenar la fibra, en el cual se planteen todas las medidas de seguridad previstas para una solución industrial y del cual se puedan tomar las cantidades por partidas requeridas por la tecnología, recomiendan soluciones de este tipo.

4.2.4. Porcentaje de sacarosa.

Por la necesidad de tener precisión en los datos para el correcto manejo del material, el bagazo se sometió a un análisis de cantidad de sacarosa por el método titrimétrico/Lane y Eynon y a un análisis de PH por el método Potenciómetro, ambos realizados en el laboratorio químico de consultas industriales de la UIS. Para este análisis se identificaron 8 muestras, cuyos pesos iniciales son de 50 gr. de fibra de bagazo sin pretratamiento. La variante de cada muestra está en la presencia del pretratamiento y tratamiento superficial.

Los análisis se hicieron con 6 meses de almacenamiento de la fibra, contados a partir de la molienda de la caña en el trapiche panelero. Las muestras se identifican en la tabla 13 y los correspondientes resultados en la tabla 14.

NÚMERO MUESTRA	DESCRIPCIÓN
1	Bagazo sin pretratamiento
2	Bagazo pretratado con 1500 ml de agua
3	Bagazo pretratado con 2500 ml de agua
4	Bagazo pretratado con 2500 ml de agua y con tratamiento superficial de hidróxido de calcio al 7 % con respecto al agua
5	Bagazo pretratado con 2500 ml de agua y con tratamiento superficial de hidróxido de calcio al 10 % con respecto al agua
6	Bagazo pretratado con 2500 ml de agua y con tratamiento superficial de silicato de sodio combinado con sulfato de aluminio en 1500 ml de agua
7	Bagazo pretratado con 2500 ml de agua y con tratamiento superficial de silicato de sodio combinado con sulfato de aluminio en 2500 ml de agua
8	Bagazo pretratado con 2500 ml de agua y con tratamiento superficial de silicato de sodio

TABLA 13. Muestreo para análisis de porcentaje de sacarosa y pH.

NÚMERO MUESTRA	PESO EN GRAMOS			PORCENTAJE SACAROSA	UNIDADES DE Ph
	PESO A	PESO B	PESO C		
1	50	---	---	0.79	6.25
2	50	47.32	---	0.21	8.87
3	50	46.72	---	0.19	9.85
4	50	46.58	52.92	0.12	8.54
5	50	46.64	53.28	0.17	8.8
6	50	46.71	48.34	0.16	8.8
7	50	46.75	48.11	0.18	8.21
8	50	46.69	50.17	0.15	8.5
MEDIA		46.681	---	0.16	---

PESO	DESCRIPCIÓN
A	Peso inicial de la muestra, antes del pretratamiento
B	Peso después del pretratamiento, antes del tratamiento superficial
C	Peso después del tratamiento superficial

TABLA 14. Análisis de porcentaje de sacarosa y pH

De la tabla 14 se pueden sacar las siguientes observaciones:

- * El porcentaje de sacarosa en el bagazo luego de 6 meses de almacenamiento, se redujo a menos del 1%, como lo describe la muestra No 1, cuyo principal causante es la fermentación de los azúcares, comprobando la alternativa industrial de reducción de la sacarosa en el almacenamiento. El pH de la misma muestra arrojó el resultado esperado, según observaciones de la tabla 12, presentándose menos ácido.
- * A mayor cantidad de agua, mayor extracción de sacarosa y por consiguiente menos peso en el bagazo resultante, característica señalada en las muestras No 2 y 3. En estas mismas muestras se aprecia que el pH está ampliamente ligado a la sacarosa de una forma directamente proporcional, poniendo de manifiesto que los tratamientos superficiales no tienen que alcalinizar demasiado la fibra, pues la minimización de la sacarosa ya solucionó de antemano este problema, más sin embargo el tratamiento conserva la fibra con esta protección y sobre todo la protege de la alcalinidad del cemento.
- * Con el resultado de la observación anterior, se escoge la No 3 como indicación del pretratamiento, utilizándose este paso en las siguientes 5 muestras. Esta medida produce una media aritmética con respecto al peso de 46.681 gr, perdiendo cerca del 6 por ciento de material en la operación. Dentro del material faltante, además de los sólidos solubles en agua, también caben impurezas en el bagazo y presencia de finos, quedando como resultado un material limpio superficialmente, característica muy importante en el momento de la aplicación del tratamiento superficial de la fibra. En cuanto a la media aritmética de la sacarosa de 0.16 por ciento, se necesitarían solamente 100 gramos o más de cemento por cada 100 gramos de bagazo, alterando solamente el proceso normal del fraguado, y para no modificar ninguna parte de la hidratación se necesitaría 530 gramos o más

de cemento por cada 100 gramos de bagazo. Son resultados muy alentadores el poder bajar el rango hasta este nivel, ya que se redujo el cemento a 10 veces el necesitado sin pretratamiento, pudiendo utilizar mayor cantidad de bagazo de caña, dando cumplimiento a un objetivo primordial que es el aprovechamiento máximo del bagazo.

- * Las muestras tratadas con hidróxido de calcio son las más pesadas, aumentando su valor cerca del 14 por ciento. El pH no arroja un dato significativo que muestre su variación con respecto al tratamiento superficial, pudiéndose deducir que las diferentes mineralizaciones utilizadas cumplen a similitud una de las funciones por las que fueron añadidas, concepto explicado a profundización en el ítem que sigue a continuación.

Cabe aclarar de antemano, que sin importar lo que se haga, siempre quedara sacarosa en la caña, sacarosa residual, debida a la misma naturaleza del bagazo, pero que no altera la potencialidad del fraguado del cemento.

4.3. TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LA FIBRA.

4.3.1. Generalidades

Todos las investigaciones que trabajan con fibras de origen vegetal, han señalado la necesidad de un tratamiento a las mismas para mejorar sus propiedades, sobre todo a nivel de resistencia a la durabilidad, pues, al poseer origen orgánico se tienden a descomponer por ataque químico y biológico. Además de servir como escudo protector para la estructura de la fibra, estos tratamientos mejoran las propiedades de adherencia con el material.

Este tema es muy debatido por los investigadores en la materia. El bagazo de caña de azúcar ha sido tratado superficialmente con diferentes aditivos químicos;

asfalto aluminizado por Hesch (1970), silicato de sodio y sulfato de aluminio por C. Ramirez Sarmiento y J. Freire (1996), y silicato de sodio por el Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA, entre otros.

En la Universidad Industrial de Santander se han realizado proyectos de investigación con diferentes clases de fibras vegetales, donde la mineralización con hidróxido de calcio ó cal hidratada ó cal apagada, ha presentado muy buenos resultados sobretodo cuando se mezcla con el cemento pórtland.

Como la fibra va ha estar en contacto con el cemento, la mineralización buscada deberá satisfacer los siguientes requerimientos:

- * Servir de protección contra el medio alcalino proporcionado por el cemento.
- * Inmovilizar su parte orgánica y disminuir su capacidad de absorción de agua, de modo que evite la posibilidad de presentar cambios en su dimensión.
- * Reducir al mínimo la incompatibilidad química con el cemento.
- * Proporcionar mejores cualidades al compuesto, tales como durabilidad, resistencia al fuego y al ataque de microorganismos.

Se escogieron tres tratamientos superficiales altamente investigados, factibles y que cumplieran los requisitos señalados con anterioridad. A estos se les analizó el porcentaje de sacarosa y pH, datos arrojados en las tablas 14 y 15.

4.3.2. Hidróxido de calcio o cal hidratada.

(Investigación realizada por el grupo INME de la UIS)

Este tratamiento es de tipo de impregnación de fibras que repelen el agua, siendo el más considerado y aconsejado debido a que comercialmente sus materiales son de fácil adquisición, se pueden manipular y trabajar sin necesidad de altos mecanismos de operación, sin la necesidad de una mano de obra especializada, y con bajos niveles de seguridad. Además, su rendimiento es bastante rápido como tratamiento superficial y su procedimiento de aplicación es económicamente factible.

Al diluirse la cal en el agua, esta tiene característica de sustancia básica, ideal para la función buscada, es decir, que no presenta riesgo de daño al material adhesivo, además de garantizar una buena adherencia con el cemento, debido a que el cemento contiene un porcentaje considerable de cal como se puede observar en la tabla 7, con una participación del 65 por ciento.



FOTO 13. Mineralización con Hidróxido de Calcio.

La solución de hidróxido de calcio de concentración 7 – 10 % con respecto al peso del agua, debe prepararse de 3 a 4 días de anticipación. Luego de este tiempo se vierte la fibra, vigilando que quede completamente cubierta por la lechada,

agitando la solución cada 8 horas con el fin de lograr la penetración del hidróxido de calcio en la fibra. La mineralización puede realizarse a temperatura ambiente de 1 a 3 días. Reposada la fibra, se realiza el posterior lavado con agua a temperatura ambiente, con el fin de remover las impurezas presentes y la cal en exceso. Luego se pasa al horno a 60° C durante 24 horas.

Este proceso se ha realizado en otras investigaciones con la ayuda de calor, y cumple con el mismo proceso, pero el tiempo de inmersión de la fibra en la lechada es de 2 horas. La finalidad de aplicar calor esta dirigida a incrementar la adherencia entre la fibra y la cal, ya que la temperatura actúa como acelerador de cualquier proceso fisicoquímico.

4.3.3. Silicato de sodio combinado con sulfato de aluminio.

(C. RAMIREZ SARMIENTO, W. J. FREIRE)



FOTO 14. Mineralización con Silicato de Sodio combinado con Sulfato de Aluminio

Las fibras se someten a un tratamiento con silicato de sodio (solución al 5%) combinado con sulfato de aluminio (solución al 30%). Luego de la mezcla, las fibras se llevan al horno durante 24 horas a 60° C. Cumplido este tiempo, las

fibras se dejan enfriar a temperatura ambiente y se conservan herméticamente hasta ser usadas en la mezcla con el cemento.

4.3.4. Silicato de sodio

(Investigación realizada por el ICIDCA)

El silicato de sodio trabaja como sustancia bloqueadora, reaccionando con ciertos componentes de la fibra y formando sustancias muy difíciles de disolver posteriormente en el medio alcalino. Estos estudios fueron comenzados por Treiber E. y Ramby B.

Este tratamiento es muy fácil y rápido comparado con los dos anteriores. La mineralización sucede por mezclado de la fibra con el silicato de sodio, momentos antes de realizar la mezcla con la pasta de cemento o mortero para la elaboración del elemento. Teóricamente el silicato de sodio se adhiere a las paredes de la fibra recubriéndola y facilitando la interacción con el cemento, de aquí que se le denomine al proceso como mineralización.



FOTO 15. Mineralización con Silicato de Sodio

En el momento de realizar la mezcla del material, se coloca la fibra en el recipiente de mezclado, se añade el silicato de sodio (10% con respecto al peso del bagazo) y se realiza un tiempo de mezclado tal que la cantidad añadida sea capaz de cubrir a la gran mayoría de la fibra, se añade el cemento pórtland y se continúa con la mezcla.

4.3.5. Elección del tratamiento.

Para escoger el tratamiento a seguir, se practicó el proceso de mineralización con cada tratamiento superficial con el fin de evaluar a fondo sus características desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo, además de realizar el análisis de sacarosa y pH.

Los datos que más se deben tener en cuenta en el momento de seleccionar el tratamiento, por motivos explicados en el numeral 4.2., es el resultado de la sacarosa y pH, pero al no proporcionar mayor diferencia entre estos, todos estando dentro de un comportamiento muy positivo, se opta por la eliminación según la experiencia registrada en el procedimiento.

EVALUACIÓN	HIDRÓXIDO DE CALCIO	SILICATO DE SODIO SULFATO ALUMINIO	SILICATO DE SODIO
% SACAROSA	0.12 – 0.17	0.16 – 0.18	0.15
pH	8.54 – 8.8	8.8 – 8.21	8.5
NIVEL DE DIFICULTAD	Fácil	Muy complicado	Fácil
PRESUPUESTO	Económico	Costoso	Muy económico
TIEMPO	Demorado	Demorado	Rápido

TABLA 15. Evaluación de los tratamientos superficiales

La tabla 15 muestra la desventaja que presenta el tratamiento de silicato de sodio combinado con sulfato de aluminio, pues es un tratamiento que exige amplio conocimiento en el tema, pues se debe garantizar la concentración de cada agente químico, luego mezclarlos entre si y agregarlos a la fibra. Los materiales en si no son costosos, pero se necesitan los dos, es aquí en donde se torna un proceso anti-económico, además del costo que acarrea el agua, más la operación del horno para el correspondiente secado; necesitándose más de un día para tener la fibra lista y preparar el nuevo material al proceso.

Ya que los otros dos tratamientos resultan factibles para el proyecto, la elección se decidirá en una forma más compleja, por medio de las resistencias mecánicas que arroje el material mezclado con el cemento.

4.4. CEMENTO PÓRTLAND

4.4.1. Procedencia

El cemento utilizado en el proyecto es cemento Boyacá, referenciado como Pórtland Tipo I ó de uso general, en su presentación de 50 Kg.

Este cemento fue escogido porque presenta en su ficha técnica un tiempo de fraguado rápido, lo que lo hace ideal para la situación que se presenta con la sacarosa, problemática descrita en el numeral 4.2.

4.4.2. Ensayos

Es mucha la incertidumbre producida por el contenido de sacarosa residual en las fibras, resultado arrojado en la tabla 14, pues se quiere saber con exactitud y desde el punto de vista práctico la forma como afectaría esta sacarosa al fraguado del cemento.

A los efectos del análisis se tomará como 0.2% la cantidad de sacarosa dispuesta a participar en la mezcla, cantidad tomada con este número, por encima de los datos, por factor de seguridad.

Consistencia normal del cemento (ICONTEC 110). Este ensayo es de primordial importancia para la ejecución del ensayo de tiempo de fraguado, ya que indica el porcentaje de agua de amasado requerida para que la pasta de cemento tenga consistencia normal. Los datos se encuentran en la tabla 16. El ensayo se lleva a cabo en el aparato de Vicat, ilustrado en la foto 15. Se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando la sonda penetra 10 ± 1 mm 30 segundos después de haber sido soltada. Por interpolación de la curva descrita en la figura 8, se obtiene una consistencia de 29.2%, es decir, 146ml de agua por cada 500 gramos de cemento.

CEMENTO (gm)	AGUA		PENETRACIÓN (mm)	
	PORCENTAJE	ml	PARCIAL	FINAL
500	32	160	0 - 28	27.83
500	32	160	0 - 28.5	
500	32	160	0 - 27	
500	31	155	0 - 20	20.67
500	31	155	0 - 21	
500	31	155	0 - 21	
500	30	150	0 - 18	18
500	30	150	0 - 18	
500	30	150	0 - 18	
500	29	145	0 - 9	8.83
500	29	145	0 - 8.5	
500	29	145	0 - 9	
500	28	140	0 - 6.5	6.83
500	28	140	0 - 6.5	
500	28	140	0 - 7.5	

TABLA 16. Resultados de consistencia normal del cemento

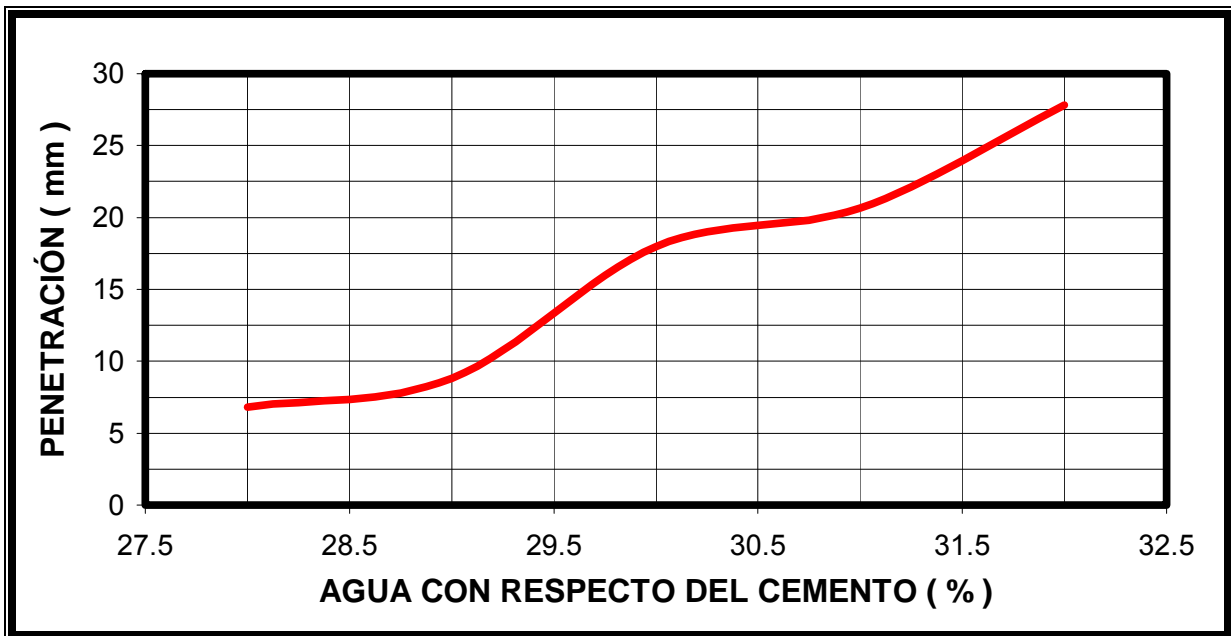


FIGURA 8. Gráfica de consistencia normal del cemento.

Tiempo de Fraguado del cemento (ICONTEC 109 Y 118, VICAT Y GILLMORE). Estos dos ensayos determinan los tiempos de fraguado, inicial y final. Para verificar el comportamiento del cemento frente a la presencia de la sacarosa residual, se elaboraron tres mezclas, cuya diferencia radica en la concentración de sacarosa en el agua.

Se van a trabajar dos suposiciones;

1. El agua de amasado contiene una concentración de 0.2 % de sacarosa, es decir, que una cantidad de 146 gramos de agua de amasado contiene 0.29 gramos de sacarosa y 145.71 ml de agua. Con respecto al peso del cemento sería de 0.058 %.
2. El agua de amasado contiene una concentración de 0.685 % de sacarosa, donde el 0.2 % es con respecto al peso del cemento, es decir 1 gramo de

sacarosa, hipótesis que se cumpliera si la relación de bagazo/cemento fuese de 1/1. Una cantidad de 146 gramos de agua de amasado contiene 1 gramo de sacarosa y 146 ml de agua.

La primera suposición es válida, ya que la sacarosa se disuelve en el agua y de esta pasaría al cemento. Prácticamente esta situación es la mínima que se presentaría dentro de la mezcla, y el porcentaje con respecto al cemento se encuentra muy por debajo del límite de afectación teórico descrito con anterioridad.



FOTO 16. Instrumentos para medición de tiempo de fraguado.
Izquierda, aparato de Vicat. Derecha, agujas de Gillmore.

