

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE UNA MEZCLA DE CONCRETO, AL  
ADICIONARLE FIBRA NATURAL TIPO BAGAZO DE CAÑA  
PANELERAGENERADA EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**CARLOS AUGUSTO ESPAÑA DULCE  
LEIDY CAROLINA MOLINA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2013**

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE UNA MEZCLA DE CONCRETO, AL  
ADICIONARLE FIBRA NATURAL TIPO BAGAZO DE CAÑA  
PANELERAGENERADA EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**CARLOS AUGUSTO ESPAÑA DULCE  
LEIDY CAROLINA MOLINA GÓMEZ**

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

**Director  
JAMES ROSERO CARVAJAL  
Ingeniero Civil – Ingeniero Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2013**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1º del acuerdo No. 324 de Octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

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

Artículo 13, acuerdo No. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Director de Tesis**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

San Juan de Pasto, Septiembre de 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

Ing. JAMES ROSERO CARVAJAL, Nuestro director de proyecto de grado, quien siempre nos guió en el desarrollo de esta investigación.

GUSTAVO ADOLFO PONCE, Auxiliar de laboratorio de la Universidad de Nariño en el área de suelos, por su amistad y apoyo en todo momento.

ROSA ELVIRA CEBALLOS, Secretaria del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño, por su colaboración y orientación durante el transcurso de nuestra carrera.

A nuestros compañeros y amigos, por toda la ayuda que nos brindaron en el alcance de esta meta.

## **DEDICATORIA**

Alcanzar las metas propuestas en nuestra vida, con el apoyo de las personas que amamos, es una de las satisfacciones más grandes, de todo corazón doy mil gracias a quienes me acompañaron durante esta etapa de mi vida.

A Dios, por su inmenso amor, por guiarme siempre por el camino del bien.

MI HIJO Santiago, quien llegó al finalizar esta etapa dándome las fuerzas necesarias para culminar mi carrera.

MIS PADRES Lizardo Molina Prieto y Doris María Gómez Guerrero, por su amor, cariño, entrega y dedicación, quienes me han enseñado a valorar todo aquello que se consigue con sacrificio y constancia, por el apoyo y comprensión en todos los momentos de mi vida y por la confianza que siempre me han brindado.

MIS HERMANOS Daniel, Wilmer y Edilma, por brindarme su comprensión y apoyo en todo momento.

MIS ABUELITOS, TÍOS Y PRIMOS, por brindarme siempre su apoyo incondicional, y alentarme siempre a soñar para alcanzar las metas.

MIS AMIGOS, por todo su apoyo y lealtad, por su compañía en las adversidades, por su fiel ayuda.

*Leidy Carolina Molina Gómez*

## **DEDICATORIA**

Saber que he llegado es saber que empiezo una nueva etapa y que nunca termino de aprender nuevas cosas en la vida.

Agradezco inmensamente y por encima de todo a Dios que siempre estuvo acompañándome en los momentos más difíciles, que me dio la fe y la sabiduría para continuar.

Mi padre por todo su apoyo su compañía y sus sabios consejos en los momentos justos, por su confianza y paciencia en algunas situaciones de este largo recorrido.

Mi familia, mi hermana, mi cuñado, mi hermano, mis sobrinos, mis primos, mi novia. Por entender que las cosas grandes que se consiguen en la vida son las que tienen grandes sacrificios.

Mis tíos por estar siempre pendientes de mis cosas por sus consejos y por toda su ayuda y confianza depositada en mí.

A todos mis amigos y compañeros, por la compañía, por las charlas, y vivencias compartidas a lo largo de todos estos años en la U, a todos muchas gracias.

Carlos A España Dulce.

## RESUMEN

Los trapiches de caña panelera se convierten en un foco de producción de contaminantes. Surge por tanto la necesidad de un control por parte de estas instituciones sus residuos generados.

En este contexto, se observa la importancia de realizar un manejo integral de los residuos provenientes de la explotación de caña panelera entre los cuales se encuentra el bagazo proveniente de los trapiches, mediante alternativas de tratamiento y/o utilización de dicho producto que permitirá de manera eficaz su aprovechamiento en el medio de la construcción.

Debido a que la alternativa que brinda este proyecto es sencilla y practica al tratarse de incluir dentro de la estructura del concreto, fibras naturales en este caso de bagazo de caña y corroborar si se obtiene un producto apto para ser utilizado en la industria de la construcción; dicha alternativa no solo permite minimizar impactos negativos sobre el medio ambiente por el mal manejo de este tipo de residuos y se convierte en una opción para ser utilizado en fabricación de concreto en la región; además promoviendo el buen manejo del residuo el proyecto se vuelve significativo teniendo en cuenta que contribuiría a la implementación de sistemas de calidad ambiental dentro de los trapiches del municipio, y lo principal es que permite devolver algún beneficio a nuestro medio.

Otro de los aportes que ofrece el desarrollo de esta investigación, es la determinación de resistencia del concreto con adición de fibra natural, la cual no se incrementa pero se maneja una resistencia residual cuando las fibras permiten que el concreto permanezca unido después de la falla, sin presentarse una falla súbita, siendo esta la mayor ventaja frente al concreto sin adición de fibras.



## **ABSTRACT**

The sugarcane mills to become a center of production of pollutants. Hence arises the need for control by these institutions for their waste.

In this context, it notes the importance of an integrated management of waste from the operation of including sugarcane bagasse is coming from the mills, using alternative treatments and / or use of the product will allow so effective its use in the middle of construction.

Because the alternative offered by this project is simple and practical when being included within the concrete structure, in this case natural fibers of bagasse and substantiate if you get a product suitable for use in the construction industry , this alternative not only to minimize negative impacts on the environment by the mishandling of this waste and becomes an option to be used in concrete manufacturing in the region, besides promoting the sound management of waste the project becomes significant considering that contribute to the implementation of environmental quality systems within the mills of the town, and the main thing is that you can return any benefit to our environment.

Another contribution offered by the development of this research is the determination of concrete strength with the addition of natural fiber, which does not increase but it handles a residual strength when fibers allow concrete to remain united after failure, without presenting sudden failure, which is the greatest advantage compared to concrete without added fibers.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	18
1. TÍTULO.....	23
2. MARCO TEÓRICO .....	24
2.1 DEFINICIÓN DE CONCRETO.....	24
2.2 CONCRETO CON FIBRAS .....	24
2.3 MATERIAS PRIMAS DEL CONCRETO.....	24
2.3.1 Agua .....	24
2.3.2 Cemento.....	25
2.4 AGREGADOS .....	26
2.4.1 Agregado Grueso (Gravilla).....	26
2.4.2 Agregado Fino (Arena) .....	28
2.4.3 Obtención de los agregados naturales .....	28
2.5 FIBRAS NATURALES .....	29
2.5.1 Bagazo de caña de azúcar.....	30
2.5.2 Propiedades Físicas Y Químicas Del Bagazo .....	30
2.6 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS .....	31
2.6.1 Granulometría .....	31
2.6.2 Curvas granulométricas.....	31
2.6.3 Tamaño máximo.....	32
2.6.4 Módulo de finura.....	32
2.6.5 Porcentaje de finos.....	32
2.6.6 Textura .....	32
2.6.7 Densidad aparente .....	32
2.6.8 Absorción .....	33
2.6.9 Masa unitaria.....	34
2.7 PROPIEDADES MECÁNICAS .....	34
2.7.1 Resistencia.....	34

2.7.2	Tenacidad.....	34
2.7.3	Adherencia .....	34
2.7.4	Desgaste .....	34
2.8	CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO.....	35
2.8.1	Manejabilidad o trabajabilidad .....	35
2.8.2	Medida de la manejabilidad.....	36
2.8.3	Ensayo a flexión .....	36
2.8.4	Deducción del módulo de rotura (MR).....	38
2.8.5	Resistencia a la compresión.....	40
2.9	CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO.....	41
3.	DISEÑO DE LA MEZCLA.....	42
3.1	SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.....	45
3.2	CHEQUEO DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL.....	45
3.3	CANTIDAD DE AGUA RECOMENDADA .....	46
3.4	RESISTENCIA DE DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA (F'CR).....	47
3.5	SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C.....	49
3.5	CALCULO DE CONTENIDO DE CEMENTO.....	49
3.6	AGREGADOS.....	49
3.7	PROPORCIONES INICIALES EN PESO.....	50
3.8	PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA .....	50
4.	TRABAJO DE CAMPO.....	54
4.1	SELECCIÓN DE LOS MATERIALES .....	54
4.2	NÚMERO DE ESPECÍMENES.....	54
4.3	PORCENTAJES DE FIBRA A ADICIONAR POR CADA MEZCLA.....	55
4.4	MOLDES PARA LAS PRUEBAS.....	56
4.4.1	Volumen de las camisas o moldes .....	56
4.5	TRATAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA.....	56
4.6	PESAJE DE LOS MATERIALES.....	57

4.7	MEZCLADO DE LOS MATERIALES.....	59
4.8	LIMPIEZA DE LOS MOLDES. ....	60
4.9	VACIADO DE VIGAS Y CILINDROS .....	61
4.10	DESENCOFRADO DE LAS VIGAS Y CILINDROS.....	62
4.11	CURADO DE LAS MUESTRAS.....	63
4.12	ENSAYOS DE CILINDROS Y VIGAS.....	64
5.	CONTROL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	65
5.1	RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO CON Y SIN ADICIÓN DE FIBRAS A LOS 7 Y 28 .....	65
5.2	RESULTADO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO CON Y SIN ADICIÓN DE FIBRAS A LOS 14 Y 28 DÍAS .....	71
5.3	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO.....	77
5.4	ANALISIS DE LOS COSTOS DE UTILIZACIÓN DE FIBRA TIPO BAGAZO Y COMPARACION CON UNA MEZCLA TRADICIONAL .....	78
6.	CONCLUSIONES.....	79
7.	RECOMENDACIONES.....	81
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	82
	ANEXOS.....	84

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del bagazo de caña panelera.....	30
Tabla 2. Propiedades Mecánicas Típicas de la fibra de bagazo de caña .....	31
Tabla 3. % pasa de agregado fino, grueso y valores ideales de Weymouth para 1” .....	43
Tabla 4. Ensayos para la caracterización del material.....	44
Tabla 5. Asentamientos recomendados para diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación. ....	45
Tabla 6. Granulometria y determinación del TMN.....	46
Tabla 7. Estimación de agua de mezcla .....	46
Tabla 8. Coeficiente de variación y grado de uniformidad que puede esperarse en el concreto, bajo diferentes condiciones de producción.....	47
Tabla 9. Resistencia promedio requerida a la compresión cuando.....	48
Tabla 10. Datos de diseño de mezcla .....	50
Tabla 11 Volumen de concreto a preparar.....	50
Tabla 12. Corrección por humedad de los materiales.....	51
Tabla 13. Proporciones de la primera mezcla de prueba.....	51
Tabla 14. Ajuste por asentamiento .....	52
Tabla 15. Mezcla preparada por m <sup>3</sup> de concreto .....	52
Tabla 16. Proporciones justadas.....	53
Tabla 17 Segunda corrección por humedad .....	53
Tabla 18. Proporciones de la segunda mezcla de prueba .....	53
Tabla 19. Número de especímenes a ensayar a diferentes edades del .....	55
Tabla 20. Porcentajes de fibras a adicionar por cada mezcla.....	55

Tabla 21. Peso en gramos para cada mezcla.....	56
Tabla 22. Resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 y 28 días de curado.....	65
Tabla 23. Resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de curado .....	66
Tabla 24. Resultados de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.....	667
Tabla 25. Resultados del peso promedio de los cilindros a 7 y 28 días.....	69
Tabla 26. Resultado de resistencia a la flexión de vigas a los 14 días de curado .....	71
Tabla 27. Resultado de resistencia a la flexión de vigas a los 28 días de curado .....	72
Tabla 28. Resultados de la resistencia a la flexión de vigas de concreto a 14 y 28 días de curado.....	73
Tabla 29. Resultado del peso promedio de las vigas a los 14 y 28 días.....	75
Tabla 30. Relación de los pesos promedio de los cilindros a los 28 días ....	77
Tabla 31. Cálculo del módulo de elasticidad.....	778
Tabla 32. Relación de cantidades y costos para 1m <sup>3</sup> de mezcla tradicional (No incluye transporte) .....	778
Tabla 33. Relación de cantidades y costos para 1 m <sup>3</sup> de mezcla con adición de fibras al 2,5 % (No incluye transporte).....	778

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión, usando una viga cargada en los tercios de la luz .....	3838
Figura 2. Solución de hidróxido de calcio .....	57
Figura 3. Bagazo de caña en solución de hidróxido de calcio .....	57
Figura 4. Proporciones en peso sin bagazo .....	58
Figura 5. Proporciones en peso al 0.5% de bagazo .....	58
Figura 6. Proporciones en peso al 2.5% de bagazo .....	58
Figura 7. Proporciones en peso al 5% de bagazo .....	59
Figura 8. Mezcla cemento agregado fino y fibra .....	59
Figura 9. Mezcla de concreto .....	60
Figura 10. Prueba del slump .....	60
Figura 11. formaletas de vigas aceitadas .....	60
Figura 12. Camisas de cilindros aceitadas .....	61
Figura 13. Vaciado de cilindros .....	61
Figura 14. Vaciado de vigas .....	61
Figura 15. Vibrado y compactación de vigas .....	62
Figura 16. Vibrado de cilindros .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 17. Terminado con palustre .....	62
Figura 18. Terminado con palustre .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 19. Cilindros y vigas en reposo durante 24 horas .....	62
Figura 20. Desencofrado de vigas .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 21. Desencofrado de cilindros .....	63
Figura 22. Proceso de curado de las muestras .....	63
Figura 23. Montaje del ensayo a compresión .....	64
Figura 24. Cilindros fallados .....	64
Figura 25. Ensayo a flexión .....	64
Figura 26. Vigas falladas al tercio .....	64

## LISTA DE GRAFICAS

GRAFICO 1. Aplicación de las cargas según la ASTM.....	37
GRAFICO 2. Malla De Weymmouth .....	43
GRAFICO 3. Resistencia promedio de diseño ( $f'_{cr}$ ) para diferentes valores de ( $f'_{c}$ ) y $v$ .....	48
GRAFICO 4. Resistencia a la compresión vs A/C. ....	49
GRAFICO 5. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto a los 28 días de curado para diferentes porcentajes de bagazo de caña adicionado.....	68
GRAFICO 6. Peso de los cilindros de concreto a los 28 días de curado para diferentes porcentajes de adición de fibra de bagazo de la caña .....	70
GRAFICO 7. Resistencia a la flexión de vigas de concreto a los 28 días de curado para diferentes porcentajes de bagazo de caña adicionado.....	74
GRAFICO 8. Peso de las vigas de concreto a los 28 días de curado para diferentes porcentajes de adición de fibra de bagazo de la caña .....	76



## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Determinación del contenido de humedad .....	85
Anexo B. Determinación del contenido de humedad del agregado grueso ..	86
Anexo C. Ensayo de granulometría de agregado grueso .....	87
Anexo D. Curvas granulométricas del agregado grueso.....	88
Anexo E. Ensayo de granulometría de agregados finos .....	889
Anexo F. Curva granulométrica de agregados finos .....	90
Anexo G. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos .....	991
Anexo H. Gravedad específica y absorción de agregados finos.....	92
Anexo I. Pesos unitarios .....	93
Anexo J. Índices de alargamiento y aplanamiento de agregados .....	84
Anexo K. Ensayo de caras fracturadas.....	95

## INTRODUCCIÓN

A partir de que las fibras de asbesto fueron relacionadas con potenciales peligros para la salud se inició la búsqueda de posibles sustitutos que le proporcionaran al concreto las propiedades tan favorables que el asbesto le daba, además de ser competitivos en calidad y precio. Las fibras de acero, de vidrio y más recientemente las de polipropileno, son alternativas viables para reforzar al concreto. Sin embargo, otro grupo de fibras llamadas naturales o vegetales han sido motivo de varios estudios para su posible aplicación como refuerzo del concreto<sup>1</sup>.

Los materiales reforzados con fibras naturales se pueden obtener a un bajo costo usando la mano de obra disponible en la localidad y las técnicas adecuadas para su obtención. Estas fibras son llamadas típicamente fibras naturales no procesadas. Sin embargo, las fibras naturales pueden ser procesadas químicamente para mejorar sus propiedades. México es un país que posee abundante producción de fibras naturales sobre todo las de la familia del agave (cabuya). De esta familia la más conocida es el “sisal” que puede ser obtenida en la península de Yucatán; otras especies de la misma familia son el “maguey” y la “lechuguilla”. Entre las ventajas comprobadas de ésta última están: sus significativas propiedades físico mecánicas tal como su resistencia última a tensión, que les permite ser consideradas como refuerzo en el concreto; permiten un comportamiento dúctil después del agrietamiento de la matriz de concreto; y las fibras largas adicionadas en bajas cantidades, es decir, con porcentajes bajos del volumen total de la mezcla, proporcionan al concreto la capacidad para soportar mayores cargas de flexión en comparación con el concreto simple<sup>2</sup>, al igual las fibras naturales sirven para reducir la contracción plástica y asentamiento plástico el cual genera grietas, de tal manera que este tipo de fibras brinda grandes beneficios en la construcción de elementos como vigas y losas se forman con cargas superiores —resistencia última— al aumentar su tensión, tenacidad, más soporte al impacto y a la fatiga. Estas propiedades favorecen el empleo en losas de aeropuertos y carreteras. Lo que supone un avance y mejoramiento de la calidad en el desarrollo de una infraestructura más longeva y mucho más benéfica.<sup>3</sup>

En general las fibras menos rígidas (de plástico y materiales naturales) sólo ofrecen beneficios para mejorar la resistencia a la tracción del hormigón plástico y

---

<sup>1</sup> **Los refuerzos del concreto**, Dr. Ralf Winterberg (Entrevistado por Gregorio B. Mendoza)

<sup>2</sup> Ibid

<sup>3</sup> **Los refuerzos del concreto**, Dr. Ralf Winterberg (Entrevistado por Gregorio B. Mendoza)

semi-endurecido, por lo que se utilizan principalmente para reducir la contracción plástica y asentamiento plástico grietas.

en este contexto es importante la gestión integral de este tipo de residuos, optando por utilizarlos como materiales aprovechables, en diferentes alternativas dentro de la industria de la construcción, teniendo en cuenta que la industria de la caña panelera ocupa sin duda un lugar importante tanto en producción como en área de siembra de la actividad agraria nacional, en especial en municipios como Sandoná, Ancuya, Consacá y Linares en el departamento de Nariño y su explotación proporciona una importante actividad económica dentro de estas localidades permitiendo al mismo tiempo el desarrollo de la región; generando en su proceso gran cantidad de residuos provenientes de la siembra y de los procesos de su industrialización, los cuales en muchos casos no reciben un manejo integral ni un aprovechamiento diferente al del bagazo, que actualmente se emplea como combustible en procesos de combustión directa, en calderas y fogones para la agroindustria de la panela generando contaminación del aire y del suelo al depositar el bagazo o ceniza en lugares inapropiados.

El concreto armado con fibras, es el concreto formado por un conglomerado hidráulico, generalmente cemento Portland, áridos finos y gruesos, agua y fibras discontinuas y discretas. La incorporación de fibras de acero, plásticas, cerámicas, naturales, en materiales compuestos de matriz frágil o cuasi frágil, ha demostrado ser un medio eficaz para mejorarla tenacidad del material, aumentar su resistencia y su capacidad de deformación y controlar el desarrollo y la propagación de fisuras.

