

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO		F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia		Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO		1 (247)

RESUMEN – TESIS DE GRADO

AUTORES	NINFA PIEDAD DURÁN HERRERA NOREXY VELÁSQUEZ AMADO		
FACULTAD	DE INGENIERIA		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	RODRIGO PEÑARANDA JÁCOME		
COORDIRECTOR	JOSÉ ANTONIO HENAO MARTÍNEZ		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE CONCRETOS, REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>PARA ESTE TRABAJO SE ESTUDIÓ LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO, SUSTITUYENDO EL 5%, 10%, 15% Y 20% DE CEMENTO POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR; SE CLASIFICARON LAS CENIZAS ,POSTERIORMENTE SE DETERMINÓ LA RESISTENCIA DE LAS MUESTRAS A EDADES DE 7, 14 Y 28 DÍAS. EN CUANTO A LOS RESULTADOS, SE OBTUVO COMO PORCENTAJE ÓPTIMO DE ADICION EL 5% PARA AMBAS CENIZAS.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 247	PLANOS:	ILUSTRACIONES:33	CD-ROM:1



EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE CONCRETOS, REEMPLAZANDO PARCIALMENTE
EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE
CAÑA DE AZUCAR

AUTORES:

NINFA PIEDAD DURAN HERRERA

NOREXY VELASQUEZ AMADO

Trabajo de Grado Para Optar el Título de Ingeniero(a) Civil

Director

RODRIGO PEÑARANDA JACOME

Ingeniero en Metalurgia

Codirector

JOSÉ ANTONIO HENAO MARTÍNEZ

Doctor Química Aplicada Opción Estudio de Materiales

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA CIVIL

Agradecimientos

Queremos expresar los más sinceros agradecimientos a todos los que hicieron posibles con sus valiosos aportes, el desarrollo del presente trabajo de grado.

A Dios, Por bendecirnos cada día, por regalarnos la oportunidad de estudiar esta valiosa carrera y permitirnos culminarla de la mejor manera. Por ser nuestra guía y fortaleza, por regalarnos su amor y poner en nuestro camino a personas que desinteresadamente nos colaboraron.

A la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por darnos la oportunidad de pertenecer a esta gran institución y por facilitarnos el préstamo de las instalaciones y los equipos de laboratorio.

A nuestro director de tesis, Ing. Rodrigo Peñaranda Jácome, por su cariño, apoyo, sus consejos y enseñanzas, que fueron herramientas fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Gracias por su amistad.

A nuestro codirector de tesis, Doctor José Antonio Henaó Martínez, por su apoyo, continúa disponibilidad en brindarnos su ayuda y asesoramiento para el desarrollo de esta investigación, pero sobre todo muchas gracias por la confianza depositada en este trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander y al personal del laboratorio de Rayos –X del Parque tecnológico Guatigará, de la UIS, por el apoyo y la colaboración recibida para la realización de los ensayos de Difracción de Rayos –X.

Agradecer de manera especial a la docente, Magister María Teresa Durán Celón por sus aportes al desarrollo de esta tesis, su dedicación y sus valiosos consejos y recomendaciones.

Agradecer a todo el personal de la Facultad de Ingeniería Civil, en especial al Ingeniero Leandro Ovallos Manosalva y la Secretaria Yisneidy Ballesteros, por su apoyo durante el desarrollo de esta tesis y sus recomendaciones para agilizar todos los procesos.

También queremos agradecer a las empresas TERMOTASAJERO S.A en el municipio San Cayetano, en el Departamento de Norte de Santander, a PROVIAS E.A.T en Ocaña Norte de Santander y al trapiche panelero en la finca San Antonio del municipio de Convención Norte de Santander, quienes nos colaboraron con el suministro de los materiales para el desarrollo de esta tesis de investigación.

Con cariño, Norexy Velásquez y Ninfa Piedad Durán.

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a Dios, por regalarme su amor y sabiduría, y por darme salud, para terminar este trabajo de la mejor manera y con ello lograr uno mis objetivos.

A mi madre, Ana Delfina Amado, por ser mi inspiración cada día, por su amor y entrega, por regalarme los mejores consejos, por su apoyo incondicional, su ejemplo, y por creer en mí. Gracias mami, te Amo Mucho.

A mis padres, Por estar siempre a mi lado brindándome su amor y su apoyo incondicional, gracias por creer en mí, ahora les puedo decir que el objetivo alcanzado también es de ustedes y que valió la pena los sacrificios y esfuerzos realizados. Los amo, gracias.

A mi hermano, Por su cariño y comprensión, y por haber contribuido y apoyado con el desarrollo de este trabajo.

A Freddy Cárdenas, Por brindarme su apoyo incondicional, por sus palabras de ánimo y motivación, por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles y contribuir con el desarrollo de esta tesis.

Norexy Velásquez Amado

Dedicatoria

A Dios por guiarme, por poner las personas indicadas y por regalarme esas bendiciones que me permitieron caminar segura para lograr cumplir mi meta de ser ingeniera.

A esas bendiciones que Dios me regalo:

Mi mamá Carmen Cecilia Herrera García por darme además de la vida todo, su amor, sus cuidados, su apoyo, sus enseñanzas, su confianza, por estar en cada paso que doy, por ser mi orgullo y mi razón de ser.

Mi papá Saury Milciades Durán Duarte por darme la vida, por quererme tanto como lo hizo, por cuidarme desde el cielo; sé que sería el papá más orgullosos del mundo de haber tenido la oportunidad de compartir conmigo estos momentos de felicidad.

A mis hermanas por hacer parte de este proceso de aprendizaje, por siempre estar a mi lado apoyándome y alentándome a seguir adelante y sobre todo a mamá por su entrega.

A mis sobrinos que los quiero tanto, y de manera especial a mi Evelin Daniela por elegirme su mamá.

A mi Rana por enseñarme tantas cosas, por estar en cada momento a veces sin saber que decir pero siempre a mi lado.

Ninfa Piedad Durán Herrera

Tabla de contenido

Capítulo 1: Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Formulación del problema	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general.	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Justificación	5
1.5 Delimitaciones	7
1.5.1 Delimitación operativa.....	7
1.5.2 Delimitación conceptual.....	8
1.5.3 Delimitación geográfica	9
1.5.4 Delimitación temporal.....	10
Capítulo 2: Marcos de referencia	11
2.1 Marco histórico	11
2.2 Marco contextual	24
2.2.1 Descripción del lugar donde se llevará a cabo el desarrollo de la investigación.....	25
2.2.2 Lugar de procedencia de materiales a emplear en el diseño de mezclas.....	29
2.2.2.1 Cenizas volantes.	29
2.2.2.2 Cenizas de bagazo de caña	31
2.2.2.3 Agregados.....	32
2.3 Marco conceptual.....	35
2.3.1 Agregados	35
2.3.2 Agregado fino.....	35
2.3.3 Agregado grueso.	35
2.3.4 Agua.	36
2.3.5 Ceniza de bagazo de caña de azúcar (cbca).	36
2.3.6 Cenizas volantes.....	36
2.3.7 Cemento	37
2.3.8 Concreto.	38
2.3.9 Difracción de rayos x (drx).	39
2.3.10 Materiales puzolánicos.....	40
2.4 Marco teórico	40
2.4.1 Materiales para la elaboración del concreto.....	41
2.4.1.1 Cemento portland.	41
2.4.1.2 Agregados.....	49
2.4.1.3 Agua.....	62

2.4.1.4 Cenizas volantes.....	65
2.4.1.5 Cenizas de bagazo de caña.....	72
2.4.2 Concreto.....	73
2.4.2.1 <i>Propiedades del concreto fresco</i>	74
2.4.2.2 <i>Proceso de fraguado</i>	79
2.4.2.3 Propiedades del concreto endurecido.....	80
2.4.3 Diseño de mezclas de concreto.....	86
2.4.3.1 <i>Método de dosificación</i>	87
2.5 Marco legal.....	96
Capítulo 3. Diseño metodológico.....	118
3.1 Tipo de investigación.....	119
3.2 Población y muestra.....	121
3.2.1 Población.....	121
3.2.2 Muestra.....	121
3.3 Técnicas de recolección de información.....	123
3.4 Fases de la investigación.....	123
3.4.1 Fase I: recolección de información y materiales.....	123
3.4.2 Fase II: ensayos de laboratorio.....	123
3.4.3 Fase III: diseño y elaboración de la mezclas.....	124
3.4.4 Fase IV: análisis de resultados.....	124
3.5 Administración del proyecto o recursos disponibles materiales y financieros.....	125
3.5.1 Recursos institucionales.....	126
3.5.2 Recursos tecnológicos.....	126
3.5.3 Recursos humanos.....	126
Capítulo 4. Metodología experimental.....	128
4.1 Ensayos realizados a los materiales utilizados para la elaboración del concreto.....	130
4.1.1 Composición mineralógica de las cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar, método difracción de rayos x.....	130
4.1.2 Determinación de la granulometría para cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña.....	133
4.1.3 Humedad natural de las cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña.....	134
4.1.4 Peso específico de las cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar.....	135
4.1.5 Especificación de los agregados para hormigón.....	136
4.1.6 Granulometría de agregados finos y gruesos.....	136
4.1.7 Peso específico y absorción de los agregados gruesos.....	138
4.1.8 Peso específico y absorción de los agregados finos.....	139
4.1.9 Masa unitaria de los agregados.....	141
4.1.9.1 Masa unitaria del agregado suelto.....	141

4.1.9.2 Masa unitaria del agregado compactado	142
4.1.10 Resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles.....	143
4.1.11. Contenido de materia orgánica de agregado fino.....	145
4.1.12 Humedad natural de los agregados	146
4.1.13 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable en el agregado	148
4.1.13.1 Para agregado fino	148
4.1.13.2 Para agregado grueso.....	148
4.1.14 Peso específico del cemento.....	151
4.1.15 Elaboración de mezclas de concreto	152
4.1.15.1 Curado del concreto.....	152
4.1.15.2 Ensayos del concreto en estado fresco.	154
4.1.15.3 Ensayos del concreto endurecido	155
Capítulo 5. Resultados y análisis de datos	156
5.1 Resultados de los ensayos realizados a los materiales utilizados para la elaboración del concreto.....	156
5.1.1 Clasificación de las cenizas volantes.	158
5.1.1.1 Por su origen.....	158
5.1.1.2 Composición mineralógica, método difracción de rayos x.....	158
5.1.1.3 Por su carácter químico	162
5.1.2 Clasificación de las cenizas de bagazo de caña de azúcar.	162
5.1.2.1 Por su origen.....	162
5.1.2.2 Composición mineralógica, método difracción de rayos x	162
5.1.2.3 Por su carácter químico	164
5.2 Análisis granulométrico ceniza volante	166
5.3 Peso específico cenizas volantes.....	167
5.4 Contenido de humedad	168
5.5 Análisis granulométrico de las cenizas de bagazo de caña de azúcar.....	169
5.6 Peso específico cenizas de bagazo de caña de azúcar.....	170
5.7 Contenido de humedad ceniza de bagazo de caña de azúcar.....	171
5.8 Peso específico del cemento	172
5.9 Análisis granulométrico del agregado grueso.....	173
5.10 Peso específico y absorción de los agregados gruesos	175
5.11 Masa unitaria de agregado grueso.....	176
5.12 Resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles.....	177
5.13 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable en el agregado grueso	178
5.14 Contenido de humedad del agregado grueso.	179
5.15 Análisis granulométrico agregado fino.....	180
5.16 Peso específico y absorción de los agregados finos.....	181