Por el contrario, la segunda suposición es un extremo, criterio que se daría si se cumplieren dos condiciones muy poco probables. La primera, si la relación bagazo/cemento es de 1/1, lo cual no es factible debido a que esta cantidad de cemento no cubriría completamente todas las fibras; y la segunda, si la totalidad de sacarosa presente en las fibras se diluyera en el agua de amasado, lo cual

también es imposible, y como se explica en el numeral 4.2.4. sobre análisis de sacarosa, siempre quedara en la fibra sacarosa residual, característica primordial de la caña de azúcar. En todo caso, este porcentaje está en el límite de afectación teórico descrito con anterioridad.

Las tablas 17 y 18 contienen el muestreo y resultado del fraguado del cemento respectivamente. Las tres muestras son: un patrón ó de comparación y las dos suposiciones a analizar.

NÚMERO MUESTRA	DESCRIPCIÓN
1	Agua de amasado sin sacarosa. Muestra patrón.
2	Agua de amasado con concentración de sacarosa de 0.2%. Suposición 1.
3	Agua de amasado con concentración de sacarosa de 0.685%. Suposición 2.

TABLA 17. Muestreo para análisis de fraguado del cemento frente a la sacarosa.

De la tabla 18 se pueden sacar las siguientes observaciones:

- ✱ El cemento utilizado mantiene dentro de sus propiedades un tiempo de fraguado rápido, debido al módulo de finura de sus partículas, pues al ser mas finas, la hidratación se presenta con mayor rapidez. Esto se da en la muestra número 1.
- ✱ Los resultados arrojados por la muestra número dos no presenta cambios significativos con respecto a la muestra patrón, pese a la presencia de la sacarosa, pero de antemano se sabía que el porcentaje es muy pequeño como para retardar el proceso de fraguado en la pasta.

TIEMPO	MUESTRA 1			MUESTRA 2			MUESTRA 3		
	VICAT (mm)	GILLMORE		VICAT (mm)	GILLMORE		VICAT (mm)	GILLMORE	
		P. MEN.	P. MAY.		P. MEN.	P. MAY.		P. MEN.	P. MAY.
30'	39	Si	---	39	Si	---	39	Si	---
15'	39	Si	---	39	Si	---	39	Si	---
15'	39	Si	---	39	Si	---	39	Si	---
15'	39	Si	---	39	Si	---	39	Si	---
15'	39	Si	---	39	Si	---	39	Si	---
15'	38.5	Si	---	38.5	Si	---	39	Si	---
15'	38.5	Si	---	38	Si	---	38	Si	---
15'	38	Si	---	37.5	Si	---	38	Si	---
15'	37.5	No	Si	37	Si	---	38	Si	---
15'	34.5	---	Si	32	No	Si	38	Si	---
15'	29	---	Si	22	---	Si	38	Si	---
15'	21	---	Si	13	---	Si	37	Si	---
15'	4	---	Si	5	---	Si	37	Si	---
15'	1	---	Si	2	---	Si	37	Si	---
15'	0.3	---	Si	0.8	---	Si	36.5	No	Si
15'	0.1	---	Si	0.4	---	Si	36.5	---	Si
15'	---	---	Si	0.2	---	Si	36	---	Si
15'	---	---	Si	0.1	---	Si	35	---	Si
15'	---	---	No	---	---	Si	34	---	Si
15'	---	---	---	---	---	Si	32	---	Si
15'	---	---	---	---	---	No	30	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	28	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	27	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	25	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	20	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	16	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	13	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	11	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	8.5	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	5	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	1.5	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	0.3	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	0.1	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	---	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	---	---	Si
15'	---	---	---	---	---	---	---	---	No

P. MEN = Peso menor P. MAY = Peso mayor

TABLA 18. Resultados de análisis de fraguado
de la pasta de cemento frente a la sacarosa.

- * La muestra número 3 afecta el proceso de fraguado de forma significativa en el cemento, demorando el proceso a relación del doble de tiempo que tarda la muestra patrón. Cabe recalcar que es improbable este porcentaje de sacarosa.

NÚMERO MUESTRA	FRAGUADO	
	INICIAL (horas)	FINAL (horas)
1	2.5	5.0
2	2.75	5.3
3	4.0	9.0

TABLA 19. Tiempo de fraguado de las muestras de pasta de cemento frente a la sacarosa

4.5. ARENA

4.5.1. Procedencia

Este material proviene de Rionegro, uno de los principales puntos de explotación que abastece a la ciudad de Bucaramanga, cuya explotación es de río, presentando granos lisos y redondeados. El punto de extracción se encuentra a 1,75 Km. de la cabecera municipal de Rionegro, el sitio donde se cruzan la quebrada Samacá y el Ríonegro, en la cota 675, y coordenadas geográficas 1°29'075 Norte y 1°10'2200 Este.

4.5.2. Ensayos

Tamizado de materiales granulados (ICONTEC 77). Este ensayo tiene por objetivo identificar la composición granulométrica de la arena. El tamizado se llevó a cabo en los tamices y máquina vibradora de tamices ilustrado en la foto 10.

MALLA No	ABERTURA (mm)	PESO (gr) RETENIDO	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
4	4.76	18.3	1.83	1.83	98.17
8	2.36	12.9	1.29	3.12	96.88
16	1.19	26.5	2.65	5.77	94.23
30	0.6	83.7	8.37	14.14	85.86
50	0.3	374.1	37.41	51.55	48.45
100	0.15	359.8	35.98	87.53	12.47
FONDO	---	124.5			
TOTAL		999.8			

PESO MUESTRA	1000
---------------------	------

MODULO DE FINURA	1.64
-------------------------	------

TABLA 20. Composición granulométrica de la arena.

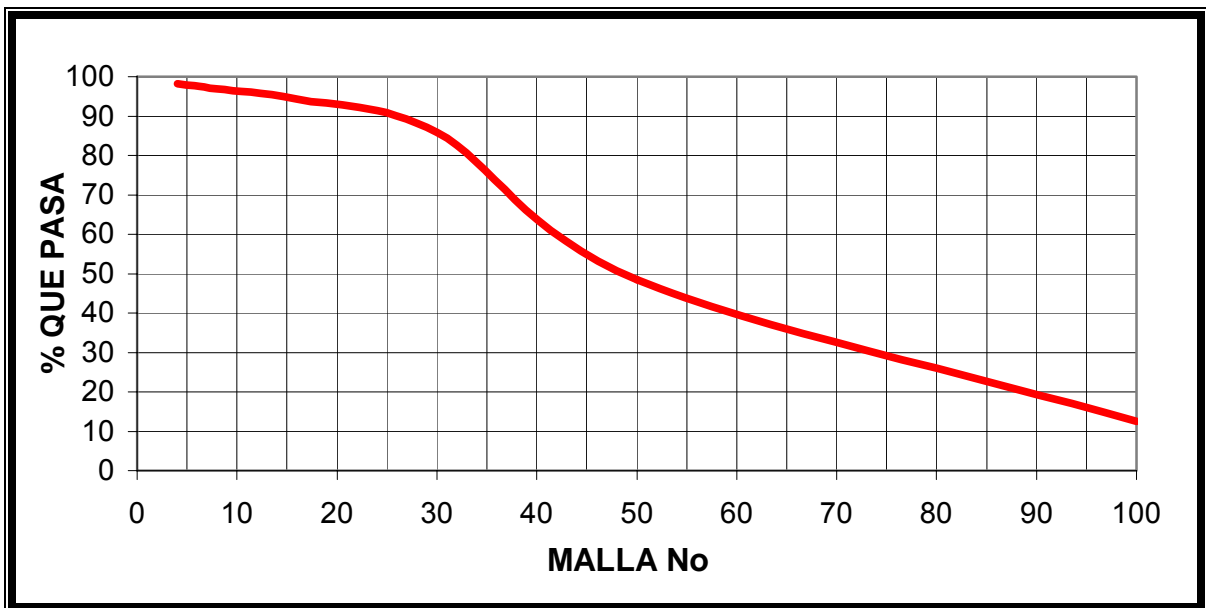


FIGURA 9. Composición granulométrica de la arena.

El módulo de finura indica una arena fina, escogida con esta propiedad por varias razones:

- * Dar la mayor plasticidad posible al mortero con la finalidad de que pueda mezclarse con la fibra y llene los espacios entre estas por completo.
- * Evitar al máximo el quiebre o daño por fricción entre las partículas de la arena y la fibra.
- * Formar una pasta con el cemento de tal forma que se convierta en envolvente adhesivo, minimizando el cemento, reduciendo la retracción y aumentando su resistencia mecánica como matriz adherente del elemento.

Contenido de Materia orgánica (ICONTEC 127). La comparación de color de la muestra en la solución con la carta No 815 de la Hellige Tester arroja como resultado el color número 2, dando a entender que el contenido de materia orgánica es poca. Cabe recordar que la arena en todo caso es lavada para eliminar la presencia de finos menores al tamiz número 200.



FOTO 17. Prueba de contenido de materia orgánica en la arena.

Peso Específico y Absorción (ICONTEC 237). Estas propiedades son importantes ya que influyen en el momento de la dosificación del elemento. La tabla 21 muestra los resultados de estos ensayos.

GRAVEDADES ESPECIFICAS				
DATOS				
A = Peso de frasco + agua hasta la marca, en el aire		659	gramos	
B = Peso de la muestra en condición S.S.S. en el aire		500	gramos	
C = Peso de la muestra, frasco y agua agregada, en el aire		956	gramos	
D = Peso de la muestra secada al horno, en el aire		479.8	gramos	
CÁLCULOS				
Gravedad Específica Real	$= \frac{D}{A - C + D}$	$= \frac{479.8}{182.8}$		$= 2.6247$
Gravedad Específica Aparente	$= \frac{D}{A + B - C}$	$= \frac{479.8}{203}$		$= 2.3635$
Gravedad Específica Aparente S.S.S.	$= \frac{B}{A + B - C}$	$= \frac{500}{203}$		$= 2.4631$
PESO UNITARIO				
MEDIDOR				
V = Volumen del medidor		= 2.835	dm ³	
DATOS				
Pm = Peso del medidor vacío		= 2560	gramos	
Pc = Peso del medidor + material S.S.S., compactado		= 6646	gramos	
Ps = Peso del medidor + material S.S.S., suelto		= 6200	gramos	
Peso Unitario del agregado S.S.S., compactado	$= \frac{Pc - Pm}{V}$	= 1441.27	Kg / m ³	
Peso Unitario del agregado S.S.S., suelto	$= \frac{Ps - Pm}{V}$	= 1283.95	Kg / m ³	
ABSORCIÓN				
Absorción	$= \frac{B - D}{D}$	$= \frac{20.2}{479.8}$	= 4.21	%
Porcentaje de vacíos	$= \left[1 - \left(\frac{\text{Peso unitario SSS compactado}}{\text{Peso Específico}} \right) \right] * 100$		= 41.48	%

TABLA 21. Peso Específico y absorción de la arena.

4.6. AGUA

4.6.1. Procedencia

Se utilizó el agua proveniente del acueducto metropolitano de Bucaramanga AMB, que cumple con la norma A.S.T.M. C-171-63.

DOSIFICACIÓN

5.1. PRECEDENTES

Es muy importante obtener un elemento constructivo que pueda remplazar los normalmente usados, ya dentro del contexto no estructural, aclaración intuitiva dado el origen y estructura de los materiales que la componen.

Con la materia prima que tenemos a nuestra disposición se pueden plantear determinadas combinaciones de mezcla entre los componentes del composite, capaces de producir elementos aptos a los efectos anteriormente mencionados. A estas composiciones se les ha otorgado una nomenclatura y unidad de medida que serán utilizadas en el contexto de la investigación.

NOMENCLATURA	MATERIAL	UNIDAD
B	Bagazo de caña de azúcar	Gramos
C	Cemento	Gramos
Ar	Arena	Gramos
Ag	Agua	Gramos ó Mililitros
P	Pasta	Gramos
M	Mortero	Gramos
Si	Silicato de Sodio	Gramos
HC	Hidróxido de Calcio	Gramos

TABLA 22. Materiales para dosificación del elemento.

En la tabla 22 se encuentran el material disponible y en la tabla 23 las correspondientes mezclas que se pueden producir, cumpliendo requisitos de adherencia, funcionalidad y homogeneidad entre otras.

ELEMENTO	TIPO	DESCRIPCIÓN
B + Si + P	FINO	Bagazo con tratamiento superficial de Silicato de Sodio mezclado con pasta de cemento (cemento + agua).
B + HC + P	FINO	Bagazo con tratamiento superficial de Hidróxido de Calcio mezclado con pasta de cemento (cemento + agua).
B + Si + M	GRUESO	Bagazo con tratamiento superficial de Silicato de Sodio mezclado con mortero (cemento + arena + agua).
B + HC + M	GRUESO	Bagazo con tratamiento superficial de Hidróxido de Calcio mezclado con mortero (cemento + arena + agua).

TABLA 23. Combinación de la materia prima.

Atendiendo la diferencia del producto empleado como adherente en relación a la fibra, la dosificación se dividió en dos partes, por un lado los elementos trabajados con pasta de cemento también denominado en esta investigación como elemento de tipo fino y por otro lado el mortero o elemento de tipo grueso. A su vez, estos fueron comparados con mezclas patrones, realizadas a partir de la matriz adherente sin la presencia de la fibra, es decir, un elemento constituido por pasta y otro de mortero únicamente, cumpliendo ciertas características de similitud de estos componentes utilizados en las fibras.

Como se especificó en el acápite 4.1.3, donde se trataron los aspectos inherentes a la granulometría de la fibra, la fracción aceptada fue la abarcada dentro de los

tamices número 4 al número 40, caracterizados como tamices en donde se encuentra la fibra, ya que la funcionalidad del elemento en este proyecto se verifica sobre la base de su resistencia mecánica. En estudios posteriores al aquí tratado, dentro del grupo INME se seguirá el tratamiento de elemento en cuanto a su acabado superficial y presentación visual.

En estudios realizados por el ICIDCA, fundamentados en la producción de paneles de bagazo cemento, en los cuales la fibra es igualmente mineralizada para obtener un elemento del corte panel ligero, la selección granulométrica se realiza en base a fracciones dentro del rango de 12 a 15 mm, con grosores en el rango de 0,2 a 0,3 mm con la finalidad de que el relleno otorgue la mejor resistencia a la tracción a la vez que se logra un acabado superficial adecuado para estos elementos.

Para el elemento del tipo grueso o con material adherente de mortero sí se utilizó toda la gama de fracciones fibrosas, es decir, las retenidas del tamiz número 4 al número 40, dosificaciones que serán evaluadas con más precisión en el capítulo 6, que trata de las pruebas físico mecánicas, y criterios comparativos con los elementos utilizados como adherentes.

5.2. MEZCLA DE BAGAZO CON PASTA DE CEMENTO

Especificados los materiales a utilizar para la elaboración de este elemento, se sigue la búsqueda de la proporción más óptima que garantice la funcionalidad de todos estos de una forma lo más homogénea posible.

Dentro de la mezcla de bagazo con cemento, se pueden diferenciar dos elementos; el que contiene fibra mineralizada con Silicato de Sodio y la que contiene fibra mineralizada con Hidróxido de Calcio. Se debe aclarar que la diferencia de proporción de materiales entre estos dos permanece constante a

efectos de la comparación, cambiando claro esta, la proporción de agente mineralizador.

Para tal efecto, se emplearán dos fórmulas que satisfagan la cantidad de material a utilizar en cada elemento:

1. MASA TOTAL = Masa bagazo + Masa cemento + Masa mineralizador

**2. MASA DE AGUA = Agua en bagazo + Agua mineralizador + agua cemento +
Agua adicional**

Como el bagazo de caña de azúcar es el material de mayor importancia para el proyecto, su valor se dejó constante o como variable independiente, encontrando el resto de materiales a razón de este. En la tabla 24 se muestra la granulometría y cantidad de fibra correspondiente para cada prueba de dosificación.

MALLA No	ABERTURA (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
10	2	32.88	46.97	46.97	53.03
20	0.84	29.34	41.92	88.89	11.11
40	0.42	7.78	11.11	100	0
PESO MUESTRA		70 gramos			

TABLA 24. Granulometría de la fibra para mezcla de bagazo con pasta de cemento.

Para encontrar la cantidad de cemento adecuada, se realizaron ensayos a la compresión en la máquina universal de ensayos para maderas marca AMSLER que se encuentra en la foto 18, , ya que esta tiene buena precisión para cargas pequeñas.

Para tener idea de la cantidad de material con la cual comenzar, se realizó una serie de ensayos a manera de prueba y error ó de predosificación que lograron una estimación de cantidad de cemento a utilizar como inicio la cual se precisa en el transcurso de la experimentación. El objetivo del ensayo de predosificación fue lograr que la menor cantidad posible de pasta cubra la totalidad de las fibras a fin de lograr una correcta adherencia. Cabe destacar que estos ensayos se hicieron a manera de fluidez, trabajabilidad y homogeneidad de la mezcla, es decir, la mezcla en estado plástico, sin medir la resistencia mecánica alcanzada con el tiempo. Este ensayo preliminar permitió comenzar la experimentación dentro de un rango de inclusión de cemento muy cercano al necesario.



FOTO 18. Máquina universal de ensayos para maderas marca AMSLER
Laboratorio de resistencia de materiales UIS

La cantidad de agua se analizó por medio de la relación agua/cemento. Con la prueba de predosificación también se logró alcanzar una estimación de esta relación, trabajándose en primera estancia con 0.5, debido a que es una relación muy utilizada en morteros y concretos, dando características de pastas fluidas

capaces de llegar y envolver a toda la superficie de los agregados. Cabe analizar la absorción de la fibra, dato arrojado en la tabla 11, pues es agua adicional a la relación agua/cemento y también se debe aclarar que la fibra presenta una humedad del 10%.

Para la realización de las probetas se utilizaron cilindros de PVC de 2 pulgadas de diámetro y con la altura correspondiente a la relación 1:2 respectivamente. La idea de los ensayos es fallar cada una de las probetas a la compresión, donde cada una responde a una formulación (diferente cantidad de cemento para una misma relación de agua/cemento y una determinada cantidad de bagazo). Las formaletas utilizadas y sus respectivos accesorios se encuentran en la foto 19.



FOTO 19. Formaleta y accesorios para ensayos de dosificación.

La mezcla de los materiales se realizó en la mezcladora mecánica HUBART especificada en la norma ICONTEC 112, que se muestra en la foto 20.

El llenado del molde se realizó en tres capas de mezcla compactada, donde la presión de confinamiento, otra variable a destacar dentro del proceso de dosificación, se utilizó en estos ensayos de una forma que compactara la muestra sin dejar espacios entre las fibras. Esta compactación fue dada por un maso a

manera de 20 golpes por capa, acompañado de un vibrado en la formaleta para reacomodación de las partículas y eliminación de vacíos.



FOTO 20. Mezcladora mecánica. Laboratorio de Concretos UIS.

En este ensayo se elaboraron 9 probetas, 3 para cada cantidad de cemento para efectos de credibilidad. Cada probeta fue tapada y asegurada, evitando la expansión o reacomodación del bagazo a su estado normal, no compacto, permaneciendo un día en formaleta. Desencofradas las probetas se mantuvieron en curado durante 7 días, para efectos de continuidad en la hidratación de las partículas, dando lugar al posterior ensayo. El ensayo se realizó únicamente a los 7 días, pues aún no se puede encontrar su resistencia real, ya que todavía hay variables por solucionar, y con solo estos días ya se puede tener un mecanismo de selección. Los valores finales se pueden determinar después de los 21 días a partir de los cuales ya los elementos deberán poseer el máximo de resistencia mecánica.