La proporción adecuada de estas fibras es la que aporta al concreto un mayor o menor refuerzo, que se traduce en una mejora en sus características de tenacidad, control defisuración y resistencia a flexo tracción. La respuesta mecánica del concreto reforzado con fibras depende de las dimensiones y de la cantidad de fibras incorporada a la matriz. La inclusión de fibras de 25 a 50 mm de longitud, en cantidades menores del 2% en volumen, constituye la aplicación más frecuente en el campo de las estructuras de la ingeniería civil.

### **Objetivos:**

Objetivo general: Evaluar la resistencia de una mezcla de concreto, al adicionarle fibra natural obtenida del residuo agrícola tipo bagazo de caña panelera generada en el departamento de Nariño.

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar la manejabilidad de la mezcla en estado fresco.

- ✓ Determinar la resistencia a compresión y resistencia a la flexión de las muestras de concreto con y sin adición de fibras naturales.
- ✓ Determinar el módulo de elasticidad del concreto mediante la correlación con base en los datos de resistencia a la compresión.
- ✓ Analizar los costos de utilización de fibra tipo bagazo.

**Justificación:** La precaria responsabilidad ambiental de la sociedad actual frente a los recursos naturales existentes en el planeta, se ha transformado en un proceso afectado por el des-humanismo de proteger y preservar las virtudes naturales que nos rodean, agotando su estado útil y beneficio. Ante ello el agua, suelo y aire sobresalen como factores de vida y lamentablemente como depuradores naturales de contaminación antrópica. Porque son el agua, aire y suelo quienes reciben la principal desventaja ante el avance cultural y tecnológico.

Es por eso que los trapiches de caña panelera se convierten en un foco de producción de contaminantes. Surge por tanto la necesidad de un control por parte de estas instituciones sus residuos generados.

En este contexto, se observa la importancia de realizar un manejo integral de los residuos provenientes de la explotación de caña panelera entre los cuales se encuentra el bagazo proveniente de los trapiches, mediante alternativas de tratamiento y/o utilización de dicho producto que permitirá de manera eficaz su aprovechamiento en el medio de la construcción,

Según la Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño) de los siete primeros municipios productores de caña panelera solo tres cuentan con un sistema de aprovechamiento de residuos sólidos de actividad tanto rural como urbana, para este caso se propone utilizar el residuo tipo bagazo en un proceso alternativo que no provoque contaminación por combustión directa y que su aplicabilidad beneficie al productor de caña panelera, por lo tanto este proyecto de investigación podría ofrecer una alternativa de solución a la necesidad de manejo de este tipo de residuos al obtener materiales alternativos de construcción como es el concreto reforzado con fibras naturales que permita alcanzar características mecánicas aceptables, que además ofrezcan viabilidad técnica y económica para ejecutarse.

Los retos del mundo moderno son cada vez más exigentes y esto implica un incremento económico por los procesos de producción de diferentes tipos de fibras que se utiliza en pro de mejorar las características del concreto según las especificaciones requeridas, por tales efectos, existe la posibilidad de uso de fibras naturales en concretos y morteros las cuales han tenido un amplio estudio desde los años 70's, entre las fibras adicionadas que se han utilizado se encuentran las fibras de acero, de vidrio, de carbón, de polipropileno y otras fibras

sintéticas como el Nylon y Poliéster, y fibras naturales de madera, yute, bambú, coco, asbesto, lana, entre otros, y por lo tanto el residuo tipo bagazo sería una alternativa económica al utilizarlo como fibra, convirtiéndose en material de construcción para la mezcla de concreto, destacando la factibilidad en este tipo de procesos por la experiencia con las otras fibras que ya han sido utilizadas y que han dejado muy buenos resultados de aprovechamiento técnico y obviamente económico si se compara con otro tipo de fibras sintéticas, además que es un recurso natural que se encuentra en abundancia en el departamento por lo tanto su aprovechamiento en la industria de la construcción sería supremamente importante.

Por lo tanto, este proyecto de investigación presenta la posibilidad de utilizar materiales alternativos en construcción que reduzcan la extracción y uso de materiales convencionales, lo que permite continuar investigando en el campo de materiales que admitan no solamente reducir costos sino que brinden seguridad en cuanto a sus propiedades y necesidades según sus usos.

De otro lado, siendo el concreto un material compuesto formado por una matriz continua cementante que une a un agregado de partículas, se presenta la posibilidad de agregar la fibra del bagazo de caña panelera que en comparación con fibras sintéticas tiene dos grandes ventajas, su baja densidad y su reutilización<sup>4</sup>, es importante destacar que las características morfológicas y las propiedades físico-mecánicas del bagazo de caña panelera lo catalogan como un material adecuado para ser usado como Fibrorefuerzo<sup>5</sup> de esta manera se ve la necesidad de determinar los cambios que pueda sufrir el concreto en cuanto a su resistencia al adicionarle fibras de bagazo de caña panelera.

Si la utilización de fibra de residuo tipo bagazo de caña panelera en mezclas concreto resultase viable, podría permitir además, la obtención de un concreto más liviano y económico, representando ventajas adicionales a los productores de panela quienes obtendrían un ingreso por la venta del residuo para la fabricación de concreto, lo cual incentivaría al agricultor y productor de caña a recolectar al máximo los residuos de caña para comercializarlos.

Debido a que la alternativa que propone investigar este proyecto es sencilla y práctica al tratarse de incluir dentro de la estructura del concreto, fibras naturales en este caso de bagazo de caña y corroborar si se obtiene un producto apto para ser utilizado en la industria de la construcción. Dicha alternativa no solo permite minimizar impactos negativos sobre el medio ambiente por el mal manejo de este tipo de residuos sino que se convertiría en una opción para ser utilizado en fabricación de concreto en la región; además promoviendo el buen manejo del residuo, el proyecto se vuelve significativo teniendo en cuenta que contribuiría a la

---

<sup>4</sup> J.M.L Reis, 2006

<sup>5</sup> Sera, 1990

implementación de sistemas de calidad ambiental dentro de los trapiches del municipio, y lo principal es que permite devolver algún beneficio al medio.

Otro de los aportes que ofrece el desarrollo de esta investigación, es la determinación de resistencia del concreto con adición de fibra natural, la cual podría verse incrementada y resultaría un atractivo para constructores que busquen incrementar la eficiencia del concreto en cierto tipo de obras civiles

## **1. TITULO**

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE UNA MEZCLA DE CONCRETO, AL ADICIONARLE FIBRA NATURAL TIPO BAGAZO DE CAÑA PANELERA GENERADA EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 DEFINICIÓN DE CONCRETO

El concreto hidráulico es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente.

### 2.2 CONCRETO CON FIBRAS

Es un hormigón ligero o normal al cual se le han adicionado fibras que pueden ser de: acero, plástico, asbesto, vidrio, nylon, poliéster, polipropileno, polietileno, fique, caña de azúcar, coco, yute, entre otras. Este concreto con fibras puede ser útil cuando sea necesario absorber una gran energía (por ejemplo cargas explosivas) o cuando se desea mejorar la resistencia a la tensión; luego es posible mermar el refuerzo por qué parte de la tensión lo absorbe la fibra. En el caso de los pavimentos rígidos, se pueden utilizar espesores de losa menores para las mismas cargas e igual periodo de diseño, la separación de juntas puede ser mayor porque las fibras aumentan la resistencia a la flexión del concreto. El hormigón con fibras proporciona también un buen aislamiento acústico y térmico, buena resistencia al impacto y a la erosión.

Algunas fibras, en especial las naturales de origen vegetal, requieren de un tratamiento especial para ser usadas y así no perjudicar las propiedades del concreto<sup>6</sup>.

### 2.3 MATERIAS PRIMAS DEL CONCRETO

**2.3.1 Agua.** El agua es el compuesto que se encarga de hidratar el cemento para que desarrolle su capacidad ligante pero también se encarga de dar fluidez a la mezcla de concreto.

Se puede decir que se necesita agua suficiente para hidratar el cemento y para dar la fluidez necesaria, pero se debe tener en cuenta que de la relación agua/cemento depende la resistencia del concreto por lo tanto se debe limitar la cantidad de agua a la necesaria para conseguir estos propósitos.

---

<sup>6</sup> Las fibras aplicadas al concreto reforzado. Memorias técnicas "I Reunión del concreto". Cali – Colombia. 1986



El agua adicional en el concreto produce porosidades en el momento del fraguado ya que esta agua trata de salir de adentro hacia fuera dejando en su camino capilaridades o porosidades que pueden afectar la resistencia.

Cuando se necesitan mezclas muy fluidas no es necesario conseguirlas con agua sino que es conveniente utilizar aditivos plastificantes que no solo ayudan a mejorar la fluidez sino que en algunos casos se logra conseguir una resistencia extra.

En el momento de escoger el agua a utilizar corresponde inspeccionar que no tenga sustancias perjudiciales o impurezas como: demasiados sólidos disueltos, carbonatos, cloruros (sales), aceites, sustancias alcalinas y materia orgánica.

**2.3.2 Cemento.** El cemento que se utiliza para producir concreto es el cemento Portland el cual se obtiene al pulverizar el Clinker con adición de yeso, el Clinker resulta de la calcinación de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos.

Los principales componentes del cemento Pórtland son: cal, sílice, alúmina y óxido de hierro; Generalmente, estas materias primas no se encuentran en la naturaleza por lo cual se hace necesario mezclar sustancias minerales que las contienen como calizas, arcillas, en algunas ocasiones es necesario agregar directamente óxidos de hierro o arenas silíceas, para ajustar las proporciones de cada compuesto con el fin de obtener reacciones químicas equilibradas. El yeso hidratado también es utilizado para retardar el tiempo de fraguado de la pasta de cemento. Se puede adicionar escorias y son llamados siderúrgicos y cuando se les agrega puzolanas se les llama cementos Pórtland puzolánicos.

La densidad o peso específico del cemento se define como la relación de peso y volumen; su valor varía entre 3.08 a 3.2 gr/cm<sup>3</sup> para el cemento Pórtland tipo I, el peso específico no indica la calidad del cemento pero es importante para el diseño y control de mezclas de concreto.

#### **Clasificación de los cementos Pórtland:**

- Cemento Pórtland tipo I: Es el destinado a obras de hormigón en general, en las que no se requiere propiedades especiales.
- Cemento Pórtland tipo IM: Alcanza resistencias superiores a las del tipo I.
- Cemento Pórtland tipo II: Es resistente a la acción moderada de sulfatos y el desprendimiento de calor es menor que en los normales.
- Cemento Pórtland tipo III: Alcanza alta resistencia inicial.

- Cemento Pórtland tipo IV: El desprendimiento de calor es bajo.
- Cemento Pórtland tipo V: Ofrece alta resistencia a la acción de sulfatos.
- Cemento Pórtland tipo blanco: Se elabora con materias primas seleccionadas que no contienen óxidos de hierro, por eso su coloración. Se usa para decoración.<sup>7</sup>

## 2.4 AGREGADOS

Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Pórtland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto.

Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Pórtland. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás componentes de las mezclas, especialmente con el cemento, sin embargo, existen algunos agregados cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica, tales como: las escorias de alto horno de las siderúrgicas, los materiales de origen volcánico en donde hay sílice activo, entre otros.

Pero hay algunos otros agregados, que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del concreto y su durabilidad, como por ejemplo, los que presentan elementos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellas que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

**2.4.1 Agregado grueso (Gravilla).** El agregado grueso es el material con mayor proporción en las mezclas de concreto, por lo tanto de este depende en gran parte la resistencia del concreto.

Para resistencias bajas y medianas, mientras mayor sea el tamaño del agregado, mayor es la eficiencia del cemento; se denomina eficiencia a la relación entre la resistencia del concreto y el contenido de cemento.

---

<sup>7</sup> Clasificación tomada de la Norma Técnica Colombiana NTC 30

Por otra parte, cuando se necesitan resistencias mayores a  $250 \text{ kg/cm}^2$  o  $25 \text{ MPa}$  se deben usar tamaños máximos menores para aumentar la eficiencia del cemento<sup>8</sup>.

Recibe el nombre de grava el agregado grueso de tamaño máximo mayor o igual a  $20 \text{ mm}$  y recibe el nombre de gravilla el agregado grueso de tamaño máximo menor a  $20 \text{ mm}$ .

La grava y la gravilla son resultantes de la desintegración natural y abrasión de las rocas o del procesamiento de conglomerados débilmente ligados.

### **Características de un buen agregado grueso:**

- La granulometría debe ser bien gradada, la ausencia de tamaños produce segregación.
- El tamaño máximo se debe adaptar a las condiciones de la estructura y de los elementos estructurales.
- El agregado no debe ser de forma plana ni alargada ya que este tipo de material no se acomoda de la mejor manera al momento de ser vaciado dejando cavidades que afectan la resistencia.
- La densidad debe estar entre  $2.3 - 2.9 \text{ gr/cm}^3$ ; en la medida que ésta aumente aumentará la resistencia.
- La absorción debe oscilar entre  $1\%$  y  $5\%$ . No deben contener arcillas ni partículas deleznales.
- El contenido de finos se debe limitar a un valor entre  $1\%$  y  $3\%$ . Para que haya una buena adherencia entre el agregado y el cemento.
- El desgaste en la máquina de los Ángeles debe ser menor del  $35\%$  para pavimentos rígidos y menor del  $40\%$  para estructuras.
- La sanidad o sea el ensayo de ataque de los sulfatos debe ser menor del  $12\%$  empleando sulfato de sodio y si se emplea sulfato de magnesio debe ser menor del  $18\%$ .

---

<sup>8</sup> GUTIERREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción. Bogotá; Universidad Nacional de Colombia, 1996.

**2.4.2 Agregado fino (Arena).** Se utiliza para llenar los vacíos en la mezcla de concreto, además actúa como lubricante para que los agregados gruesos rueden y se acomoden de la mejor manera.

La falta de arena produce mezclas ásperas y su exceso requiere de mayor cantidad de agua para lograr la fluidez necesaria<sup>9</sup>.

La arena es el agregado fino resultante de la desintegración natural y abrasión de las rocas o del procesamiento de conglomerados débilmente ligados<sup>10</sup>.

#### **Características de un buen agregado fino:**

- El agregado fino también debe ser bien gradado para que la mezcla se pueda compactar al máximo.
- La manejabilidad se ve afectada por los porcentajes que pasan los tamices # 50 y 100 por lo cual se recomienda que el porcentaje que pasa el tamiz # 50 esté entre el 10% y 30% y el que pasa el tamiz No 100 sea del 3% cuando se requieren superficies tersas.
- Para evitar segregación del material el módulo de finura de la arena debe estar entre 2.3 y 3.1.
- La presencia de materia orgánica interrumpe parcialmente el proceso de fraguado del cemento.

Clasificación de las arenas según el contenido de materia orgánica (ensayo clorimétrico)<sup>11</sup>.

**2.4.3 Obtención de los agregados naturales.** los agregados se pueden obtener generalmente de dos fuentes: de los ríos o de las canteras en estos sitios se hace una clasificación rudimentaria en el sitio de la explotación tratando de separar las rocas grandes y separando la grava de la arena.

También existen proveedores de estos materiales que hacen una clasificación más detallada; generalmente por trituración, lo cual facilita la producción en concreto ya que se puede pedir la granulometría deseada<sup>12</sup>.

---

<sup>9</sup> Ibíd

<sup>10</sup> CONCRETO SIMPLE, Ing. Gerardo A. Rivera L.

<sup>11</sup> GUTIERREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción. Bogotá; Universidad Nacional de Colombia, 1996.

<sup>12</sup> Ibíd

## 2.5 FIBRAS NATURALES

Históricamente, las fibras naturales vegetales o simplemente fibras naturales eran usadas empíricamente para reforzar varios materiales de construcción o bien para la producción de material textil. Sin embargo, es hasta años recientes que los científicos se han dedicado a estudiar el uso de este tipo de fibras como refuerzo en el concreto.

Las fibras naturales se pueden obtener a un bajo costo usando la mano de obra disponible en la localidad y la técnicas adecuadas para su obtención, estas fibras son llamadas generalmente fibras naturales no procesadas, sin embargo, las fibras naturales pueden ser procesadas química o mecánicamente para mejorar sus propiedades, estas fibras son generalmente de celulosa derivada de la madera.

Los países desarrollados utilizan estos procesos químicos o mecánicos para su aplicación industrial, desafortunadamente su alto costo impide que sean usados en los países pobres y en desarrollo, a tales fibras se les conoce como fibras naturales procesadas.

Las fibras naturales están disponibles razonablemente en grandes cantidades en muchos países y representan una fuente renovable continúa. A finales de los años sesenta, se llevó a cabo una evaluación sistemática de las propiedades de ingeniería de las fibras naturales y de los compuestos hechos de estas fibras con el cemento. Aunque los resultados fueron alentadores ya que se encontró que mejoraban la resistencia a flexión y al impacto del concreto, también se reportaron algunas deficiencias respecto a su capacidad de refuerzo a largo tiempo. Estas deficiencias al parecer son resultado del deterioro que sufre la fibra debido a la reacción con la pasta alcalina de cemento y al aumento del volumen de las fibras en presencia de la humedad.

Entre las fibras naturales provenientes del tallo se encuentra la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el bagazo es el residuo fibroso que se obtiene de la caña de azúcar después de la extracción del jugo, llega a crecer más de 6 metros de alto dependiendo de la especie y del área del cultivo, tiene un diámetro de alrededor de 60 mm. El cultivo generalmente se realiza en las regiones húmedas y subtropicales<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> Investigación de fibras naturales en México

**2.5.1 Bagazo de caña de azúcar.** La caña de azúcar crece en climas tropicales y subtropicales. El bagazo es el residuo fibroso que queda de la caña después de ser exprimida y de pasar por el proceso de extracción. Por lo general el bagazo se utiliza en los ingenios azucareros como combustible, sin embargo, para la industria papelera representa una de las materias primas más importantes. El bagazo, subproducto de la industria azucarera, conserva una posición única entre las fibras no leñosas consiste en que el costo de su recolección, la extracción de jugo y su limpieza, son cargo del ingenio azucarero.

La temporada de procesamiento de la caña dura usualmente de cuatro a seis meses, pero se extiende hasta nueve en Hawái, Perú, México. Puede reunirse y almacenarse una cantidad adecuada de bagazo durante la temporada, con el fin de lograr una operación continua en la fábrica de pulpa en tanto llega la caña.

**2.5.2. Propiedades físicas y químicas del bagazo.** El bagazo completo está integrado por tres componentes principales:

- El recubrimiento, en el que se incluye la epidermis, la corteza y el periciclo.
- Los mazos de fibra vascular, entre los que figuran las células conductoras de pared delgada asociadas con fibras de pared relativamente con estrecho lumen.
- El tejido básico (parénquima) o médula, con mazos de fibra distribuidos irregularmente.

La composición química de las diferentes fracciones de bagazo, incluyendo el bagazo entero, la fibra separada y la medula se indican en la Tabla 1<sup>14</sup>.

**Tabla 1. Composición química del bagazo de caña panelera**

	<b>Bagazo Integral (% en peso)</b>	<b>Fracción Fibra (% en peso)</b>
Celulosa	46.6	47.7
Hemicelulosas	25.2	25.0
Lignina	20.7	19.5
Cenizas	2.6	1.4

Las propiedades mecánicas de las fibras naturales deben ser adecuadas para ser consideradas como posible refuerzo en matrices de cemento. En los últimos 30 años los investigadores interesados en este tema realizaron un gran número de trabajos para obtener esta información. A continuación, se presenta en la tabla 2

<sup>14</sup>**Gálvez, L.O. (editor)** Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana, ICIDCA, 2000.

un resumen de las propiedades físico mecánicas de las fibras naturales de bagazo de caña usada como refuerzo del concreto.