5.17 Masas unitarias de los agregados finos	182
5.18 Contenido de materia orgánica de agregado fino	183
5.19 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznales en el agregado fino	183
5.20 Contenido de humedad agregado fino	184
5.21 Diseño y elaboración de las mezclas de concreto	185
5.21.1 Procedimiento de dosificación	186
5.22 Dosificación de cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar en la mezcla de concreto	199
5.23 Resistencia a la compresión	201
5.23.1 Ensayos de las muestras testigo	202
5.23.2 Ensayos de concretos con cenizas volantes	203
5.23.3 Ensayos del concreto con cenizas de bagazo de caña d azúcar.....	204
5.24 Medicion y comparacioón de costos	214
Capítulo 6. Conclusiones	219
Capitulo 7. Recomendaciones	223
Lista de referencias	226

Lista de figuras

Figura 1. Localización departamento norte de santander	25
Figura 2. Localización de la ciudad de ocaña	28
Figura 3. Localización empresa termotasajero s.a, municipio de san cayetano	30
Figura 4. Localización trapiche panelero, finca san antonio, convención	32
Figura 5. Localización explotación de material (agregados) a cargo de la empresa provias ocaña	34
Figura 6. Flujograma para la dosificación de mezclas de concreto.	129
Figura 7. Portamuestras para drx, técnica de llenado frontal.....	131
Figura 8. Granulometría de cenizas	133
Figura 9. Determinación del contenido de humedad de las cenizas	134
Figura 10. Determinación del peso específico de las cenizas	136
Figura 11. Granulometría de agregados.....	137
Figura 12. Preparación de muestra para ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos.	138
Figura 13. Toma del peso del agregado grueso sumergido en agua.	139
Figura 14. Determinación de la densidad y absorción de los agregados finos.	141
Figura 15. Determinación de masa unitaria suelta.....	142
Figura 16. Determinación de masa unitaria compacta.....	142
Figura 17. Máquina de los ángeles, ensayo de desgaste del agregado grueso.	143
Figura 18. Determinación del contenido de materia orgánica.....	146
Figura 19. Determinación de la humedad en los agregados	147
Figura 20. Determinación del peso específico del cemento	152
Figura 21. Proceso de curado.....	153
Figura 22. Ensayo de asentamiento.	154
Figura 23 ensayo de resitencia a la compresion.....	155
Figura 24. Perfil de difracción, cenizas volantes.	160
Figura 25. Perfil de difracción, cenizas de bagazo de caña de azucar.	164
Figura 26. Método grafico para la optimización granulométrica de los agregados (combinación agregado fino con el grueso).....	191
Figura 27. Resistencia a la compresión, 7 días.	205
Figura 28. Resistencia a la compresión, 14 días.	206
Figura 29. Resistencia a la compresion 28 días.	207
Figura 30. Resistencia a la compresion de cada porcentaje de adición de cenizas.....	209
Figura 31. Variacion de la resistencia a la compresion de las muestras patron.....	211
Figura 32. Variacion de la resistencia a la compresion de las muestras adicionadas con cenizas volantes.	212

Figura 33. Variacion de la resistencia a la compresion de las muestras adicionadas con cenizas de bagazo de caña de azucar..... 213

Lista de tablas

Tabla 1. Características de los compuestos del cemento.....	46
Tabla 2. Clasificación de los agregados según su tamaño.....	50
Tabla 3. Clasificación del concreto según la masa unitaria.....	86
Tabla 4. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.....	89
Tabla 5. Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición.....	90
Tabla 6. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y TMN del agregado.....	91
Tabla 7. Relación entre la resistencia a compresión y algunos valores de la relación, a/c.....	92
Tabla 8. Recursos financieros del proyecto	125
Tabla 9. Resumen de las condiciones técnicas durante la operación del equipo utilizado para los análisis de difracción de rayos x.	132
Tabla 10. Cantidades de material para ensayo de desgaste.....	144
Tabla 11. Carga abrasiva para ensayo de desgaste.	145
Tabla 12. Masa de la muestra de ensayo para agregado grueso	149
TABLA 13. Tamices para hacer el lavado de la muestra.....	150
TABLA 14. Clasificación de aditivos minerales, NTC 3493.....	158
Tabla 15. Resultados composición mineralogía de cenizas volantes	159
Tabla 16. Composición mineralogía de las cenizas volantes, 28 de mayo de 2015	161
Tabla 17. Resultados composición mineralogía de cenizas de bagazo de caña de azúcar	163
Tabla 18. Verificación de las especificaciones granulométricas para agregado grueso según la NTC 174.....	189
Tabla 19. Verificación de las especificaciones granulométricas para agregado fino según la NTC 174.....	189
Tabla 20. Rango granulométrico recomendado.....	190
Tabla 21. Granulometría óptima de agregados (arena – triturado).....	192
Tabla 22. Propiedades de los agregados	192
Tabla 23. Densidad aparente promedio de los agregados.....	193
Tabla 24. Pesos secos de la grava y la arena para un metro cubico de concreto	193
Tabla 25. Ajuste de la cantidad de agua de mezclado	194
Tabla 26. Cantidades para 1m ³ de concreto.....	195
Tabla 27. Dosificación para un metro cúbico de concreto.....	199
Tabla 28. Nomenclaturas utilizadas para las mezclas de concreto	200
Tabla 29. Proporciones para diferentes porcentajes de cv y cbca.....	200
Tabla 30. Proporciones en peso para diferentes porcentajes de CV y CBCA	201
Tabla 31. Variación de la resistencia a la compresión en los periodos de tiempo de curado	214

Tabla 32. Costos de preparación de concreto con reemplazo parcial de 5% de cenizas (% óptimo).....	216
Tabla 33. Costos para un metro cubico de concreto con remplazo parcial de 10% de cenizas.	217

Resumen

Para este trabajo se estudió la resistencia a compresión de mezclas de concreto, sustituyendo el 5%, 10%, 15% y 20% en peso de cemento por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar; se determinó la composición química y mineralógica de las cenizas con el propósito de clasificarlas según la NTC 3493, posteriormente se realizaron los ensayos típicos de caracterización de los materiales empleados en el diseño, para así poder realizar las distintas mezclas, luego de realizadas las mismas, se procedió a realizar las probetas, se dejaron fraguar por 24 horas, y transcurrido ese tiempo se colocaron en una pileta de curado, se determinó la resistencia a la compresión de las muestras a edades de 7, 14 y 28 días. En cuanto a los resultados, se obtuvo que el porcentaje de adición óptimo es de 5% para ambas cenizas y se determinó que con un 10% de adición se logran altas resistencias.

Introducción

No es un secreto que el nuevo desafío de la ciencia y la tecnología en la actualidad es aprovechar o reutilizar materiales considerados de desecho, explotando sus características y propiedades al máximo, es así que para el desarrollo de esta investigación se propuso el reemplazo parcial del cemento tradicional por adiciones de ceniza volante y ceniza de bagazo de caña de azúcar, materiales que en su estado natural o por si mismas no poseen propiedades hidráulicas (capacidad de endurecimiento al mezclarse con agua) pero que en medio acuoso y a temperatura ambiente se combinan químicamente y forman compuestos con propiedades cementantes los cuales son semejantes a los del cemento portland.

Sin lugar a dudas el cemento Portland ha contribuido sustancialmente al desarrollo económico de la sociedad moderna. Pero su fabricación, sustentada en el uso de recursos no renovables, ha generado la producción de grandes cantidades de gases efecto invernadero, por otra parte el uso de pequeñas cantidades de cemento Portland y grandes cantidades de adiciones puzolánicas se ven como una buena alternativa para reducir las emisiones producidas en la fabricación del cemento Portland. (Lorca Aranda, 2014)

Este proyecto principalmente se encuentra basado en la sustitución parcial de cemento hidráulico convencional, por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar, en la producción de concreto, donde se permite obtener un producto que cumple con los requerimientos físicos y mecánicos especificados en las normas técnicas colombianas (NTC). Para este trabajo Se manejan mezclas adicionadas con 5%, 10% 15% y 20% de ambas cenizas y

mediante la evaluación de la resistencia a la compresión ofrecidas por las diferentes mezclas de concretos adicionadas con estos materiales, se pretende dar a conocer alternativas confiables y amigables con el medio ambiente para la fabricación de concretos; de igual forma esta investigación va dirigida a personas que quieran innovar en el campo de la construcción siguiendo la metodología usada para la realización de cada una de los ensayos que es la establecida por las normas técnicas nacionales lo cual garantiza la confiabilidad de los procesos y los resultados, así mismo el emplear estos materiales puzolanicos genera ventajas económicas lo cual reduce considerablemente el costo de las obras.

Capítulo 1: Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar

1.1 Planteamiento del problema

Es sabido que el concreto, es sin duda uno de los materiales de construcción más empleados en obras de ingeniería civil, debido a sus propiedades físicas, mecánicas, trabajabilidad, durabilidad, entre otras; a ello se suma el creciente desarrollo poblacional evidenciado hoy en día, razón por la cual ha aumentado de manera considerable su uso, así como la producción del cemento, componente básico del concreto.

Por otra parte, según Pérez y Ribero (2008) “... la generación de energía eléctrica en plantas térmicas produce residuos sólidos conocidos como cenizas volantes (CV) provenientes de la combustión del carbón en las termoeléctricas”, de igual forma se cuenta con las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA), provenientes de la quema del bagazo de la caña de azúcar dentro del mismo proceso de producción en los trapiches paneleros tradicionales en Colombia.

De acuerdo a lo anterior, se deduce que la generación y no uso de cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña en los diferentes procesos antes mencionados representan un problema medioambiental, puesto que estas cenizas son almacenadas a la intemperie y con el efecto del viento son esparcidas a la atmosfera, convirtiéndose en un foco de contaminación considerable, afectando la salud pública y el medioambiente; por otra parte en la producción de

cemento se generan emisiones de gases a la atmosfera como es el caso del dióxido de carbono, cierto es, que como lo ha demostrado la ciencia estas emisiones favorecen el efecto invernadero factor determinante en el calentamiento global; dicho esto se deduce, que ambos tipos de ceniza son consideradas elementos contaminantes.

También es cierto que actualmente la reutilización de las cenizas volantes es una realidad pero que solo empresas de alto nivel y experiencia pueden realizar, en grandes procesos, con tecnologías de alta complejidad, y con inversiones económicas elevadas en la producción de cemento.

Según el Fondo de Fomento Panelero, FEDEPANELA, el Norte de Santander es uno de los departamentos productores de panela y la provincia de Ocaña y sus alrededores forman parte activa de esta producción, lo que nos lleva a decir que existe un alto índice de generación de cenizas de bagazo de caña de azúcar en la región, las cuales están generando contaminación ambiental, puesto que hasta donde se sabe, no están siendo reutilizadas de ningún modo.

De acuerdo con Pérez y Rivero (2008), las cenizas volantes al igual que las cenizas de bagazo de caña son consideradas un material con carácter puzolánico y con características y propiedades muy similares a las del cemento, de modo que para los fines de nuestro argumento se plantea la posibilidad de diseñar y producir concretos remplazando parcialmente la cantidad de cemento portland tipo I por porcentajes adecuados de ceniza volante y ceniza de bagazo de caña de azúcar, con las propiedades necesarias, para que sea considerado un concreto apto para

la construcción, de acuerdo a lo estipulado en las normas técnicas colombianas NTC, y la NSR 10.