FOTO 21. Cilindro para prueba a compresión para cantidad de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.

La tabla 25 recopila en una forma muy ordenada el proceso de muestreo para obtener la dosificación adecuada de cemento en la mezcla y la tabla 26 muestra la carga, deformación y resistencia de cada una de ellas.

PESO BAGAZO 70 gramos	PESO DE CEMENTO (gramos)		
		210	245
AGUA / CEMENTO 0.5	m1	m4	m7
	m2	m5	m8
	m3	m6	m9

TABLA 25. Muestreo para dosificación de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.

De la tabla 26 se puede realizar una gráfica como la mostrada en la figura 10, colocando la cantidad de cemento en el eje de las X y la resistencia a la

compresión en el eje de las Y, con la cual se puede explicar de una forma más comprensible la forma de escogencia de cantidad de cemento en la mezcla.

MUESTRA	CARGA (Kg)	PROMEDIO (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	RESISTENCIA	
				(Kg / cm ²)	(p.s.i.)
m1	290	320	11.2	15.788	225.546
m2	330				
m3	340				
m4	460	460	11.4	22.695	324.222
m5	430				
m6	490				
m7	500	510	10.6	25.162	359.464
m8	540				
m9	490				

TABLA 26. Resultado de pruebas para dosificación de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.

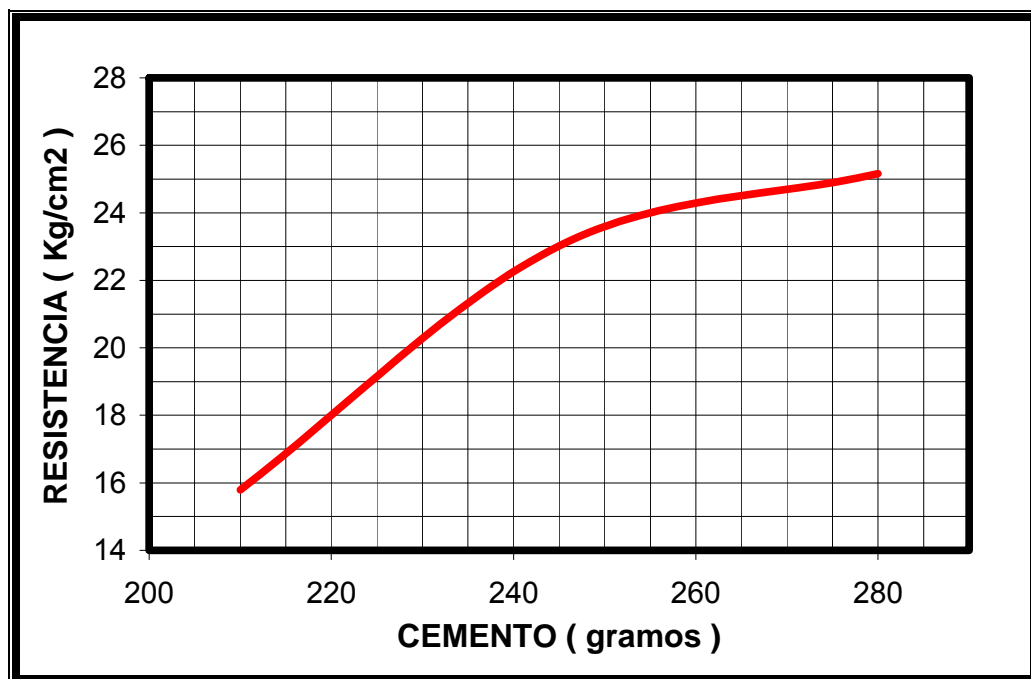


FIGURA 10. Gráfica de resistencia Vs Cantidad de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.

Se puede deducir por medio de la tabla 26 y figura 10 que la muestra con una relación de 1/3.5 de bagazo/cemento es la que cumple con los requisitos buscados del proyecto, es decir la mayor resistencia posible para la máxima cantidad de bagazo y mínima de cemento.

De esta gráfica y su correspondiente tabla se pueden sacar las siguientes observaciones:

- * A mayor cantidad de cemento le corresponde la mayor resistencia del elemento para la fibra incluida en la formulación.
- * Con 210 gramos de cemento ó relación 1/3 de bagazo/cemento, la gráfica cae pronunciadamente, mientras que con una inclusión de 245 a 280 gramos, se presenta una curva suave. Este punto es el más importante de analizar, porque el cambio de pendiente de la curva en la gráfica muestra la forma correcta de escoger la cantidad de cemento, pues para una misma cantidad de bagazo, 210 gramos de cemento no ofrece la mejor resistencia, mientras que el punto obtenido en 245 gramos muestra una resistencia más acorde con 280 gramos.
- * Para 210 gramos de cemento, posiblemente se presenten intersticios o espacios vacíos entre las fibras que debería ser cubierto por el cemento, o el envolvente superficial de cemento no ofrece la mejor adherencia entre estas. En 280 gramos, las fibras quedan bien adheridas, pero el cemento ocupa más espacio del que debe, haciendo que el elemento se comporte más rígido por lo cual ofrece mayor resistencia pero menos deformación. La probeta con 245 gramos, presenta buena adherencia entre ellas, trabajando estas por completo y no el cemento, ofreciendo buena elongación al igual que resistencia.

Por las observaciones realizadas en los ensayos, las probetas comienzan fallando por aplastamiento, cuya resistencia inicial es aportada por las fibras, ya que la parte central del cilindro queda abultada, seguida de una leve falla causada por el cemento, debido a la presencia de algunas fisuras dispersadas marcadas de forma longitudinal. Por último las fibras siguen oponiendo resistencia, gracias a la adherencia que les da el cemento.

La probeta tiende a recuperar su forma inicial después de quitar la carga, reponiendo una altura de ± 5 mm.



FOTO 22. Cilindro fallado a compresión para cantidad de cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento

En cuestión del agente mineralizador, ya se tiene el porcentaje a utilizar con respecto al bagazo, dato explicado en el ítem 4.3., sobre tratamiento superficial de la fibra.

Las probetas falladas exhibían espacios vacíos o poros dentro del elemento, factor que tiene que ver con el proceso de compactación como también de la relación

agua/cemento, pues a mayor agua es más la plasticidad del material adherente y mejor lubricación entre las fibras para una mejor acomodación, pero es menor la resistencia otorgada por el elemento.

La presión de compactación es otro factor importante dentro de la dosificación, ya que a mayor compactación o densificación es mayor la resistencia mecánica del elemento. Por medio de este ensayo se va a determinar la cantidad de agua necesaria siguiendo la teoría de modificación mecánica mediante la compactación, en donde hay una relación directa entre humedad y densidad.

Si el contenido de agua del elemento es incrementado gradualmente y la energía de compactación es la misma, el peso específico se incrementará gradualmente, alcanzando un valor límite más allá del cual cantidades adicionales de agua conducirán a una reducción del peso específico.

En la tabla 27 se encuentra el muestreo para la compactación o densificación con el fin de buscar la cantidad óptima de agua. Cabe aclarar que en esta prueba tampoco fue medida la resistencia mecánica del elemento, pues para la escogencia de la muestra no era necesario llegar hasta este punto.

El sistema de compactación utilizado para este ensayo es el mismo descrito con anterioridad, con la diferencia que se utilizaron 5 capas de llenado con el fin de que quede bien compactado. Luego, se pesa la muestra, y sabiendo de antemano el volumen del cilindro, se calcula el peso específico directamente, en estado fresco.

Los resultados se pueden apreciar en la tabla 28, acompañada con algunas observaciones en cada caso.

PESO BAGAZO 70 gramos	RELACIÓN AGUA/CEMENTO					
	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7
PESO CEMENTO 245 gramos	m1	m3	m5	m7	m9	m11
	m2	m4	m6	m8	m10	m12

TABLA 27. Muestreo para relación agua/cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.

MUESTRA	PESO (gramos)	PROMEDIO (gramos)	PESO ESPECÍFICO (Kg/m ³)	OBSERVACIONES
m1	215.32	217.715	1057.249	Mezcla semiseca, no se produce buena adherencia ó agarre entre fibras.
m2	220.11			
m3	246.45	244.075	1185.256	Mezcla húmeda, se deja compactar y hay buena adherencia.
m4	241.70			
m5	287.53	282.715	1372.896	Mezcla húmeda, se deja compactar, buena adherencia y buena trabajabilidad.
m6	277.90			
m7	270.38	269.14	1306.974	Mezcla húmeda, se deja compactar pero presenta un poco de goteo.
m8	267.90			
m9	251.68	252.32	1225.295	Mezcla bastante húmeda, se presenta bastante goteo.
m10	252.96			
m11	229.06	231.785	1125.574	Muy demasiado húmeda, demasiado goteo, las fibras no se dejan compactar casi.
m12	234.51			
Volumen Cilindro = 205.926 cm ³				

TABLA 28. Resultados de relación agua/cemento en mezcla de bagazo con pasta de cemento.

A cada mezcla, luego de sacar su peso específico se le halló la humedad, tomando la muestra, colocándola al horno durante 24 horas para medir

nuevamente su peso. La tabla 29 y la figura 11 muestran la relación de peso específico Vs humedad en el elemento.

PROPIEDADES	RELACIÓN AGUA/CEMENTO					
	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7
PESO ESPECÍFICO (Ton/m3)	1.0572	1.1853	1.3729	1.3070	1.2253	1.1256
HUMEDAD (%)	42.7	47.7	50.5	55.9	63.2	69.6

TABLA 29. Peso específico y humedad en mezcla de bagazo con pasta de cemento.

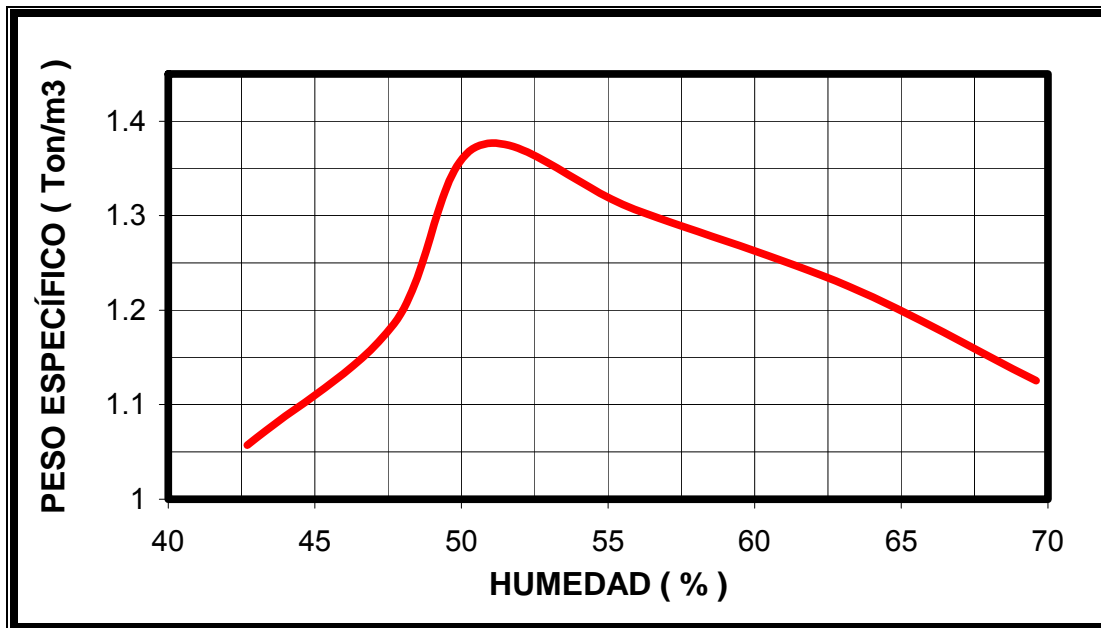


FIGURA 11. Gráfica de Peso específico Vs Humedad en mezcla de bagazo con pasta de cemento.

De las tablas y gráfica se puede concluir que la relación de agua/cemento a tomar es de 0.55. Como se explicó con anterioridad, a esta cantidad de agua se le suma el agua de absorción y la que necesita el mineralizante para poder mezclarse con las fibras, y así poder satisfacer las ecuaciones.

5.2.1. Fibra mineralizada con Silicato de Sodio

La siguiente tabla muestra la dosificación a trabajar para las probetas cuyas fibras fueron tratadas superficialmente con Silicato de Sodio, y posteriormente se encuentra la formulación de las ecuaciones de masas.

MATERIAL	DOSIFICACIÓN		
	RELACIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Bagazo de caña	-----	100	gramos
Silicato de Sodio	10% con respecto al peso del bagazo	10	gramos
Cemento	3.5 veces el peso del bagazo	350	gramos
Agua de amasado	55% con respecto al peso del cemento	195	mililitros
Agua mineralizante	Concentración del 29% de Silicato	34.5	mililitros
Agua adicional	(46% - % humedad) con respecto al peso del bagazo	36	mililitros
Agua bagazo	% humedad	10	mililitros

TABLA 30. Dosificación (B + Si + P).

Entonces, las ecuaciones para una probeta con 100 gramos de bagazo mineralizado con Silicato son:

$$\begin{aligned}
 \text{MASA TOTAL} &= \text{Masa bagazo} + \text{Masa cemento} + \text{Masa mineralizador} \\
 &= 100 \text{ gr.} + 350 \text{ gr.} + 10 \text{ gr.} \\
 &= 460 \text{ gr.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MASA DE AGUA} &= \text{Agua bagazo} + \text{Agua mineralizador} + \text{agua cemento} + \text{Agua} \\
 &\quad \text{adicional} \\
 &= 10 \text{ gr.} + 34.5 \text{ gr.} + 195 \text{ gr.} + 36 \text{ gr.} \\
 &= 275.5 \text{ gr.}
 \end{aligned}$$

Relación de agua total con respecto al peso total = $275.5 \text{ gr.} / 460 \text{ gr.} \approx 0.6$

5.2.2. Fibra mineralizada con Hidróxido de Calcio

MATERIAL	DOSIFICACIÓN		
	RELACIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Bagazo de caña	-----	100	gramos
Hidróxido de Calcio	10% con respecto al peso del agua en el pretratamiento	500	gramos
Cemento	3.5 veces el peso del bagazo	350	gramos
Agua de amasado	55% con respecto al peso del cemento	195	mililitros
Agua mineralizante	Concentración del 10% del Hidróxido	5000	mililitros
Agua adicional	(46% - % humedad) con respecto al peso del bagazo	36	mililitros
Agua bagazo	% humedad	36	mililitros

TABLA 31. Dosificación (B + HC + P).

Con la dosificación para las probetas mostrada en la tabla 31, se formularon las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 \text{MASA TOTAL} &= \text{Masa bagazo} + \text{Masa cemento} \\
 &= 100 \text{ gr.} + 350 \text{ gr.} \\
 &= 450 \text{ gr.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MASA DE AGUA} &= \text{Agua bagazo} + \text{agua cemento} + \text{Agua adicional} \\
 &= 10 \text{ gr.} + 195 \text{ gr.} + 36 \text{ gr.} \\
 &= 241 \text{ gr.}
 \end{aligned}$$

Relación de agua total con respecto al peso total = $241 \text{ gr.} / 450 \text{ gr.} \approx 0.55$

Cabe aclarar que en estas ecuaciones no se tiene en cuenta la masa del mineralizante ni el agua de este, pues las fibras ya vienen incorporadas con estas masas, acción realizada en el tratamiento superficial. El dato que aparece en la tabla 31 se refiere a la cantidad necesaria para el proceso del tratamiento superficial.

5.3. MEZCLA DE BAGAZO CON MORTERO DE CEMENTO

La dosificación para este elemento se realizó de una forma muy similar al proceso descrito con anterioridad en la mezcla de bagazo con pasta de cemento, pero la diferencia radica en que la relación de cemento:arena, esta prefijada y se mantiene constante de 1:2, por motivos de resistencia del elemento, además un porcentaje mayor de arena reduce tanto la plasticidad y capacidad de adherencia de la mezcla, como también la cantidad de bagazo.

La proporción de materiales entre los dos elementos a dosificar permanece constante para efectos de comparación, cambiando claro esta, la proporción del agente mineralizador. Esto da a entender que también se realizaron y analizaron los elementos que contienen fibra mineralizada con Silicato de Sodio e Hidróxido de Calcio. En este caso las dos fórmulas a satisfacer son:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ MASA TOTAL} &= \text{Masa bagazo} + \text{Masa cemento} + \text{Masa arena} + \text{Masa} \\
 &\quad \text{Mineralizador}
 \end{aligned}$$

2. MASA DE AGUA = Agua en bagazo + Agua mineralizador + Agua cemento + Agua adicional

La granulometría de las fibras corresponde a todos los tamaños señalados, es decir, se manejan los tamices del número 4 al número 40, por esta razón, además de que lleva arena, es que se distingue en esta investigación como elemento de tipo grueso. En la tabla 32 se muestra la granulometría y cantidad de fibra correspondiente para cada prueba de dosificación.

MALLA No	ABERTURA (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4.75	4.81	6.87	6.87	93.13
10	2	30.62	43.74	50.61	49.39
20	0.84	27.33	39.05	89.65	10.35
40	0.42	7.24	10.35	100	0.00
PESO MUESTRA		70 gramos			

TABLA 32. Granulometría de la fibra para mezcla de bagazo con mortero de cemento.

El material aglomerante o matriz, en este caso es de mortero, y para encontrar la cantidad necesaria, al igual que en el elemento de tipo fino, se realizaron ensayos a prueba y error ó de predosificación que lograron una estimación de la cantidad con la cual comenzar las pruebas de compresión.

En comparación con el elemento de tipo fino, el porcentaje de bagazo en este elemento disminuye considerablemente, pues la arena le quita consistencia plástica a la mezcla impidiendo que esta cubra toda la superficie de las fibras, lo cual trae como consecuencia el aumento de material adherente.

La cantidad de agua preliminar, fue de 0.5 en peso con relación al peso del cemento, pero no dio un buen resultado, quedando una mezcla con el bagazo semi-masuda ó nada plástica, siendo una mezcla con escasa trabajabilidad y no podía cubrir la totalidad de las fibras. Gracias a la predosificación se llegó a una relación agua/cemento de 0.75, dato que puede ser observado en la tabla 33.

MUESTRA	AGUA CEMENTO	CANT.	UND.	OBSERVACIONES
1	0.5	150	mL	Mezcla demasiado seca, no se deja trabajar.
2	0.55	165	mL	Mezcla demasiado seca, poca trabajabilidad.
3	0.6	180	mL	Mezcla seca, poca trabajabilidad.
4	0.65	195	mL	Mezcla semi húmeda, con poca plástica.
5	0.7	210	mL	Mezcla húmeda, con poca plasticidad.
6	0.75	225	mL	Mezcla húmeda, con buena plasticidad.
7	0.8	240	mL	Mezcla muy húmeda y muy plástica.
BAGAZO		70	gr.	Cantidad invariable.
CEMENTO		300	gr.	Cantidad de pre-ensayo.
ARENA		600	gr.	2 veces la cantidad de cemento.

TABLA 33. Cantidad de agua de predosificación en mezcla de bagazo con mortero.