**Tabla 2. Propiedades mecánicas típicas de la fibra de bagazo de caña**

Tipo de fibra	Longitud mm	Diámetro mm	Densidad Absoluta g/cm <sup>3</sup>	Módulo de Elasticidad Gpa	Resistencia Última a Tensión Mpa	Absorción de Agua %
Caña de azúcar	50-300	0.20-0.40	1.20-1.30	15-19	170-290	70-75

## 2.6 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

**2.6.1 Granulometría.** El procedimiento para realizar la granulometría de un material se debe hacer de acuerdo a la norma NTC 77.

La granulometría consiste en tomar una muestra representativa del material que se va a utilizar en la fabricación del concreto, la cual debe estar seca para que no se formen grumos del material. Antes de empezar el ensayo, se pesa, luego se hace pasar el material por unos tamices o mallas que están ordenados desde el de menor hasta el de mayor abertura en orden ascendente, con una relación de las aberturas de 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz, se pone la muestra en la pila de tamices y se empieza mover para que el material pueda bajar hasta el fondo. Se puede utilizar una tamizadora para los últimos ocho tamices ya que se dificulta hacer pasar el material manualmente, al terminar la tamizada se empieza a pesar el material retenido en cada tamiz y se lo anota en el respectivo formato el cual debe contener peso del material retenido, % del material retenido, % retenido acumulado y % que pasa. Este ensayo se hace tanto para la gravilla como para la arena. Ver formatos en los Anexos A y B.

**2.6.2 Curvas granulométricas.** Las curvas granulométricas son una representación gráfica de la distribución de tamices del material; la gráfica está compuesta del porcentaje que pasa en cada tamiz en las ordenadas (escala aritmética) y el tamaño de cada tamiz en las abscisas (en escala logarítmica). Esta gráfica nos ayuda a discernir rápidamente sobre la gradación de los tamaños que conforman el material.

Si la curva es uniforme o poco pendiente, indica que el material es bien gradado es decir contiene todos los tamaños.

Si la curva es vertical o muy pendiente, indica que el material es mal gradado es decir que faltan algunos tamaños en el material. Ver curvas granulométricas en el anexo B. No 1 y 2.

**2.6.3 Tamaño máximo.** El tamaño máximo está definido como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra, indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

**2.6.4 Módulo de finura.** Este módulo permite clasificar a la arena ya que estima el grosor o finura de un material, generalmente arenas. Se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los % retenidos acumulados en los siguientes tamices: Numero 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8", 3/4", 1 1/2".

Las arenas se pueden clasificar en:

Arenas finas: módulo de finura 0.5 – 1.5  
Arenas medias: módulo de finura 1.5 – 2.5  
Arenas gruesas: módulo de finura 2.5 – 3.5

Cuando la arena está mezclada con grava se obtienen módulos de finura mayores, por tal razón, se clasifican en:

Arenas finas: módulo de finura 2.2 – 2.6  
Arenas medias: módulo de finura 2.6 – 2.9  
Arenas gruesas: módulo de finura > 2.9

Clasificación tomada de: GUTIERREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, 1996

**2.6.5 Porcentaje de finos.** Se define como porcentaje de finos, el porcentaje (%) que pasa el tamiz No. 200 (0.074mm).

**2.6.6 Textura.** Esta propiedad se deriva indirectamente de la roca madre y es responsable de la adherencia del agregado con el cementante y de la fluidez de la mezcla de concreto.

Según la textura se puede decir que un material es liso o áspero, cuando el material proviene de río es liso debido a la abrasión que se produce cuando el material es arrastrado por el agua. Pero cuando el material es triturado es áspero ya que las rocas son fracturadas y divididas en rocas más pequeñas con una rugosidad superficial<sup>15</sup>.

**2.6.7 Densidad aparente.** La densidad aparente se determina de acuerdo a la norma NTC 237 para el agregado grueso y para el agregado fino de acuerdo a la norma NTC 176.

---

<sup>15</sup>Ibíd



Es la relación que existe entre el peso y el volumen de las partículas de ese material incluido todos los poros, saturables y no saturables. Se conoce también como peso específico seco.

$$Densidad\ aparente = \frac{P_s}{V_m} \quad (1)$$

Donde:  $P_s$ : peso seco de la masa  
 $V_m$ : volumen ocupado por la masa.

Esta densidad, es importante ya que con ella se determina el peso del agregado grueso, valor requerido para un volumen unitario de concreto, el cual representa las condiciones de mezclado donde los agregados están saturados pero también superficialmente secos.

La densidad aparente puede estar entre 2.2 y 2.8 gr/cm<sup>3</sup>.

**2.6.8 Absorción.** Para determinar la absorción se utiliza la norma NTC 237 y 176.

La absorción está relacionada con la porosidad del material y se puede decir que es la capacidad de los materiales para almacenar agua y se presentan cuatro casos:

- Cuando el material tiene en su interior el agua de constitución; este estado se logra cuando el material ha sido secado al horno 24 horas a una temperatura de 110°C o hasta que tenga peso constante.
- Cuando el material tiene cierta humedad es decir tiene agua absorbida y puede ser la humedad natural.
- Cuando el material está totalmente saturado o sea todos sus poros están llenos de agua pero esta superficialmente seco.
- Cuando el material está totalmente saturado pero además contiene agua libre en su superficie que es fácil de detectar porque la superficie del material esta brillante.

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{P_{ss} - P_s}{P_s} * 100 \quad (2)$$

Donde:  $P_{ss}$ : peso saturado y superficialmente seco  
 $P_s$ : peso seco

**2.6.9 Masa unitaria.** Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente del volumen conocido. Este valor depende del acomodo de las partículas en el recipiente por tal razón de su granulometría.

Existen dos clases de masa unitaria:

- Masa unitaria compactada: Se denomina compactada ya que la muestra es compactada con una varilla en el recipiente que la contiene. La masa unitaria compactada es la división del peso del material compactado y el volumen del recipiente que lo contiene. Se debe determinar según la norma NTC 92.
- Masa unitaria suelta: es el peso del agregado suelto dividido entre el volumen que ocupa<sup>16</sup>.

Estos valores se deben tener en cuenta ya que el volumen en banco esta compactado pero cuando es transportado está en estado suelto por tal razón ocupará mucho más volumen. Se debe determinar según la norma NTC 92.

## 2.7 PROPIEDADES MECÁNICAS

**2.7.1 Resistencia.** La resistencia de los agregados está estrechamente relacionada con la resistencia del concreto hidráulico así como con la composición mineralógica de las rocas que conforman el material pero también depende del proceso de explotación y trituración ya que procedimientos inadecuados en la trituración inducen fallas previas en las partículas.

**2.7.2 Tenacidad.** La tenacidad es la resistencia que ofrecen las partículas al impacto, es importante porque cuando las partículas no resisten impacto se puede modificar su granulometría por lo tanto la calidad del concreto<sup>17</sup>.

**2.7.3 Adherencia.** La adherencia depende de la textura, forma, y tamaño de las partículas y es una característica importante porque de esta depende que los agregados se aglomeren con el cementante para así poder obtener concretos resistentes y durables.

**2.7.4 Desgaste.** Se define como la resistencia a la abrasión o roce. Por ejemplo los pavimentos rígidos requieren que sus agregados resistan la abrasión existente entre las llantas y la superficie del pavimento.

---

<sup>16</sup>Ibíd

<sup>17</sup>Ibíd

Esta propiedad se determina con el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles y está regido por la norma NTC 90 y 98.

## 2.8 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

**2.8.1 Manejabilidad o trabajabilidad.** Claramente un concreto correctamente diseñado debe permitir ser colocado y compactado apropiadamente con el equipamiento disponible. El acabado que permite el concreto debe ser requerido y la segregación y sangrado deben ser minimizados. Como regla general el concreto debe ser suministrado con la trabajabilidad mínima que permita una adecuada colocación. La cantidad de agua requerida por trabajabilidad dependerá principalmente de las características de los agregados en lugar de las características del cemento. Cuando la trabajabilidad debe ser mejorada, el rediseño de la mezcla debe consistir en incrementar la cantidad de mortero en lugar de incrementar simplemente el agua y los finos (cemento). Debido a esto es esencial una cooperación entre el diseñador y el constructor para asegurar una buena mezcla de concreto. En algunos casos una menos mezcla económica podría ser la mejor solución. Y se deben prestar oídos sordos al frecuente pedido, en obra, de “más agua”<sup>18</sup>.

Factores que influyen en la manejabilidad:

- Contenido de agua en la mezcla.
- Las proporciones de cemento y agua en la pasta.
- Contenido de aire, porque las burbujas de este actúan como balineras de los agregados permitiendo su movilidad, por lo tanto, el acomodamiento de partículas.
- Buena gradación de los agregados.
- Partículas planas y alargadas afectan la manejabilidad.
- Bajo contenido de arena en proporción a la grava, disminuye la trabajabilidad; si este contenido es muy alto hay necesidad de añadir agua o pasta para que la mezcla sea manejable presentándose exudación o segregación.
- Segregación: separación de los materiales que constituyen la mezcla de concreto, debido a la diferencia en tamaño de las partículas y la mala distribución granulométrica.

---

<sup>18</sup>Albanto Castillo, Flavio. Tecnología del Concreto. Editorial San Marcos. Lima - Perú

- Exudación: consiste en el ascenso de parte del agua de mezclado a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado.

**2.8.2 Medida de la manejabilidad.** La manejabilidad se mide con el ensayo de asentamiento el cual sirve para determinar la consistencia o fluidez de una mezcla fresca.

Para el ensayo se utiliza una formaleta metálica en forma de cono en la cual se vacía la mezcla de concreto en tres capas iguales de 25 golpes por cada capa con varilla de 5/8 de pulgada de diámetro, de punta redondeada.

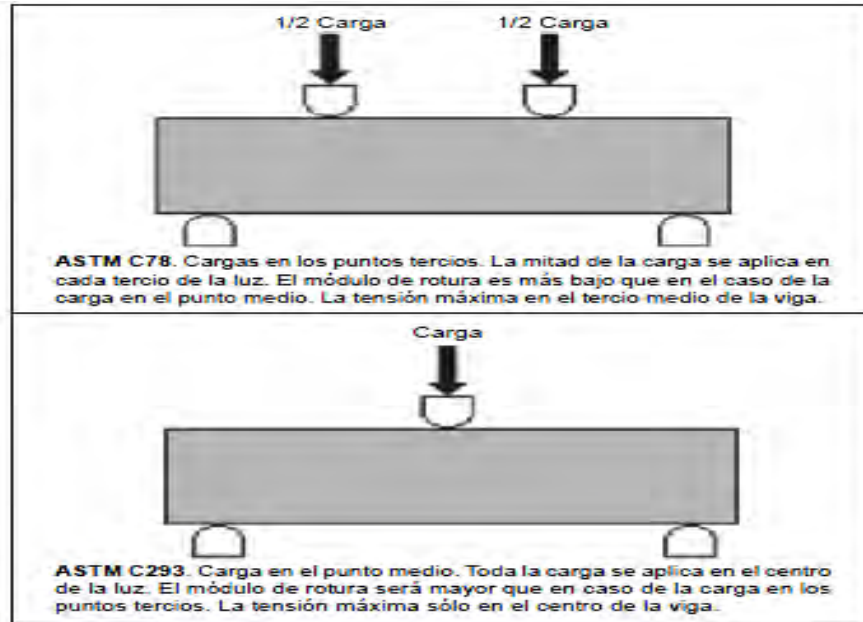
**2.8.3 Ensayo a flexión.** La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada.

Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor (18 pulgadas).

La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (Mpa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).

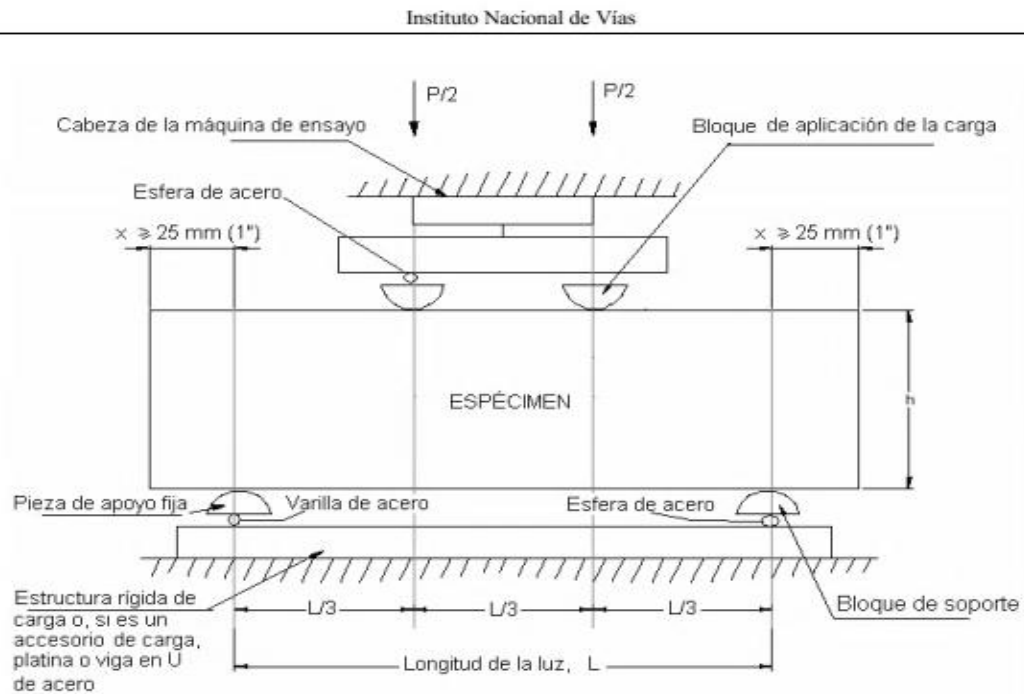
El módulo de rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla. El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%, estos montajes se los puede observar en el grafico 1.

## GRAFICO 1 Aplicación de las cargas según la ASTM



**2.8.4 Deducción del módulo de rotura (MR).** Montaje y medidas adecuadas para realizar el ensayo a flexión en los tercios de la luz, ver figura 1.

**Figura 1. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz<sup>19</sup>**



### Cálculos

Si la fractura se inicia en la zona de tensión, dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calcula como se observa en la Ecuación 1.

$$R = \frac{Pl}{bd^2} \text{ Ecuación 1}$$

donde:

R = módulo de rotura KPa (psi).

p = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo N(lbf).

l = longitud libre entre apoyos mm (pulg),

d = altura promedio de la muestra mm (pulg), incluyendo el espesor refrentado si corresponde.

<sup>19</sup> I.N.V.E – 414 -07, RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ

b = ancho promedio de la muestra mm (pulg) incluyendo el espesor refrentado si corresponde.

Si la fractura ocurre en la zona de tensión, fuera del tercio medio de la luz libre, a una distancia no mayor del 5% de la luz libre, se calcula el módulo de rotura como se observa en la Ecuación 2.

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \text{ Ecuación 2}$$

dónde :

a = distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano, medida sobre la zona de tensión de la viga, mm

Si la fractura ocurre en la zona de tensión y fuera del tercio medio de la luz libre en más del 5% de la luz libre, no se deberá tener en cuenta los resultados del ensayo.<sup>20</sup>

El módulo de rotura esta cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión. El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones hasta en un 15%.

El ensayo de resistencia a flexión es útil para los diseñadores de pavimentos cuando utilizan una teoría basada en la resistencia a flexión. Por tal razón se puede utilizar para el control de campo y de aceptación de los pavimentos.

En el concreto reforzado, conformado por concreto simple y refuerzo metálico consistente en barras de acero o mallas electro soldadas para absorber los refuerzos que el concreto por su propia condición no lo puede hacer, entendiéndose la compatibilidad de los dos materiales para que en conjunto trabajen a tracción, compresión, cortante y torsión, dando de esta manera seguridad y calidad a cualquier estructura. Por eso es de vital importancia identificar y cuantificar todos los refuerzos a los cuales se somete una estructura.

En el diseño de elementos estructurales es muy importante determinar la magnitud de las deflexiones inmediatas, aquellas que ocurren inmediatamente después de la aplicación de las cargas; para el efecto se deben determinar con métodos o fórmulas corrientes de la teoría elástica considerando los efectos que tiene la fisuración y el esfuerzo sobre la rigidez de la viga.

Para una viga simplemente apoyada en sus extremos, construida en concreto reforzado, con una resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) en Mpa, módulo de rotura ( $fr$ )

---

<sup>20</sup>Ibíd

en Mpa, y con una carga flexionante cualquiera actuando sobre ella, se calcula para esta, las deflexiones inmediatas causadas por la carga viva y deflexiones a largo plazo causadas por la retracción del fraguado y el flujo plástico.

Para la determinación de tales deflexiones se requiere de diversas variables, pero entre otras, una muy importante, es el denominada módulo de rotura:  $f_r$ , parámetro que se estableció en el presente trabajo y que para su determinación se ensayaron vigas a flexión, empleando mezclas que contienen agregados inertes de una determinada fuente de la región.

**2.8.5 Resistencia a la compresión.** Las mezclas de concreto (Hormigón) se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura.

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión.

La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) en unidades corrientes utilizadas en EEUU o en mega pascales (MPa) en unidades SI. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 2.500 psi (17 MPa) para concreto residencial hasta 4.000 psi (28 MPa) y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 10.000 psi (70 MPa) y más<sup>21</sup>.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua/cemento y la edad, o el grado en que haya progresado la hidratación.

Los ensayos de resistencia a la compresión se utilizan para:

- Ensayo de aceptación para una resistencia especificada.
- Verificar las proporciones de mezcla diseñada para una resistencia especificada.
- Ejercer el control de calidad.
- Determinar el tiempo en el cual la estructura se puede poner en servicio.
- Evaluar la suficiencia del curado y la protección del concreto en la estructura.
- Programar la remoción de formaletas y apuntalamientos.

---

<sup>21</sup> El concreto en la obra, PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES, Editado por el Instituto Mexicano del concreto



Para determinar la resistencia en kg/cm<sup>2</sup> se utiliza la Ecuación 3

$$f'c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$  = carga máxima en el ensayo

$A$  = área transversal del cilindro de concreto.

## 2.9 CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Para los cilindros se procede por medio del capítulo C5 numeral C.5.6.2.3 literal (b) de la NSR10, donde se expresa: “ningún resultado individual de los ensayos de resistencia (un ensayo es el promedio de la resistencia de dos o más cilindros) tenga una resistencia inferior en 3.5 MPa, o más a  $f'c$ .

Para las vigas se tiene en cuenta el documento de la NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA). 1988 disponible en la página web [www.nrmca.org](http://www.nrmca.org). En este artículo se dice que la desviación típica para módulos de rotura de hasta 5.5 MPa está entre 0.3 – 0.6 MPa y valores para la desviación por encima de 0.7MPa pueden indicar problemas en los ensayos. Entonces el criterio es que ninguno de los módulos de rotura de las vigas tuviera una diferencia mayor a 0.7MPa con respecto a las demás.