1.2 Formulación del problema

¿Cuáles son los beneficios ofrecidos al diseñar y producir concretos, usando cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento portland?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Evaluar la aptitud en cuanto a resistencia a la compresión de concretos diseñados reemplazando parcialmente el cemento portland tipo I por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición química y propiedades físicas de las cenizas en estudio para así clasificarlas de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana, NTC 3493 (ASTM C618).
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los concretos diseñados reemplazando parcialmente el cemento tradicional por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar, para así determinar su resistencia y evaluar su calidad.

- Determinar el porcentaje óptimo de adición de ceniza volante y ceniza de bagazo de caña de azúcar de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas obtenidas de los concretos para dar recomendaciones de su posible uso.

- Establecer la viabilidad económica en la producción de concretos empleando cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento portland.

1.4 Justificación

Con sano criterio se afirma que la ingeniería civil es uno de los pilares mundiales en cuanto a desarrollo se refiere, y es por esto que afronta grandes desafíos, como lo es la **reutilización de material residual** en diversos procesos de construcción, se trata desde luego en este caso, del uso de cenizas volantes y de bagazo de caña, como reemplazo parcial del cemento para mezclas de concreto, con lo cual se intenta mitigar el impacto ambiental que estos residuos causan, también el de reducir costos en las obras, puesto que la ceniza volante y de bagazo de caña de azúcar, se obtienen a un costo inferior al cemento tradicional; de la misma forma se busca dar una alternativa novedosa, atractiva y asequible en la construcción.

Como es sabido y de acuerdo con el Fondo de Fomento Panelero, FEDEPANELA, Ocaña y sus alrededores cuenta con una gran cantidad de industrias paneleras, cuya materia prima es la caña de azúcar, para lo cual, la venta de las cenizas de bagazo de caña representaría una potencial fuente de ingresos que hoy en día no se explota por los pequeños y grandes empresarios de la región, de igual forma generaría un beneficio económico, para personas del

común y constructores interesados en implementar esta nueva propuesta en sus pequeñas y grandes obras, puesto que estos materiales presentan un menor costo que el cemento tradicional, además de la facilidad de adquisición de las cenizas de bagazo de caña, pero, sobre todo pensamos en reducir la contaminación que este material residual ocasiona al medio ambiente.

El Instituto Politécnico Nacional (México) propone la reducción del contenido de cemento en el concreto, y reemplazarlo por subproductos industriales. Tal es el caso de la ceniza volante o desechos agrícolas y las cenizas del bagazo de caña, además, en este mismo país existen investigaciones como la que lleva a cabo el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca, a cargo del doctor Montes García, P. (2014), el cual de acuerdo a trabajos previos efectuados con el investigador politécnico, indica:

El bagazo de caña ha sido utilizado para sustituir parcialmente al cemento, (...). En la composición química de la ceniza de bagazo de caña predomina el óxido de silicio con contenidos de alúmina y óxido de hierro, que pueden reaccionar con el hidróxido de calcio en la hidratación del cemento y producir materiales que mejoren las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto.

De aquí, que Montes (2014), según su investigación concluye “la ceniza de bagazo de caña parece ser una opción factible para la elaboración de una gran variedad de materiales que se utilizan en la industria de la construcción. Por ello se requiere continuar con investigaciones tendientes a dilucidar su potencial como sustituto parcial o total del cemento Portland”.

Algo más que añadir, es que con el desarrollo de esta investigación de la mano de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, se estará contribuyendo con el fortalecimiento de la línea de investigación de Materiales y Sísmica y con esto los procesos que determinan la alta calidad de la universidad; por otra parte al desarrollar esta investigación se estará nutriendo la bibliografía e investigación sobre el uso de las cenizas de bagazo de caña, de igual forma se está enriqueciendo el aprendizaje y el conocimiento de los ingenieros en formación a cargo de la investigación.

De acuerdo a lo anterior se considera que con la realización de este proyecto se logra generar alternativas, beneficios y el enriquecimiento de la ingeniería civil como disciplina, integrando factores relevantes en la actualidad, como el impacto ambiental, económico y social.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación operativa. Las cenizas volantes y de bagazo de caña de azúcar deben cumplir con lo establecido en la NTC 3493, donde se especifica los requisitos que deben cumplir, para ser utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento portland.

Para la elaboración de mezclas de concreto reemplazando parcialmente la cantidad de cemento Portland tipo I por ceniza volante y ceniza de bagazo de caña de azúcar, se debe tener en cuenta el rango apropiado para la sustitución del cemento por este tipo de cenizas. Además, se debe tener el conocimiento sobre la aplicación de la NSR10, para la elaboración de concretos.

En la realización de esta investigación no se tiene en cuenta el efecto que pueda causar el uso de CV y CBCA, sobre el acero de refuerzo, debido a la composición mineralógica de estos materiales.

Durante el periodo de caracterización de los elementos constituyentes del concreto, así como de análisis del comportamiento y resistencia a la compresión de las diferentes mezclas de prueba, se hace necesario de la disponibilidad de laboratorios de materiales y resistencia.

1.5.2 Delimitación conceptual. El concreto es considerado un material de construcción, producto de la combinación de cemento, agregados y agua, y en algunos casos aditivos o subproductos industriales, que ayudan a mejorar algunas de las propiedades del concreto, como son la trabajabilidad, velocidad de fraguado, durabilidad, resistencia, entre otras; partiendo de este concepto se decide ofrecer una alternativa novedosa en la producción de concretos, basados en el uso de subproductos industriales como las CV y CBCA.

Escases de bibliografía en cuanto al uso de las cenizas de bagazo de caña de azúcar en el país.

En la elaboración de mezclas de concreto reemplazando parcialmente el cemento portland por CV Y CBCA , se debe tener conocimiento sobre el diseño de concretos, en cuanto a dosificación de materiales, evaluación de las propiedades de los agregados, caracterización de cenizas volantes y de bagazo de caña de azúcar, además, tener conocimiento sobre los estudios previos que se deben practicar a cada uno de los materiales constituyentes del concreto, como

son los ensayos de granulometría, finura, tamaño máximo, tamaño máximo nominal, absorción, humedad, densidad aparente, masa unitaria suelta, ensayos de cilindros para evaluar la resistencia a la compresión y otros, de acuerdo a las características de las cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar, con el fin de obtener resultados confiables, según lo establecido en la NSR10 en su Título C y las referencias que este considere.

Cuando se estudia el comportamiento de mezclas de concreto, se hace necesario el pleno conocimiento y uso de las Normas Técnicas Colombianas, NTC, ya que son estas las que nos indican el procedimiento a seguir, los ensayos de laboratorio que se deben realizar y además, calificar el concreto de acuerdo a las propiedades obtenidas.

1.5.3 Delimitación geográfica. Los materiales que se utilizaran para el desarrollo de este proyecto se encuentran disponibles en el departamento de Norte de Santander, en el caso de la ceniza volante, se obtiene de la termoeléctrica TERMOTASAJERO S.A, ubicada en la ciudad de Cúcuta, la ceniza de bagazo de caña de azúcar se obtiene de la provincia de Ocaña y sus alrededores y los agregados a usar serán los del río Algodonal en la ciudad de Ocaña.

Este proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Ocaña, sin embargo, la utilización de ceniza volante y ceniza de bagazo de caña de azúcar, como una alternativa para la producción de concreto se puede realizar en cualquier parte del mundo que cuente con disponibilidad de estos materiales, teniendo en cuenta que las características de estas, dependen principalmente del tipo y origen de la materia prima que las produce y además del proceso empleado.

1.5.4 Delimitación temporal. Este proyecto se llevará a cabo, durante un periodo de 8 meses, comprendido desde Agosto del año 2015 a Abril del año 2016.

Capítulo 2: Marcos de referencia

2.1 Marco histórico

Desde el inicio de la civilización, el hombre ha sentido la necesidad de construir un lugar donde vivir y en el cual proteger a su familia; por esta razón, desde entonces, ha buscado los medios para conformar una estructura estable, haciendo uso de los diferentes materiales que la naturaleza le ofrece.

Cierto es que, en la antigua Grecia tal como lo afirma (Niño Hernandez, 2010) se emplearon mezclas de caliza calcinada (cal viva), agua y arena, con adiciones de piedra triturada y tejas rotas o ladrillos, dando origen con ello al primer concreto de la historia. Los romanos por su parte, al ver que la cal viva no presentaba buena resistencia a la acción del agua, usaron un material con apariencia de arena rosada conocido como ceniza volcánica, con contenidos de sílice y alúmina, que según pruebas empíricas tenían mayor resistencia y duración tanto en aguas dulces como saladas y al ser combinado químicamente con la cal, dan como resultado lo que luego fue conocido como cemento puzolánico.

Por otra parte cabe señalar que durante el Imperio Romano el uso del concreto como elemento constructivo, tanto en grandes como en pequeñas estructuras e infraestructuras alcanzó un grado de tal satisfacción que no se volvió a lograr hasta el siglo XIX. Esto se debió posiblemente a la gran habilidad constructiva de los romanos y a la facilidad de conseguir cerca de Roma arenas volcánicas con propiedades cementantes, con las que preparaban un mortero

mezclando dichas arenas con piedras naturales (habitualmente cal y guijarros). Este mortero poseía unas propiedades físicas y mecánicas prácticamente idénticas a las que posee el hormigón utilizado en las construcciones erigidas en la actualidad, y era utilizado en la construcción de estructuras enormes que han probado ser muy duraderas con el paso de los siglos. Además, los romanos dieron origen al primer concreto aligerado, ya que para reducir el peso de los muros optaron por usar agregados de baja densidad y la inclusión de jarras de barro dentro las mezclas. (Nistal Cordero, 2012)

A pesar de que el uso del concreto declino con la caída del imperio romano, en los años siguientes se siguieron las investigaciones y se llegaron a desarrollar muchos tipos de cemento, lo que llevo a mejorar la calidad de los morteros y por consiguiente a fortalecer el desarrollo del concreto.

Como bien sabemos, en la actualidad, las tecnologías de producción de concretos han alcanzado un alto nivel de desarrollo, pero sin embargo se ha convertido en una de las actividades que mayor impacto causan al ambiente. Por esta razón, se han venido creando alternativas que permitan mitigar el impacto ambiental e impulsen la productividad y la evolución en la construcción. Una de estas alternativas es el uso de subproductos industriales, a partir de los cuales se originan algunas posibles adiciones minerales.

Entre las adiciones más comunes que ya registran una investigación a nivel mundial en los últimos diez años y de las cuales se conocen algunas experiencias, se encuentran las cenizas

volantes, la escoria de alto horno, el micro sílice y las puzolanas artificiales como la ceniza de cascarilla de arroz y la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Según un estudio realizado por (Valderrama, Torres y Mejía, 2011), se demostró que el porcentaje óptimo de adición de ceniza volante en mezclas de concreto es del 10 %, desde el punto de vista mecánico, pero que sin embargo incrementos en el porcentaje dan lugar a efectos positivos en las propiedades de absorción capilar y permeabilidad a cloruros. Además, encontraron que el humo de sílice tiene un desempeño superior al de las cenizas volantes, excepto en presencia de cloruros. De aquí que, se recomienda el diseño de mezclas de concreto adicionados con cenizas volantes en porcentajes superiores al 30%, de manera que se puedan evaluar las propiedades de resistencia y durabilidad como los beneficios e inconvenientes que traería este residuo en materiales de construcción.