La relación de agua anterior, es agua de la mezcla adherente, que además de esta, también se añade el agua denominada en el proyecto como agua adicional.

Las probetas para ensayar a compresión y encontrar la dosificación adecuada de bagazo y mortero fueron cilindros de PVC de 2 pulgadas de diámetro y con una

altura de 4 veces su radio. Estas formaletas son las mismas que se utilizaron en elementos de tipo fino, y se pueden observar en la foto 19.

La mezcla de los materiales se realizó en la mezcladora mecánica HUBART especificada en la norma ICONTEC 112, la cual se puede observar en la foto 20.

El llenado del molde se realizó en tres capas de mezcla compactada, mediante un maso a manera de 20 golpes por capa, acompañado de un vibrado en la formaleta para reacomodar las partículas y eliminar los vacíos.

Para este ensayo se hicieron 12 probetas, 3 para cada dosificación diferente, con el fin de darle reproducibilidad a los resultados del ensayo. Cada probeta fue tapada y asegurada, evitando la expansión o reacomodación del bagazo a su estado normal, permaneciendo un día en formaleta.



FOTO 23. Cilindro para prueba a compresión para cantidad de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento

A los 7 días de estar sumergida en agua ó encontrarse en su tiempo de curado se realizaron los ensayos en la máquina universal de ensayos para maderas marca AMSLER que se encuentra en la foto 18.

En la tabla 34 se especifica el muestreo, en la tabla 35 se encuentran los datos arrojados de carga, deformación y resistencia a la compresión para cada una de ellas y en la figura 12 la gráfica de resistencia Vs cantidad de cemento.

CEMENTO (gramos)	150	200	250	300
ARENA (gramos)	300	400	500	600
PESO BAGAZO 70 gramos	m1	m4	m7	m10
CEMENTO : ARENA 1 : 2	m2	m5	m8	m11
AGUA / CEMENTO 0.75	m3	m6	m9	m12

TABLA 34. Muestreo para dosificación de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.

MUESTRA	CARGA (Kg)	PROMEDIO (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	RESISTENCIA	
				(Kg / cm ²)	(p.s.i.)
m1	530	530	11.9	26.149	373.56
m2	490				
m3	570				
m4	810	843.33	10.08	41.608	594.41
m5	830				
m6	890				
m7	1230	1230	7.45	60.686	866.94
m8	1300				
m9	1160				
m10	1350	1406.67	6.18	69.402	991.46
m11	1400				
m12	1470				

TABLA 35. Resultado de pruebas para dosificación de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.

La composición del cemento en la mezcla fue de 250 gramos, ya que es la que cumple con la finalidad de la investigación, tendiente a lograr la mayor resistencia posible para una cantidad de bagazo con la mínima cantidad de cemento, decisión fundamentada en la figura 12.

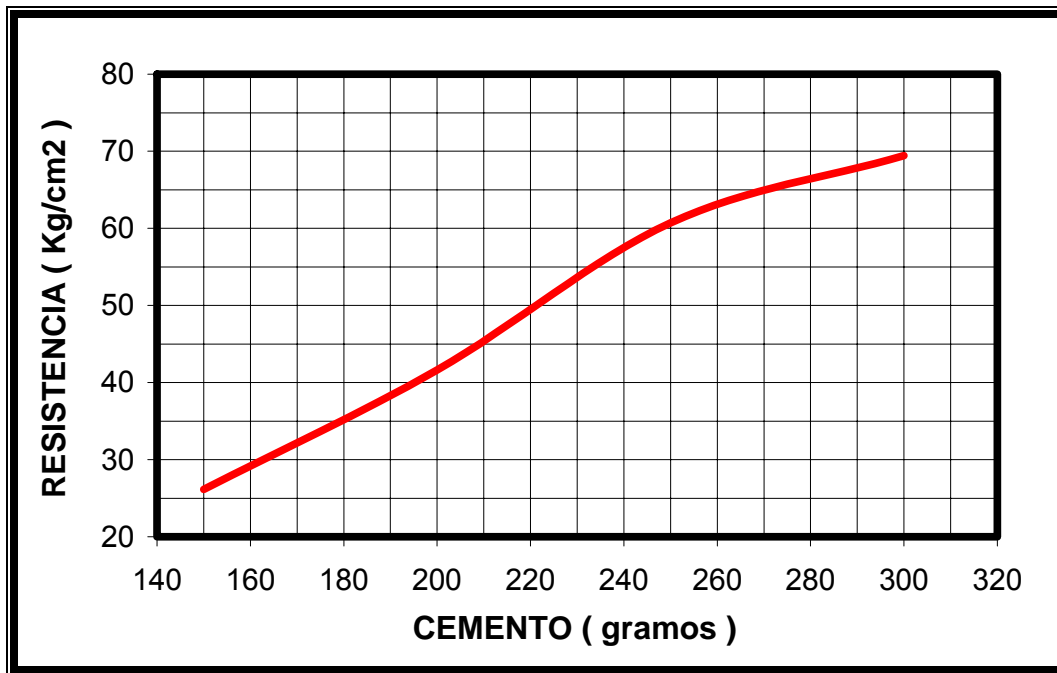


FIGURA 12. Gráfica de resistencia Vs Cantidad de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.

De la figura 12 y tabla 35 se pueden sacar las siguientes observaciones:

- * A mayor cantidad de mortero es mayor la resistencia a la compresión del elemento, pero es menor la elongación, esto se debe a que el elemento a medida que aumenta la mezcla adherente, surgen sus propiedades de material rígido como tal.

- * El cambio de pendiente que se realiza en el punto correspondiente a 250 gramos de cemento, expone la mayor cantidad de bagazo con la menor cantidad de mortero. Este punto corresponde a 500 gramos de arena, con una apreciación casi del 10% de bagazo con respecto a la cantidad de mortero.
- * Las probetas con 150 y 200 gramos de cemento ofrecen las menores resistencias a la compresión, pero son los que presentan mayor elongación. Con esto se puede deducir que el cemento no cubrió por completo las fibras ó que no aporta mayor resistencia, pero si alcanzó a dar adherencia suficiente como para permitir la elongación.
- * Las probetas pertenecientes a 300 gramos de cemento muestran la composición ideal en cuanto a su resistencia, pero su elongación es la menor, dado a que las fibras estaban saturadas de mortero alcanzando a brindar sus propiedades de material rígido.

Las probetas con 150 y 200 gramos de cemento mostraron una falla inicial de tipo aplastamiento, con desmoronamiento de material superficial, lo que da a entender un comportamiento como elemento dúctil, en donde las fibras son las encargadas de la resistencia, pero también mostró características de material rígido al mostrar posteriormente agrietamientos o fisuras en sentido diagonal. Como observación importante, cuando fue extraída la carga colocada, las probetas trataron de volver a su forma inicial, con un $\pm 40\%$ de acomodación. La probeta tipo fallada se puede observar en la foto 24.



FOTO 24. Cilindro tipo fallado a compresión con 150 y 200 gramos de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.

Por el contrario, las probetas con 300 gramos de cemento, mostraron una falla de tipo cortante, ya que comenzó con desmoronamiento, sobretodo en su sector central, formando una línea diagonal, pero no fallaron en este instante, ya que las fibras comenzaron a resistir, es decir, mostrando un comportamiento de tipo dúctil. Al final describió una forma semicónica, característica primordial de elementos de tipo rígido. Esta falla se puede observar en la foto 25.

La probeta de 250 gramos de cemento, que es la de dosificación escogida, tendió a mostrar las mismas características de la probeta con 300 gramos, pero en una forma muy leve, fallando en definitiva por aplastamiento. Al quitarse la carga tendió a volver a su forma inicial con reposición de $\pm 25\%$. Se decidió luego aplicarle más carga para ver como se terminaba fracturando, resaltando una especie de falla diagonal. Esta falla se puede ver en la foto 26.



FOTO 25. Cilindro fallado a compresión con 300 gramos de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.



FOTO 26. Cilindro fallado a compresión con 250 gramos de cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.

En cuestión del agente mineralizador, ya se tiene el porcentaje a utilizar con respecto al bagazo, dato explicado en el ítem 4.3., sobre tratamiento superficial de la fibra.

El muestreo para la compactación del elemento dada la cantidad de agua se encuentra en la tabla 35.

PESO CEMENTO = 250 gramos	RELACIÓN AGUA/CEMENTO			
PESO ARENA = 500 gramos	0.65	0.7	0.75	0.8
BAGAZO / MORTERO = 0.1	m1	m3	m5	m7
CANTIDAD BAGAZO = 75 gramos	m2	m4	m6	m8

TABLA 36. Muestreo para relación agua/cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.

La compactación se realizó en 5 capas mediante un maso a manera de 20 golpes por capa, acompañado de un vibrado en la formaleta para acomodación de las partículas y eliminación de vacíos.

MUESTRA	PESO (gramos)	PROMEDIO (gramos)	PESO ESPECÍFICO (Kg/m³)	OBSERVACIONES
m1	332.8	334.31	1623.45	Mezcla semiseca, no se produce buena adherencia ó agarre entre fibras.
m2	335.82			
m3	370.3	364.74	1771.19	Mezcla húmeda, se deja compactar y hay buena adherencia.
m4	359.17			
m5	351.56	349.7	1698.18	Mezcla húmeda, se deja compactar pero presenta un poco de goteo.
m6	347.84			
m7	339.24	340.76	1654.75	Mezcla muy húmeda, presenta dificultades en la compactación debido al alto goteo.
m8	342.27			
Volumen Cilindro = 205.926 cm ³				

TABLA 37. Resultados de relación agua/cemento en mezcla de bagazo con mortero de cemento.

Los resultados y observaciones de la compactación se pueden observar en la tabla 37, mientras que la tabla 38 y figura 13 muestran la relación de peso específico Vs humedad descrita por este elemento.

PROPIEDADES	RELACIÓN AGUA/CEMENTO			
	0.65	0.7	0.75	0.8
PESO ESPECÍFICO (Ton/m ³)	1.62345	1.77119	1.69818	1.65475
HUMEDAD (%)	25.4	30.6	34.3	38.2

TABLA 38. Peso específico y humedad en mezcla de bagazo con mortero de cemento.

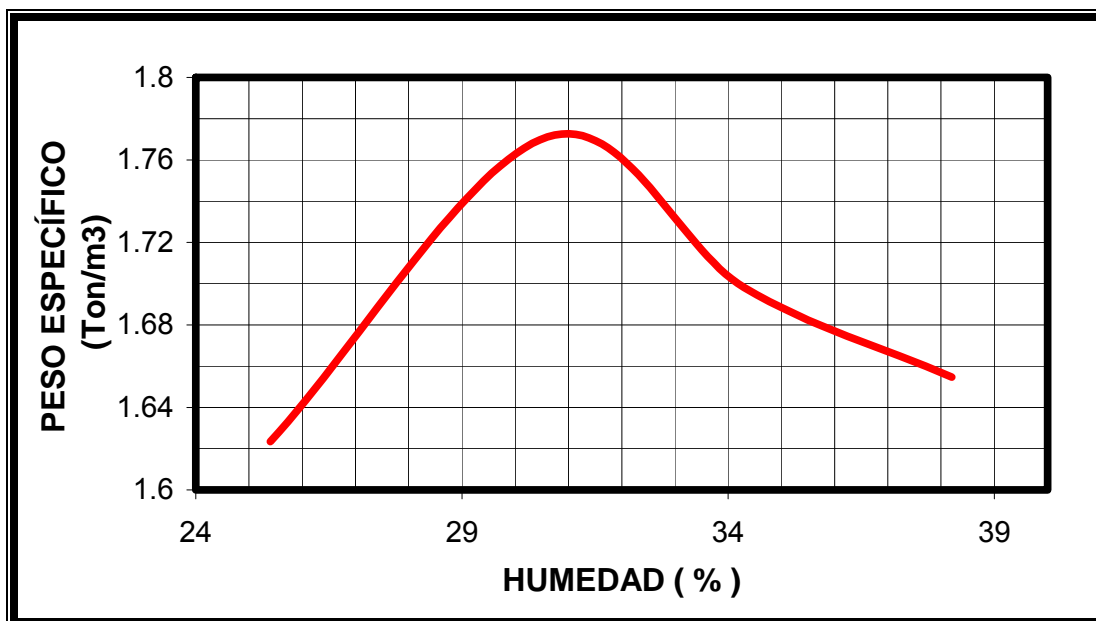


FIGURA 13. Gráfica de Peso específico Vs Humedad en mezcla de bagazo con mortero de cemento.

De las tablas y gráfica se puede concluir que la relación de agua/cemento a tomar es de 0.70, relación menor con respecto a la tomada para encontrar la cantidad de

cemento, esto se debe a la diferencia de compactación en el elemento. Como se explicó con anterioridad, a esta cantidad de agua se le suma el agua de absorción y la que necesita el mineralizante para poder mezclarse con las fibras, y así poder satisfacer las ecuaciones.

5.3.1. Fibra mineralizada con Silicato de Sodio

La siguiente tabla muestra la dosificación para el elemento cuya fibra se mineralice con Silicato de Sodio.

MATERIAL	DOSIFICACIÓN		
	RELACIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	-----	300	gramos
Arena	2 veces el peso del cemento	600	gramos
Bagazo de caña	10% el peso del mortero	90	gramos
Silicato de Sodio	10% con respecto al peso del bagazo	9	gramos
Agua de amasado	70% con respecto al peso del cemento	210	mililitros
Agua mineralizante	Concentración del 29% de Silicato	32	mililitros
Agua adicional	(46% - % humedad) con respecto al peso del bagazo	32.4	mililitros
Agua bagazo	% humedad	9	mililitros

TABLA 39. Dosificación (B + Si + M).

Las ecuaciones para una probeta con 90 gramos de fibra de bagazo de caña de azúcar mineralizada con Silicato de Sodio son:

$$\begin{aligned}
 \text{MASA TOTAL} &= \text{Masa bagazo} + \text{Masa cemento} + \text{Masa arena} + \text{Masa mineralizador} \\
 &= 90 \text{ gr.} + 300 \text{ gr.} + 600 \text{ gr.} + 9 \text{ gr.} \\
 &= 999 \text{ gr.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MASA DE AGUA} &= \text{Agua bagazo} + \text{Agua mineralizante} + \text{Agua cemento} + \text{Agua adicional} \\
 &= 9 \text{ gr.} + 32 \text{ gr.} + 210 \text{ gr.} + 32.4 \text{ gr.} \\
 &= 283.4 \text{ gr.}
 \end{aligned}$$

Relación de agua total con respecto al peso total = $283.4 \text{ gr.} / 999 \text{ gr.} \approx 0.3$

5.3.2. Fibra mineralizada con Hidróxido de Calcio

MATERIAL	DOSIFICACIÓN		
	RELACIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	-----	300	gramos
Arena	2 veces el peso del cemento	600	gramos
Bagazo de caña	10% el peso del mortero	90	gramos
Hidróxido de Calcio	10% con respecto al peso del agua en el pretratamiento	450	gramos
Agua de amasado	70% con respecto al peso del cemento	210	mililitros
Agua mineralizante	Concentración del 10% de Hidróxido	4500	mililitros
Agua adicional	(46% - % humedad) con respecto al peso del bagazo	32.4	mililitros
Agua bagazo	% humedad	9	mililitros

TABLA 40. Dosificación (B + HC + M).

Las ecuaciones para una probeta con 90 gramos de fibra de bagazo de caña de azúcar mineralizada con Hidróxido de Calcio son:

$$\begin{aligned}
 \text{MASA TOTAL} &= \text{Masa bagazo} + \text{Masa cemento} + \text{Masa arena} \\
 &= 90 \text{ gr.} + 300 \text{ gr.} + 600 \text{ gr.} \\
 &= 990 \text{ gr.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{MASA\ DE\ AGUA} &= \text{Agua bagazo} + \text{agua cemento} + \text{Agua adicional} \\ &= 9\ \text{gr.} + 210\ \text{gr.} + 32.4\ \text{gr.} \\ &= 283.4\ \text{gr.}\end{aligned}$$

$$\text{Relaci3n de agua total con respecto al peso total} = 283.4\ \text{gr.} / 990\ \text{gr.} \approx 0.3$$

CARACTERIZACIÓN DEL ELEMENTO

Los cuatro elementos tratados en el capítulo de dosificación fueron caracterizados con respecto a sus propiedades físicomecánicas, a manera de comparación desde el punto de vista funcional.

La comparación de los elementos se dividió en dos, los elementos que fueron adheridos con pasta de cemento y los que fueron adheridos con mortero de cemento.

A su vez, fueron comparados con otros elementos compuestos solamente de matriz adherente con el fin de evaluar sus resultados. A estos elementos se les refiere en esta investigación como elementos patrón.

La dosificación del elemento compuesto por pasta de cemento se realizó teniendo en cuenta los resultados arrojados en el capítulo 5 con respecto a los elementos en base de bagazo con pasta de cemento. Los materiales que componen la pasta son agua y cemento, en donde se utilizó una relación de agua/cemento de 0.55, misma relación utilizada en la mezcla con bagazo, esto para dar sentido a la comparación.

Para la dosificación del elemento compuesto por mortero cemento se tuvo en cuenta la dosificación del elemento a base de bagazo con mortero de cemento. Los materiales que componen el mortero son agua, cemento, y arena, cuyo diseño se realizó por peso, teniendo en cuenta que se debe llegar a un mortero fluido,

usando arena de río lavada con un módulo de finura de 1.64, con relación cemento:arena de 1:2.

$$\frac{A}{C} = Ke^{bn} = 0.66$$

donde;

K = 0.35, por gráfica de fluidez Vs relación agua/cemento

b = 0.3172, por cuadro con módulo de finura 1.7

n = 2, por relación cemento:arena 1:2

e = 2.7183, base de los logaritmos neperianos

entonces;

$$C = \frac{1}{\frac{1}{Gc} + \frac{n}{Ga} + \frac{A}{C}} = 555 \frac{Kg}{m^3}$$

donde;

Gc = 3.03, densidad específica del cemento

Ga = 2.46, densidad aparente seca de la arena

n = 2, por relación cemento:arena 1:2

A/C = 0.66

Dando lugar a la dosificación respectiva de:

$$C = 555 \text{ Kg / m}^3$$

$$Ar = 1110 \text{ Kg / m}^3$$

$$Ag = 366 \text{ Lt / m}^3$$

5.4. COMPRESIÓN

5.4.1. Preparación de las probetas

Se utilizaron para este ensayo cubos de 50 mm de lado, según norma ICONTEC 220, como se pueden apreciar en la foto 27.



FOTO 27. Probetas tipo para fallar a la compresión.

La preparación de las probetas fue la siguiente:

En un recipiente donde no existan óxidos de hierro, se coloca el bagazo, se añade el mineralizador si este es de Silicato de Sodio y se realiza un tiempo de batido a fin de que la cantidad añadida sea capaz de llegar a la gran mayoría de la fibra, se añade el cemento, el agua y se bate igual hasta llegar a una mezcla lo más homogénea posible. Se lleva la mezcla a los moldes pertinentes. La compactación se realiza en cinco capas con 32 golpes cada una. Por último se somete a una presión tal que alcance una densidad mínima de 1300 Kg/m³ en el caso de elementos de tipo fino y 1750 en el de elementos de tipo grueso. Debe permanecer prensado, ya que las fibras tenderán a su posición original y ofrecerán

resistencia al moldeo. Debe permanecer así por lo menos de uno y medio a dos días. Después se somete a un proceso de humedecimiento para que el cemento continúe con su proceso de hidratación. Es preciso aclarar que las probetas patrones se prepararon de acuerdo a la norma referida.