### 3. DISEÑO DE LA MEZCLA

Para el trabajo realizado se utilizó el método gráfico de las granulometrías, con este método se busca obtener la mejor relación de grava y arena que proporcione la masa unitaria máxima, el método consiste en graficar las granulometrías tanto de la grava o gravilla como de la arena en una malla

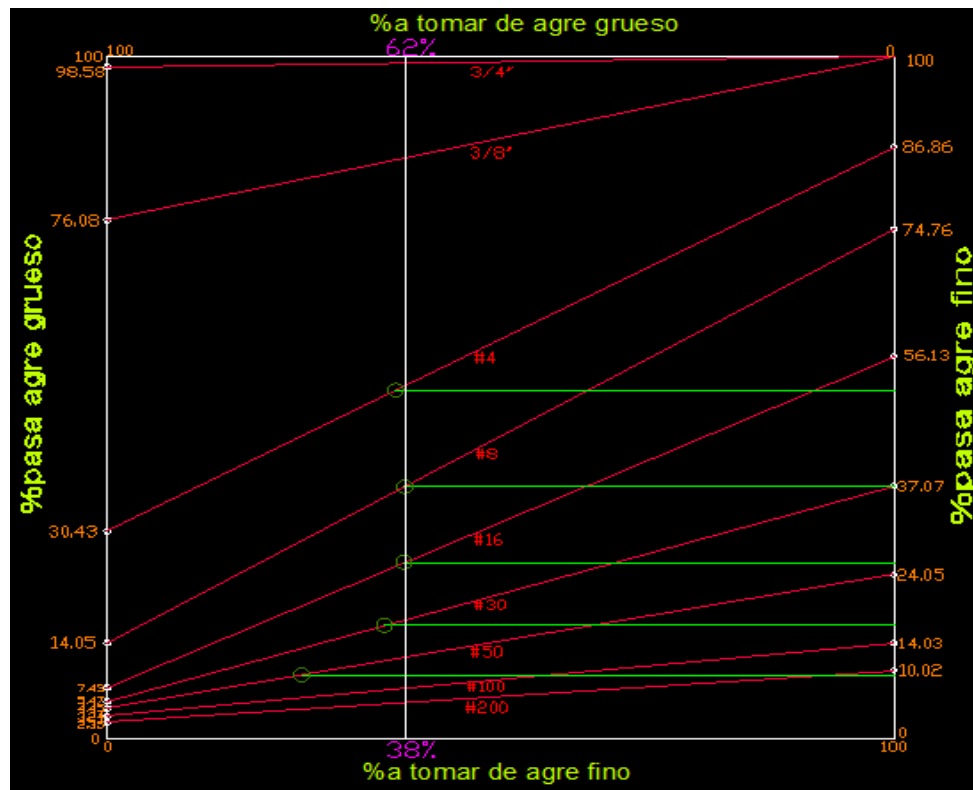
A continuación se puede observar la gráfica. la cual se ha enumerado de 0 a 100, la parte derecha para la arena y la izquierda para la grava, esta determinación pertenece al porcentaje que pasa por cada determinado tamiz; entonces se realizó el siguiente procedimiento: se empezó a marcar los puntos del valor del porcentaje pasa, tanto para el agregado grueso a la izquierda, como para el agregado fino a la derecha de la gráfica, para explicar mejor el procedimiento se tomaron valores reales; cuando el porcentaje pasa, para el tamiz número 4 del agregado grueso es 30.43, el porcentaje pasa del agregado fino para el tamiz número 4 es de 86.86, entonces lo que se hizo es unir estos dos puntos a través de una línea diagonal roja como se observó en la gráfica 1, el mismo procedimiento se repitió para todos los valores de los diferentes tamices trazando las diferentes diagonales correspondientes para cada valor.

Posteriormente a este proceso se continuó ubicando los valores de Weymouth para un tamaño máximo, en este caso, de 1 pulgada, como lo indica la tabla 3, después de ubicado este valor para el caso 51.1, se traza una línea horizontal verde hasta donde se cruce con la línea roja del tamiz número 4 escogido anteriormente, y se subraya este punto; el mismo proceso se lo repite para los distintos valores de los diferentes tamices y una vez se hayan encontrado todos los puntos de intersección de las líneas horizontales con las diagonales se trazó una línea vertical blanca por donde estén agrupados la mayoría de los puntos determinando de esta manera los porcentajes de material a trabajar, en este caso se encontró como resultado un 62% para el agregado grueso y un 38% para el agregado fino como se puede observar en el gráfico 2.

**Tabla 3. % pasa de agregado fino, grueso y valores ideales de Weymouth para TM 1''**

TAMIZ PULG	TAMIZ MM	% PASA Ag Grueso	% PASA Ag Fino	Weymouth % pasa para TM 1''
1"	25,40	100,0	100,00	100
3/4	19,00	98,6	100,00	89,8
3/8	9,50	76,1	100,00	68,2
#4	4,75	30,4	86,86	51,1
#8	2,36	14,0	74,76	37
#16	1,10	7,4	56,13	25,8
#30	0,60	5,5	37,07	16,6
#50	0,30	4,4	24,05	9,3
#100	0,15	3,2	14,03	3,1
#200	0,075	2,3	10,02	
P200	0,01	0,0	0,00	

**GRAFICO 2. Malla De Weymmouth**



**Cemento:**

- Peso específico (Gc): durante toda la investigación se utilizó cemento CEMEX uso general tipo 1

Peso específico del cemento Gc: 3.01 g/cm<sup>3</sup>

**Agua:**

- Densidad del agua(Ga):se asume como 1000 kg/m<sup>3</sup>

**Agregados:**

- Densidad aparente de los agregados(G)
- Absorción(%ABS)
- Humedad de los materiales antes de realizar las mezclas (Wn)
- Masas unitarias sueltas (MUS)

A continuación, se puede observar una matriz de resultados de todos los ensayos que se realizaron para la caracterización de los diferentes materiales, ver Tabla 4.

**Tabla 4. Ensayos para la caracterización del material**

<b>Ensayos para el agregado grueso</b>	<b>Resultados</b>
Determinación del contenido de agua (humedad) en %	1,60
Granulometría resultado obtenido en % de la curva de WEYMOUTH	62
Determinación de la gravedad especifica o densidad aparente en gr/cm <sup>2</sup>	2,58
Determinación de la absorción en %	2,55
Determinación del peso unitario suelto en kg/dm <sup>2</sup>	1,43
Determinación del peso compactado en kg/dm <sup>2</sup>	1,57
Determinación del índice de alargamiento en %	26
Determinación del índice de aplanamiento en %	23
Determinación del porcentaje de caras fracturadas en %	90,9
<b>Ensayos para el agregado fino</b>	
determinación del contenido de agua (humedad) en %	19,16
Granulometría resultado obtenido en % de la curva de WEYMOUTH	38
Determinación de la gravedad especifica o densidad aparente en gr/cm <sup>2</sup>	2,7
Determinación de la absorción en %	1,4
<b>Datos para el cemento</b>	
Peso específico en gr/cm <sup>2</sup> entre	( 2,90 y 3,15)
Masa unitaria suelta en gr/cm <sup>2</sup>	1,25
<b>Datos para el agua</b>	
Peso específico en gr/cm <sup>2</sup>	1
Masa unitaria suelta en gr/cm <sup>2</sup>	1

Para obtener las proporciones de la mezcla con el fin de que cumpla con las características deseadas; con los materiales disponibles, se preparó una mezcla de prueba que dará como resultado unas proporciones iniciales que se determinan siguiendo el orden que a continuación se indica.

### 3.1 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

El asentamiento escogido fue de 7.5 cm que corresponde a una consistencia media plástica. Ver Tabla 5.

**Tabla 5. Asentamientos recomendados para diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.**

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO MM.	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN.	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN.
MUY SECA	0.0 – 20	prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación	con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados )	secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión
SECA	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con terminadora vibratoria.	secciones sujetas a vibración intensa
SEMISECA	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas.	colocación con maquinas operadas manualmente	secciones simplemente reforzadas con vibración
MEDIA (PLÁSTICA)	50-100	pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones	colocación manual	secciones simplemente reforzadas con vibración
HUMEDA	100-150	elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo	secciones bastante reforzadas con vibración
MUY HUMEDA	150-200	elementos esbeltos, pilotes fundidos " in situ "	tubo-embudo-tremie	secciones altamente reforzadas con vibración
SUPER FLUIDA	mas de 200	elementos muy esbeltos	Autonivelante, autocompactante.	secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse



### 3.2 CHEQUEO DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

Este se realiza con los planos estructurales o con las recomendaciones del calculista, para el trabajo de investigación se tiene en cuenta la granulometría del agregado grueso, por consiguiente este es determinado como el número de tamiz inmediatamente superior al tamiz donde se retiene el 15% o más del material ensayado en este caso este valor fue de 1/2 "(ver Tabla 6).

**Tabla 6. Granulometria y determinación del TMN**

# DE TAMIZ EN PULGADAS	# DEL TAMIZ EN CMS	%RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1"	25,4	-	-	100,0
3/4	19,0	1,4	1,4	98,6
1/2	12,7	7,5	8,9	91,1
3/8	9,5	15,0	23,9	76,1
1/4	6,4	29,5	53,5	46,5
#4	4,8	16,1	69,6	30,4
#8	2,4	16,4	86,0	14,0
#16	1,1	6,6	92,6	7,4
#30	0,6	2,0	94,5	5,5
#50	0,3	1,0	95,6	4,4
#100	0,2	1,2	96,8	3,2
#200	0,1	0,9	97,7	2,3
P200	0,0	2,3	100,0	-
		9.225,0		

### 3.3 CANTIDAD DE AGUA RECOMENDADA

La cantidad de agua recomendada en kg por metro cubico de concreto para un tamaño máximo nominal de ½" 13mm y asentamiento de 7.5 cm, según la tabla 7 es de 210 kg/m<sup>3</sup> de concreto y 2.5% contenido de aire.

**Tabla 7. Estimación de agua de mezcla**

<b>Concreto sin aire incluido</b>							
	<b>Tamaños máximos nominales en mm.</b>						
<b>Asentamiento cms.</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>75</b>
0 a 2,5	185	180	165	160	140	135	125
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
<b>5,5 a 7,5</b>	215	<b>210</b>	190	185	170	165	155
8 a 10	225	215	200	195	175	170	165
10,5 a 15	235	225	205	200	180	175	170
15,5 a 18	240	230	210	205	185	180	175
<b>% contenido de aire</b>	3	<b>2,5</b>	2	105	1	0,5	0,3

### 3.4 RESISTENCIA DE DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA (F'CR)

Para la realización del trabajo se partió con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> pero en este caso era muy complicado realizar varias caracterizaciones del material para obtener un coeficiente de variación confiable por lo que se determina este valor como lo indica la tabla 8.

**Tabla 8. Coeficiente de variación y grado de uniformidad que puede esperarse en el concreto, bajo diferentes condiciones de producción**

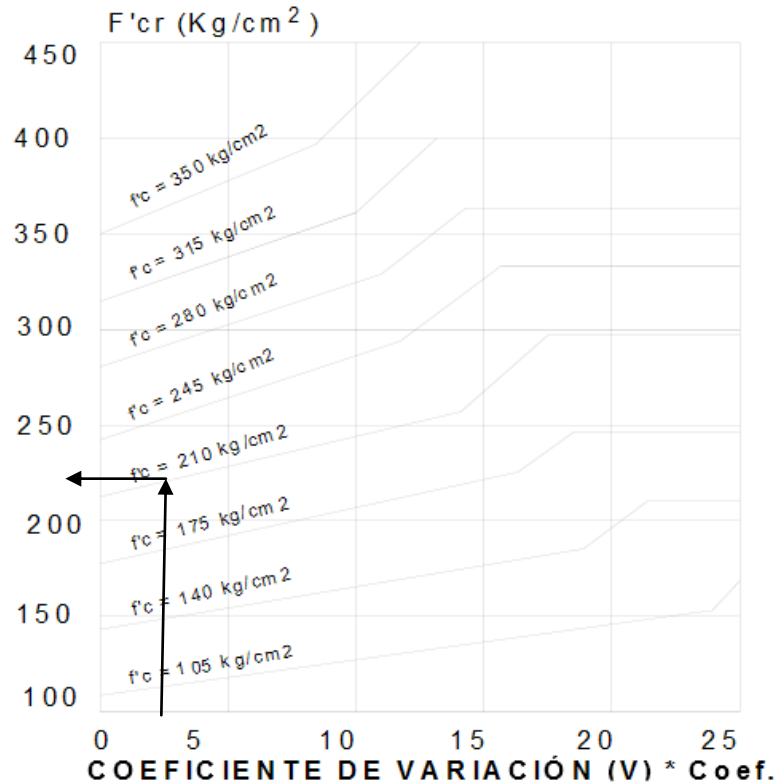
Coeficiente de variación de las resistencias, en porcentaje.	Calificación del grado de uniformidad del concreto.	Condiciones frecuentes en que se obtiene.
0-5	excelente	Condiciones de laboratorio
5-10	Muy bueno	Preciso control de los materiales y dosificación por peso.
10-15	Bueno	Buen control de los materiales y dosificación por peso.
15-20	Mediano	Algún control de los materiales y dosificaciones por peso.
20-25	Malo	Algún control de los materiales y dosificación por volumen.
>25	Muy malo	Ningún control de los materiales y dosificación por volumen.

El valor escogido como coeficiente de variación fue de 5 valor superior entre 0 y 5 que cumple con un grado excelente de uniformidad del concreto, las condiciones se eligieron basándose en los diferentes ensayos estipulados en la norma I.N.V.E, que se realizaron en el laboratorio para la caracterización de los materiales y posterior diseño de mezcla. Ver tabla 4

Además, lo anterior puede garantizar que el valor de resistencia del diseño pueda estar con mayor seguridad por encima de los 210 kg/cm<sup>2</sup> que es el valor con el que se arranca el diseño de mezcla y con el que se pretende, esté por encima para realizar el trabajo.

Después de obtener el coeficiente de variación 5, se encontró el valor de f'cr subiéndolo verticalmente con una línea hasta donde se cruza con la curva de f'c de 210kg/cm<sup>2</sup>, en este punto se trazó una línea horizontal obteniendo un valor f'cr de 225 en (kg/cm<sup>2</sup>) como se indica en el Grafico 3.

**GRAFICO 3. Resistencia promedio de diseño ( $f'_{cr}$ ) para diferentes valores de ( $f'_c$ ) y  $v$**



De otra forma esta resistencia promedio requerida a la compresión cuando no hay datos que permitan obtener la desviación estándar, se la puede determinar como lo muestra la Tabla 9.

**Tabla 9. Resistencia promedio requerida a la compresión cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar**

Resistencia especificada a la compresión $f'_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Resistencia promedio requerida a la compresión $f'_{cr}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
menos de 210 ( $\text{kg/cm}^2$ )	$f'_c + 70$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
De 210 a 350 ( $\text{kg/cm}^2$ )	$f'_c + 85$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
Más de 350 ( $\text{kg/cm}^2$ )	$f'_c + 100$ ( $\text{kg/cm}^2$ )

Al principio se toma el valor de 210 a 350 ( $\text{kg/cm}^2$ ) ósea  $f'_c + 85$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) como lo indica la Tabla 9, pero, el problema que se pudo determinar es que el rango de resistencia era muy amplio y las resistencias encontradas muy altas que para este

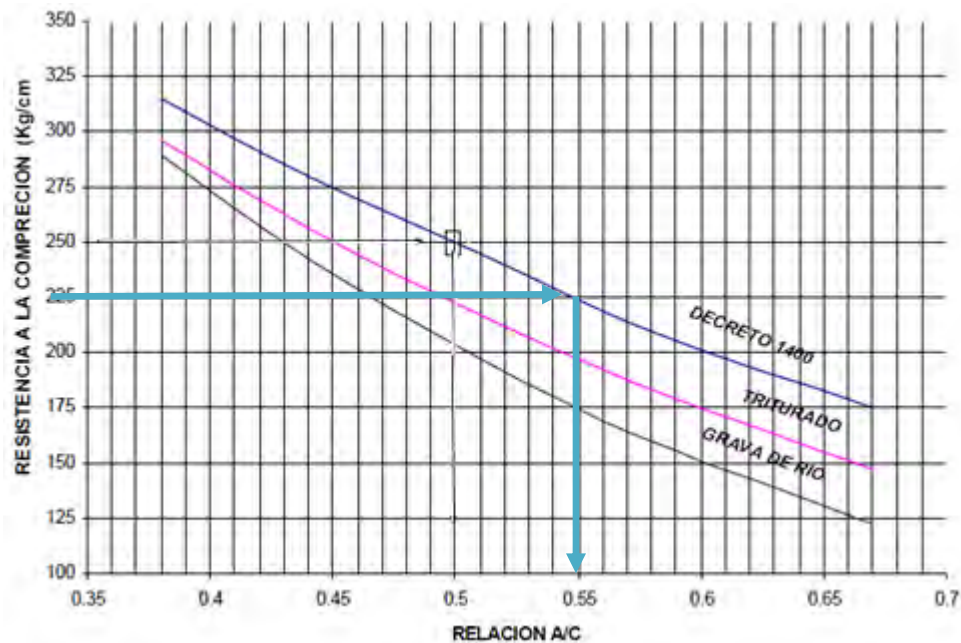


trabajo no eran importantes, además el consumo de cemento por metro cubico era muy alto lo que garantiza mezclas de concreto resistentes pero costosas. Debido a lo anterior se opta por tomar el valor de resistencia  $f'_{cr}$  de 225(kg/cm<sup>2</sup>) como lo indica la Grafica 3.

### 3.5 SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

Se supone que el comportamiento es similar a los valores de resistencia a la compresión vs relación a/c recomendados por el decreto 1400 (Cccsr); y para un valor de resistencia a la compresión de 225 kg/cm<sup>2</sup>, se obtiene un valor de relación a/c igual a 0.55 como lo indica el Grafico 4.

**GRAFICO 4. Resistencia a la compresión vs A/C.**



### 3.5 CALCULO DE CONTENIDO DE CEMENTO

$$C = \frac{A}{\frac{A}{C}} = \frac{210}{0.55} = 381.81 \text{ kg/m}^3 \text{ de concreto.}$$

### 3.6 AGREGADOS.

$$\text{Vol. abs. agregados} + \text{vol. abs. agua} + \text{vol. abs. cemento} = 1000 \text{ dm}^3$$

$$\text{Vol. abs. agregados} = 1000 \frac{210}{1} - \frac{381.81}{3.01} = 663.15 \text{ dm}^3.$$

$$G \text{ promedio} = \frac{100}{\sum \frac{\%i}{G_i}} = \frac{100}{\frac{38}{2.7} + \frac{62}{2.58}} = 2.62 \text{ kg/dm}^3.$$

Peso de los agregados =  $663.15 \cdot 2.62 = 1740.319 \text{ kg/m}^3$  de concreto

Peso del agregado fino =  $1740.319 \cdot 0.38 = 661.32 \text{ kg/m}^3$  de concreto

Peso del agregado grueso =  $1740.319 \cdot 0.62 = 1079.0 \text{ kg/m}^3$  de concreto

### 3.7 PROPORCIONES INICIALES EN PESO

Proporciones iniciales en peso (peso seco de agregados).

*Vol. absoluto material = peso mat. / Densidad o peso específico.*

**Tabla 10. Datos de diseño de mezcla**

<b>MATERIAL</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>SUMATORIA</b>
<i>Peso Material (kg/m<sup>3</sup> de concreto)</i>	210	381,82	661,32	1079,00	2.332,14
<i>Vol. Abs. Materiales (dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de concreto)</i>	210	126,85	244,93	418,22	1.000,00
<i>Proporción en Peso Seco</i>	0,55	1	1,73	2,83	

Proporciones iniciales en peso seco:

0.55: 1: 1.73: 2.83.

### 3.8 PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA

Para la primera prueba se preparó mezcla para 1 slump, para 2 cilindros y para 2 vigas, ver Tabla 11.