Del mismo modo, en una investigación realizada por (M. Burgos, Angulo y Mejia, 2012) en la Universidad del valle, en la cual utilizo cenizas volantes con contenido de carbón del 19% para remplazo parcial del cemento portland en la producción de morteros, se obtuvo como porcentaje óptimo de ceniza volante el 10%, demostrando que incrementa la resistencia mecánica del mortero en un 35% a edades de 28 días de curado y genera efectos positivos en las propiedades de durabilidad, pero que además, en morteros reforzados se comporta adecuadamente, frente a la corrosión de los aceros. Por tal motivo es apropiado evaluar las características de desempeño físico-mecánico en mezclas con porcentajes de adición de CV superiores a los aquí considerados y a edades mayores de curado, para definir sus potenciales aplicaciones en el sector de la construcción.

A partir de la experiencia realizada por (Pérez y Ribero, 2008), se demostró, según ensayos de compresión simple, que las cenizas de bagazo de caña poseen mayor capacidad cementante que la cenizas volantes, aplicadas en suelos granulares limpios. De ahí que, se busque la implementación de estos residuos en la elaboración de diversos materiales para la construcción.

La adición de residuos como remplazo parcial del cemento Portland en la conformación de morteros y hormigones es una práctica muy extendida en el sector de la construcción, gracias a sus propiedades cementantes, los beneficios ambientales que representa tanto en la reducción del consumo de energía como la disminución de emisión de gases contaminantes, y por sus beneficios económicos en la reducción del costo del material, por tal razón, se deben seguir con este tipo de investigaciones que fortalezcan la tecnología de la construcción.

En Colombia debido a la importancia de crear estructuras de alta calidad, seguras y económicas, se crea el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10), el cual reglamenta en su título C, los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto, especificando cada uno de los materiales que se deben emplear.

Al respecto conviene decir que, La NSR-10 (Norma Sismo Resistente,2010), en la Sección C.3.2.1 (e) incluye a la ceniza volante y puzolana natural como material cementante, en la TABLA C.4.4.2 establece requisitos para porcentaje máximo sobre el total de materiales cementantes en peso, y en la sección CR.4.3.1 de la norma en mención se indica que el empleo de cenizas volantes y puzolanas naturales ha demostrado que mejora la resistencia del concreto a los sulfatos; para lo que podemos afirmar que las obras construidas con concretos elaborados con

estos materiales cementantes (CV y CBCA), están cobijadas bajo el cumplimiento de la NSR-10.

A continuación se enuncian algunos proyectos de investigación que son de mucho interés y aportan de forma sustancial bases teóricas que permiten un mejor desarrollo de la investigación en estudio:

- Torres Rivas, B.J., Gaitán Arévalo, J.R., Espinoza Pérez, L.J y Escalante García, J.I., (2014). Valorización de ceniza de bagazo de caña de la industria azucarera Nicaragüense como sustituto parcial al cemento Portland. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Nicaragua.

En este estudio, se presenta la valoración del uso de las cenizas de bagazo de caña (CBCA) proveniente del Ingenio Monte Rosa (Nicaragua) como material alternativo al cemento Portland (CP) mediante estudios de caracterización avanzada y propiedades mecánicas, en pastas endurecidas de CP sustituidas en 15 y 45 % por CBCA; además se utilizó pastas de referencia con 100 % CP sobre las cuales se evaluó las resistencias mecánicas (RM), el consumo de hidróxido de calcio y el desarrollo de los productos de reacción. Los resultados revelaron que los valores más altos de RM reportados fueron por el sistema de referencia, indicando que la RM disminuyó con el incremento en el porcentaje de sustitución. Por medio de los análisis de difracción de rayos X (DRX) y análisis térmicos por ATG/ATD fue demostrado el consumo de Ca(OH)_2 que dio lugar a la formación de gel CSH como principal producto de hidratación y responsable de la ganancia de las propiedades mecánicas. Los productos de reacción fueron

observados también por microscopía electrónica de barrido (MEB) donde el mecanismo en estado sólido fue notable. A partir de estos resultados se puede concluir que las CBCA son un material puzolánico con una mejor reactividad frente al $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 15 % de sustitución.

- Freites, A., Osuna, M., Rodríguez, H., Romero, M. y Salazar, D. (2013). Estudio de la resistencia a compresión en mezclas de concreto, sustituyendo el 10% en peso de cemento por cenizas de las hojas secas de la palma chaguaramo como material puzolánico. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

Estudios anteriores demuestran que el uso de cenizas de materiales de desecho tales como: la hoja del maíz, la cascarilla del arroz o el bagazo de la caña, aportan una resistencia mayor o muy similar, al sustituir un porcentaje del cemento Portland por alguno de estos materiales previamente incinerados y tamizados. Para este trabajo se estudió la resistencia a compresión de mezclas de concreto, sustituyendo el 10% en peso de cemento por cenizas de hojas secas de la palma Chaguaramo, durante el estudio se separaron las cenizas de acuerdo a su tamaño, para así estudiar su comportamiento por separado; se usaron las cenizas pasantes el tamiz #200 y las retenidas en el tamiz #100 y #200. Posteriormente se realizaron los ensayos típicos de caracterización de los agregados, para así poder realizar las distintas mezclas, luego de realizadas las mismas, se procedió a realizar las probetas, se dejaron fraguar por 24 horas, y transcurrido ese tiempo se colocaron en una piscina de curado, donde se dejaron por 14 días para luego ser ensayadas. En cuanto a los resultados, se obtuvo que la mezcla patrón alcanzo la resistencia esperada, y las mezclas con sustitución de 10% en cenizas pasantes tamiz #200 y las

retenidas en el tamiz #100 y #200, presentaron una disminución de la resistencia de un 6,71% y 3,51% respectivamente.

- V. Vidal, D., Torres, J. y González, L. (2014). Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: Estudio preliminar. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

El Valle del Cauca, por sus condiciones ambientales, tiene alta presencia de cultivos azucareros. Un residuo del procesamiento de la caña, poco explorado es la ceniza del bagazo (CBC), objetivo del presente estudio. El bagazo de caña de azúcar una vez es utilizado en las calderas industriales, da lugar a la CBC, este material al igual que los residuos del carbón o cenizas volantes es considerado un material con carácter puzolánico por algunos investigadores. Se estudiaron tres cenizas procedentes de ingenios azucareros del Valle del Cauca, por medio de composición química, difracción de rayos X y actividad puzolánica. Se encontró que las CBC analizadas contienen Sílice (SiO_2) y Alúmina (Al_2O_3), en diferentes proporciones, y que poseen amorficidad en su estructura, lo cual favorece la reactividad con cemento. Las muestras fueron tratadas térmicamente debido al alto contenido de inquemados, y se les determinó la actividad puzolánica, encontrándose índices hasta del 97%, cumpliendo a cabalidad con la norma ASTM C618. Con los resultados se concluye, que éste residuo puede ser adicionado al cemento para la elaboración de materiales de construcción. Se sugiere hacer estudios adicionales de resistencias mecánicas y de durabilidad.

- Santaella V, L.E y Salamanca, C.R (2004). Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante (Termopaipa) y agua constante. Ciencia e Ingeniería Neogranadina.

Este artículo se realiza con base en el trabajo de grado titulado “Influencia de la ceniza volante procedente de Termopaipa IV adicionada en bajos porcentajes al concreto” desarrollada por los estudiantes Milena Puerta Guarín y Helbert Rivera Bernal de la Universidad Militar Nueva Granada y con patrocinio, mediante convenio con la empresa Concretos Premezclados S.A. del grupo Holcim. Cenizas volantes provenientes de la combustión del carbón en la planta IV de Termopaipa se utilizaron para sustituir 10%, 20% y 30% de contenidos de cemento o de arena triturada de los diseños originales, manteniendo constante la cantidad de agua de mezclado del concreto. De los resultados obtenidos se puede deducir que el asentamiento y la densidad del concreto disminuyen cuando se sustituye arena por ceniza que cuando se reemplaza cemento por ceniza, con respecto a la muestra patrón.

La sustitución del cemento por cenizas conduce a resistencias menores que al sustituir parte de la arena, manteniendo constante la cantidad de cemento y el contenido de agua. Este mismo comportamiento se observa en relación con el módulo de elasticidad del material.

- Fernández R, S.E. (2009). Evaluación de concretos puzolánicos elaborados con contenido ceniza de hoja de maíz para uso estructural, Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

El presente Trabajo Especial de Grado evalúa el uso de mezclas de concreto con contenido de cenizas de hojas de maíz como sustituto parcial del cemento Portland en 10, 15 y 20% de su proporción, diseñadas en base a una mezcla patrón con una resistencia de 250Kg/cm². El método empleado se dividió en dos fases: la primera fue la obtención de la ceniza, lo cual implicó la extracción de hojas en una plantación de maíz, proceso de incineración, moliendas, análisis físico y granulométrico de la ceniza; la segunda fase comprendió: diseño, elaboración de mezclas, peso unitario, asentamiento en el cono de Abrams, curado de probetas, densidad y ensayos de resistencia a compresión de probetas normalizadas de 15 cm de diámetro a los 14 y 28 días según la Norma COVENIN 338:2002. Los resultados de la evaluación indican que si es posible el uso de cenizas de hojas de maíz con las características físicas mostradas en este trabajo, como sustituto parcial del cemento Portland en mezclas de concreto para uso estructural.

- Cabrera, S. y Díaz L, J.M. (2010). Evaluación del efecto de la adición de cenizas volantes producto de la incineración del bagazo de caña de azúcar en mezclas de concreto de bajas a medias resistencias como sustitución parcial del cemento. De Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Caracas.

En este Trabajo Especial de Grado se evaluó el comportamiento de mezclas de concreto con ceniza volantes de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento en porcentajes de 40, 45 y 50% para resistencias de diseño de 180 kgf/cm² y 250kgf/cm²; las cenizas empleadas se sometieron a un proceso de secado. Las mezclas se realizaron según la norma COVENIN 354:2001 y las propiedades evaluadas fueron: asentamiento, velocidad

de propagación de ondas, peso unitario, resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días y módulo de elasticidad. En concretos elaborados con ceniza, la resistencia a compresión disminuyó considerablemente; para las mezclas de diseño de 180 kgf/cm² se obtuvieron resistencias de 52 y 66 kgf/cm² y para las mezclas de 250 kgf/cm² resistencias de 103 y 130 kgf/cm². Concluyéndose que para la resistencia alcanzada y el bajo módulo de elasticidad obtenido, este concreto puede ser utilizado en trabajos ornamentales, en bases de pavimentos o en concreto compactado con rodillo en la construcción de presas de gravedad.

- Mella Stappung, A. (2004). Estudio, caracterización y evaluación de puzolana locales en la masa cerámica del ladrillo. Universidad Del BIO Bio. Chile.

En la naturaleza se alberga una amplia gama de distintos tipos de materiales, los que se pueden clasificar en muchos grupo diferentes, es así como se encuentran materiales de origen metálico y no metálico, los que dependiendo de sus características y desde tiempos muy remotos hasta la actualidad, han despertado distintos tipos de intereses en el ser humano, empleándolos mediante la aplicación de distintos tipos de tecnologías. En Chile ha tomado un carácter primordial para el desarrollo del país el primer grupo mencionado, pues por sus características geográficas, el cobre por ejemplo, hace que la minería sea una de las actividades que mayor aporte hace al crecimiento del país. Sin embargo, el grupo de los no metálicos en países industrializados ha causado el efecto contrario, debido a que constituye un insumo bastante importante para la industria.