Las probetas fueron falladas a los 7, 14 y 28 días, en la máquina universal de ensayos marca TREBEL, que se encuentra en el laboratorio de resistencia de materiales.



FOTO 28. Máquina universal de ensayos marca TREBEL.
Laboratorio de resistencia de materiales.

5.4.2. Ensayo

La aplicación de la carga se realizó de 100 en 100 Kg hasta 20 Ton, luego se evaluó de 200 en 200 hasta 4 Ton, con el fin de analizar con detalle los primeros esfuerzos. Las probetas patrones fueron analizadas hasta el rompimiento. El resultado de los ensayos se encuentra en el anexo A

El esfuerzo será:

$$f_c = \frac{Pu(Kg)}{25(cm^2)} = \frac{Kg}{cm^2}$$

donde Pu es la carga última expresada en Kg.

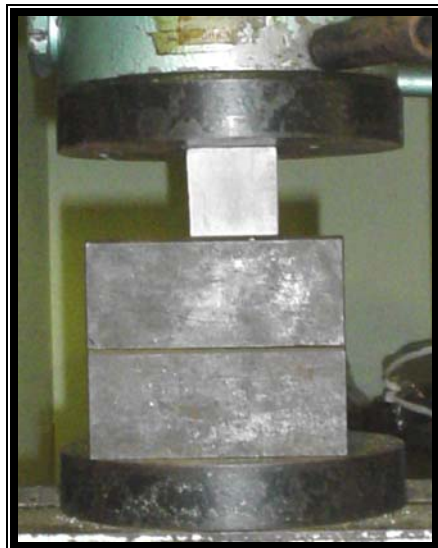


FOTO 29. Ensayo a la compresión.

Realmente no se puede sacar una tabla resumen de los esfuerzos a compresión de los elementos, ya que los únicos que fallaron con rotura fueron los probados a los 7 días, y su falla fue debido a adherencia del material.

Por esto se decidió graficar las curvas de esfuerzo Vs deformación unitaria para cada elemento, separado según el material adherente, es decir, los compuestos por cemento y los de mortero. Estas graficas se realizaron para las probetas a los 28 días, ya que son las que dan una visión más general del elemento. Estas gráficas se pueden observar en el anexo A.

5.4.3. Análisis y observaciones

La textura de los elementos con bagazo es similar a la de la probeta patrón, presentando una superficie un poco más rugosa. Cabe aclarar, como se expresó en el capítulo de tratamientos de la materia, que el papel dado por las fibras es de resistencia mas no de acabado, pero para esto se puede utilizar la parte fina del bagazo, producto no utilizado en este proyecto, la cual se concentra en los tamices número 60, 100 y pasa 100, como se puede observar en la tabla 10.

Una observación muy notable en las probetas falladas es el descascaramiento superficial de pasta de cemento por parte de los elemento de bagazo-cemento y el desmoronamiento de partícula granulares por parte de los elementos de bagazo-mortero en las probetas de 7 y 14 días, fenómeno que disminuye con el tiempo, importancia de la acción del curado y secado de los elementos.



a) Bagazo con pasta de cemento b) Bagazo con mortero de cemento

FOTO 30. Forma de falla de las probetas sometidas a la compresión a los 7 y 14 días.

La anterior observación ocurre por falta de adherencia del material cementante con las fibras, acción que se mejora cuando el cemento alcanza su mayor

resistencia. Cuando el cemento alcanza su máxima adherencia, no se presentan escombros causados por el material cementante.



a) Bagazo con pasta de cemento

b) Bagazo con mortero de cemento

FOTO 31. Forma de falla de las probetas sometidas a la compresión a los 28 días.

Las probetas mineralizadas con silicato de sodio resistieron más a la deformación inicial, o permite cargas iniciales un poco más altas que las mineralizadas con hidróxido de sodio.

Se puede observar, en cuanto a la deformación del material, que los mineralizados con silicato son más rígidos, ya que presentan una mejor resistencia a las cargas iniciales.

Las gráficas Esfuerzo Vs deformación unitaria a los 28 días son muy importantes y dan una idea general de la forma del comportamiento del material. Por la forma de las gráficas, se puede observar que las probetas no fallaron por rotura sino por alargamiento.

5.5. TENSIÓN

5.5.1. Preparación de las probetas

Se utilizaron los moldes indicados en la norma ICONTEC 119, de los cuales resultan las probetas que se encuentran en la foto 32.



FOTO 32. Probetas tipo falladas a la tensión.

La preparación de las probetas fue la siguiente:

Realizada la mezcla al igual que se procede en el ensayo a compresión, se lleva la mezcla a los moldes pertinentes. La compactación se realiza en dos capas compactadas por ambos lados, ejerciendo una fuerza de 7 a 9 Kg con los pulgares, en 12 puntos diferentes de la superficie del molde. Debe permanecer prensado, ya que las fibras tenderán a su posición original y ofrecerán resistencia al moldeo. Debe permanecer así por lo menos de uno y medio a dos días. Después se somete a un proceso de humedecimiento para que el cemento continúe con su proceso de hidratación. Es preciso aclarar que las probetas patrones se prepararon de acuerdo a la norma referida.

Las probetas fueron falladas a los 7, 14 y 28 días, en la máquina universal de ensayos marca TREBEL, que se encuentra en el laboratorio de resistencia de materiales.

5.5.2. Ensayo

La aplicación de la carga se realizó a velocidades pequeñas hasta el momento de la falla, tomándose como único dato la carga de rotura. En la tabla 41 se encuentra el cuadro resumen de los resultados.



FOTO 33. Ensayo a la tensión.

El esfuerzo será:

$$f_c = \frac{Pu(Kg)}{6.45(cm^2)} = Kg/cm^2$$

RESISTENCIA SEGÚN EL MATERIAL (Kg / cm ²)						
TIEMPO (DÍAS)	CON PASTA DE CEMENTO			CON MORTERO DE CEMENTO		
	PATRÓN	B + Si + P	B + HC + P	PATRÓN	B + Si + M	B + HC + M
7	10.853	6.202	1.809	13.178	8.010	5.943
14	12.403	8.269	3.101	14.729	9.819	7.494
28	13.178	9.819	4.393	16.279	11.628	8.269

TABLA 41. Cuadro resumen de la resistencia a la tensión de los diferentes elementos.

Del cuadro resumen de la tabla 41 se pueden realizar, para efectos de comparación, las gráficas de resistencia Vs edad, las cuales se encuentran en las figuras anexas, tanto para elementos con pasta de cemento como para elementos con mortero respectivamente.

5.5.3. Análisis y observaciones

Sucede el mismo problema ocurrido en las probetas falladas a compresión, pues la adherencia de las fibras es buena de los 28 días en adelante. En estas probetas no ocurrió descascamiento ni desmoronamiento pero si resbalaron las fibras de las probetas falladas a los 7 y 14 días, claro está que las últimas mostraron más fricción. En las probetas a los 28 días se observó buen agarre o adherencia ya que se presentaron fibras rotas o destrozadas en el área en donde ocurrió la falla.

La resistencia de los elementos cuyas fibras fueron mineralizadas con silicato de sodio son más altas, debe ser a que el mecanismo de protección brindado por el agente químico es de reacción bloqueadora y no de repelente de agua, tal es el caso del hidróxido de calcio, asunto explicado con profundización en el capítulo de tratamiento superficial de las fibras.

Las gráficas muestran la clara dependencia del elemento a la aglutinación del material adherente, y lo manifiesta por medio de las curvas registradas en las figuras anexas, ya que son paralelas entre si a la curva de la mezcla patrón.

Se puede decir que el elemento mineralizado con Silicato de Sodio es la media o puente entre el elemento mineralizado con Hidróxido de Calcio y la probeta patrón.

La resistencia es mayor en los elementos a base de mortero de cemento que en los de pasta de cemento, se debe a la fricción que generan las partículas de arena o agregado fino sobre las fibras, dado a que se presenta rugosidad, presentándose un coeficiente de fricción mayor que en los elementos a base de pasta, la cual la rugosidad es baja.

5.6. FLEXIÓN

5.6.1. Preparación de las probetas

Se utilizaron los moldes indicados en la norma ICONTEC 120, resultando la probeta que se encuentra en la foto 34.



FOTO 34. Probeta tipo fallada a la flexión.

La preparación de las probetas fue la siguiente:

Realizada la mezcla al igual que se procede en el ensayo a compresión, se lleva la mezcla a los moldes pertinentes de hidratación. La compactación se realiza en cuatro capas con 50 golpes cada una. Por último se somete a una presión tal que alcance una densidad mínima de 1300 Kg/m³ en el caso de elementos de tipo fino y 1750 en el de elementos de tipo grueso. Debe permanecer prensado, ya que las fibras tenderán a su posición original y ofrecerán resistencia al moldeo. Debe permanecer así por lo menos de uno y medio a dos días. Después se somete a un proceso de humedecimiento para que el cemento continúe con su proceso de hidratación. Es preciso aclarar que las probetas patrones se prepararon de acuerdo a la norma referida.

Las probetas fueron falladas a los 7, 14 y 28 días, en la máquina universal de ensayos marca TREBEL, que se encuentra en el laboratorio de resistencia de materiales.

5.6.2. Ensayo

La aplicación de la carga se realizó a velocidades pequeñas con toma de medida cada 10 Kg hasta que presentara falla, tomándose la respectiva deformación. El resultado de los ensayos se encuentra en el anexo C.

El esfuerzo será:

$$f_c = 0.278 \times P_u (\text{Kg}) = \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

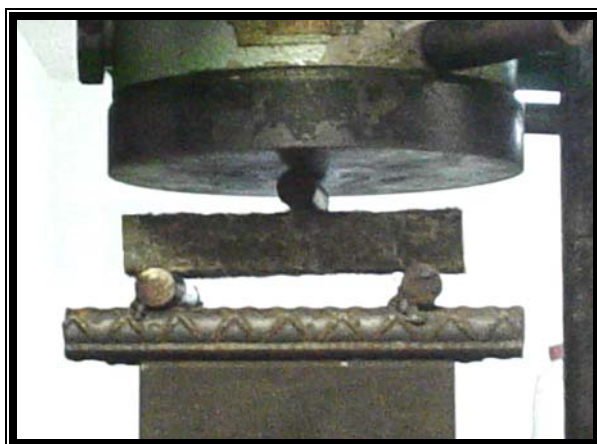


FOTO 35. Ensayo a la flexión.

RESISTENCIA SEGÚN EL MATERIAL (Kg / cm ²)						
TIEMPO (DÍAS)	CON PASTA DE CEMENTO			CON MORTERO DE CEMENTO		
	PATRÓN	B + Si + P	B + HC + P	PATRÓN	B + Si + M	B + HC + M
7	22.240	18.533	12.973	12.510	12.047	15.753
14	33.360	20.387	15.753	13.900	13.900	10.193
28	36.140	24.093	20.387	16.680	21.313	15.753

TABLA 42. Cuadro resumen de la resistencia a la flexión de los diferentes elementos.

En la tabla 42 se pueden encontrar los resultados en forma de resumen, esto para poder realizar las, las gráficas de resistencia Vs edad, las cuales se encuentran en las figuras anexas, tanto para elementos con pasta de cemento como para elementos con mortero respectivamente.

5.6.3. Análisis y observaciones

A diferencia del ensayo a tensión, la resistencia de los elementos a la flexión no conservan relación directa con la resistencia de las probetas patrón. Analizando la gráfica de elementos con pasta, la probeta patrón conserva la curva característica

de la resistencia con la edad, producto de la hidratación del mismo, pero las curvas de los elementos a base de fibra conservan una relación de crecimiento, eso si muy por debajo de la resistencia de la probeta patrón.

En cuanto a la gráfica de los elementos con mortero, se puede observar una gran evolución del material, pues la probeta patrón describe una curva casi lineal, mientras los elementos a base de fibra mantiene una curva ascendente, a tal punto que la resistencia del elemento mineralizado con silicato de sodio sobrepasa la resistencia de la probeta patrón.

Al igual que en los ensayos anteriores, en este sucede el mismo problema con respecto a la adherencia de las fibras, pues en los primeros días no alcanza buena adherencia, mientras a los 28 días la fibra esta bien agarrada al elemento, ocurriendo rompimiento de las fibras que se encuentran en la superficie de falla.

Al contrario del ensayo a tensión, la resistencia de los elementos a base de pasta es mayor que en los elementos a base de mortero, esto sucede porque el elemento de pasta es más dúctil, resistiendo un poco más la deformación causada por la carga puntual en su centro, como puede observarse en el anexo C. La deformación de los elementos a base de pasta logran una deformación de aproximadamente 6 mm, mientras los elementos de mortero llegan solo a 4 mm.

Otra observación con respecto a la deformación es que los elementos, se van rigidizando con el tiempo, deformándose cada vez menos pero aumentando su resistencia.

La fisura observada en los laterales de todos los elementos con fibras es diagonal, muestra clara en donde se puede decir que falló la adherencia entre fibras y no la fibra como tal.

FICHA TÉCNICA (RESUMEN)

COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO

Los materiales básicos que componen el elemento son:

- * Fibra de bagazo de caña de azúcar, entre tamiz No 4 y 40.
- * Cemento Pórtland referencia Tipo I
- * Agente mineralizador: Hidróxido de Calcio ó Silicato de Sodio.
- * Arena Fina
- * Agua

La composición física de las diferentes alternativas de elemento a las que se puede llegar son:

MATERIALES UTILIZADOS	TIPO DE ELEMENTO
Bagazo-cemento-mineralizador (Silicato de Sodio)	Fino
Bagazo-cemento-mineralizador (Hidróxido de Calcio)	Fino
Bagazo-mortero-mineralizador (Silicato de Sodio)	Grueso
Bagazo-mortero-mineralizador (Hidróxido de Calcio)	Grueso

FICHA TÉCNICA

(PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN)

ELEMENTO DE TIPO FINO

Se denomina con este nombre porque la fibra de bagazo tiene menor dimensión comparada con el material grueso, además de la ausencia de agregado fino o arena.

Si el tratamiento superficial es con Hidróxido de Calcio, la fibra se mineraliza antes de la mezcla, y si es con Silicato de Sodio, la fibra se mineraliza en el momento de la mezcla.

En un recipiente donde no existan óxidos de hierro, se coloca el bagazo, se añade el mineralizador si este es de Silicato de Sodio y se realiza un tiempo de batido a fin de que la cantidad añadida sea capaz de llegar a la gran mayoría de la fibra, se añade el cemento, el agua y se bate igual hasta llegar a una mezcla lo más homogénea posible. Se lleva la mezcla a los moldes pertinentes. La compactación se realiza en cinco capas con 32 golpes cada una. Por ultimo se somete a una presión tal que alcance una densidad mínima de 1300 Kg/m³ en el instante. Debe permanecer prensado, ya que las fibras tenderán a su posición original y ofrecerán resistencia al moldeo. Debe permanecer así por lo menos de uno y medio a dos días. Después se somete a un proceso de humedecimiento para que el cemento continúe con su proceso de hidratación.

ELEMENTO DE TIPO GRUESO

Se caracteriza porque la fibra de bagazo tiene mayor dimensión comparada con el material fino, además de la presencia de agregado fino o arena.

Si el tratamiento superficial es con Hidróxido de Calcio, la fibra se mineraliza antes de la mezcla, y si es con Silicato de Sodio, la fibra se mineraliza en el momento de la mezcla.

En un recipiente donde no existan óxidos de hierro, se coloca el bagazo, se añade el mineralizador si este es de Silicato de Sodio y se realiza un tiempo de batido a fin de que la cantidad añadida sea capaz de llegar a la gran mayoría de la fibra, se añade el cemento, la arena, el agua y se bate igual hasta llegar a una mezcla lo más homogénea posible. Se lleva la mezcla a los moldes pertinentes. La compactación se realiza en cinco capas con 32 golpes cada una. Por ultimo se somete a una presión tal que alcance una densidad mínima de 1750 Kg/m³ en el instante. Debe permanecer prensado, ya que las fibras tenderán a su posición original y ofrecerán resistencia al moldeo. Debe permanecer así por lo menos de uno y medio a dos días. Después se somete a un proceso de humedecimiento para que el cemento continúe con su proceso de hidratación.

FICHA TÉCNICA

(BAGAZO-CEMENTO-MINERALIZADOR DE SILICATO DE SODIO)

DOSIFICACIÓN

- * Fibra de bagazo de caña de azúcar, retenida en tamiz 10, 20 y 40, según granulometría, con una humedad de entrada a la mezcla menor de 40%.
- * Cemento Pórtland referencia Tipo I, cumpliendo relación en peso bagazo/cemento 1/3.5.
- * Mineralizador Silicato de Sodio, cumpliendo relación en peso 10% en base al bagazo.
- * Agua, cumpliendo relación en peso agua/cemento de 0.55 más agua adicional.

CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO A LOS 28 DÍAS

PROPIEDAD	UNIDAD	MEDIDA
Densidad	Kg / m ³	1100
Humedad	%	40
Compresión	Kg / cm ²	90
Tracción	Kg / cm ²	9.819
Flexión	Kg / cm ²	24.093

FICHA TÉCNICA

(BAGAZO-CEMENTO-MINERALIZADOR DE HIDRÓXIDO DE CALCIO)

DOSIFICACIÓN

- * Fibra de bagazo de caña de azúcar, retenida en tamiz 10, 20 y 40, según granulometría, con una humedad de entrada a la mezcla menor de 40%.
- * Cemento Pórtland referencia Tipo I, cumpliendo relación en peso bagazo/cemento 1/3.5.
- * Mineralizador Hidróxido de Calcio, cumpliendo relación en peso 10% en base al agua del tratamiento.
- * Agua, cumpliendo relación en peso agua/cemento de 0.55 más agua adicional.

CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO A LOS 28 DIAS

PROPIEDAD	UNIDAD	MEDIDA
Densidad	Kg / m ³	1050
Humedad	%	45
Compresión	Kg / cm ²	70
Tracción	Kg / cm ²	4.393
Flexión	Kg / cm ²	20.387

FICHA TÉCNICA

(BAGAZO-MORTERO-MINERALIZADOR DE SILICATO DE SODIO)

DOSIFICACIÓN

- * Cemento Pórtland referencia Tipo I.
- * Arena Fina, cumpliendo relación en peso cemento:arena de 1:2.
- * Fibra de bagazo de caña de azúcar, retenida en tamiz 4, 10, 20 y 40, según granulometría, con una humedad de entrada a la mezcla menor de 40%, cumpliendo relación en peso de 10% en base al material adherente (cemento + arena).
- * Mineralizador Silicato de Sodio, cumpliendo relación en peso 10% en base al bagazo.
- * Agua, cumpliendo relación en peso agua/cemento 0.70 más agua adicional.

CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO A LOS 28 DIAS

PROPIEDAD	UNIDAD	MEDIDA
Densidad	Kg / m ³	1450
Humedad	%	35
Compresión	Kg / cm ²	105
Tracción	Kg / cm ²	11.628
Flexión	Kg / cm ²	21.313

FICHA TÉCNICA

(BAGAZO-MORTERO-MINERALIZADOR DE HIDRÓXIDO DE CALCIO)

DOSIFICACIÓN

- * Cemento Pórtland referencia Tipo I.
- * Arena Fina, cumpliendo relación en peso cemento:arena de 1:2.
- * Fibra de bagazo de caña de azúcar, retenida en tamiz 4, 10, 20 y 40, según granulometría, con una humedad de entrada a la mezcla menor de 40%, cumpliendo relación en peso 10% en base al material adherente (cemento + arena).
- * Mineralizador Hidróxido de Calcio, cumpliendo relación en peso 10% en base al agua del tratamiento.
- * Agua, cumpliendo relación en peso agua/cemento 0.70 más agua adicional.

CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO A LOS 28 DÍAS

PROPIEDAD	UNIDAD	MEDIDA
Densidad	Kg / m ³	12530
Humedad	%	25
Compresión	Kg / cm ²	90
Tracción	Kg / cm ²	8.269
Flexión	Kg / cm ²	15.753

CONCLUSIONES

Lo más complejo en la elaboración de estos elementos es la minimización de la sacarosa y el tratamiento superficial, ya que es donde se lleva la parte o diferencia económica del proceso.

Las fibras de bagazo no son el refuerzo de la pasta o del mortero, por el contrario, cumple una característica de resistencia individual, donde la pasta y el mortero de cemento cumplen la función de matriz adherente, colaborando con mantener las fibras unidas para que estas resistan al máximo.

La resistencia del elemento de material compuesto está ampliamente relacionada con el tiempo de aglutinación del material adherente, no por la resistencia que alcanza el cemento sino por la capacidad de cohesión, cabe recordar que la reacción de hidratación del cemento se da en forma de gel. Los elementos se van rigidizando con el tiempo, es decir, disminuye su deformación pero aumenta su resistencia.

La resistencia de los elementos cuyas fibras fueron mineralizadas con silicato de sodio son más altas; debe ser que el mecanismo de protección brindado por el agente químico es de reacción bloqueadora y no de repelente de agua, tal es el caso del hidróxido de calcio.

La compactación del elemento es un factor importante dentro de la dosificación, ya que a mayor densificación es mayor la resistencia mecánica del elemento.

El uso de mortero como material adherente, muestra mejores resistencias físico mecánicas, aumentando la rigidez pero disminuyendo la elasticidad, característica primordial cuando se refiere a elementos que estén sometidos a cargas de flexión.

La resistencia a la compresión se mide mediante la curva esfuerzo deformación, ya que el material no sufre falla por fractura y en todo instante sigue resistiendo carga. Se puede plantear como un elemento dúctil ya que la gráfica es característica de ese comportamiento, tomando nuevamente rigidez, debido a la compresión alcanzada por las fibras.

La resistencia a la tensión es mayor en los elementos a base de mortero de cemento que en los de pasta de cemento, se debe a la fricción que generan las partículas de arena o agregado fino sobre las fibras, dado a que se presenta rugosidad, presentándose un coeficiente de fricción mayor que en los elementos a base de pasta, la cual la rugosidad es baja.

La resistencia a la flexión de los elementos a base de pasta es mayor que en los elementos a base de mortero, esto sucede porque el elemento de pasta es más dúctil, resistiendo un poco más la deformación causada por la carga puntual aplicada en su centro.

RECOMENDACIONES

Realizar un estudio sobre la adaptación que debe tener el almacenamiento de la fibra con el fin de minimizar la sacarosa por el medio fermentativo, creando un proceso completo que iría desde la recolección del bagazo, manipulación y forma de almacenamiento, mirando factores climatológicos, sociales y económicos.

Aprovechar al máximo todo el bagazo, utilizando no solo la parte fibra sino también la fina, que no se utilizó en este proyecto, profundizándose en el acabado superficial, estudiando la dosificación, el procedimiento, y la cantidad de esta materia prima para tal fin. En cuanto al acabado también se puede jugar con el color, pues ya existen formas de dar color al cemento, no solo blanco, sin afectar la estructura del mismo, esto para dar un toque estético.

Verificar diferentes mecanismos de compactación, ya que este elemento depende no solo del tiempo de curado del concreto si no también de su peso específico , o que tan unidas estén las fibras.

Utilizar como agente mineralizante de las fibras el silicato de sodio, ya que ofrece mejores propiedades físico mecánicas comparado con el hidróxido de calcio.

Los elementos deben dejarse en almacenamiento como mínimo un mes, con características adecuadas de humedad para que el cemento complete su tiempo de curado, haciendo que este alcance sus propiedades más eficientemente.

Realizar estudios con adherentes diferentes al cemento, siguiendo los mismos patrones de pretratamiento y mineralización, explicados con profundidad en este proyecto, ya que son los factores más importantes a tener en cuenta a nivel de la fibra de bagazo de caña de azúcar en la elaboración de elementos constructivos.

Una buena alternativa de fabricación con el elemento de tipo fino o con adherente de pasta de cemento es la creación de paneles, ya que son materiales que deben resistir cargas a la flexión, y estos elementos amortiguan la carga por medio de la deformación. Como alternativa para la utilización del elemento grueso, se aconseja experimentar con bloques, ya que este material expresa mejores resultados con volúmenes grandes dada las características de los materiales que lo componen.

Proponer un sistema semi-industrializado, acorde con la tecnología del municipio de Güepsa, para mejorar la calidad de vida, enfatizada en la producción de un nuevo elemento diferente a la panela.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Portal de Güepsa
http://www.geocities.com/guepsa_santander/index1.htm
<http://www.municipiodeguepsa.gov.co/index.php>
- [2] REINEL, Hugo, GARCÍA, Guillermo, OSORIO, Juan y LÓPEZ, Gonzalo. Mejoramiento Ambiental de los Trapiches Paneleros en el Municipio de Guadalupe. Corporación Colombiana de Investigación agropecuaria. Medellín. 2002.
- [3] Delgadillo, Alba y Villarraga, German. Normas que se deben tener en cuenta para la construcción de trapiches. Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia. Bogota. 1984.
- [4] PÉREZ, German y RAMIREZ, Eduardo. Control físico y químico en el proceso de elaboración de panela. Tesis de grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 1979.
- [5] Catálogo de variedades de caña para la producción de panela en la hoya del río Suárez. CIMPA. Barbosa. 2003.
- [6] Catálogo de variedades. Cenicaña. Segunda Edición. 2003.

- [7] ESTUPIÑÁN, Roberto y BURBANO, Orlando. Manual de la caña de azúcar para la elaboración de panela. 2000.
- [8] BRUYENE, N. y Houwinnk, R. Adherencia y adhesivos. Ediciones Aguilar. Madrid. 1957.
- [9] Componentes Químicos del Bagazo. CIMPA. Santander.
- [10] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Geplacea. Segunda edición. 1990.
- [11] SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bhandar Editores Ltda. Tercera edición. Bogotá. 1997.
- [12] Normas Técnicas Colombianas para el sector de la construcción. Legis editores. Segunda edición. 1994.
- [13] MERCHAN, Javier. Estudio teórico práctico de morteros de pega en la ciudad de Bucaramanga. Tesis de grado. UIS. 1998.
- [14] PADILLA, Heli y RAMIREZ, Arturo. Utilización de la fibra de fique como agregado en la fabricación de productos aglomerados.
- [15] DELVASTO, Silvio. Valuation of cement composites reinforced with natural organic or by product fibers. Propuesta de investigación. Colciencias. 1996
- [16] GUTIERREZ, Ruby. Cabuya in cement composites. Proceedings of the ninth conference on composites materials. Volume II. Madrid. 1933

- [17] RAMIREZ SARMIENTO, C. y FREIRE, W. argamassa de cimento e areia combinada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. Javoticaval. 1997.
- [19] Problema de las impurezas orgánicas en el cemento.
<http://www.arqhys.com/impurezas-organicas.html>
- [20] TORRES, Magali y OLIVERA, Wilfredo. Fibras vegetales en el hormigón y su protección. Eduniv. Cuba. 2000.
- [21] COSTALES SOTELO, Raúl. Páneles de bagazo cemento. Excelencia en la construcción. ICIDCA. Cuba. 2005.

ANEXOS

ANEXO A.
ENSAYOS A LA COMPRESIÓN

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	PASTA DE CEMENTO		B + P + Si	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	20.5	0.010	25	0.013
200	8	21.1	0.011	85	0.043
300	12	21.8	0.011	185	0.094
400	16	22	0.011	280	0.142
500	20	22.2	0.011	358	0.182
600	24	22.5	0.011	423	0.215
700	28	22.8	0.012	471	0.239
800	32	23	0.012	507	0.258
900	36	23.2	0.012	554	0.281
1000	40	23.5	0.012	587	0.298
1100	44	23.7	0.012	616	0.313
1200	48	24	0.012	640	0.325
1300	52	24.1	0.012	661	0.336
1400	56	24.3	0.012	683	0.347
1500	60	24.7	0.013	703	0.357
1600	64	24.9	0.013	720	0.366
1700	68	25	0.013	737	0.374
1800	72	25.2	0.013	752	0.382
1900	76	25.5	0.013	768	0.390
2000	80	25.8	0.013	781	0.397
2200	88	26.1	0.013	807	0.410
2400	96	26.5	0.013	831	0.422
2600	104	26.9	0.014	850	0.432
2800	112	27.1	0.014	869	0.441
3000	120	27.5	0.014	888	0.451
3200	128	28	0.014	907	0.461
3400	136	28.3	0.014		
3600	144	28.8	0.015		
3800	152	29.2	0.015		
4000	160	29.8	0.015		
4200	168	30.2	0.015		
4400	176	30.9	0.016		
4600	184	31.5	0.016		
4800	192	32.2	0.016		
5000	200	33.2	0.017		

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	PASTA DE CEMENTO		B + P + HC	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	20.5	0.010	96	0.049
200	8	21.1	0.011	182	0.092
300	12	21.8	0.011	255	0.130
400	16	22	0.011	435	0.221
500	20	22.2	0.011	533	0.271
600	24	22.5	0.011	545	0.277
700	28	22.8	0.012	645	0.328
800	32	23	0.012	684	0.347
900	36	23.2	0.012	713	0.362
1000	40	23.5	0.012	741	0.376
1100	44	23.7	0.012	764	0.388
1200	48	24	0.012	784	0.398
1300	52	24.1	0.012	800	0.406
1400	56	24.3	0.012	815	0.414
1500	60	24.7	0.013	830	0.422
1600	64	24.9	0.013	842	0.428
1700	68	25	0.013	855	0.434
1800	72	25.2	0.013	865	0.439
1900	76	25.5	0.013	875	0.445
2000	80	25.8	0.013	885	0.450
2200	88	26.1	0.013	894	0.454
2400	96	26.5	0.013	903	0.459
2600	104	26.9	0.014		
2800	112	27.1	0.014		
3000	120	27.5	0.014		
3200	128	28	0.014		
3400	136	28.3	0.014		
3600	144	28.8	0.015		
3800	152	29.2	0.015		
4000	160	29.8	0.015		
4200	168	30.2	0.015		
4400	176	30.9	0.016		
4600	184	31.5	0.016		
4800	192	32.2	0.016		
5000	200	33.2	0.017		

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	MORTERO DE CEMENTO		B + M + Si	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	21	0.011	82	0.042
200	8	22.5	0.011	115	0.058
300	12	23.3	0.012	153	0.078
400	16	23.8	0.012	194	0.099
500	20	24.2	0.012	233	0.118
600	24	24.5	0.012	265	0.135
700	28	24.9	0.013	295	0.150
800	32	25	0.013	323	0.164
900	36	25.3	0.013	348	0.177
1000	40	25.7	0.013	374	0.190
1100	44	25.9	0.013	392	0.199
1200	48	26	0.013	414	0.210
1300	52	26.3	0.013	436	0.221
1400	56	26.5	0.013	449	0.228
1500	60	26.8	0.014	465	0.236
1600	64	27	0.014	482	0.245
1700	68	27.1	0.014	497	0.252
1800	72	27.3	0.014	512	0.260
1900	76	27.7	0.014	523	0.266
2000	80	27.9	0.014	540	0.274
2200	88	28.2	0.014	565	0.287
2400	96	28.9	0.015	586	0.298
2600	104	29.2	0.015	618	0.314
2800	112	29.8	0.015	645	0.328
3000	120	30.2	0.015	679	0.345
3200	128	31.1	0.016	727	0.369
3400	136	31.9	0.016	786	0.399
3600	144	32.8	0.017	853	0.433
3800	152	33.9	0.017	906	0.460
4000	160	35	0.018	910	0.46228
4200	168	36.7	0.019		
4400	176	39	0.020		

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	MORTERO DE CEMENTO		B + M + HC	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	21	0.011	40	0.020
200	8	22.5	0.011	81	0.041
300	12	23.3	0.012	116	0.059
400	16	23.8	0.012	151	0.077
500	20	24.2	0.012	180	0.091
600	24	24.5	0.012	207	0.105
700	28	24.9	0.013	234	0.119
800	32	25	0.013	256	0.130
900	36	25.3	0.013	277	0.141
1000	40	25.7	0.013	295	0.150
1100	44	25.9	0.013	313	0.159
1200	48	26	0.013	329	0.167
1300	52	26.3	0.013	346	0.176
1400	56	26.5	0.013	362	0.184
1500	60	26.8	0.014	377	0.192
1600	64	27	0.014	390	0.198
1700	68	27.1	0.014	407	0.207
1800	72	27.3	0.014	417	0.212
1900	76	27.7	0.014	429	0.218
2000	80	27.9	0.014	444	0.226
2200	88	28.2	0.014	470	0.239
2400	96	28.9	0.015	498	0.253
2600	104	29.2	0.015	527	0.268
2800	112	29.8	0.015	575	0.292
3000	120	30.2	0.015	602	0.306
3200	128	31.1	0.016		
3400	136	31.9	0.016		
3600	144	32.8	0.017		
3800	152	33.9	0.017		
4000	160	35	0.018		
4200	168	36.7	0.019		
4400	176	39	0.020		

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	PASTA DE CEMENTO		B + P + Si	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	12	0.006	19	0.010
200	8	16	0.008	27	0.014
300	12	20	0.010	49	0.025
400	16	23	0.012	114	0.058
500	20	25	0.013	182	0.092
600	24	26.5	0.013	248	0.126
700	28	27.1	0.014	320	0.163
800	32	29	0.015	368	0.187
900	36	30.6	0.016	416	0.211
1000	40	33	0.017	450	0.229
1100	44	36	0.018	495	0.251
1200	48	37.5	0.019	526	0.267
1300	52	38.5	0.020	559	0.284
1400	56	38.5	0.020	597	0.303
1500	60	40.5	0.021	612	0.311
1600	64	41	0.021	635	0.323
1700	68	42	0.021	655	0.333
1800	72	43	0.022	680	0.345
1900	76	44	0.022	700	0.356
2000	80	45	0.023	720	0.366
2200	88	47	0.024	751	0.382
2400	96	49	0.025	788	0.400
2600	104	50.5	0.026	818	0.416
2800	112	52	0.026	849	0.431
3000	120	53.2	0.027	880	0.447
3200	128	54.5	0.028	904	0.459
3400	136	56	0.028	929	0.472
3600	144	57.5	0.029	955	0.485
3800	152	59	0.030	980	0.498
4000	160	60	0.030	1005	0.511
4200	168	62	0.031		
4400	176	63	0.032		
4600	31.5	64	0.033		
4800	32.2	65.5	0.033		
5000	33.2	66	0.034		

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	PASTA DE CEMENTO		B + P + HC	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	12	0.006	155	0.079
200	8	16	0.008	304	0.154
300	12	20	0.010	400	0.203
400	16	23	0.012	482	0.245
500	20	25	0.013	535	0.272
600	24	26.5	0.013	574	0.292
700	28	27.1	0.014	616	0.313
800	32	29	0.015	643	0.327
900	36	30.6	0.016	671	0.341
1000	40	33	0.017	690	0.351
1100	44	36	0.018	715	0.363
1200	48	37.5	0.019	729	0.370
1300	52	38.5	0.020	749	0.380
1400	56	38.5	0.020	760	0.386
1500	60	40.5	0.021	779	0.396
1600	64	41	0.021	790	0.401
1700	68	42	0.021	800	0.406
1800	72	43	0.022	815	0.414
1900	76	44	0.022	828	0.421
2000	80	45	0.023	840	0.427
2200	88	47	0.024	855	0.434
2400	96	49	0.025	870	0.442
2600	104	50.5	0.026	888	0.451
2800	112	52	0.026	905	0.460
3000	120	53.2	0.027	919	0.467
3200	128	54.5	0.028	930	0.472
3400	136	56	0.028	940	0.478
3600	144	57.5	0.029	952	0.484
3800	152	59	0.030	963	0.489
4000	160	60	0.030	974	0.495
4200	168	62	0.031		
4400	176	63	0.032		
4600	31.5	64	0.033		
4800	32.2	65.5	0.033		
5000	33.2	66	0.034		

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	MORTERO DE CEMENTO		B + M + Si	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	8	0.004	18	0.009
200	8	10	0.005	62	0.031
300	12	13	0.007	123	0.062
400	16	16	0.008	187	0.095
500	20	18	0.009	230	0.117
600	24	20	0.010	275	0.140
700	28	21.5	0.011	311	0.158
800	32	23	0.012	348	0.177
900	36	24	0.012	375	0.191
1000	40	25	0.013	419	0.213
1100	44	26	0.013	436	0.221
1200	48	27	0.014	459	0.233
1300	52	28	0.014	480	0.244
1400	56	29	0.015	510	0.259
1500	60	30	0.015	525	0.267
1600	64	30.5	0.015	540	0.274
1700	68	31	0.016	560	0.284
1800	72	32	0.016	580	0.295
1900	76	32.8	0.017	600	0.305
2000	80	33.5	0.017	619	0.314
2200	88	35	0.018	655	0.333
2400	96	36.5	0.019	690	0.351
2600	104	38	0.019	738	0.375
2800	112	39	0.020	805	0.409
3000	120	40.5	0.021	870	0.442
3200	128	42	0.021	933	0.474
3400	136	43.5	0.022	992	0.504
3600	144	45	0.023	1050	0.533
3800	152	47	0.024	1098	0.558
4000	160	48.5	0.025	1130	0.574
4200	168	51	0.026		
4400	176	55	0.028		

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	MORTERO DE CEMENTO		B + M + HC	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	8	0.004	38	0.019
200	8	10	0.005	56	0.028
300	12	13	0.007	85	0.043
400	16	16	0.008	130	0.066
500	20	18	0.009	165	0.084
600	24	20	0.010	200	0.102
700	28	21.5	0.011	238	0.121
800	32	23	0.012	270	0.137
900	36	24	0.012	293	0.149
1000	40	25	0.013	323	0.164
1100	44	26	0.013	350	0.178
1200	48	27	0.014	375	0.191
1300	52	28	0.014	396	0.201
1400	56	29	0.015	419	0.213
1500	60	30	0.015	440	0.224
1600	64	30.5	0.015	459	0.233
1700	68	31	0.016	476	0.242
1800	72	32	0.016	497	0.252
1900	76	32.8	0.017	515	0.262
2000	80	33.5	0.017	538	0.273
2200	88	35	0.018	570	0.290
2400	96	36.5	0.019	609	0.309
2600	104	38	0.019	648	0.329
2800	112	39	0.020	710	0.361
3000	120	40.5	0.021	790	0.401
3200	128	42	0.021	850	0.432
3400	136	43.5	0.022	905	0.460
3600	144	45	0.023	960	0.488
3800	152	47	0.024	1030	0.523
4000	160	48.5	0.025	1073	0.545
4200	168	51	0.026		
4400	176	55	0.028		