**Tabla 11. Volumen de concreto a preparar**

<b>Mezcla de Prueba: Volumen de Concreto a Preparar</b>				
<b>Elemento</b>	<b>No.</b>	<b>Vol. Recipiente</b>	<b>Vol. Concreto a preparar</b>	<b>Unidad</b>
SLUMP	1	0,0055	0,0055	m <sup>3</sup>
CILINDRO	2	0,0053	0,0106	m <sup>3</sup>
VIGAS	2	0,002816	0,005632	m <sup>3</sup>
	<i>Total Parcial:</i>		0,021732	m <sup>3</sup>
	<i>Desperdicio 10%:</i>		0,0021732	m <sup>3</sup>
	<i>Vol. de Concreto a preparar:</i>		0,0239052	m <sup>3</sup>
<i>Cantidad de Cemento para la primera mezcla de prueba C1 en kg</i>				9,13

Para determinar la cantidad de cemento de la primera mezcla de prueba se hizo lo siguiente:

$C1 = \text{vol. concreto a preparar} * \text{contenido de cemento}$

$C1 = 0.0239052 \text{ m}^3 * 381.81 \text{ kg/m}^3 = 9.13\text{kg.}$

Humedades de los materiales (antes de preparar la mezcla).

Agregado fino: (wnf) = 20.34 %                      % abs = 1.4%

Agregado grueso: (wng) = 1.2%                      % abs = 2.55%

**Tabla 12. Corrección por humedad de los materiales**

<b>Material(1)</b>	<b>Proporciones Iniciales (2)</b>	<b>Peso Seco (Kg)(3)</b>	<b>Peso Húmedo (kg)(4)</b>	<b>Agua Agreg. (kg)(5)</b>	<b>Absorción (kg)(6)</b>	<b>Agua Libre (kg)(7)</b>	<b>Aporte (kg)(8)</b>
Agua	0,55	5,02	0	0	0	0	0
Cemento	1	9,13	0	0	0	0	0
Agregado Fino	1,73	15,81	19,02	3,22	0,22	2,99	
Agregado Grueso	2,83	25,79	26,10	0,31	0,66	-0,35	
Agregado. Grava.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,64

- $\text{Peso seco de materiales} = \text{prop iníciales} * \text{peso del cemento}; (3) = (2)*(C1)$
- $\text{Peso húmedo de los materiales} = \text{peso seco}*(100+wn)/100; (4) = (3)*(100+wn)/100$
- $\text{Agua en los agregados} = \text{peso hum del mal} - \text{peso seco del mat}; (5) = (4)-(3)$
- $\text{Absorción} = \text{peso seco} * \% \text{abs}/100; (6) = (3) * \% \text{abs}/100$
- $\text{Agua libre} = \text{agua en los agregados} - \text{absorción}; (7) = (5)-(6)$
- $\text{Aporte} = \sum \text{agua libre}; (8) = \sum (7)$
- $\text{Agua de mezcla (teórica)} = \text{agua calculada} - \text{el aporte}; = 5.02-(2.64) = 2.38\text{kg}$
- Enseguida se muestra en la Tabla 13. Las proporciones para la primera mezcla de prueba.

**Tabla 13.3 Proporciones de la primera mezcla de prueba**

<b>Agua de Mezcla Teórica :</b>	<b>2,38</b>	<b>kg</b>
Cemento:	9,13	kg
Agregado Fino:	19,02	kg
Agregado Grueso:	26,10	kg

Al preparar la primera mezcla de prueba se observa que para obtener el asentamiento escogido entre 5 y 10 cm hubo la necesidad de adicionar 2.4 l de agua obteniendo como resultado un asentamiento de 5.5 cm.

Agua = agua de mezcla real + aporte.

Agua = 2.4 + (2.64) =5.04kg

(a/c) utilizada =  $\frac{\text{agua}}{\text{cemento}} = \frac{5.04}{9.13} = 0.55$ .

(A/C) utilizada = (A/C) escogida entonces no es necesario hacer ajuste por asentamiento.

Sin embargo, a continuación se presenta el procedimiento que debe llevarse a cabo para hacer el ajuste por asentamiento, ver Tablas 14-18, ahí se puede observar que cuando la relación A/C utilizada es igual a la relación A/C escogida, las proporciones en kilogramos de los materiales mostradas en la tabla 18 son muy similares a las iniciales indicadas en la Tabla 13, razón por la cual en este caso no fue necesario tener en cuenta estos resultados para el diseño.

**Tabla 14. Ajuste por asentamiento**

<b>MATERIAL</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AG. FINO</b>	<b>AG. GRUESO</b>	<b>SUMATORIA</b>
Proporción Utilizada	0,55	1	1,73	2,83	
Peso Material (kg)	0,55	1	1,73	2,83	
Vol. Abs. Material (dm3)	0,55	0,332	0,641	1,095	2,622

**Tabla 15. Mezcla preparada por m<sup>3</sup> de concreto**

<b>MEZCLA PREPARADA</b>					
<b>MATERIAL</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AG. FINO</b>	<b>AG. GRUESO</b>	<b>SUMATORIA</b>
Proporción en peso seco	0,55	1	1,73	2,83	
Peso Mat. (Kg/m3 concre.)	210,8	381,4	660,7	1077,9	2330,8
Vol. Abs. Mat. (Dm3/m3 concr.)	210,8	126,7	244,7	417,8	1000

**Tabla 16. Proporciones ajustadas**

<b>AJUSTE</b>					
<b>MATERIAL</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AG. FINO</b>	<b>AG. GRUESO</b>	<b>SUMATORIA</b>
Vol. Abs. Mat. (Dm3/m3 concr.)	210,8	127,3	244,1	417,8	1000
Peso Mat. (Kg/m3 concre.)	210,8	383,2	659,1	1077,9	2331
Proporción en Peso Seco	0,55	1,0	1,72	2,81	6

**Tabla 17. Segunda corrección por humedad**

<b>Material</b>	<b>Proporci.</b>	<b>Peso Seco (Kg)</b>	<b>Peso Húm. (kg)</b>	<b>Agua Agreg. (kg)</b>	<b>Absorción (kg)</b>	<b>Agua Libre (kg)</b>	<b>Aporte (kg)</b>
	<b>Iniciales</b>						
Agua	0,55	5,02	0	0	0	0	0
Cemento	1,0	9,13	0	0	0	0	0
Agreg. Fino	1,72	15,70	18,89	3,19	0,22	2,97	
Agreg. Grueso	2,81	25,67	25,98	0,31	0,65	-0,35	2,62

**Tabla 18. Proporciones de la segunda mezcla de prueba**

<b>Agua de Mezcla Teórica:</b>	2,40	Kg
<b>Cemento</b>	9,13	Kg
<b>Agregado Fino</b>	15,70	Kg
<b>Agregado Grueso</b>	25,67	Kg

Siguiendo este mismo procedimiento se realizó el diseño para la mezcla total de los diferentes ensayos y muestras que se fallaron, cambiando únicamente el volumen del número de cilindros y vigas, obviamente que este proceso ya lo realizó la hoja de cálculo que se tenía programada en Excel.

## **4. TRABAJO DE CAMPO**

### **4.1 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES**

La obtención del agregado grueso proviene de la cantera de BRICEÑO, del cual se compró un metro cubico. Se almacenó en un sitio cercano al laboratorio para su fácil obtención cubierto totalmente con un plástico para protegerlo de los cambios del clima.

La obtención del agregado fino proviene de la mina y ladrillera COMINAGRO LTDA. Del cual se compró un metro cubico de igual forma se almaceno en un sitio cercano al laboratorio cubierto completamente con un plástico para protegerlo de los cambios climáticos.

Se adquirió cemento CEMEX tipo 1 de uso general; almacenado en el laboratorio alejado de la humedad para conservar sus características físicas y químicas. Claro está que las características de conservación en el laboratorio no son las mejores a largo plazo, razón por la cual fue utilizado lo más rápido posible evitando su pronta hidratación.

Se obtuvo el bagazo de caña del municipio de Ancuya, se compraron 2 bultos previamente secados y cortados.

### **4.2 NÚMERO DE ESPECÍMENES**

Para comenzar con el trabajo de campo fue necesario determinar el número de cilindros y vigas a realizar, para posteriormente fallar y analizar los resultados. Siguiendo la norma NTC 1377 numeral 4.5 dice que usualmente y si no se especifica otra cosa, se moldean tres o más muestras para cada edad y condición de ensayo, y las muestras que involucren una variable como es el caso del bagazo, se deben elaborar en distintas mezclas y en diferentes días elaborando un número igual de muestras por día, de igual forma dice que las edades de ensayo más utilizadas para la resistencia a la compresión son a los 7 y 28 días, y 14 y 28 días para ensayos de resistencia a la flexión.

A continuación, se muestra en la tabla 19. el número total de especímenes tanto para vigas como para cilindros que se realizaron.

**Tabla 19. Número de especímenes ensayados a diferentes edades del concreto**

mezcla #	total especímenes	a ensayar día 7	a ensayar día 14	a ensayar día 28	
		Cilindros	vigas	cilindros	vigas
M1-TESTIGO	12	3	3	3	3
M2	12	3	3	3	3
M3	12	3	3	3	3
M4	12	3	3	3	3
TOTAL	48	12	12	12	12

### 4.3 PORCENTAJES DE FIBRA A ADICIONAR POR CADA MEZCLA

Después de realizado todo el proceso del diseño y de establecer las proporciones reales de los materiales se elaboraron mezclas con variantes en el contenido de fibra, el cual se calculó como una proporción del agregado grueso que contiene la mezcla testigo, es decir se reemplazó dicho porcentaje en peso del agregado grueso, por fibra de bagazo de caña panelera, obteniendo las cuatro mezclas a elaborar tal como se muestra en la tabla 20.

**Tabla 20. Porcentajes de fibras a adicionar por cada mezcla**

mezcla #	(% en peso de agregado grueso a remplazarse por fibra)	dosificaciones de mezclas				
		agua	cemento	arena	gravilla	Fibra
M1 TESTIGO	0	0,55	1	1,73	2,83	0
M2	0,5	0,55	1	1,73	2,8159	0,0141
M3	2,5	0,55	1	1,73	2,7593	0,0707
M4	5	0,55	1	1,73	2,6885	0,1415

Se adoptaron los anteriores porcentajes puesto que son los que mejores resultados han ofrecido en investigaciones realizadas como lo indica Juárez (2004) y Beraldo (2004), en estudios con otro tipo de fibras.

Ahora, se indica el peso real en kg para las diferentes proporciones en materiales de cada mezcla, ver tabla 21.

**Tabla 21. Peso en gramos para cada mezcla**

mezcla #	(% en peso de agregado grueso a remplazarse por fibra	dosificaciones de mezclas en gramos				
		agua	cemento	Arena	gravilla	Fibra
M1 TESTIGO	0	11930	22760	47440	65090	0
M2	0,5	11930	22760	47440	64860	230
M3	2,5	11930	22760	47440	63560	1530
M4	5	11930	22760	47440	61920	3170

#### 4.4 MOLDES PARA LAS PRUEBAS

El laboratorio de la Universidad facilitó el uso de las camisas de cilindros y vigas para los diferentes ensayos, las dimensiones de los cilindros fueron de 15 centímetros de diámetro por 30 centímetros de altura, como se establece en la norma NTC 550. y las dimensiones de las vigas fueron de 8 \* 8 \* 44 centímetros Cumpliendo con la relación establecida en la norma ASTM C31 numeral 6.2 la cual indica que.

- La longitud debe ser  $\geq 3$  la profundidad en posición de ensayo + 5 centímetros
- El ancho / la profundidad en la posición en que se elabora debe ser  $\leq$  a 1.5 centímetros
- Dimensión menor de la sección recta  $\geq 3$  tamaño máximo del agregado.

**4.4.1 Volumen de las camisas o moldes.** Este fue determinado para calcular la cantidad exacta de material, teniendo en cuenta también el volumen de un slump para chequear asentamiento en cada prueba y un 10% adicional por desperdicios, dejando únicamente como variable el número de muestras a elaborar, remitirse a la tabla 11.

#### 4.5 TRATAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA.

Previamente se realizó un tratamiento de inmunización a las fibras de bagazo de caña, por lo cual se colocaron inmersas en hidróxido de calcio al 5% durante 24 horas a temperatura ambiente, esto quiere decir que por cada litro de agua se colocaron 50 gramos de este producto, para luego ser secadas en el horno. Por último, las fibras fueron sumergidas en cloruro de calcio al 3% al igual que el hidróxido de calcio quiere decir que por cada litro de agua se colocaron 30 gramos de este material durante aproximadamente una hora con el fin de inmunizarlas y saturarlas antes de ser mezcladas con los otros materiales con el fin de darle una protección del medio alcalino de la pasta de cemento. La preparación de las fibras



se realizó con el fin de evitar agrietamientos en las matrices concreto-fibras naturales. Beraldo (2004), realizó experimentos con partículas de fibras naturales para evitar la incompatibilidad en la matriz cemento-bambú, utilizando para ello varios tipos de tratamientos, donde se obtuvo como mejor resultado el lavado realizado con solución de cloruro de calcio al 5% por 24 horas, tiempo en el que fueron inmersas las fibras de bambú, siendo esta la razón por la cual se optó por realizar el lavado con la misma solución a igual tiempo. Ver figura 2.

**Figura 2. Solución de hidróxido de calcio**



**Figura 3. Bagazo de caña en solución de hidróxido de calcio**



#### **4.6 PESAJE DE LOS MATERIALES**

El pesaje de los diferentes materiales se realizó en una balanza de precisión para obtener resultados lo más exacto posibles, de igual forma los pesos de los baldes o moldes se restaron en todos los procesos tarando la balanza, de esta forma se garantiza que el peso real de los materiales sea exacto, de igual manera, el agua fue medida en probetas con capacidad de un litro y luego depositada en un balde. Las figuras 4-7 indican las diferentes proporciones para los diferentes porcentajes obtenidos de fibra natural.

**Figura 4. Proporciones en peso sin bagazo**



**Figura 5. Proporciones en peso al 0.5% de bagazo**



**Figura 6. Proporciones en peso al 2.5% de bagazo**



**Figura 7. Proporciones en peso al 5% de bagazo**



#### **4.7 MEZCLADO DE LOS MATERIALES.**

El mezclado de los materiales fue manual de acuerdo a la norma I.N.V.E-402-07 numeral 6.1.2 la cual indica que debe hacerse sobre una superficie húmeda y lisa, se mezcla el cemento , el aditivo en nuestro caso la fibra natural y el agregado fino sin adicionarle agua hasta que se logre una mezcla homogénea ( ver figura 8).

**Figura 8. Mezcla cemento agregado fino y fibra**



Seguidamente se adicionó el agregado grueso mezclándolo uniformemente, y por último se adiciona el agua para obtener una mezcla de concreto homogénea y de consistencia deseada. Ver figura 8; este mismo proceso se repitió para las cuatro diferentes mezclas que fue necesario realizar por separado, para obtener resultados claros. Posteriormente, se realizó la prueba del slump, ver figura 9, según las norma ASTM C143, para cada mezcla realizada con el fin de controlar, verificar y comprobar el asentamiento, en la hoja de cálculo se registro el valor adicionado en kilogramos de agua necesario para obtener el valor de asentamiento escogido en este diseño, determinando de esta manera una nueva relación agua cemento, relación que es tomada en cuenta para las posteriores mezclas.

**Figura 9 Mezcla de concreto**



**Figura 10. Prueba del slump**



#### **4.8 LIMPIEZA DE LOS MOLDES**

La limpieza de los moldes se realizó con una espátula y un cepillo metálico con el fin de quitar de ellos el concreto adherido en procesos de vaciado anteriores, después se limpia con una franela y por último se engrasa con aceite quemado mezclado con acpm de esta manera se facilita su aplicación y posterior desencofrado. Ver figuras 11 y 12.

**Figura 11. Formaletas de vigas aceitadas**





**Figura 12. Camisas de cilindros aceitadas**



#### **4.9 VACIADO DE VIGAS Y CILINDROS**

En todos los casos la compactación se hizo a mano y como lo indica la norma NTC 1377 numeral 9, para los cilindros en 3 capas con 25 golpes por capa y para las viguetas en 2 capas con 58 golpes por cada capa, un golpe por cada 14 cm<sup>2</sup> área de la superficie superior de la muestra, en ambos casos con varilla de 5/8" o 16 mm de diámetro y punta redondeada, además se golpearon los lados de los moldes de 10 a 15 veces con un mazo de caucho luego de colocar cada capa para cerrar los vacíos dejados por la varilla y acomodar el material, por último se enrasó la superficie con la misma varilla dándole un terminado con un palustre para obtener una superficie lisa para los cilindros, las viguetas se enrasaron con la varilla y de igual forma se obtiene un terminado liso con un palustre metálico. Ver figuras 13-18

**Figura 13. Vaciado de cilindros**



**Figura 14. Vaciado de vigas**



**Figura 14. Compactación de vigas**



**Figura 16. Vibrado de cilindros**



**Figura 15. Terminado con palustre**



**Figura 18. Terminado con palustre**



#### **4.10 DESENCOFRADO DE LAS VIGAS Y CILINDROS**

El desencofrado de las vigas y cilindros se realizó como lo indica la norma NTC 1377 numeral 7.2, 24 horas después de haber sido fundidos. Ver figura 19.

**Figura 16. Cilindros y vigas en reposo durante 24 horas**



A pesar que el diseño para desencofrado de las formaletas era muy bueno su ajuste era grande y producía algunos daños en las aristas de las muestras, razón por la cual es importante engrasar muy bien los moldes antes de su llenado. En la figura 20, se puede observar el desencofrado de la viga.

Los moldes metálicos para los cilindros son de fácil desencofrado y si están bien aceitados no presentan dificultad en esta tarea, pero se debe tener cuidado en el momento de armarlos que no se modifique el diámetro o en el momento de compactar que no se abran, esto se consigue haciendo coincidir las láminas exactamente y tener muy en cuenta el ajuste perfecto de los tornillos. Ver figura 21

**Figura 20. Desencofrado de vigas**



**Figura 21. Desencofrado de cilindros**



#### **4.11 CURADO DE LAS MUESTRAS**

El proceso de curado de las muestras se realizó en la piscina del laboratorio en base a la norma NTC 1377 numerales 7.3 Y 7.4 los cuales indican que las muestras deben mantener agua libre en toda el área superficial y a toda hora, esta condición se obtiene por inmersión en agua saturada con cal. ver figura No. 22.

**Figura 17. Proceso de curado de las muestras**





#### 4.12 ENSAYOS DE CILINDROS Y VIGAS

Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron en la máquina del laboratorio tal como lo indica la norma NTC 550 Y 673. En ningún caso se presentaron fallas no esperadas lo que indica que los montajes tanto para vigas como cilindros estuvieron bien realizados. Ver figura 23 y 24.

**Figura 18. Ensayo a compresión**



**Figura 24. Cilindros fallados**



Los ensayos de las viguetas se realizaron aplicando cargas a cada tercio de la luz libre, para lo cual es necesario crear un montaje adecuado y adaptarlo a la maquina utilizando de la mejor manera los recursos que se encuentran en el laboratorio, sin salirse de ninguna manera de los parámetros establecidos en la norma INVE-414-07. Las fallas de las vigas siempre se presentaron en el tercio medio de la misma presentando una falla vertical ver figuras 25 y 26.