Es precisamente en el segundo grupo donde situamos a la puzolana, nombre genérico del material, conociéndosele como ceniza volcánica (pumicita) y piedra pómez, dependiendo de su granulometría. Fue ocupada tanto por griegos y romanos para crear sus grandes imperios, lo que indica que hace ya bastante tiempo se conocen las características excepcionales de este material. Tiene un origen volcánico y otro orgánico, existiendo tanto las puzolanas naturales como las artificiales. En este trabajo se tratan las puzolanas naturales, específicamente las de origen volcánico, que se caracterizan por ser un material poroso, cualidad que adquiere al ser expulsada del volcán cuando éste entra en erupción. Sale como lava volcánica que es rica en sílice, y en esas condiciones no existe como cuarzo sino que como un material fundido que está lleno de gases, debido a esto es expulsado del volcán y cae posteriormente en un estado de enfriamiento por lo que no tiene tiempo para alcanzar la estructura cristalina del cuarzo, quedando como vidrio. Es precisamente esa estructura de vidrio y de poros la que le da la característica y el valor al material. Que sea una estructura vítrea indica que posee un desorden estructural, por lo que le otorga una mayor reactividad.

El cuarzo por ejemplo es una estructura cristalina perfectamente ordenada y con un bajo nivel de energía. En cambio el vidrio es una estructura desordenada que posee un alto nivel de energía y no es reactivo porque no tiene poros. Como la puzolana posee ambas cualidades es como si la naturaleza hubiese desordenado el cuarzo y lo hubiese dotado de poros. Esto hace que la puzolana sea un material interesantísimo desde el punto de vista del desarrollo de materiales. Es precisamente aquí donde se le ha estado trabajando tanto en Chile como en otros países, empleando la puzolana en la fabricación de algunos materiales como el cemento, pues en combinación con el clínker reduce considerablemente la utilización de éste. También se le

emplea como adición en morteros y hormigones, donde reacciona con sus componentes y produce distintos efectos; como evitar su debilitamiento, impedir problemas de expansión y proporcionar mayor durabilidad a la estructura. Después de haber analizado las características y propiedades de la puzolana, cosa que no fue muy fácil debido a que hay poca información referente al tema, se procedió a desarrollar la etapa experimental del proyecto. Se logra llevar a cabo la incorporación de puzolana a la masa cerámica del ladrillo, analizándose el comportamiento de las probetas mediante mediciones de: Densidad, Absorción, Conductividad Térmica y Resistencia a la Compresión. Los resultados obtenidos en esta experiencia fueron bastante alentadores, sobre todo en lo que se refiere a la Conductividad Térmica.

- Suárez Silgado. S.S (2010). Mezclas binarias y ternarias basadas en cenizas volantes. Influencia del activador sobre la formación de fases y resistencias mecánicas. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Catalunya.

La generación excesiva de residuos industriales conlleva a una gran pérdida de recursos y de materias primas. Entre estos residuos industriales se encuentran aquellos provenientes de la combustión del carbón, los cuales se generan en gran cantidad (más de 60 millones de toneladas al año en la Unión Europea, de los cuales el 68 % corresponden a cenizas volantes).

Igualmente, la industria de la construcción, concretamente la fabricación del clínker del cemento, también genera un impacto considerable sobre el medio ambiente debido a la generación de gases y partículas (la fabricación de una tonelada de cemento genera aproximadamente 1 tonelada de CO₂ a la atmósfera), al agotamiento de las materias primas

naturales que emplea y al alto consumo energético. Por estas razones anteriormente mencionadas, se han venido efectuado numerosos estudios en los que se busca reducir el factor clínker en mezclas cementantes, al adicionar residuos con propiedades puzolánicas como las cenizas volantes, que permitan reemplazar parcial o totalmente al cemento Pórtland, y actualmente también en mezclas binarias o ternarias, dando una valorización a estos residuos. En ausencia del cemento Pórtland se han estudiado varios mecanismos como la activación con álcalis a altas temperaturas en mezclas cementantes para acelerar la reacción de las cenizas volantes y obtener altas resistencias a edades tempranas.

En el presente trabajo se reemplaza totalmente el cemento Pórtland por la ceniza volante en el sistema binario (Cemento Pórtland/Cemento de aluminato de calcio) y ternario (Cemento Pórtland/Cemento de aluminato de calcio/ sulfato de calcio) y para ello se utiliza el agua y dos disoluciones (una de hidróxido de sodio(8 molar) y otra de 85 % de hidróxido de sodio (10 molar) y 15 % de silicato sódico), con el fin de determinar la influencia del líquido de amasado en la formación de fases y desarrollo de resistencias a temperatura ambiente. Los resultados de este trabajo indican que la activación alcalina de cenizas volantes bajo condiciones de curado (25 °C y humedad relativa 86 %) acelera la reacción de hidratación de dicha puzolana y contribuye a la formación de especies zeolíticas, en algunos casos con muy pocas horas de curado. Los mecanismos de hidratación alcanzados en un medio alcalino y un medio neutro difieren. En el medio alcalino la velocidad de reacción de los aluminatos cálcicos (CA) es más rápida y por ello se forman mayor cantidad de C_3AH_6 y AH_3 . Además, con las disoluciones alcalinas no se forman los hidratos hexagonales metaestables que se forman en mezclas de CAC con agua, ni la etringita en mezclas ternarias que contienen yeso.

Por último, las resistencias mecánicas a compresión obtenidas, indican que los mayores valores se obtienen en aquellos sistemas de mezcla alcalinos en los que se utiliza gran cantidad de ceniza volante, comparada con las resistencias alcanzadas cuando se emplean estas mismas composiciones con agua. Sin embargo, las composiciones que contienen un mayor contenido de CAC, presentan los más altos valores de resistencias cuando se utiliza agua como líquido de amasado. En general, en los sistemas ternarios, la adición de yeso favorece a un incremento en las resistencias.

2.2 Marco contextual

El desarrollo del proyecto de investigación “EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE CONCRETOS, REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR”, tiene como finalidad generar alternativas de calidad y amigables con el medio ambiente, para la comunidad en general y claramente para la ingeniería civil, en cuanto al diseño de mezclas de concreto, haciendo uso de residuos, al mismo tiempo se pretende dar una alternativa novedosa y confiable para personas dedicadas o interesadas en la construcción.

Es significativa la importancia que tiene establecer la ubicación de donde se desarrollara la investigación, o por supuesto para este caso la procedencia de los materiales a usar, dicho lo anterior podemos precisar que la investigación se desarrollara de la mano de la Universidad Francisco De Paula Santander, Ocaña y la colaboración de la Universidad Industrial de Santander, en la ciudad de Bucaramanga, Norte de Santander.

A continuación se describen en forma general aspectos relevantes sobre la ubicación, empresas y comunidades, involucradas en el suministro de materiales, o que influyen de manera directa en la investigación.

2.2.1 Descripción del lugar donde se llevará a cabo el desarrollo de la investigación.

En este orden de ideas, el departamento de Norte de Santander, toma protagonismo en el desarrollo de esta investigación, puesto que en una de sus ciudades, Ocaña, se desarrollara dicha investigación, de igual forma todos los materiales a usar, proceden de sus provincias, ríos y empresas, es así como damos paso a mencionar aspectos de interés de este departamento. Ver ubicación en la figura 1.



Figura 1. Localización departamento de Norte de Santander.

Fuente: Google Earth, Vista aérea 2015.

Norte de Santander es uno de los 32 departamentos de Colombia. Está ubicado en la zona nororiental del país sobre la frontera con Venezuela, Hace parte de la región Andina. Tiene 40 municipios agrupados en 6 subregiones, 2 provincias y un área metropolitana. Su capital es la ciudad de Cúcuta. (Anónimo, Division Politico Administrativa de Colombia, 2015)

Tiene una superficie de 21.648 km² (que en términos de extensión es similar a la de El Salvador o Eslovenia, y una densidad de 66.8 hab/km. Limita al norte y al este con Venezuela, al sur con los departamentos de Boyacá y Santander, y al oeste con Santander y Cesar.

(Anónimo, Biblioteca Luis Angel Arango, 2015)

Debido a sus recursos naturales y su ubicación geográfica, Norte de Santander se ha convertido en un eje económico y comercial del país, este departamento fue creado en la Gran Colombia. (Anónimo, Departamento Norte de Sntander, 2015)

El territorio del departamento de Norte de Santander se caracteriza por un relieve montañoso, aunque se pueden distinguir dos grandes unidades fisiográficas, una montañosa y una plana. La montañosa corresponde a la cordillera Oriental, cuya parte meridional, en límites con el departamento de Santander, forma el nudo de Santurban, del cual se desprenden dos grandes ramales, uno que sigue hacia el norte para formar la serranía de los Motilones y otro hacia el noreste, que se interna en la República de Venezuela.

Se destacan numerosas elevaciones, entre ellas los páramos de Tamá con 3.329 m sobre el nivel del mar, y Santurbán; los cerros de Bobalí Sur, Central y Norte, y Jurisdicciones, y la

serranía de Tibú. La unidad plana cubre principalmente el norte del departamento y corresponde al valle del río Catatumbo, formado por los dos ramales antes mencionados, aquí los suelos son aptos para la agricultura.

El clima de Norte de Santander es cálido debido tanto a su diverso y complicado relieve como a la considerable pequeñez del territorio. Adicionalmente, el departamento está hoy en día experimentando, en 2002, y tal como sucede en el resto del mundo, cambios muy profundos en sus condiciones climáticas debido al impresionante fenómeno del calentamiento global.

(Anónimo, Toda Colombia.com , 2015)

El relieve departamental de Norte de Santander determina una amplia variedad de climas; las temperaturas van desde los 30°C, en los valles del Zulia y Catatumbo, hasta los 3°C en los altos páramos. El régimen de lluvias varía de norte a sur; en tanto que en las tierras selváticas del Catatumbo la precipitación alcanza los 3.500 mm anuales; en el sur, valle del Zulia y zonas montañosas, sólo se registran 500mm. Por las características del relieve se encuentran los pisos térmicos cálido, templado y frío y el piso bioclimático páramo. (Anónimo, Toda Colombia.com , 2015)

La zona norte (compuesta por el Área metropolitana de Cúcuta y otros municipios) es caliente, su temperatura promedio es de 28 °C, mientras que en los páramos y los altos de las cordilleras las temperaturas son muy bajas. (Anónimo, Reseña Historica. Finagro. 2015)

La ciudad de Ocaña fue fundada el 14 de diciembre de 1570, por el capitán Francisco Fernández de Contreras, como parte del tercer proyecto poblador del oriente, patrocinado por la Audiencia y el Cabildo de Pamplona. (Anónimo, Pronto Websiteviv, en línea, 2015) Ver su ubicación en la figura 2.

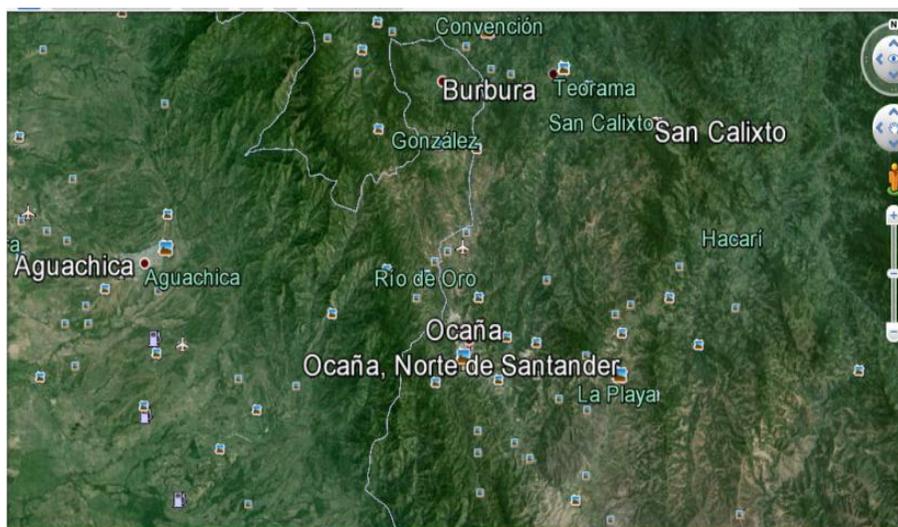


Figura 2. Localización de la ciudad de Ocaña.