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	PASTA DE CEMENTO		B + P + Si	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	19.5	0.010	12	0.006
200	8	23	0.012	24	0.012
300	12	25	0.013	57	0.029
400	16	28	0.014	101	0.051
500	20	29	0.015	167	0.085
600	24	29.5	0.015	222	0.113
700	28	31	0.016	283	0.144
800	32	32.5	0.017	319	0.162
900	36	34	0.017	356	0.181
1000	40	35	0.018	397	0.202
1100	44	36	0.018	432	0.219
1200	48	37	0.019	469	0.238
1300	52	37.5	0.019	497	0.252
1400	56	38.1	0.019	520	0.264
1500	60	39.1	0.020	542	0.275
1600	64	40	0.020	563	0.286
1700	68	41	0.021	586	0.298
1800	72	42	0.021	600	0.305
1900	76	43	0.022	621	0.315
2000	80	44	0.022	639	0.325
2200	88	45	0.023	671	0.341
2400	96	46	0.023	701	0.356
2600	104	47.8	0.024	725	0.368
2800	112	49	0.025	752	0.382
3000	120	50.5	0.026	780	0.396
3200	128	51.7	0.026	805	0.409
3400	136	53	0.027	825	0.419
3600	144	54.2	0.028	849	0.431
3800	152	55.5	0.028	875	0.445
4000	160	56.5	0.029	905	0.460
4200	168	58	0.029		
4400	176	59.5	0.030		
4600	184	61.5	0.031		
4800	192	63	0.032		
5000	200	65	0.033		

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	PASTA DE CEMENTO		B + P + HC	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	19.5	0.010	62	0.031
200	8	23	0.012	135	0.069
300	12	25	0.013	274	0.139
400	16	28	0.014	329	0.167
500	20	29	0.015	376	0.191
600	24	29.5	0.015	426	0.216
700	28	31	0.016	486	0.247
800	32	32.5	0.017	516	0.262
900	36	34	0.017	568	0.289
1000	40	35	0.018	592	0.301
1100	44	36	0.018	610	0.310
1200	48	37	0.019	639	0.325
1300	52	37.5	0.019	666	0.338
1400	56	38.1	0.019	691	0.351
1500	60	39.1	0.020	710	0.361
1600	64	40	0.020	725	0.368
1700	68	41	0.021	759	0.386
1800	72	42	0.021	765	0.389
1900	76	43	0.022	780	0.396
2000	80	44	0.022	793	0.403
2200	88	45	0.023	811	0.412
2400	96	46	0.023	827	0.420
2600	104	47.8	0.024	846	0.430
2800	112	49	0.025	859	0.436
3000	120	50.5	0.026	881	0.448
3200	128	51.7	0.026	907	0.461
3400	136	53	0.027	935	0.475
3600	144	54.2	0.028	968	0.492
3800	152	55.5	0.028	972	0.494
4000	160	56.5	0.029	980	0.498
4200	168	58	0.029		
4400	176	59.5	0.030		
4600	184	61.5	0.031		
4800	192	63	0.032		
5000	200	65	0.033		

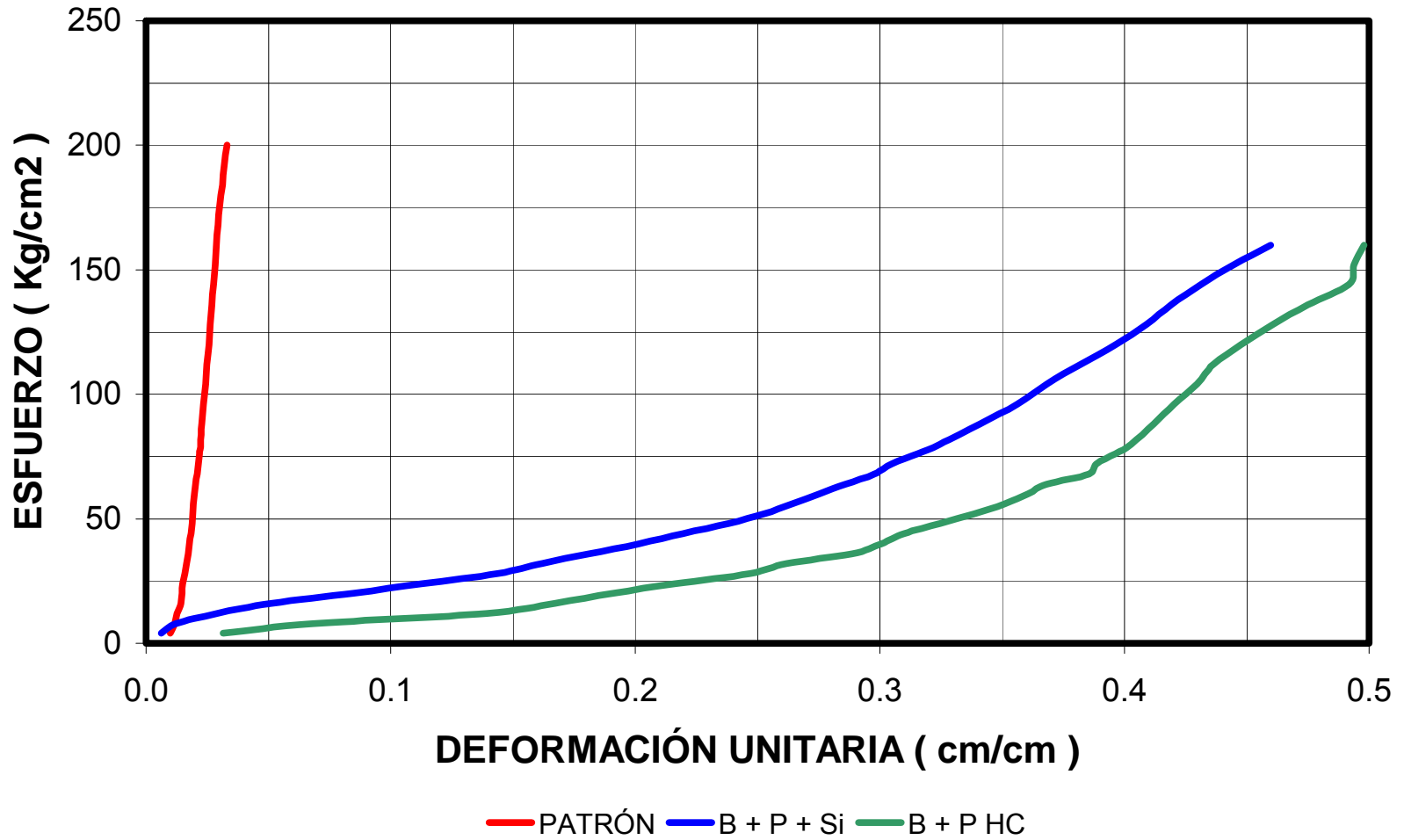
ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	MORTERO DE CEMENTO		B + M + Si	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	8	0.004	18	0.009
200	8	10	0.005	62	0.031
300	12	13	0.007	123	0.062
400	16	16	0.008	187	0.095
500	20	18	0.009	230	0.117
600	24	20	0.010	275	0.140
700	28	21.5	0.011	311	0.158
800	32	23	0.012	348	0.177
900	36	24	0.012	375	0.191
1000	40	25	0.013	419	0.213
1100	44	26	0.013	436	0.221
1200	48	27	0.014	459	0.233
1300	52	28	0.014	480	0.244
1400	56	29	0.015	510	0.259
1500	60	30	0.015	525	0.267
1600	64	30.5	0.015	540	0.274
1700	68	31	0.016	560	0.284
1800	72	32	0.016	580	0.295
1900	76	32.8	0.017	600	0.305
2000	80	33.5	0.017	619	0.314
2200	88	35	0.018	655	0.333
2400	96	36.5	0.019	690	0.351
2600	104	38	0.019	738	0.375
2800	112	39	0.020	805	0.409
3000	120	40.5	0.021	870	0.442
3200	128	42	0.021	933	0.474
3400	136	43.5	0.022	992	0.504
3600	144	45	0.023	1050	0.533
3800	152	47	0.024	1098	0.558
4000	160	48.5	0.025	1130	0.574
4200	168	51	0.026		

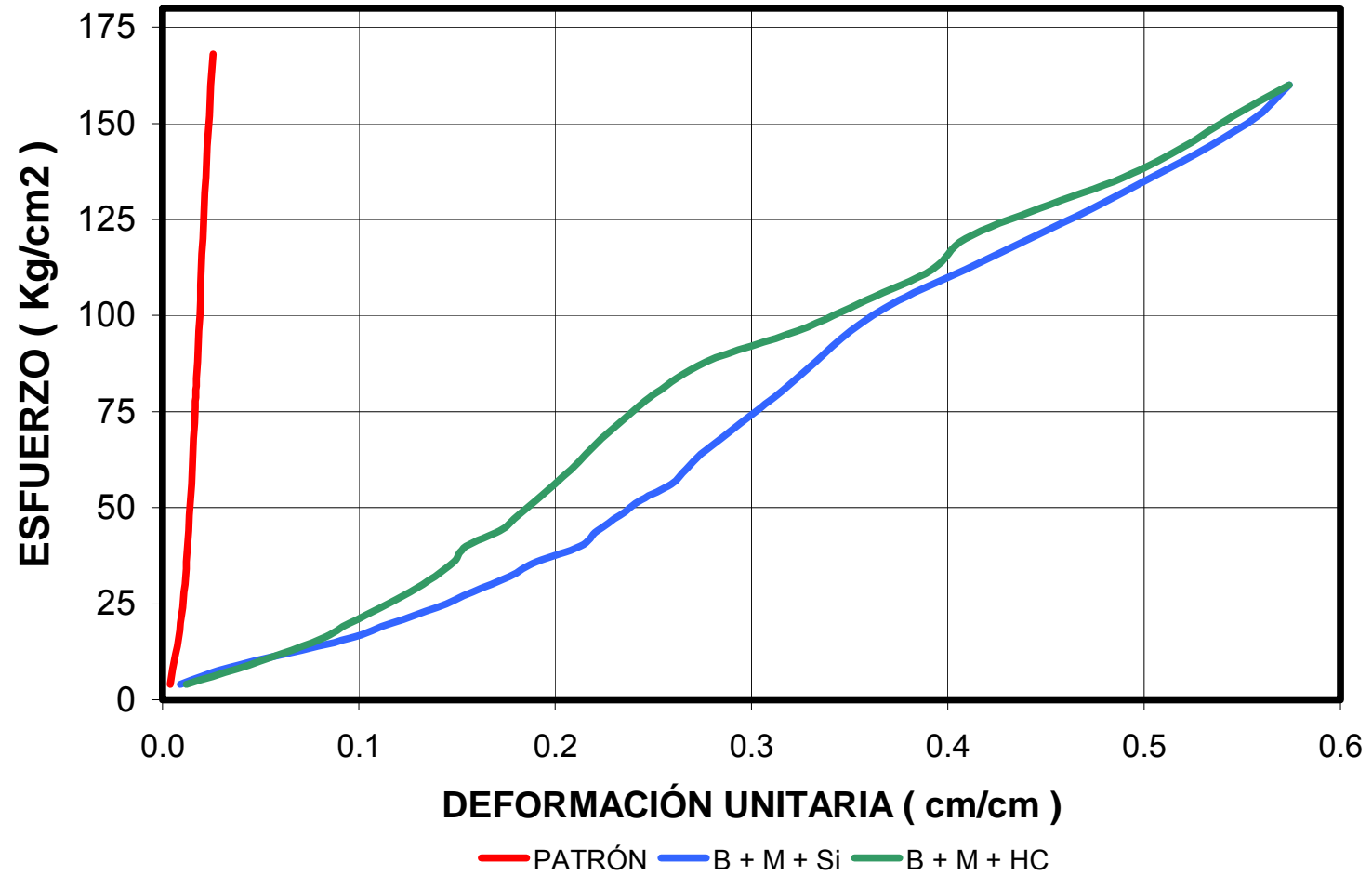
ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm2)	MORTERO DE CEMENTO		B + M + HC	
		PROMEDIO	DEFORMACIÓN	PROMEDIO	DEFORMACIÓN
		DEFORMACIÓN	UNITARIA	DEFORMACIÓN	UNITARIA
100	4	8	0.004	24	0.012
200	8	10	0.005	75	0.038
300	12	13	0.007	119	0.060
400	16	16	0.008	160	0.081
500	20	18	0.009	188	0.096
600	24	20	0.010	219	0.111
700	28	21.5	0.011	248	0.126
800	32	23	0.012	273	0.139
900	36	24	0.012	292	0.148
1000	40	25	0.013	304	0.154
1100	44	26	0.013	338	0.172
1200	48	27	0.014	357	0.181
1300	52	28	0.014	375	0.191
1400	56	29	0.015	393	0.200
1500	60	30	0.015	410	0.208
1600	64	30.5	0.015	425	0.216
1700	68	31	0.016	440	0.224
1800	72	32	0.016	458	0.233
1900	76	32.8	0.017	476	0.242
2000	80	33.5	0.017	495	0.251
2200	88	35	0.018	545	0.277
2400	96	36.5	0.019	637	0.324
2600	104	38	0.019	705	0.358
2800	112	39	0.020	772	0.392
3000	120	40.5	0.021	805	0.409
3200	128	42	0.021	880	0.447
3400	136	43.5	0.022	964	0.490
3600	144	45	0.023	1025	0.521
3800	152	47	0.024	1074	0.546
4000	160	48.5	0.025	1130	0.574
4200	168	51	0.026		

Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria a la compresión para probetas de pasta a los 28 días



Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria a la compresión
para probetas de mortero a los 28 días



ANEXO B.
ENSAYOS A LA TENSIÓN

ENSAYO DE TENSIÓN A LOS 7 DÍAS

BAGAZO-PASTA-SILICATO DE SODIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	70	70	10.853
MUESTRA 1	45	40.000	6.202
MUESTRA 2	35		
MUESTRA 3	40		

BAGAZO-PASTA-HIDRÓXIDO DE CALCIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	70	70	10.853
MUESTRA 1	10	11.667	1.809
MUESTRA 2	15		
MUESTRA 3	10		

BAGAZO-MORTERO-SILICATO DE SODIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	85	85	13.178
MUESTRA 1	50	51.667	8.010
MUESTRA 2	50		
MUESTRA 3	55		

BAGAZO-MORTERO-HIDRÓXIDO DE CALCIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	85	85	13.178
MUESTRA 1	40	38.333	5.943
MUESTRA 2	40		
MUESTRA 3	35		

ENSAYO DE TENSIÓN A LOS 14 DÍAS

BAGAZO-PASTA-SILICATO DE SODIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	80	80	12.403
MUESTRA 1	50	53.333	8.269
MUESTRA 2	55		
MUESTRA 3	55		

BAGAZO-PASTA-HIDRÓXIDO DE CALCIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	80	80	12.403
MUESTRA 1	20	20.000	3.101
MUESTRA 2	25		
MUESTRA 3	15		

BAGAZO-MORTERO-SILICATO DE SODIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	95	95	14.729
MUESTRA 1	65	63.333	9.819
MUESTRA 2	65		
MUESTRA 3	60		

BAGAZO-MORTERO-HIDRÓXIDO DE CALCIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	95	95	14.729
MUESTRA 1	45	48.333	7.494
MUESTRA 2	50		
MUESTRA 3	50		

ENSAYO DE TENSIÓN A LOS 28 DÍAS

BAGAZO-PASTA-SILICATO DE SODIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	85	85	13.178
MUESTRA 1	60	63.333	9.819
MUESTRA 2	65		
MUESTRA 3	65		

BAGAZO-PASTA-HIDRÓXIDO DE CALCIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	85	85	13.178
MUESTRA 1	30	28.333	4.393
MUESTRA 2	30		
MUESTRA 3	25		

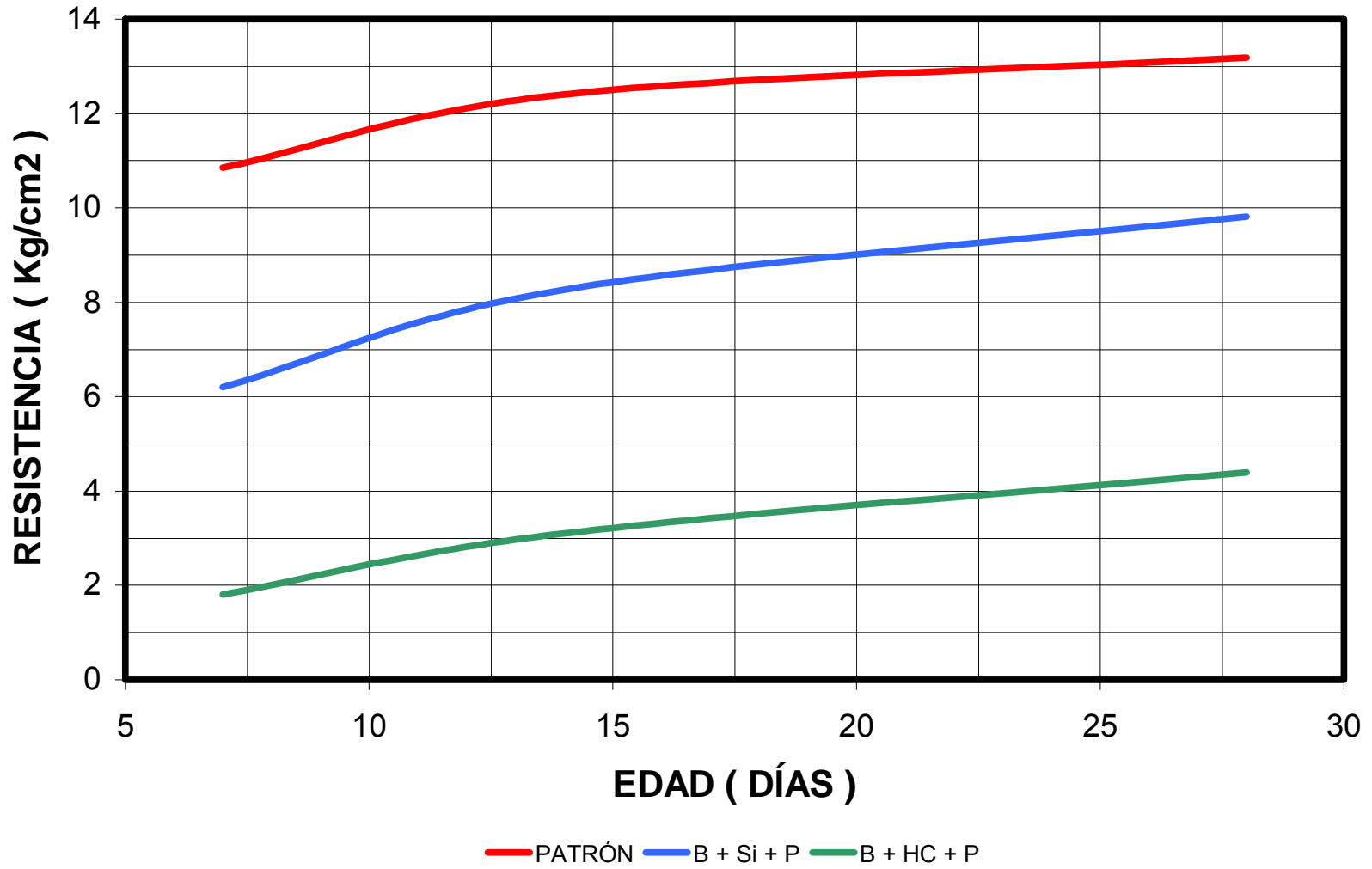
BAGAZO-MORTERO-SILICATO DE SODIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	105	105	16.279
MUESTRA 1	75	75	11.628
MUESTRA 2	75		
MUESTRA 3	75		