**Figura 19. Montaje del ensayo a flexión**



**Figura 26. Vigas falladas al tercio**





## 5. CONTROL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO CON Y SIN ADICIÓN DE FIBRAS A LOS 7Y 28 DIAS

**Tabla 22. Resultados de Resistencia a la Compresión de cilindros a los 7 días de curado**

% de Bagazo adicionado	Nº	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Peso aprox de los cilindros de concreto ( gr)	Fuerza (kg)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	f'c(kg/cm <sup>2</sup> )	f'c(PSI)	f'c(mpa)
0	1	15	30	176,71	12.255	27.100	5.301,31	2,31	153,36	2.190,83	15,34
	2	15	30	176,71	12.285	27.300	5.301,31	2,32	154,49	2.207,00	15,45
	3	15	30	176,71	12.325	28.200	5.301,31	2,32	159,58	2.279,76	15,96
0,5	1	15	30	176,71	12.128	23.200	5.301,31	2,29	131,29	1.875,55	13,13
	2	15	30	176,71	12.171	23.800	5.301,31	2,30	134,68	1.924,05	13,47
	3	15	30	176,71	12.187	24.100	5.301,31	2,30	136,38	1.948,31	13,64
2,5	1	15	30	176,71	12.035	21.200	5.301,31	2,27	119,97	1.713,86	12,00
	2	15	30	176,71	11.746	22.300	5.301,31	2,22	126,20	1.802,79	12,62
	3	15	30	176,71	11.793	22.900	5.301,31	2,22	129,59	1.851,30	12,96
5	1	15	30	176,71	11.575	18.000	5.301,31	2,18	101,86	1.455,17	10,19
	2	15	30	176,71	11.609	19.000	5.301,31	2,19	107,52	1.536,01	10,75
	3	15	30	176,71	11.598	19.700	5.301,31	2,19	111,48	1.592,60	11,15

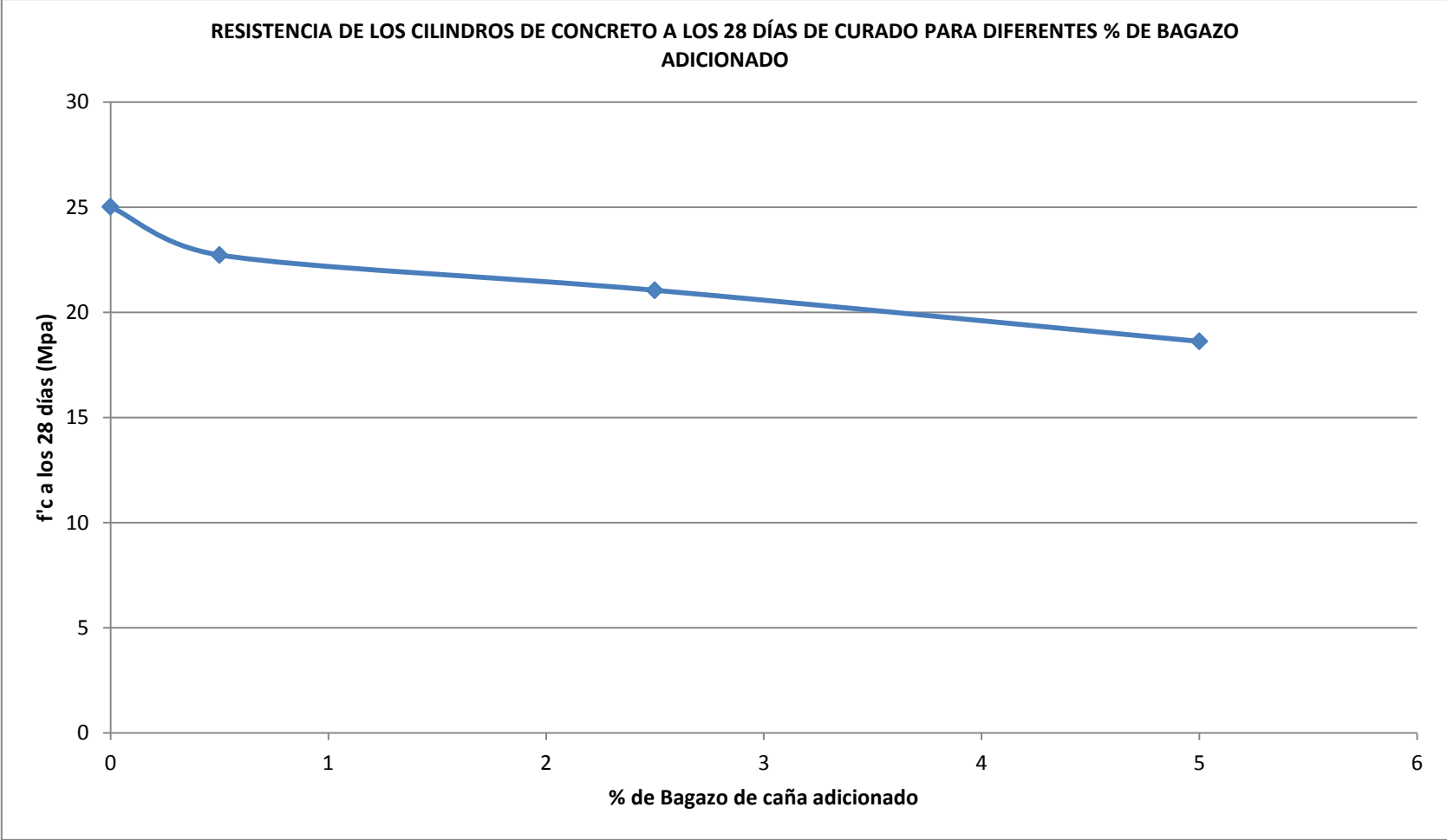
**Tabla 23.4 Resultados de Resistencia a la Compresión de cilindros a los 28 días**

% de Bagazo adicionado	Nº	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Peso aprx de los cilindros de concreto ( gr)	Fuerza (kg)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	f'c(kg/cm <sup>2</sup> )	f'c(PSI)	f'c(mpa)
0	1	15	30	176,71	12.274	43.600	5.301,31	2,32	246,73	3.524,74	24,67
	2	15	30	176,71	12.309	44.200	5.301,31	2,32	250,13	3.573,24	25,01
	3	15	30	176,71	12.345	44.856	5.301,31	2,33	253,84	3.626,27	25,38
0,5	1	15	30	176,71	12.263	39.500	5.301,31	2,31	223,53	3.193,28	22,35
	2	15	30	176,71	12.085	40.200	5.301,31	2,28	227,49	3.249,87	22,75
	3	15	30	176,71	12.213	40.800	5.301,31	2,30	230,89	3.298,38	23,09
2,5	1	15	30	176,71	11.896	36.600	5.301,31	2,24	207,12	2.958,84	20,71
	2	15	30	176,71	11.800	37.100	5.301,31	2,23	209,95	2.999,26	20,99
	3	15	30	176,71	11.930	37.900	5.301,31	2,25	214,48	3.063,93	21,45
5	1	15	30	176,71	11.567	30.500	5.301,31	2,18	172,60	2.465,70	17,26
	2	15	30	176,71	11.682	33.700	5.301,31	2,20	190,71	2.724,39	19,07
	3	15	30	176,71	11.651	34.500	5.301,31	2,20	195,23	2.789,07	19,52

**Tabla 24. Resultados de Resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días**

% de Bagazo adicionado	Nº	Fuerza en (kg) a los 7 días	Promedio de fuerza en (kg) a los 7 días	f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 7 días	f'c(PSI) a los 7 días	f'c(mpa) a los 7 días	fuerza en (kg) a los 28 días	promedio de fuerza en (kg) a los 28 días	f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 28 días	f'c(PSI) a los 28 días	f'c(mpa) a los 28 días
0	1	27.100	27.533,33	155,81	2.225,87	15,58	43.600	44.218,67	250,23	3.574,76	25,02
	2	27.300					44.200				
	3	28.200					44.856				
0,5	1	23.200	23.700,00	134,12	1.915,97	13,41	39.500	40.166,67	227,30	3.247,18	22,73
	2	23.800					40.200				
	3	24.100					40.800				
2,5	1	21.200	22.133,33	125,25	1.789,32	12,53	36.600	37.200,00	210,51	3.007,35	21,05
	2	22.300					37.100				
	3	22.900					37.900				
5	1	18.000	18.900,00	106,95	1.527,93	10,70	30.500	32.900,00	186,18	2.659,72	18,62
	2	19.000					33.700				
	3	19.700					34.500				

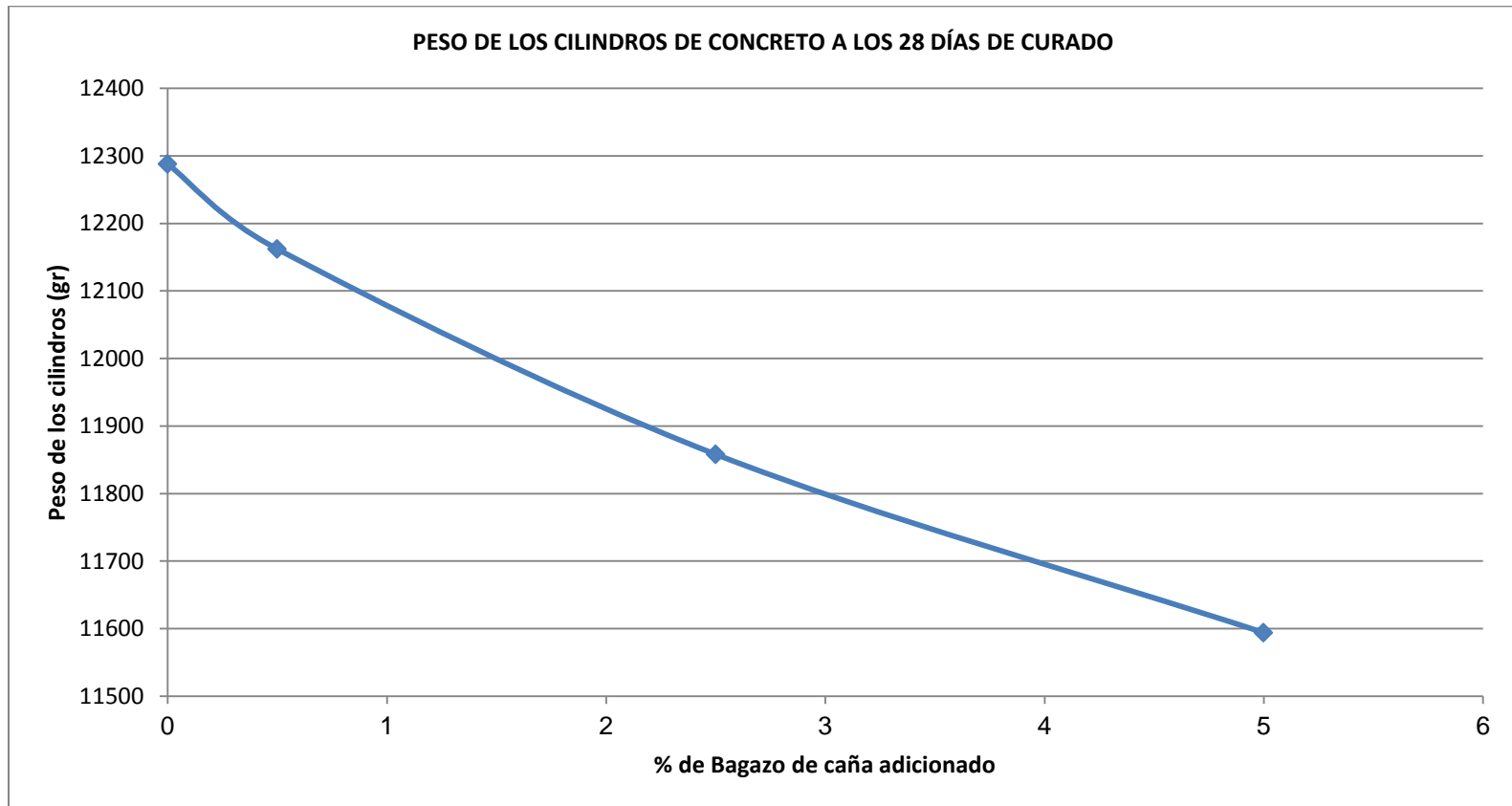
**GRAFICO 5. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto a los 28 días de curado para diferentes porcentajes de bagazo de caña adicionado**



**Tabla 25. Resultados del peso promedio de los cilindros a los 7 y 28 días**

<b>% de Bagazo adicionado</b>	<b>Nº</b>	<b>Peso aprox de los cilindros de concreto en ( gr) a los 7 días</b>	<b>Promedio del peso a los 7 días</b>	<b>Peso aprox de los cilindros de concreto en (gr) a los 28 días</b>	<b>Promedio del peso a los 28 días</b>
0	1	12.255	12.288,33	12.274	12.309,33
	2	12.285		12.309	
	3	12.325		12.345	
0,5	1	12.128	12.162,00	12.263	12.187,00
	2	12.171		12.085	
	3	12.187		12.213	
2,5	1	12.035	11.858,00	11.896	11.875,33
	2	11.746		11.800	
	3	11.793		11.930	
5	1	11.575	11.594,00	11.567	11.633,33
	2	11.609		11.682	
	3	11.598		11.651	

**GRAFICO 6. Peso de los cilindros de concreto a los 28 días de curado para diferentes porcentajes de adición de fibra de bagazo de caña**



## 5.2 RESULTADO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO CON Y SIN ADICIÓN DE FIBRAS A LOS 14 Y 28 DÍAS

**Tabla 26. Resultado de Resistencia a la Flexión de Vigas a los 14 días de curado**

% de Bagazo adicionado	N <sup>o</sup>	Base (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (lbs)	f'c(kg/cm <sup>2</sup> ) m. de rotura	f'c(PSI) m. de rotura	f'c(mpa) m. de rotura
0	1	8	8	44	352,00	2.816	5.992	2,13	1.319	34,89	498,38	3,49
	2	8	8	44	352,00	2.816	6.177	2,19	1.325	35,05	500,65	3,50
	3	8	8	44	352,00	2.816	6.210	2,21	1.335	35,31	504,43	3,53
0,5	1	8	8	44	352,00	2.816	5.938	2,11	1.310	34,65	494,98	3,46
	2	8	8	44	352,00	2.816	5.965	2,12	1.330	35,18	502,54	3,52
	3	8	8	44	352,00	2.816	6.020	2,14	1.340	35,44	506,32	3,54
2,5	1	8	8	44	352,00	2.816	5.896	2,09	1.300	34,38	491,20	3,44
	2	8	8	44	352,00	2.816	6.091	2,16	1.310	34,65	494,98	3,46
	3	8	8	44	352,00	2.816	6.027	2,14	1.322	34,97	499,52	3,50
5	1	8	8	44	352,00	2.816	5.666	2,01	1.190	31,47	449,64	3,15
	2	8	8	44	352,00	2.816	5.755	2,04	1.210	32,00	457,20	3,20
	3	8	8	44	352,00	2.816	5.903	2,10	1.225	32,40	462,86	3,24

**Tabla 27. Resultado de Resistencia a la Flexión de Vigas a los 28 días de curado**

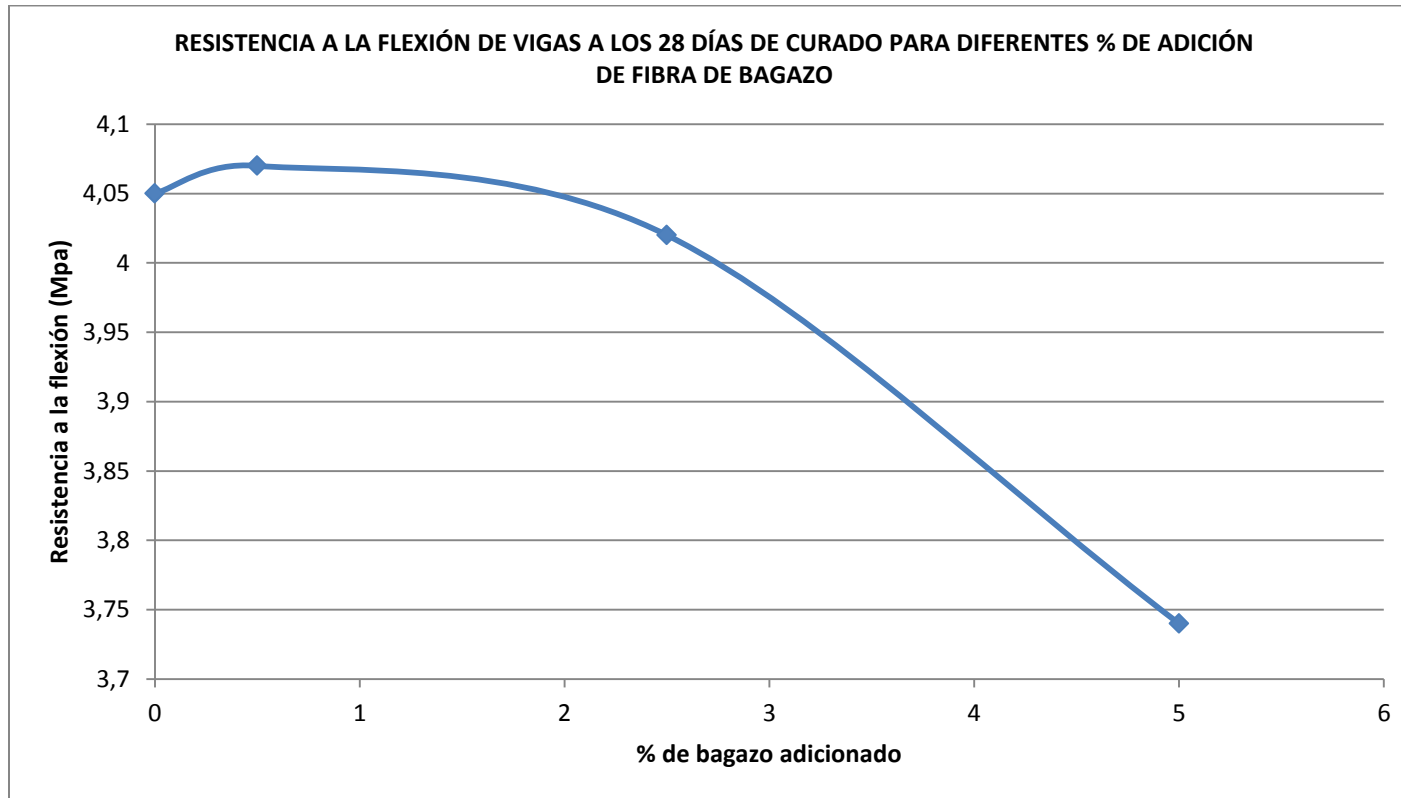
% de Bagazo adicionado	N <sup>o</sup>	Base (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (lbs)	f'c(kg/cm <sup>2</sup> ) m. de rotura	f'c(PSI) m. de rotura	f'c(mpa) m. de rotura
0	1	8	8	44	352,00	2.816	6.032	2,14	1.525	40,34	576,22	4,03
	2	8	8	44	352,00	2.816	6.170	2,19	1.530	40,47	578,11	4,05
	3	8	8	44	352,00	2.816	6.229	2,21	1.542	40,79	582,64	4,08
0,5	1	8	8	44	352,00	2.816	5.953	2,11	1.520	40,20	574,33	4,02
	2	8	8	44	352,00	2.816	6.027	2,14	1.540	40,73	581,89	4,07
	3	8	8	44	352,00	2.816	6.144	2,18	1.558	41,21	588,69	4,12
2,5	1	8	8	44	352,00	2.816	5.756	2,04	1.510	39,94	570,55	3,99
	2	8	8	44	352,00	2.816	5.987	2,13	1.515	40,07	572,44	4,01
	3	8	8	44	352,00	2.816	5.988	2,13	1.528	40,41	577,35	4,04
5	1	8	8	44	352,00	2.816	5.624	2,00	1.404	37,13	530,50	3,71
	2	8	8	44	352,00	2.816	5.879	2,09	1.410	37,29	532,77	3,73
	3	8	8	44	352,00	2.816	5.882	2,09	1.425	37,69	538,43	3,77