Fuente: Google Earth, Vista aérea 2015

En cuanto a geografía, Ocaña está situada a $8^{\circ} 14' 15''$ Latitud Norte y $73^{\circ} 2' 26''$ Longitud Oeste y su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m. La superficie del municipio es 460Km², los cuales representan el 2,2% del departamento. La Provincia de Ocaña tiene un área de 8.602 km². Posee una altura máxima de 2.065 m sobre el nivel del mar y una mínima de 761 m sobre el nivel del mar.

- Extensión total: 672.27 Km²
- Extensión área urbana: 6.96 Km²
- Extensión área rural: 620.76 Km²
- Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1.202
- Temperatura media: 22° C

De igual forma los Límites del municipio, según (Anónimo, Ocaña Norte de Santander, en línea, 2015) son:

- Por el Norte. Limita con el municipio de Gonzáles (Departamento del Cesar).
- Por el Occidente. Limita con el municipio de Río de Oro (Departamento del Cesar).
- Por el sur. Limita con el municipio de San Martín (Departamento del Cesar). Límites

Municipales.

- Por el Oriente. Limita con los municipios de San Calixto, La Playa y Abrego.

2.2.2 Lugar de procedencia de materiales a emplear en el diseño de mezclas. Los

materiales necesarios para el desarrollo de este proyecto tienen su origen, como ya se hizo notar en el departamento de norte de Santander; establecer la procedencia de los materiales a usar en la investigación es de suma importancia puesto que de ello depende en gran parte las propiedades y características que el material presenta, como se indica a continuación:

2.2.2.1 Cenizas volantes. Este material se obtuvo gracias a la colaboración de la empresa

Termotasajero S.A, ubicada en el municipio de San Cayetano, el cual tiene un área de 168 Km²,

en el departamento de Norte de Santander. Limita con los municipios de El Zulia, Bochalema, Duranía, Cúcuta y Santiago, y su cabecera municipal está a 17 kilómetros de Cúcuta. (Aónimo, Norte de Sntander, en Linea, 2015), Ver figura 3.

Conviene distinguir que la empresa TERMOTASAJERO S.A, lidera proyectos encaminados al desarrollo social, es así que tiene como propósito institucional, la promoción de desarrollo social que implica diseñar y ejecutar de forma planificada estrategias para la organización colectiva de los grupos de nuestro interés. FUDOC pretende como resultado final que cada grupo social y cada comunidad con la cual trabaje, sea protagonista en la construcción y gestión de sus propias alternativas de desarrollo y éstas redunden en el mejoramiento de su calidad de vida.

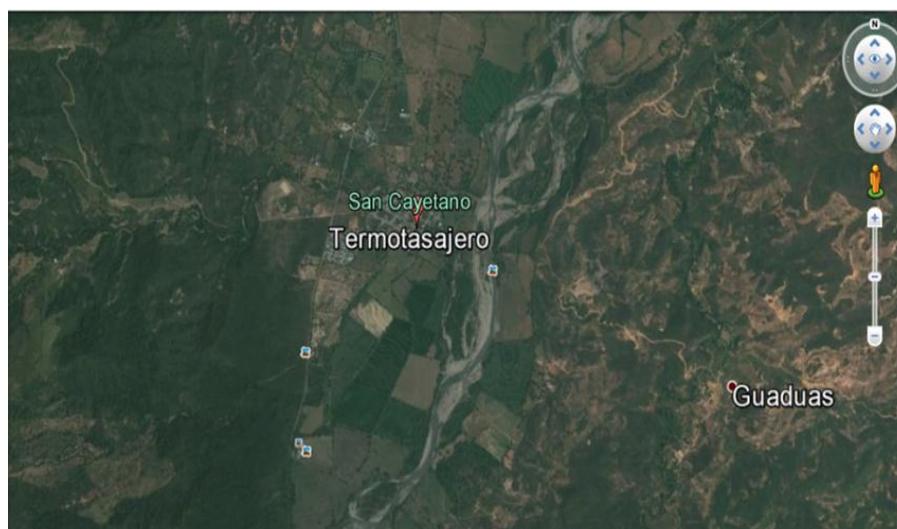


Figura 3. Localización empresa Termotasajero S.A, municipio de San Cayetano.

Fuente: Google Earth, Vista aérea 2015

Así mismo entre sus objetivos esta fomentar proyectos educativos y productivos que conlleven a generar alternativas de empleo, mejoramiento de ingresos y bienestar para las unidades familiares, los grupos sociales y las comunidades en general. (Anónimo, Termotasajero, 2015)

Dicho lo anterior, es claro ver como la empresa TERMOTASAJERA S.A, basándose en sus políticas propósitos y objetivos contribuye en el desarrollo de proyectos de investigación, desde luego para este caso con el suministro de forma amable y eficiente de las cenizas volantes.

2.2.2.2 Cenizas de bagazo de caña. Las cenizas de bagazo de caña la suministro el trapiche (finca) San Antonio en el municipio de Convención Norte De Santander, Llamado así por la Convención de Ocaña, ver figura 4. Convención es un municipio Colombiano ubicado en el noroccidente del departamento de Norte de Santander. Limita por el norte con Venezuela, por el sur con Ocaña (con quien mantiene estrechos vínculos comerciales) y González, (departamento del Cesar), por el oriente con Teorama y por el occidente con el Carmen (Norte de Santander) y el departamento del Cesar.

Es considerado como el mayor productor de panela del departamento. Cuenta, según cifras estimadas por el DANE, con una población de 16.605 habitantes. Se ubica a 1.076 msnm y su clima es templado.

Está situado a una altura de 1.056 metros sobre el nivel del mar. Su temperatura promedio es de 23°C y, aunque su clima es primordialmente templado, también se encuentran en su

territorio climas fríos y cálidos. (Anónimo, Convension, en Línea, 2015)

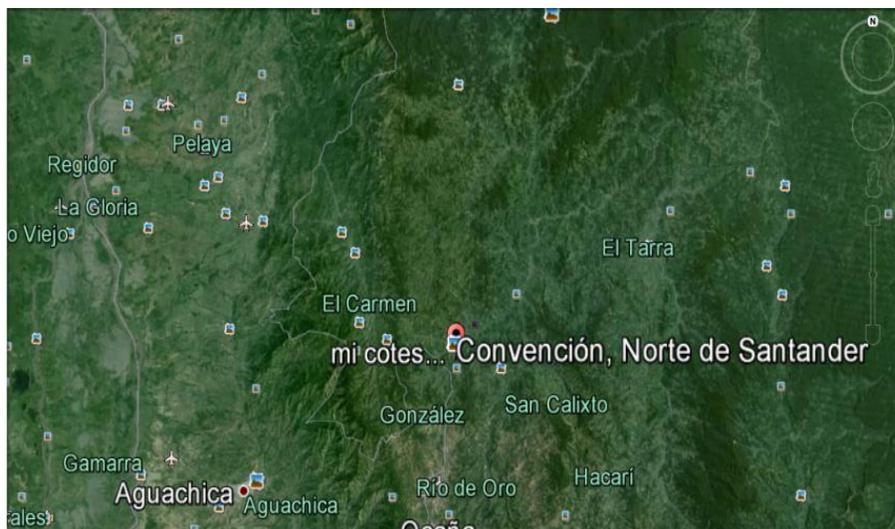


Figura 4. Localización trapiche panelero, finca san Antonio, convención.

Fuente: Google Earth, Vista aérea 2015

Convención es el primer productor de panela de Norte de Santander. La agroindustria panelera se desarrolla en forma de microempresas o empresas familiares con tecnología tradicional. Entre 850 y 900 familias dependen del cultivo de caña y la producción de panela, proceso que va ligado. Esta actividad se cumple en 125 trapiches y se generan anualmente alrededor de 2.000 millones de pesos a la economía del municipio. (Latorre, G. e Hipólito)

2.2.2.3 Agregados. Por otra parte los agregados a usar son suministrados por la Empresa PROVIAS E.A.T provenientes del río algodonal en la ciudad de Ocaña.

- Ubicación de la cantera PROVIAS E.A.T

La empresa asociativa de trabajo PROVIAS E.A.T el cual su representante legal es ingeniero Napoleón Gutiérrez de Piñerez tiene por objeto la explotación técnica y económica de un yacimiento de materia de construcción (materia de arrastre y de construcción en cantera). La cual se encuentra ubicada en el km 13+100 vía Ocaña-Cúcuta cruce la playa de belén la cual comprende una extensión superficial total de 9 hectáreas 8913 metros cuadrados.

- Fuente de explotación: Río algodonal.

El material es extraído por la empresa PROVIAS E.A.T la cual se encuentra ubicada en el km 13+100 vía Ocaña-Cúcuta cruce la playa de belén. Esta fuente es una extensa zona de depósito aluvial, rica en diversidad de tamaños de rocas y gravas, al igual que amplios depósitos de arena, estas características son brindadas por encontrarse en la zona media del río, por lo que en temporadas invernales es susceptible a grandes arrastres de material, permitiendo en tiempos más cálidos el máximo beneficio de explotación en la fuente dado que el nivel del agua en estas temporadas es muy mínimo. Ver figura 5.

Este sector es considerado un área suburbana de la ciudad, en el cual se presentan formaciones geológicas correspondientes a depósitos pleistocenos recientes de las formaciones Algodonal (Tpa); Silgara (Pos); Girón (Jg).



Figura 5. Localización explotación de material (agregados) a cargo de la empresa PROVIAS E.A.T, Ocaña.

Fuente: Google Earth, Vista aérea 2015

- Descripción de la geología

Está formado por rocas ígneas. Alrededor encontramos las rocas granitoides gruesas con isleos intercalados de feldespatos, cuyos elementos han sido muy descompuestas por la erosión. Cubren el terreno formando una depresión extendida especialmente de La Floresta a Abrego. La depresión se halla rodeada de formaciones porfídeas (materiales eruptivos paleozoicos, muy quartazos) más duras que las rocas del fondo.

Las rocas ígneas Pertenecen al grupo plutónico de Santander y son rocas intrusivas y volcánicas cuya edad varía del pre-devónico al cretáceo inferior. Su composición varía de tonalitas grises, cuarzo – monzonitas y granitos de color rosado. La tonalita predominante es la

gris, ligeramente verdosa, fanerítica de grano medio y constituida por cuarzo, plagioclasas, horblenda y biotita. La diorita presenta variación en el tamaño de grano, se compone principalmente de plagioclasas y horblenda Y biotitas. (Roper Angarita, W. 2014)

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Agregados. Los agregados son componentes derivados de la trituración natural o artificial de diversas piedras, y pueden tener tamaños que van desde partículas casi invisibles hasta pedazos de piedra. Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulicos. (Norma Sismo Resistente, NSR 10)

2.3.2 Agregado fino. Es el agregado fino que se le adiciona a una mezcla de concreto, sus partículas tienen un diámetro inferior a 4.76 mm y no menor de 0.075mm. La arena ocupa gran parte del volumen de la mezcla, por lo tanto se debe tener en cuenta sus características físicas, químicas y mecánicas, teniendo especial cuidado con el contenido de sustancias que puedan afectar el cemento o que reaccionen con éste. Otro factor importante es la absorción de agua para evitar que el agregado tome agua de hidratación destinada a las partículas de cemento.