BAGAZO-MORTERO-HIDRÓXIDO DE CALCIO		PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg / cm2)
ELEMENTO	CARGA (Kg)		
MUESTRA PATRÓN	105	105	16.279
MUESTRA 1	55	53.333	8.269
MUESTRA 2	50		
MUESTRA 3	55		

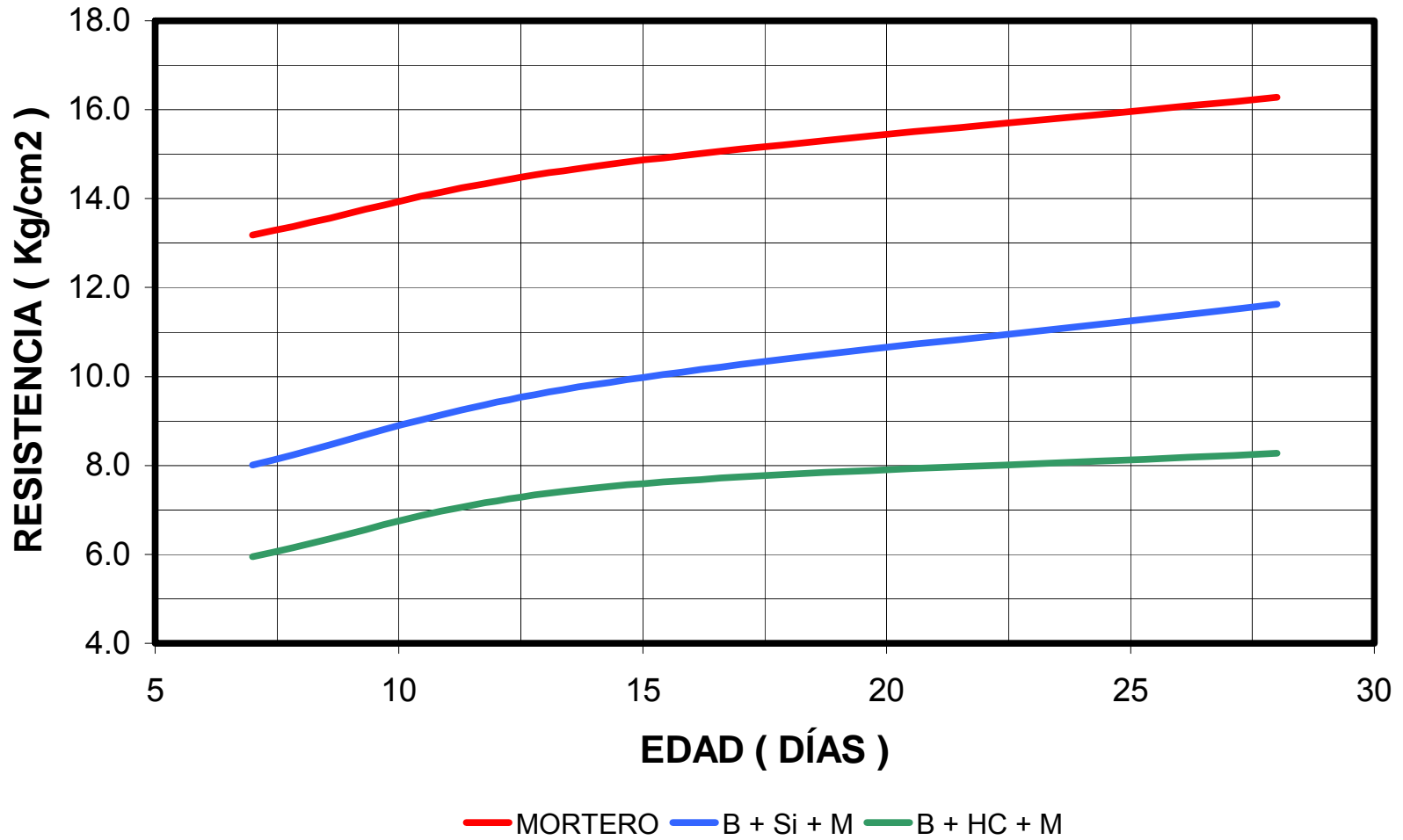
CUADRO RESUMEN DE ENSAYO A LA TENSIÓN

RESISTENCIA SEGÚN EL MATERIAL (Kg / cm ²)						
TIEMPO (DÍAS)	CON PASTA DE CEMENTO			CON MORTERO DE CEMENTO		
	PATRÓN	B + Si + P	B + HC + P	PATRÓN	B + Si + M	B + HC + M
7	10.853	6.202	1.809	13.178	8.010	5.943
14	12.403	8.269	3.101	14.729	9.819	7.494
28	13.178	9.819	4.393	16.279	11.628	8.269

Gráfica Resistencia Vs Edad para elementos a base de pasta fallados a la tensión



Gráfica Resistencia Vs Edad para elementos a base de mortero fallados a la tensión



ANEXO C.
ENSAYOS A LA FLEXIÓN

ENSAYO DE FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS

CARGA (Kg)	PASTA CEMENTO		BAGAZO-PASTA-SILICATO DE SODIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACIÓN (0.001 PULGADAS)	DEFORMACIÓN (mm)	MUESTRA 1 DEFORMACIÓN	MUESTRA 2 DEFORMACIÓN	MUESTRA 3 DEFORMACIÓN	PROMEDIO (mm)	
	10	19	0.4826	45	50	40	
20	21	0.5334	71	72	65	1.761066667	5.56
30	23.5	0.5969	105	100	110	2.667	8.34
40	25.5	0.6477	135	130	135	3.386666667	11.12
50	27	0.6858	170	160	155	4.106333333	13.9
60	29	0.7366	195	185	180	4.741333333	16.68
70	30	0.7620			200	5.08	19.46
80	31.5	0.8001				0	22.24

CARGA (Kg)	PASTA CEMENTO		BAGAZO-PASTA-HIDRÓXIDO DE CALCIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACIÓN (0.001 PULGADAS)	DEFORMACIÓN (mm)	MUESTRA 1 DEFORMACIÓN	MUESTRA 2 DEFORMACIÓN	MUESTRA 3 DEFORMACIÓN	PROMEDIO (mm)	
	10	19	0.4826	68	75	70	
20	21	0.5334	95	100	95	2.455333333	5.56
30	23.5	0.5969	125	120	128	3.158066667	8.34
40	25.5	0.6477	165	155	165	4.106333333	11.12
50	27	0.6858		186	190	4.7752	13.9
60	29	0.7366				0	16.68
70	30	0.7620				0	19.46
80	31.5	0.8001				0	22.24

ENSAYO DE FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS

CARGA (Kg)	MORTERO DE CEMENTO		BAGAZO-MORTERO-SILICATO DE SODIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACIÓN (0.001 PULGADAS)	DEFORMACIÓN (mm)	MUESTRA 1 DEFORMACIÓN	MUESTRA 2 DEFORMACIÓN	MUESTRA 3 DEFORMACIÓN	PROMEDIO (mm)	
	10	1	0.0254	35	25	35	
20	10	0.2540	45	38	48	1.109133333	5.56
30	12.2	0.3099	61	59	60	1.524	8.34
40	13	0.3302	77	75	73	1.905	11.12
45	14.5	0.3683		94	90	2.3368	12.51

CARGA (Kg)	MORTERO DE CEMENTO		BAGAZO-MORTERO-HIDRÓXIDO DE CALCIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACIÓN (0.001 PULGADAS)	DEFORMACIÓN (mm)	MUESTRA 1 DEFORMACIÓN	MUESTRA 2 DEFORMACIÓN	MUESTRA 3 DEFORMACIÓN	PROMEDIO (mm)	
	10	1	0.0254	48	45	52	
20	10	0.2540	70	65	73	1.761066667	5.56
30	12.2	0.3099	90	85	92	2.2606	8.34
40	13	0.3302				0	11.12
45	14.5	0.3683				0	12.51

ENSAYO DE FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS

CARGA (Kg)	PASTA CEMENTO		BAGAZO-PASTA-SILICATO DE SODIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	
	(0.001 PULGADAS)	(mm)	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	(mm)	
10	8.5	0.2159	45	45	50	1.185333333	2.78
20	9	0.2286	65	65	70	1.693333333	5.56
30	10.5	0.2667	79	75	85	2.023533333	8.34
40	11.2	0.2845	112	98	100	2.624666667	11.12
50	11.7	0.2972	153	145	138	3.691466667	13.9
60	12	0.3048	181	192	195	4.809066667	16.68
70	12.2	0.3099	210	205	212	5.3086	19.46
80	12.5	0.3175			221	5.6134	22.24
90	13	0.3302				0	25.02
100	13.2	0.3353				0	27.8
110	13.5	0.3429				0	30.58
120	13.8	0.3505				0	33.36

CARGA (Kg)	PASTA CEMENTO		BAGAZO-PASTA-HIDRÓXIDO DE CALCIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	
	(0.001 PULGADAS)	(mm)	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	(mm)	
10	8.5	0.2159	70	90	86	2.0828	2.78
20	9	0.2286	100	112	104	2.675466667	5.56
30	10.5	0.2667	130	142	142	3.5052	8.34
40	11.2	0.2845	155	185	193	4.512733333	11.12
50	11.7	0.2972	181	210	203	5.0292	13.9
60	12	0.3048	219	245		5.8928	16.68
70	12.2	0.3099				0	19.46
80	12.5	0.3175				0	22.24
90	13	0.3302				0	25.02
100	13.2	0.3353				0	27.8
110	13.5	0.3429				0	30.58
120	13.8	0.3505				0	33.36

ENSAYO DE FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS

CARGA (Kg)	MORTERO DE CEMENTO		BAGAZO-MORTERO-SILICATO DE SODIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	
	(0.001 PULGADAS)	(mm)	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	(mm)	
10	18	0.4572	45	45	49	1.176866667	2.78
20	19	0.4826	53	55	56	1.388533333	5.56
30	20	0.5080	59	62	63	1.557866667	8.34
40	21	0.5334	70	76	71	1.837266667	11.12
50	22.5	0.5715	92	90	85	2.2606	13.9

CARGA (Kg)	MORTERO DE CEMENTO		BAGAZO-MORTERO-HIDRÓXIDO DE CALCIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	
	(0.001 PULGADAS)	(mm)	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	(mm)	
10	18	0.4572	56	55	60	1.4478	2.78
20	19	0.4826	65	68	73	1.744133333	5.56
30	20	0.5080	78	78	90	2.0828	8.34
40	21	0.5334	99	95		2.4638	11.12
50	22.5	0.5715				0	13.9

ENSAYO DE FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS

CARGA (Kg)	PASTA CEMENTO		BAGAZO-PASTA-SILICATO DE SODIO				RESISTENCIA (Kg/cm2)
	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	
	(0.001 PULGADAS)	(mm)	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	(mm)	
10	7	0.1778	35	33	40	0.9144	2.78
20	8	0.2032	59	60	62	1.532466667	5.56
30	9.5	0.2413	72	75	91	2.015066667	8.34
40	10.2	0.2591	111	100	105	2.675466667	11.12
50	11	0.2794	135	126	129	3.302	13.9
60	11.5	0.2921	162	159	151	3.996266667	16.68
70	12	0.3048	187	177	168	4.504266667	19.46
80	12.7	0.3226	200	205	192	5.0546	22.24
90	13.1	0.3327	215		206	5.3467	25.02
100	14.5	0.3683				0	27.8
110	15.8	0.4013				0	30.58
120	17	0.4318				0	33.36

CARGA (Kg)	PASTA CEMENTO		BAGAZO-PASTA-HIDRÓXIDO DE CALCIO				RESISTENCIA (Kg/cm2)
	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	
	(0.001 PULGADAS)	(mm)	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	(mm)	
10	7	0.1778	55	65	70	1.608666667	2.78
20	8	0.2032	72	81	85	2.015066667	5.56
30	9.5	0.2413	95	100	99	2.4892	8.34
40	10.2	0.2591	122	131	115	3.115733333	11.12
50	11	0.2794	158	155	140	3.8354	13.9
60	11.5	0.2921	196	184	176	4.707466667	16.68
70	12	0.3048	210	200	195	5.122333333	19.46
80	12.7	0.3226			218	5.5372	22.24
90	13.1	0.3327				0	25.02
100	14.5	0.3683				0	27.8
110	15.8	0.4013				0	30.58
120	17	0.4318				0	33.36

ENSAYO DE FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS

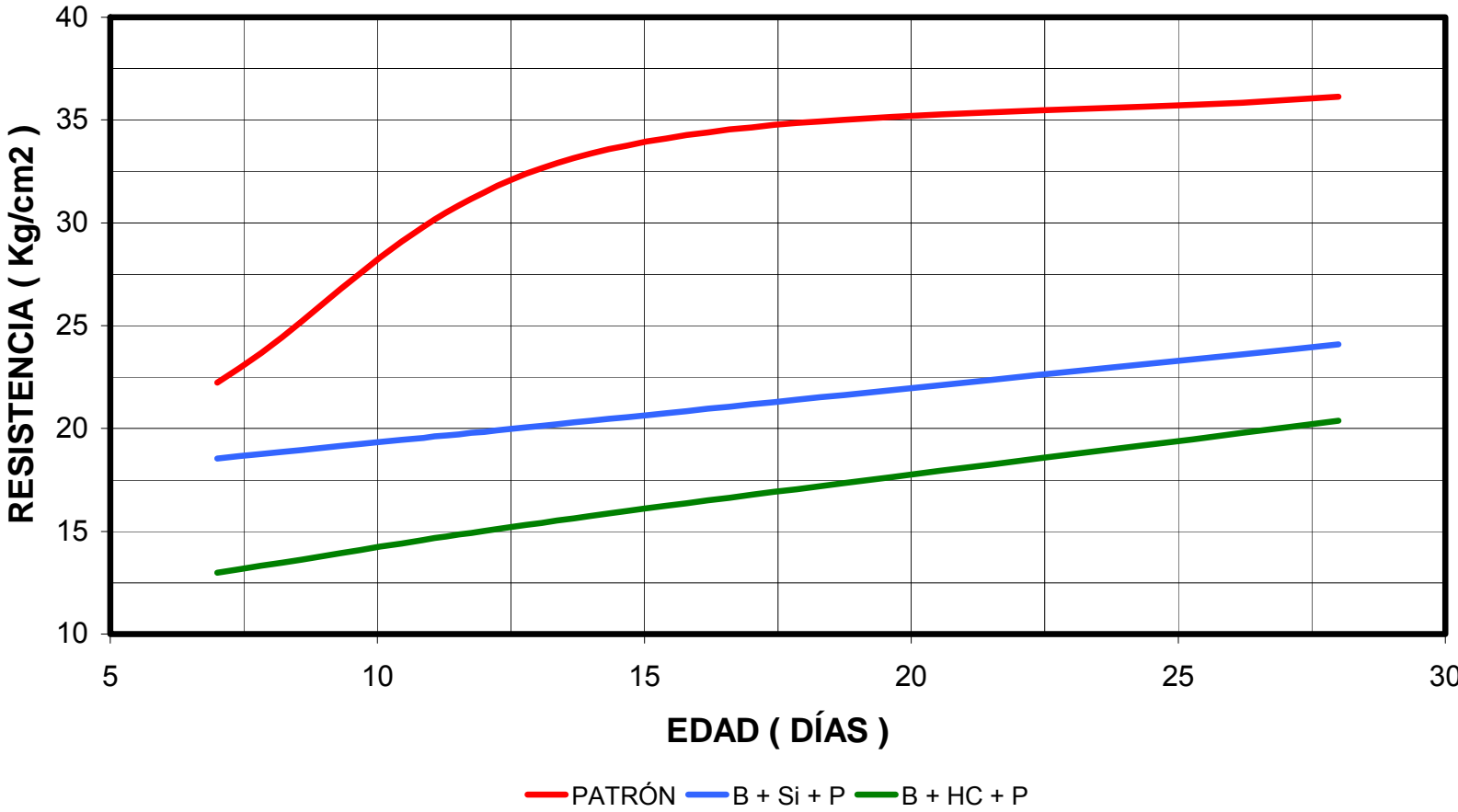
CARGA (Kg)	MORTERO DE CEMENTO		BAGAZO-MORTERO-SILICATO DE SODIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACION	DEFORMACION	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	
	(0.001 PULGADAS)	(mm)	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	(mm)	
10	12	0.3048	35	39	30	0.880533333	2.78
20	13	0.3302	41	42	36	1.007533333	5.56
30	14.5	0.3683	48	47	45	1.185333333	8.34
40	15.8	0.4013	54	55	51	1.354666667	11.12
50	17	0.4318	60	59	63	1.540933333	13.9
60	19	0.4826	65	63	73	1.7018	16.68
70		0.0000	71	70	81	1.8796	19.46
80		0.0000	80	76		1.9812	22.24

CARGA (Kg)	MORTERO DE CEMENTO		BAGAZO-MORTERO-HIDRÓXIDO DE CALCIO				RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DEFORMACION	DEFORMACION	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	
	(0.001 PULGADAS)	(mm)	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	(mm)	
10	12	0.3048	42	48	40	1.100666667	2.78
20	13	0.3302	51	55	45	1.278466667	5.56
30	14.5	0.3683	61	64	55	1.524	8.34
40	15.8	0.4013	75	77	67	1.8542	11.12
50	17	0.4318	84	85	80	2.1082	13.9
60	19	0.4826		92	90	4.6228	16.68
70		0.0000				0	19.46
80		0.0000				0	22.24

CUADRO RESUMEN DE ENSAYO A LA FLEXIÓN

RESISTENCIA SEGÚN EL MATERIAL (Kg / cm ²)						
TIEMPO (DÍAS)	CON PASTA DE CEMENTO			CON MORTERO DE CEMENTO		
	PATRÓN	B + Si + P	B + HC + P	PATRÓN	B + Si + M	B + HC + M
7	22.240	18.533	12.973	12.510	12.047	8.340
14	33.360	20.387	15.753	13.900	13.900	10.193
28	36.140	24.093	20.387	16.680	21.313	15.753

Gráfica Resistencia Vs Edad para elementos a base de pasta fallados a la flexión



Gráfica Resistencia Vs Edad para elementos a base de mortero fallados a la flexión