**Tabla 28. Resultados de la resistencia a la flexión de vigas de concreto a los 14 y 28 días de curado**

% de Bagazo adicionado	Nº	Fuerza en (lbs) a los 14 días	Promedio de fuerza en (lbs) a los 14 días	f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 14 días	f'c(PSI) a los 14 días	f'c(mpa) a los 14 días	Fuerza en (lbs) a los 28 días	Promedio de fuerza en (lbs) a los 28 días	f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 28 días	f'c(PSI) a los 28 días	f'c(mpa) a los 28 días
0	1	1319	1.326	35,08	501,15	3,51	1.525	1.532	40,53	578,99	4,05
	2	1325					1.530				
	3	1335					1.542				
0,5	1	1310	1.327	35,09	501,28	3,51	1.520	1.539	40,71	581,64	4,07
	2	1330					1.540				
	3	1340					1.558				
2,5	1	1300	1.311	34,68	495,36	3,47	1.510	1.518	40,15	573,57	4,02
	2	1310					1.515				
	3	1322					1.528				
5	1	1190	1.208	31,96	456,57	3,20	1.404	1.413	37,37	533,90	3,74
	2	1210					1.410				
	3	1225					1.425				

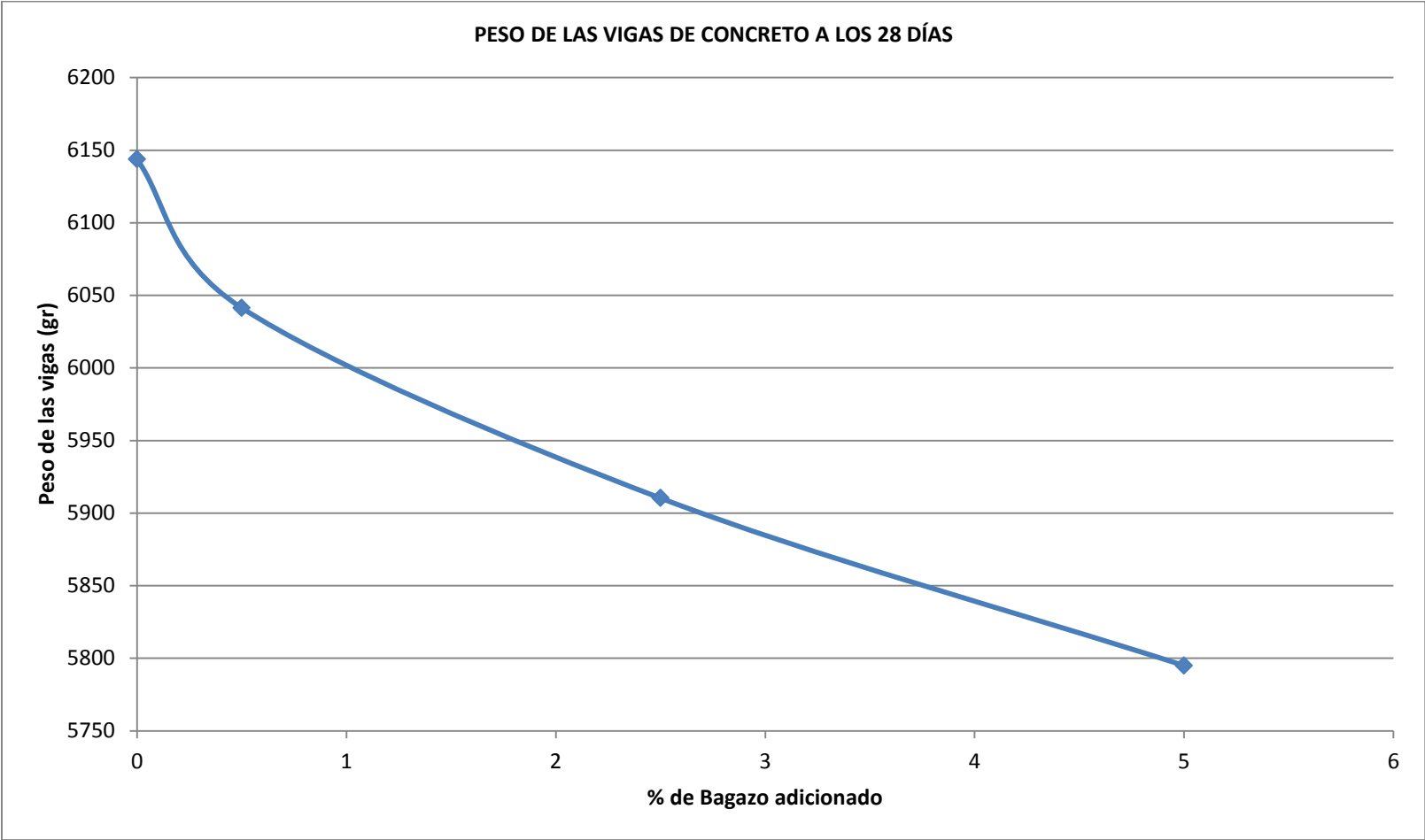
**GRAFICO 7. Resistencia a la flexión de vigas de concreto a los 28 días de curado para diferentes porcentajes de bagazo de caña adicionado**



**Tabla 29. Resultado del peso promedio de las vigas a los 14 y 28 días**

<b>% de Bagazo adicionado</b>	<b>N<sup>o</sup></b>	<b>Peso aprox de las vigas de concreto en (gr) a los 14 días</b>	<b>Promedio del peso en (gr) a los 7 días</b>	<b>Peso aprox de las vigas de concreto en (gr) a los 28 días</b>	<b>Promedio del peso en (gr) a los 28 días</b>
0	1	5.992,00	6.126,33	6.032,00	6.143,67
	2	6.177,00		6.170,00	
	3	6.210,00		6.229,00	
0,5	1	5.938,00	5.974,33	5.953,00	6.041,33
	2	5.965,00		6.027,00	
	3	6.020,00		6.144,00	
2,5	1	5.896,00	5.905,33	5.756,00	5.910,33
	2	5.900,00		5.987,00	
	3	5.920,00		5.988,00	
5	1	5.666,00	5.774,67	5.624,00	5.795,00
	2	5.755,00		5.879,00	
	3	5.903,00		5.882,00	

**GRAFICO 8. Peso de las vigas de concreto a los 28 días de curado para diferentes porcentajes de adición de fibra de bagazo de caña**



### 5.3 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

El módulo de elasticidad es un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras de concreto ya que se emplea en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales, por lo tanto para diseñar estructuras además de la  $f'c$  se debe garantizar  $E_c$ .

El comité del ACI-318<sup>22</sup> sugiere en su reglamento la siguiente Ecuación 4.

$$E_c = 33 W_c^{1.5} \sqrt{f'c} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto, lb/pulg<sup>2</sup>  
 $W_c$  = peso volumétrico del concreto<sup>23</sup>, 145 lb/pie<sup>3</sup>  
 $f'c$  = resistencia a compresión, lb/pulg<sup>2</sup>

O su equivalente en unidades del sistema métrico ver Ecuación 5.

$$E_c = 0.1303 W_c^{1.5} \sqrt{f'c} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$E_c$  = módulo de elasticidad estático a compresión, lb/pulg<sup>2</sup> o en Kg/cm<sup>2</sup>  
 $W_c$  = peso unitario del concreto endurecido<sup>24</sup>, 145 lb/pie<sup>3</sup>  
 $f'c$  = resistencia a compresión, lb/pulg<sup>2</sup> o en Kg/cm<sup>2</sup>

Procede señalar, que el hecho de incluir como variable el peso unitario del concreto, es una forma de reconocer la influencia que sobre el módulo de elasticidad ejercen el peso específico de los agregados y su proporción en el concreto.

**Tabla 30. Relación de los pesos promedio de los cilindros a los 28 días**

% de Bagazo adicionado	Promedio del peso a los 28 días (gr)
0	12.309,33
0,5	12.187,00
2,5	11.875,33
5	11.633,33

<sup>22</sup> American Concrete Institute

<sup>23</sup> Tomado de: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip36es.pdf>

<sup>24</sup> Tomado de: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip36es.pdf>

**Tabla 31. Cálculo del módulo de elasticidad**

	peso concreto	peso unitario concreto $W_c$	$W_c^{1.5}$	$f'_c$	$\sqrt{f'_c}$	$E_c$
% fibra	lb	lb/pulg <sup>2</sup>		lb/pulg <sup>2</sup>		lb/pulg <sup>2</sup>
0,00	27,11	0,39	0,24	3574,76	59,78	1,87
0,50	26,84	0,38	0,23	3247,18	56,98	1,71
2,50	26,15	0,37	0,22	3007,35	54,83	1,57
5,00	25,62	0,37	0,21	2659,72	51,57	1,41

De lo anterior se pudo deducir que aunque el peso de los cilindros de concreto disminuye, el módulo de elasticidad no aumenta y que la estabilidad que le dan las fibras no está relacionada con este parámetro.

#### **5.4 ANALISIS DE LOS COSTOS DE UTILIZACIÓN DE FIBRA TIPO BAGAZO Y COMPARACION CON UNA MEZCLA TRADICIONAL.**

Para una mezcla tradicional se tienen las siguientes relaciones:

**Tabla 32. Relación de cantidades y costos para 1m<sup>3</sup> de mezcla tradicional (No incluye transporte)**

MATERIAL	CANTIDAD (Kg)	CANTIDAD (m <sup>3</sup> )	VALOR (\$)
Cemento	300	6(bultos)	150.000
Arena	750	0,5	30.000
Grava	1080	1	40.000
TOTAL			\$ 220.000

Al realizar el análisis de la investigación se tiene que el mejor comportamiento con la fibra se tiene con el porcentaje del 2.5%, de tal manera se tendrán los siguientes costos:

**Tabla 33. Relación de cantidades y costos para 1 m<sup>3</sup> de mezcla con adición de fibras al 2,5 % (No incluye transporte)**

MATERIAL	CANTIDAD (Kg)	CANTIDAD (m <sup>3</sup> )	VALOR (\$)
Cemento	300	6(bultos)	150.000
Arena	750	0,5	30.000
Grava	1053	0,8	32.000
Fibra de Caña	27	0,2	1.000
TOTAL			\$ 213.000

De lo anterior se puede deducir que los costos con el porcentaje de bagazo de caña de azúcar al 2.5% mantiene la resistencia sobre los 3.000 PSI y disminuye los costos en un 3,18%, de esta manera disminuye un pequeño porcentaje de la contaminación por residuos agrícolas de bagazo de caña y da una mayor estabilidad a la estructura.

## 6. CONCLUSIONES

- El concreto fibroreforzado con bagazo de caña de azúcar, permite a las estructuras después de la fisuración inicial o falla, continuar absorbiendo” carga y por lo tanto la estructura continúa funcionando.
- Según los resultados a flexión se pudo observar que al adicionar fibras de bagazo de caña en bajas cantidades en comparación con el volumen total de la mezcla, se obtuvo un pequeño incremento del módulo de rotura, situación muy importante y a tener en cuenta en el caso de refuerzo secundario para ayudar en resistencia y evitar agrietamientos y fisuraciones generadas por la variación de humedad y temperatura en losas y pavimentos.
- En los ensayos a compresión se pudo observar que aunque la resistencia disminuyó a medida que aumentamos el porcentaje de fibra, en el momento de la falla se pudo observar una resistencia residual importante (la aguja se mantiene en un 70% de los 3000 psi) razón que se debe a la transferencia de carga de la matriz de concreto a las fibras, situación que no paso con las muestras sin fibra presentando una falla instantánea, lo cual se pudo apreciar con la caída inmediata de la aguja al pasar los 3000 psi.
- Se pudo observar que la densidad en el concreto con estas fibras disminuye por ende su peso, factor que es muy importante en el momento de considerar las cargas muertas por peso propio en las estructuras.
- Se puede apreciar el efecto positivo de la incorporación de la fibra al concreto ya que al momento de la falla el concreto se mantiene unido lo cual se debe a una buena adherencia de la fibra con la matriz, es el llamado fenómeno de punteo y se debe a que la fibra no deja progresar la grieta y permite la unión del material después de la falla, además le proporciona al concreto ductilidad y capacidad de absorber y disipar energía.
- En cuanto a la manejabilidad de la mezcla se pudo observar que en bajas cantidades de fibra en comparación con el volumen total de la mezcla su comportamiento en cuanto a dejarse manejar y mezclar es normal, situación que va cambiando a medida que se va aumentando la cantidad

de la fibra ya que esta tiende a apelmazarse generando una inadecuada adherencia, razón importante que hace disminuir la resistencia

- en cuanto a los costos se puede decir que este tipo de fibras naturales pueden brindar algunas características mecánicas importantes al igual que otras fibras sintéticas, que son viables pero más costosas, las fibras naturales pueden ser una posibilidad real para los países en desarrollo ya que están disponibles en grandes cantidades y representan una fuente renovable continua, además se pueden obtener a un bajo costo usando la mano de obra disponible en la localidad y los técnicos adecuados para su obtención.



## 7. RECOMENDACIONES

- Almacenar los materiales en un lugar donde estén totalmente cubiertos, de esta forma se evitan cambios bruscos de humedad que puedan generar variaciones importantes en las proporciones reales del diseño, de igual manera se garantiza que cuando se realicen las correcciones por humedad los valores no varíen mucho.
- Aislar el cemento del suelo directo, cubrirlo totalmente y mantenerlo en un lugar fresco, ya que este es un material al que la humedad lo afecta rápido y directo.
- Tarar siempre el peso del recipiente en la balanza, para garantizar que el peso del material sea el real, y de alguna manera agilizar esta tarea.
- Tener la disponibilidad total de todas las herramientas y equipos de trabajo, de esta manera se garantiza un trabajo fluido y sin dificultades.
- Aceitar de manera adecuada los moldes, de esta forma se evita dañar las aristas de las muestras en el momento del desencofrado.
- Colocar sobre una superficie plana y horizontal las muestras de esta manera se evita mal formaciones o inclinaciones en el momento que las muestras empiecen a fraguar.
- Hacer un curado normalizado en la piscina que permita contener la totalidad de las probetas sumergidas, de igual manera se garantiza que estas tengan una temperatura favorable y una pérdida mínima de humedad.
- Realizar un buen curado a las fibras de bagazo de caña, inmunizándolas, de esta manera se evita que contaminen al concreto, y que reaccionen químicamente con el cemento.
- Controlar de manera adecuada el contenido de humedad de los materiales pues de esto depende la cantidad de agua a adicionar y la manejabilidad de la mezcla.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARBELAEZ, A. A. Mortero Reforzado con fibras de Bambú. Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia 1995.

Arboleda Marcelo, Aislamiento, selección y preservación de cepas levaduriformes y fúngicas degradadoras del bagazo de caña de azúcar, Universidad Central del Ecuador, Quito, 2009

Artículo “Durabilidad y sustentabilidad de materiales compuestos para la construcción de vivienda rural en México”.

Aziz, M.A, Paramasivam, P. Lee, S. L. Prospects of Natural Fiber Reinforced Concretes in Construction, Int. J. Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 3, No. 2, 1981, pp. 123 – 132

BERALDO A.L. Composito Ligero Partículas de Guadua. Seminario Internacional de Guadua, Pereira Colombia, 2004.

BILBA K, ARSENE M, QUESANGA A. Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on setting of bagasse/cement composite. Cement and concrete composites, 2003.

CEPEDA, R., ESCOBAR HENRIQUEZ, J.M., GÓMEZ AGUIRRE, C.R., ESTELA, N. 1997. Revista del ISCYC. San Salvador 1997, Vol 2

Galvez, L.O. (editor) Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana, ICIDCA, 2000.

GRAM., HANS. E. Durability of Natural fibres in concrete., Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete. (Concrete Technology and Design, Swamy, Ramnath Narayan, De.), Glasgow, Blackie. 1988. 288 p.

HERNANDEZ SAMPIERI, ROBERTO, METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN, MCGRAW – HILL, Cuarta Edición.

I.C.P.C. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. Manual de dosificación de Mezclas de Hormigón. Medellín, 1994.

J.M.L REIS. Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete. Construction and Building Materials 20, 2006.

JUÁREZ,ALVARADO,C.A, RODRÍGUEZ, P. Uso de fibras naturales delechuguilla como refuerzo en concreto.Ingenierías, 2004, Vol VII, N°22.

Los refuerzos del concreto, Dr. Ralf Winterberg (Entrevistado por Gregorio B. Mendoza)

Ministerio de Agricultura, CONSOLIDADO AGROPECUARIO DE NARIÑO 2008, Pasto, 2008, Disponible en [www.gobernacion-narino.gov.co](http://www.gobernacion-narino.gov.co)

#### NORMA TÉCNICA COLOMBIANA

OSORIO SARAZ, JAIRO ALEXANDER/VARÓN ARISTIZABAL FREDY/HERRERA MEJÍA JHONY ALEXANDER. Comportamiento Mecánico del concreto reforzado cn fibras de bagazo de caña de azucar. 2007.

PEREIRA DA ROSA. Analisis teorica e experimental de colunas armado combambu. Mscthesis. Deparatamento de Ingeniería Civil PUC Río,. 2002

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, D. 1993.Tecnología del hormigón y del mortero.Universidad Javeriana. Segunda Edición.Bhandar Editores Ltda., Bogota.

SERA, E.E., ROBLES., AUSTRIACO, L.,PAMA, R.P..Natural Fibers as Reinforcement.Journal of Ferrocement, Bangkok, 1990.

SHAH, S. P., " Marikunte, S. S., Fiber Reinforced Concrete, Proc. of ACBM Faculty enhancement Workshop, 1993.

TRIANA, C. J. Acevedo, R. Química de la celulosa. En: La industria de los derivados de la caña de azúcar. Editorial Científico Técnica. La Habana 1986.