2.3.3 Agregado grueso. Es el agregado grueso que se incorpora a una mezcla de concreto y cuyas partículas poseen un diámetro que se encuentran en el intervalo entre 50.8 mm y 19.1mm. Igual que con el agregado fino, es importante conocer sus características físicas,

químicas y mecánicas por medio de ensayos de laboratorios, y estar atento a la presencia de sustancias que afecten el cemento. Los agregados gruesos con partículas alargadas, aplanadas o con forma cúbica, y textura rugosa, necesitan mayores cantidades de arena, agua y pasta en una mezcla, para lograr una manejabilidad comparable a la de los agregados gruesos con partículas redondeadas y lisas. (Amaris Martinez, N, 2009)

2.3.4 Agua. Casi cualquier agua natural que se pueda beber (potable) y que no tiene un sabor u olor marcado, puede utilizarse como agua de mezclado en la elaboración de concreto. Las impurezas excesivas en el agua de mezclado, pueden afectar no sólo el tiempo de fraguado, la manejabilidad, la resistencia del concreto y la estabilidad volumétrica (variación dimensional), sino que también pueden provocar eflorescencia o corrosión en el refuerzo. Siempre que sea posible, debe evitarse el agua con altas concentraciones de sólidos disueltos. (Norma Sismo Resistente, NSR 10)

2.3.5 Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA). Es un desecho agroindustrial, que es el residuo de la caña de azúcar en los ingenios después del tratamiento en la misma; en la actualidad el bagazo de caña de azúcar se ocupa como combustible dentro del mismo proceso de elaboración de azúcar en el ingenio, resultando como desecho de estos ingenios la ceniza de bagazo de caña de azúcar. (Gonzales Martinez, O)

2.3.6 Cenizas volantes. son conocidas como una puzolana artificial, un material silíceo o silico-aluminosos que en sí mismo posee poco o ningún valor cementante pero que en

forma de partículas finas y en presencia de humedad, reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

Residuos finos que resultan de la combustión de carbón molido o en polvo.

Esta definición de cenizas volantes, según (Norma Técnica Colombiana, NTC 3493), no incluye el residuo resultante de:

- La quema de basuras municipales o cualquier otro tipo de desecho junto con carbón;
- La inyección de cal directamente a la caldera, para remover el azufre.
- La quema de basuras municipales o industriales en incineradores de basuras, comúnmente denominada "ceniza de incinerador de basura".

La ceniza volante es un subproducto de la combustión del carbón en las centrales térmicas. Los sistemas colectores retienen la ceniza como una fina partícula antes de que se descargue a la atmósfera. Las características de la ceniza volante varían de acuerdo con proceso de combustión, así como con la composición del carbón. El tiempo de residencia en el horno causa variaciones en el contenido alcalino y el grado de vitrificación de la ceniza volante. (Lorca Aranda, Pablo, 2014)

2.3.7 Cemento. Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta

conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (Norma Técnica Colombiana, NTC 31)

el cemento es el principal componente del concreto, el cual tiene propiedades de adhesión y cohesión, que al hacer contacto con el agua reacciona químicamente para unir materiales áridos, como la arena y la grava, formando una pasta uniforme, maleable y plástica que al pasar por un proceso de fraguado, se endurece, volviéndose suficientemente resistente y durable a las cargas solicitadas.

Existen diferentes tipos de cemento, sin embargo, se pueden establecer básicamente dos tipos, según Cantillo Mier, Y (2013):

- De origen arcilloso: obtenidos a partir de la arcilla y piedra caliza en proporciones que van de 1 a 4 aproximadamente.
- De origen puzolánico: La puzolana del cemento pueden ser de origen orgánico o volcánico.

2.3.8 Concreto. Según el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, (NSR, 2010), es la mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. El concreto es un material rígido utilizado en la construcción, formado por la combinación de un material tipo ligante y otros de tipo llenante, que se mezclan con agua en una proporción adecuada y bajo condiciones

controladas; teniendo en cuenta claro está, las consideraciones de las normas y códigos de construcción actualmente vigentes. (Cantillo Mier, Y, 2013):

2.3.9 Difracción de rayos x (DRX). La difracción de rayos x (DRX) es una de las técnicas de caracterización más potentes y más comúnmente utilizadas para el análisis estructural de materiales cristalinos. Sus características principales son consecuencias de ser una sonda electromagnética de la materia con una longitud de onda (λ -1.5 Å) de longitud muy parecida al espaciamiento interplanar de los sólidos cristalinos (típicamente del orden de unos pocos Å). Por ser los fotones partículas de masas en reposo nula y libre de carga, interactúan con la materia de una forma relativamente suave lo que produce que la DRX sea una técnica de caracterización no destructiva. (Moreno Trujillo, L.2012)

La espectroscopia de Rayos X, al igual que la espectroscopia óptica, se basa en la medida de la emisión, absorción, dispersión, fluorescencia y difracción de la radiación electromagnética. Estas medidas dan una información muy útil sobre la composición y la estructura de la materia.

Los rayos X se definen como una radiación electromagnética de pequeña longitud de onda, producida por la desaceleración de electrones de elevada energía o por transiciones electrónicas que implican electrones de los orbitales internos de los átomos. Al igual que con los otros tipos de radiación electromagnética, la interacción entre el vector eléctrico de la radiación X y los electrones de la materia por la que pasa da lugar a una dispersión. Cuando los rayos X son dispersados por el entorno ordenado de un cristal, tienen lugar interferencias (tanto

constructivas como destructivas) entre los rayos dispersados, ya que las distancias entre los centros de dispersión son del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la radiación. El resultado es la difracción. (Lorca Aranda, Pablo, 2014)

2.3.10 Materiales puzolánicos. Los materiales puzolánicos pueden ser o bien naturales, como algunas cenizas volcánicas o también tierras de diatomeas, o bien artificiales, como la ceniza volante y el humo de sílice . Son principalmente materiales silíceos vítreos que pueden contener compuestos aluminosos pero que tienen un bajo contenido en calcio. No tienen propiedades ligantes por ellos mismos, pero cuando se mezclan con agua en presencia de cal (hidróxido cálcico) dan lugar, a productos de hidratación similares a los producidos en la hidratación del cemento Portland. (Lorca Aranda, Pablo, 2014)

2.4 Marco teórico

En la actualidad el cumplimiento de las normas de calidad se ha convertido en parte fundamental en los procesos de producción de cualquier material de construcción, pero todo esto, con el fin de obtener resultados de la más alta calidad y aptos para ser empleados en obras de ingeniería civil.

De acuerdo con lo anterior, para producir concretos con las características de resistencia y durabilidad requeridas, se hace necesario la inspección mediante ensayos de laboratorio tanto de la materia prima como del producto terminado, en sus diferentes estados (fresco y endurecido), como lo establecen las Normas Técnicas Colombianas y la Norma Sismo Resistente (NSR10).

A continuación se describen cada uno de los materiales utilizados para la elaboración del

concreto, sus propiedades y los ensayos de laboratorio que se les deben practicar, para realizar la respectiva caracterización y poder llevar a cabo la dosificación de mezclas, además, se definen las propiedades físicas y mecánicas del concreto con sus respectivos ensayos de prueba.

2.4.1 Materiales para la elaboración del concreto. Como bien sabemos, el concreto es producto de la elaboración de un diseño de mezclas, que consiste en seleccionar cada uno de los materiales constituyentes y dosificarlos en las cantidades o proporciones adecuadas, de manera que se pueda producir una mezcla lo más económica posible, con el grado requerido de trabajabilidad y que al final se puedan obtener las características deseadas tanto de resistencia como durabilidad; por esta razón es importante el estudio de cada uno de sus componentes (cemento, agregados, agua, aditivos), la correcta dosificación y la influencia de estos en el comportamiento y resistencia de todo tipo de esfuerzos aplicados al concreto.

2.4.1.1 Cemento Portland. El cemento portland es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso. El nombre obedece a la similitud en el aspecto del cemento endurecido con una piedra que abunda en portland, Inglaterra. Fue patentado en 1824 por Joseph Aspdin con un proceso que fue perfeccionado algunos años más tarde por Isaac Johnson. (Niño Hernandez, J. R., 2010, p. 19)

Según la norma técnica colombiana NTC 31(Cemento. Definiciones), este material al ser mezclado con una cantidad apropiada de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire.

Como materias primas para la fabricación del cemento se utilizan materiales minerales calcáreos y materiales arcillosos con alto contenido de alúmina y sílice, que deben mezclarse en proporciones adecuadas dependiendo su composición.

Según, NiñoHernandez, J. R. (2010), el proceso de fabricación del cemento varía de acuerdo a las circunstancias particulares de la planta productora, pero en general todas realizan las siguientes etapas (p. 20):

Etapas en la fabricación del cemento. A continuación se explican cada una de estas etapas.

- Explotación de materias primas

Este procedimiento es realizado conforme a los parámetros y normas propias de la industria de la explotación de materias primas. Dependiendo de la dureza de los materiales se usan explosivos y la trituración posterior, en otros casos el simple arrastre es suficiente.

Cabe señalar que una vez extraídos los materiales de las respectivas canteras, se llevan a un proceso de trituración primaria para obtener tamaños máximos de 25mm (1"). En cuanto a los materiales que no requieran de este proceso son llevados directamente a un lugar de almacenamiento.

- Dosificación, molienda y homogenización

En este punto del proceso de fabricación, se debe elegir entre seguir un proceso húmedo o un

proceso seco. En el primero, las materias primas son sometidas a la acción de molinos de crudo, donde al ser mojadas forman una lechada, la cual es llevada a silos de almacenamiento o silos de crudo, y conocidas sus características se dosifican en proporciones definidas para luego ser enviadas a un silo de normalización. En este lugar se hacen las correcciones necesarias para obtener una pasta de la calidad deseada, donde una vez la pasta es normalizada se envía a un tanque circular denominado “balsa” donde se almacena y se mantiene la homogeneidad. En el proceso en seco, las materias primas se trituran, se dosifican en proporciones definidas y luego son llevadas al molino de crudo donde se secan y reducen su tamaño a pequeñas partículas, obteniéndose un material denominado harina, el cual se lleva a los silos de homogenización, y allí por medio de aire a presión se obtiene la mezcla de los materiales.

- Clinkerización

Una vez obtenida la pasta en el proceso por vía húmeda y la harina en el proceso por vía seca se somete a un tratamiento térmico en grandes hornos rotatorios, para producir lo que se conoce como Clinker.

Este horno es un cilindro de gran tamaño, fabricado en acero y recubierto de material refractario con el fin de conservar mejor el calor, donde al aumentar la temperatura se producen una secuencia de cambios en la pasta o harina. A continuación se generalizan los cambios que ocurren dentro del horno, según Niño, J. R.. Tecnología del concreto, 2010):

Evaporación del agua libre. De 20°C a 100°C

Deshidratación de los materiales arcillosos. Mayor a los 500°C

Liberación de CO₂. A los 800 °C

Cristalización de los productos minerales descompuestos. A los 900°C

Reacción del CaO con los Sílico – Aluminatos. Entre los 900°C y los 1200°C

Formación del líquido y de los compuestos del cemento. Mayor a los 1250°C

Se completa la reacción. A los 1450 °C

- Enfriamiento

El material obtenido en el proceso de clinkerización, el cual toma forma de bolas con dimensiones que van desde 3 a 30 mm y con una temperatura entre los 1200°C y 1300°C, deben ser enfriados rápidamente a 70 °C, con el fin de garantizar que el concreto fabricado, después del proceso de fraguado no presente cambios en su volumen.