#### REFERENCIAS CIBERGRÁFICAS

Food and Agriculture Organization of the United Nations, [www.fao.org/index\\_es.htm](http://www.fao.org/index_es.htm)

Asociación Colombiana de Productores de Caña, [www.asocana.org](http://www.asocana.org)

Fundación para la Asesoría del sector Rural – FUNDASES Minuto de Dios, [www.fundases.org](http://www.fundases.org)

Constructor civil, Tips para la Construcción de Edificaciones, Casas materiales y Equipos de construcción, [www.elconstructorcivil.com/](http://www.elconstructorcivil.com/)

<http://www.construdata.com>

# **ANEXOS**

## Anexo A. Determinación del contenido de humedad

	<p><b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b></p> <p><b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b></p> <p><b>LABORATORIO DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS</b></p> <p><b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO AGREGADO</b></p> <p><b>I.N.V. E-122-07 - ICONTEC 1776</b></p>
---	--

**OBRA:** \_\_\_\_\_  
**DESCRIPCION:** \_\_\_\_\_ **FUENTE:** \_\_\_\_\_  
**PROPIETARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** \_\_\_\_\_

MUESTRA Nº	PESO HUMEDO + RECIPIENTE	PESO SECO + RECIPIENTE	PESO RECIPIENTE	PESO HUMEDO	PESO SECO	% HUMEDAD
1	9727	9579	354	9373	9225	1,60

**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

DATOS DE ELABORACION		
	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
<b>CARGO:</b>		
<b>NOMBRE:</b>		
<b>FIRMA:</b>		

## Anexo B. Determinación del contenido de humedad del agregado grueso

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>
	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>
	<b>LABORATORIO DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS</b>
	<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO AGREGADO</b>
	<b>I.N.V. E-122-07 - ICONTEC 1776</b>

**OBRA:** \_\_\_\_\_  
**DESCRIPCION:** \_\_\_\_\_ **FUENTE:** \_\_\_\_\_  
**PROPIETARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** \_\_\_\_\_

MUESTRA Nº	PESO HUMEDO + RECIPIENTE	PESO SECO + RECIPIENTE	PESO RECIPIENTE	PESO HUMEDO	PESO SECO	% HUMEDAD
1	616,7	537,7	125,4	491,3	412,3	<b>19,16</b>

**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

DATOS DE ELABORACION		
	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
<b>CARGO:</b>		
<b>NOMBRE:</b>		
<b>FIRMA:</b>		

## Anexo C. Ensayo de granulometría de agregado grueso

	<p><b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b></p> <p>SECCIÓN DE LABORATORIOS</p> <p>LABORATORIO DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS</p> <p>ENSAYO DE GRANULOMETRIA gruesos</p> <p>INV E-123 -07 - ICONTEC 78</p>
---	--

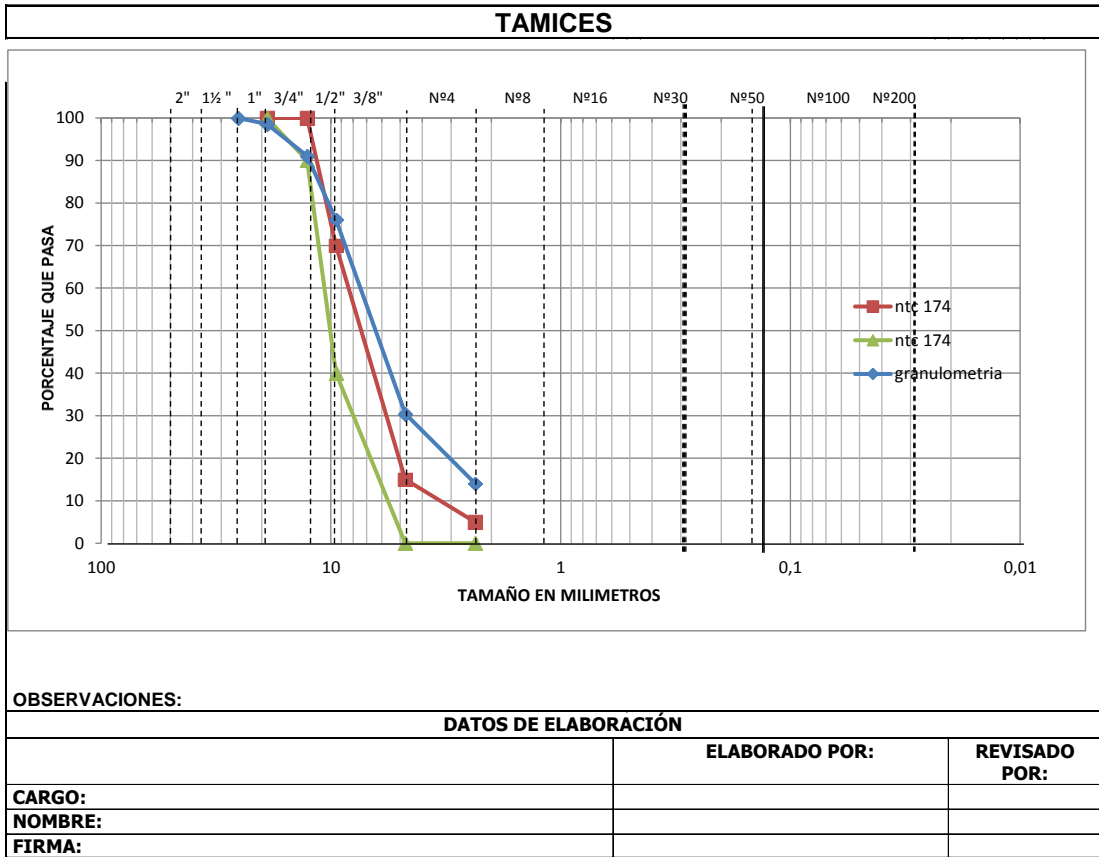
**OBRA** \_\_\_\_\_

**DESCRIPCIÓN:** \_\_\_\_\_ **FUENTE** \_\_\_\_\_

**PROPIETARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** \_\_\_\_\_


GRADACIÓN									
Peso inicial	9225		Peso lavado	9029		TAMIZ IN	TAMIZ MM	según NTC 174	
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa				
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00	1"	25,4		
3/4	19	130,9	1,42	1,4	98,58	3/4	19	100	100
1/2	12,7	693,4	7,52	8,9	91,06	1/2"	12,7	90	100
3/8	9,5	2075,8	22,50	23,9	76,08	3/8	9,5	40	70
#4	4,75	4211,1	45,65	69,6	30,43	#4	4,75	0	15
#8	2,36	1.511,4	16,38	86,0	14,05	#8	2,36	0	5
#16	1,1	610,4	6,62	92,6	7,43	#16	1,1		
#30	0,6	181,2	1,96	94,5	5,47	#30	0,6		
#50	0,3	93,7	1,02	95,6	4,45	#50	0,3		
#100	0,15	111,5	1,21	96,8	3,24	#100	0,15		
#200	0,075	82,5	0,89	97,7	2,35	#200	0,075		
P200	0,01	216,5	2,35	100,0	0,00	P200	0,01		

## Anexo D. Curvas granulométricas del agregado grueso

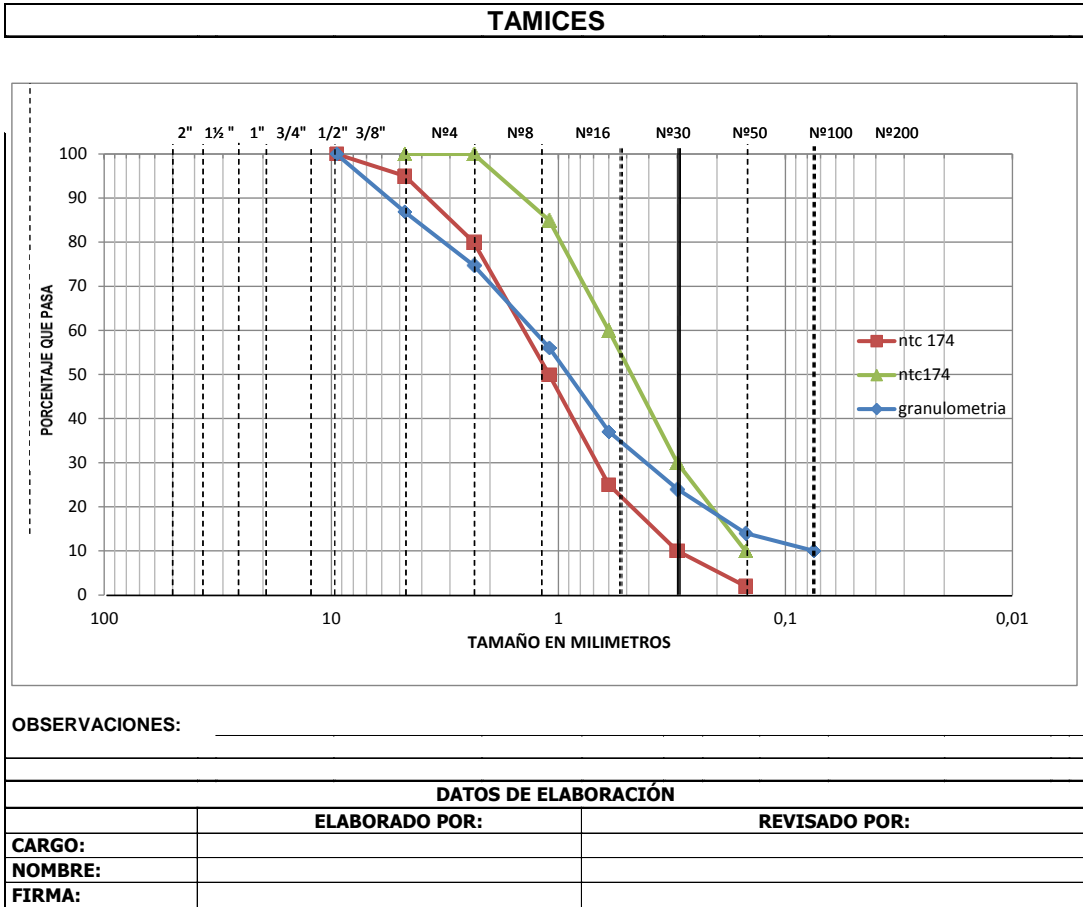





## Anexo E. Ensayo de granulometría de agregados finos

	<p><b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b></p> <p>SECCIÓN DE LABORATORIOS</p> <p>LABORATORIO DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS</p> <p>ENSAYO DE GRANULOMETRIA finos</p> <p>INV E-123 -07 - ICONTEC 78</p>								
<p><b>OBRA</b> _____</p> <p><b>DESCRIPCIÓN:</b> _____</p> <p><b>PROPIETARIO</b> _____</p>		<p><b>FUENTE:</b> _____</p> <p><b>FECHA:</b> _____</p>							
<b>GRADACIÓN</b>									
Peso inicial	413,3		Peso lavado	372,8					
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa	1"	25,4	parámetros de granulometría según NTC 174	
1"	25,4	0	0	0	100	3/4	19		
3/4	19	0	0	0	100	1/2"	12,7		
1/2	12,7	0	0	0	100	3/8	9,5	100	
3/8	9,5	0	0	0	100	#4	4,75	95	100
#4	4,75	54,3	13,14	13,1	86,86	#8	2,36	80	100
#8	2,36	50,0	12,10	25,2	74,76	#16	1,1	50	85
#16	1,1	77,0	18,63	43,9	56,13	#30	0,6	25	60,0
#30	0,6	78,8	19,07	62,9	37,07	#50	0,3	10	30
#50	0,3	53,8	13,02	75,9	24,05	#100	0,15	2	10
#100	0,15	41,4	10,02	86,0	14,03	#200	0,075		
#200	0,075	16,6	4,02	90,0	10,02	P200	0,01		
P200	0,01	41,4	10,02	100,0	0,00				


## Anexo F. Curva granulométrica de agregados finos




## Anexo G. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>  <b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS</b>  <b>INV E - 223 -07 - ICONTEC 176</b>					
<b>OBRA</b> _____ <b>MUESTRA No</b> _____ <b>DESCRIPCIÓN:</b> _____ <b>FUENTE</b> _____ <b>PROPIETARIO:</b> _____						
<b>ENSAYO No</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Promedio</b>	
Temperatura de ensayo	°C					
Peso de la muestra sss	Wsss	gr	539,00	564,00	580,60	561,20
Peso de la muestra en el agua	Wa	gr	334,60	351,10	361,90	349,20
Peso de la muestra seca	Ws	gr	526,30	551,00	564,40	547,23
Ws - Wa		gr	191,70	199,90	202,50	198,03
Wsss - Wa		gr	204,40	212,90	218,70	212,00
<b>Densidad Nominal</b>	= $Ws / Ws-Wa$	gr/cm <sup>3</sup>	2,75	2,76	2,79	2,76
<b>Densidad Aparente</b>	= $Ws / Wsss - Wa$	gr/cm <sup>3</sup>	2,57	2,59	2,58	2,58
<b>Densidad Aparente SSS</b>	= $Wsss / Wsss - Wa$	gr/cm <sup>3</sup>	2,64	2,65	2,65	2,65
<b>Absorción</b>	= $(Wsss - Ws / Ws) * 100$	%	2,41	2,36	2,87	2,55
Peso recipiente		gr	101,90	121,30	125,20	
peso recipiente + muestra sss		gr	640,90	685,30	705,80	
peso muestra sss		gr	539,00	564,00	580,60	561,20
peso canastilla + muestra en el agua		gr	381,20	397,70	408,50	
Peso canastilla en el agua		gr	46,60	46,60	46,60	
Peso muestra en el agua		gr	334,60	351,10	361,90	349,20
Peso muestra seca + recipiente		gr	628,20	672,30	689,60	
Peso recipiente		gr	101,90	121,30	125,20	
Peso muestra seca		gr	526,30	551,00	564,40	547,23
Observaciones _____						
<b>DATOS DE ELABORACIÓN</b>						
	<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>			
<b>CARGO:</b>						
<b>NOMBRE:</b>						
<b>FIRMA:</b>						


## Anexo H. Gravedad específica y absorción de agregados finos

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>  <b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS</b>  <b>INV E - 222 -07 - ICONTEC 237</b>				
<b>OBRA</b> _____		<b>MUESTRA No</b> _____			
<b>DESCRIPCIÓN:</b> _____		<b>FUENTE</b> _____			
<b>PROPIETARIO:</b> _____					
<b>ENSAYO No</b>		1	2	3	<b>Promedio</b>
Temperatura de ensayo	°C	24	24		
Peso de la muestra sss	W <sub>sss</sub> - S	gr	313,9	259	
Peso matraz + agua	W <sub>ma</sub> - B	gr	635,1	631,2	
Peso matraz + agua + muestra	W <sub>mam</sub> - C	gr	830,4	792,5	
Peso muestra seca	W <sub>s</sub> - A	gr	309,3	255,7	
<b>Densidad Nominal</b> = $W_s / (W_s + W_{ma} - W_{mam})$	gr/cm <sup>3</sup>	2,6	2,6		2,6
<b>Densidad Aparente</b> = $W_s / (W_{sss} + W_{ma} - W_{mam})$	gr/cm <sup>3</sup>	2,6	2,7		2,7
<b>Densidad Aparente SSS</b> = $W_{sss} / (W_{sss} + W_{ma} - W_{mam})$	gr/cm <sup>3</sup>	2,6	2,7		2,6
<b>Absorción</b> = $(W_{sss} - W_s / W_s) * 100$	%	1,5	1,3		1,4
Peso muestra seca + recipiente	gr	445	395,7		
Peso recipiente	gr	135,7	140		
Peso muestra seca	gr	309,3	255,7		
Observaciones _____					
<b>DATOS DE ELABORACIÓN</b>					
	<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>			
<b>CARGO:</b>					
<b>NOMBRE:</b>					
<b>FIRMA:</b>					


## Anexo I. Pesos unitarios

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b> <b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>PESOS UNITARIOS</b> <b>INV E - 217 - 07 - ICONTEC 92</b>				
<b>OBRA</b> _____ <b>MUESTRA No</b> _____ <b>DESCRIPCIÓN:</b> _____ <b>FUENTE</b> _____ <b>PROPIETARIO:</b> CONGRESUR					
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>					
<b>ENSAYO No</b>		1	2	3	<b>Promedio</b>
Tamaño máximo nominal					
Volumen del recipiente (V)	cm <sup>3</sup>	18394,76	18394,76	18394,76	18394,76
Peso material suelto (P)	gr	26275	26440	26237	26317
Peso unitario suelto = P/V	Kg/dm <sup>3</sup>	1,43	1,44	1,43	<b>1,43</b>
Humedad del material %					
Peso unitario seco suelto	Kg/dm <sup>3</sup>				
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>					
Método de compactación					
Volumen del recipiente (V)	cm <sup>3</sup>	18394,76	18394,76	18394,76	18394,76
Peso del material compactado (P)	gr	28792	28831	28979	28867
Peso unitario compactado P/V	Kg/dm <sup>3</sup>	1,565	1,567	1,575	<b>1,57</b>
<b>DATOS DE ELABORACIÓN</b>					
	<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>			
<b>CARGO:</b>					
<b>NOMBRE:</b>					
<b>FIRMA:</b>					

## Anexo I. Índices de alargamiento y aplanamiento de agregados

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b> SECCIÓN DE LABORATORIOS LABORATORIO DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS <b>INDICES DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE AGREGADOS</b> INV E-230-07					
OBRA: _____ DESCRIPCIÓN: _____ PROPIETARIO: _____	MUESTRA No _____ FUENTE _____					
<b>INDICE DE ALARGAMIENTO M1</b>						
<b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL Part. Alargadas	PORCENTAJE Part. Alargadas	% RETENIDO Gradación Original	CÁLCULO FINAL
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (g)	B (g)	C= (B/Ax100)	D	E= (Cx D)
2"	1-1/2"	0	0	0,0	0,0	0,0
1-1/2"	1"	0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	3/4"	0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	1/2"	141,1	21,5	15,2	7,5	114,5
1/2"	3/8"	281,8	88,1	31,3	15,0	468,5
3/8"	1/4"	553,4	145,1	26,2	29,5	774,5
<b>TOTAL</b>		<b>976,3</b>	<b>254,7</b>	<b>72,7</b>	<b>52,0</b>	<b>1357,5</b>
<b>ÍNDICE DE ALARGAMIENTO =</b>			<b>TOTAL E / TOTAL D</b>		<b>26 %</b>	
<b>INDICE DE APLANAMIENTO</b>						
<b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL Part. Aplanadas	PORCENTAJE Part. Aplanadas	% RETENIDO Gradación Original	CÁLCULO FINAL
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (g)	B (g)	C= (B/Ax100)	D	E =(Cx D)
2"	1-1/2"	0	0	0,0	0	0,0
1-1/2"	1"	0	0	0,0	0	0,0
1"	3/4"	0	0	0,0	0	0,0
3/4"	1/2"	141,1	68,3	48,4	7,5	363,8
1/2"	3/8"	281,8	46,5	16,5	15,0	247,3
3/8"	1/4"	553,4	107,7	19,5	29,5	574,8
<b>TOTAL</b>		<b>976,3</b>	<b>222,5</b>	<b>84,4</b>	<b>52,0</b>	<b>1186,0</b>
<b>ÍNDICE DE APLANAMIENTO =</b>			<b>TOTAL E / TOTAL D</b>		<b>23 %</b>	
OBSERVACIONES:						
<b>DATOS DE ELABORACIÓN</b>						
ELABORADO POR:			REVISADO POR:			
CARGO:						
NOMBRE:						
FIRMA:						

## Anexo J. Ensayo de caras fracturadas

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>  <b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>  <b>LABORATORIO DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS</b>  <b>ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS</b>  <b>INV E - 227-07</b>					
<b>OBRA</b> _____		<b>MUESTRA No</b> _____				
<b>DESCRIPCIÓN:</b> _____		<b>FUENTE</b> _____				
<b>PROPIETARIO:</b> _____						
<b>TAMIZ</b>		PESO DE LA	PES MAT	% CON	%RET	<b>CÁLCULO FINAL</b>
		MUESTRA	CON C FRAC	C FRAC	G ORG	
PASA	RETENIDO	(Grs)	(Grs)	(B/A X 100)	(%)	(C X D)
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
1-1/2"	1"	0,0	0,0	0,0	0	0,0
1"	3/4"	28,9	17,8	61,6	1,419	87,4
3/4"	1/2"	65,7	57,7	87,8	7,517	660,1
1/2"	3/8"	127,2	121,1	95,2	14,985	1.426,8
<b>TOTAL</b>		<b>221,8</b>	<b>196,6</b>	<b>244,6</b>	<b>23,9</b>	<b>2.174,3</b>
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS =</b>		$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$		<b>90,9 %</b>		
<b>ESPECIFICACIÓN</b>		BASE GRANULAR	<b>50% MÍNIMO</b>			
		MEZCLA ASFÁLTICA	<b>75% MÍNIMO</b>			
		CONCRETO	<b>60% MÍNIMO</b>			
<b>OBSERVACIONES:</b> _____						
<b>DATOS DE ELABORACIÓN</b>						
<b>ELABORADO POR:</b>			<b>REVISADO POR:</b>			
<b>CARGO:</b> _____						
<b>NOMBRE:</b> _____						
<b>FIRMA:</b> _____						