- Molienda del Clinker, adiciones y yeso.

En este proceso el Clinker se hace polvo y se agregan las adiciones necesarias, por último se introduce el yeso, elemento indispensable para controlar el endurecimiento instantáneo del cemento una vez entra en contacto con el agua. Y es así, como finalmente se obtiene el cemento.

- Almacenamiento, empaque y distribución

Obtenido el producto final, se lleva a los silos de almacenamiento, donde es empacado en

bultos. El cemento debe almacenarse en un sitio apropiado para protegerlo de la humedad o del fraguado por aire, ya que este será rechazado si no cumple con los requisitos de las especificaciones técnicas o si presenta señales aunque sean parciales de hidratación.

Clasificación del cemento portland. En la actualidad la tecnología ha llevado a la producción de diferentes tipos de cemento, con el fin de lograr propiedades específicas en los concretos, que satisfagan las diferentes necesidades y permitan cumplir propósitos específicos. Según la NTC 30, hoy en día se cuenta con once clases de cemento portland, pero además, se están produciendo cementos portland adicionados, los cuales se obtienen al agregar al clinker otro material a parte del yeso, como son las escorias de alto horno molidas, cenizas volantes y otras puzolanas.

El cemento debe cumplir con las especificaciones técnicas de las normas NTC 121 (Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Portland. Especificaciones físicas y mecánicas) y NTC 321 (Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Portland. Especificaciones químicas). Como se mencionó anteriormente, diferentes tipos de cemento producen concretos con diferentes propiedades y por lo tanto no se deben utilizar indiscriminadamente. Se debe especificar el tipo o tipos requeridos, si no se hace, se deben aplicar los requisitos del Tipo 1, según las NTC citadas. Estos requisitos deben estar documentados y archivados para verificar su cumplimiento.

Es prudente advertir que para efectos del desarrollo de esta investigación se empleará el cemento portland tipo 1, el cual es de uso general y destinado a obras de concreto que no estén sujetas al contacto de factores agresivos, como son el ataque de sulfatos.

Propiedades del cemento. Entendido el proceso de fabricación del cemento, conocer cada una de sus propiedades nos ayuda a comprender mejor su comportamiento como material cementante.

A continuación se hace mención de los aspectos más relevantes de las propiedades químicas del cemento:

- Propiedades químicas

El cemento portland está constituido por cuatro compuestos principales conocidos normalmente como silicato tricálcico C_3S , silicato dicálcico C_2S , Aluminato tricálcico C_3A y ferroatuminato tetracálcico C_4AF , los cuales se forman en el interior del horno durante el proceso de clinkerización, donde las materia primas se transforman en productos más complejos, por medio de reacciones en estado sólido. (Barrera Quijano, J.C, 2010. P68). Ver tabla 1. Por otra parte, cabe anotar que las características de los diferentes tipos de cemento portland, dependen del porcentaje de cada uno de estos compuestos químicos, tal como se ilustran en la tabla 1.

A continuación se hace una breve descripción de las reacciones químicas del cemento:

- Hidratación del Cemento: “Es la reacción mediante la cual el cemento portland se transforma en un agente de enlace, generados por los procesos químicos responsables de la formación de compuestos durante la hidratación, los cuales originan propiedades mecánicas útiles en las aplicaciones estructurales” (Niño Hernandez, J.R. 2010, p.31)

Tabla 1*Características de los compuestos del cemento*

COMPUESTO	CARACTERÍSTICAS
C_3S	De él dependen en gran parte las características de desarrollo de resistencia mecánica. Reacciona rápidamente con el agua, endureciendo en corto tiempo y tiene alto calor de hidratación.
C_2S	Reacciona lentamente con el agua, con un consecuente bajo de calor de hidratación y una contribución al desarrollo de la resistencia a partir de siete días.
C_3A	Reacciona de manera rápida con el agua y a una alta resistencia inicial. Además, confiere al concreto propiedades indeseables como cambios volumétricos y poca resistencia a la acción de los sulfatos, razón por la cual su contenido se limita entre el 5 y 15% según el tipo de cemento.
C_4AF	Presenta una alta estabilidad química, los cementos ricos en este compuesto tienen condiciones de empleo específicas en todos aquellos casos en que importe más la durabilidad frente a los ataques químicos, que las resistencias mecánicas.

Nota. Fuente: Tecnología del concreto

- Formación de la pasta del cemento: Esta formación de la pasta es consecuencia de las reacciones químicas del cemento con el agua. Las partículas de cemento después de cierto tiempo de entrar en contacto con el agua, dan origen a compuestos cristalinos que van creciendo lentamente formando una sustancia gelatinosa llamada gel. Éste gel, en principio inestable por la cantidad de agua que posee, pero después de cierto tiempo, va ganando estabilidad a medida que los componentes cristalinos continúan hidratándose y absorbiendo el agua del gel, dando lugar así, a un gel estable responsable de las propiedades mecánicas de las pastas endurecidas. (García Calderón, J.A. 2010, p.16)

- Calor de Hidratación. Es la cantidad de calor expresado en unidades de calorías/gramo de cemento deshidratado, después de una hidratación completa a una temperatura dada.

- Propiedades físicas y mecánicas

Las propiedades físicas y mecánicas que se pueden evaluar en el cemento, según (Niño Hernandez, J. R. (2010) son: densidad, finura, consistencia, tiempos de fraguado, fraguado rápido, expansión, fluidez, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión (p. 30). A continuación se definen cada una ellas de acuerdo a lo propuesto por Niño Hernandez, J. R.

Los ensayos que se realizan directamente sobre el polvo de cemento son los siguientes:

- Densidad (peso específico)

Esta propiedad del cemento se define como la relación entre la masa dada y el volumen absoluto de esa masa. Su valor tiene pequeñas variaciones y en un cemento portland normal suele estar cercano a $3,15 \text{ g/cm}^3$.

La medida de la densidad del cemento es indispensable para la realización de diseño y control de mezclas de concreto. Para su determinación se pueden emplear varios métodos. El más empleado o el que más se conoce es el propuesto en la norma NTC 221, que utiliza el frasco patrón de Le Chatelier.

- Finura (superficie especifica)

La finura es considerada una de las propiedades más importantes del cemento ya que está íntimamente ligada con la velocidad de hidratación, desarrollo del calor, retracción y aumento de la resistencia. Esta se puede medir por métodos directo e indirectos y se expresa por el área superficial de las partículas contenidas en un gramo del material, denominada “superficie específica” y se mide en cm^2/gr .

Para la determinación de la finura del cemento se puede recurrir a métodos indirectos como son, los procedimientos por tamizado, el procedimiento del turbidímetro de Wagner y el más reciente, el método de permeabilidad al aire, que es el más empleado en nuestro medio y se encuentra descrito en la NTC 33.

2.4.1.2 Agregados. Los agregados son materiales inertes que poseen resistencia propia suficiente, considerados un elemento esencial en la producción de concretos, ya que ocupan la mayor parte del volumen total de la mezcla, según Niño, J. R., Tecnología del concreto (2010), el volumen de los agregados en una mezcla de concretos oscila entre 56% y 81%. Por otra parte, cabe señalar, que la razón principal para utilizar agregados dentro del concreto, es que estos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla y brindando parte de la resistencia a la compresion.

Algo más que añadir, es que las características del concreto tanto en su estado fresco como endurecido, dependen en gran parte de las características y propiedades de los agregados, por tal

razón se les debe practicar las pruebas de laboratorio necesarias, para determinar su aptitud en la producción de mezclas de concreto de alta calidad y económicamente viables.

Los agregados se clasifican dependiendo su tamaño en agregado **grueso** y **fino**. Para diferenciar un agregado fino de un agregado grueso, se tiene en consideración el tamiz No 4 (aberturas de 4,76mm) donde todo material que pase de dicho tamiz es considerado agregado fino o arenas, y el retenido denominado agregado grueso o grava. Sin embargo también existe lo que se conoce como fracciones muy finas que no deben superar el 5% del material que pasa el tamiz No 200, las cuales no son recomendadas para su uso en concretos. Ver tabla 2. Aun así, el simple hecho de separar los dos tipos de agregado no es eficaz para determinar el mejor agregado a usar en el concreto; debe tenerse en cuenta la gradación óptima de cada agregado para los diferentes tamaños de partículas de arena y de grava individualmente. (Cantillo Mier, Y.A, 2013)

Tabla 2

Clasificación de los agregados según su tamaño

TAMAÑO DELAS PARTICULAS EN MM (TAMIZ)	DENOMINACION CORRIENTE	CLASIFICACION COMO AGREGADO PARA CONCRETO	CLASIFICACION COMO AGREGADO PARA CONCRETO
Inferior a 0,002	Arcilla		
Entre 0,002 - 0,07 (No. 200)	Limo	Fraccion muy fina	No recomendable
Entre 0,074 - 4,76 (No. 200)- (No. 4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4,76 - 19,1 (No. 4)- (3/4")	Gravilla		
Entre 19,1 - 50,8 (3/4")- (2")	Grava	Agregado grueso	Material apto para producir concreto
Entre 50,8 - 152,4 (2")- (6")	Piedra		
Superiores a 152,4 6"	Rajón Piedra rajón		

Nota. Fuente: Sanchez, D. Tecnología del concreto y el mortero.2000

Los agregados según su procedencia pueden ser de origen **natural** o **artificial**; los agregados de origen natural son aquellos provenientes de la explotación de depósitos de arrastre fluvial o glaciario, y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. De acuerdo con García Calderón, J.A, (2010), según el ciclo de las rocas, contamos con tres tipos de rocas naturales:

- Rocas Ígneas: conformadas por el enfriamiento y solidificación del magma, las cuales constituyen la mayor parte de la porción sólida de la tierra, y a partir de las cuales se derivan los otros grupos de rocas.
- Rocas Sedimentarias. Compuestas de material proveniente de la desintegración y descomposición por meteorización y transporte de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.
- Rocas Metamórficas. Nacen de la transformación de rocas pre-existentes bajo la acción de altas temperaturas y presiones al interior de la tierra.

Los agregados de origen artificial son producto de procesos industriales, fabricados con el objeto de dosificar mezclas de concreto liviano o ultraliviano. Entre los más comunes se encuentran los procedentes de arcillas expandidas, pizarras y escorias de alto horno.

Según la densidad (gravedad específica) de los agregados, estos se pueden clasificar en **agregados livianos, agregados de peso normal y agregados pesados**. Los agregados livianos son utilizados normalmente en la producción de concretos livianos y en la elaboración de

bloques de albañilería liviana, los agregados de peso normal, como la grava, la arena y la piedra triturada son utilizados en obras de concreto en general de peso normal, por último, los agregados pesados se caracterizan por su alta densidad y son generalmente utilizados en concretos para macizos de anclaje, para protección contra radiación nuclear. (Barrera Quijano, J.C, 2010)

De acuerdo a lo estipulado en la norma NSR-10, en el numeral C.3.3.1, los agregados que cumplen con las normas NTC o ASTM no siempre están disponibles económicamente y, en ciertos casos, algunos materiales que no cumplen con ellas tienen una larga historia de comportamiento satisfactorio. De allí, que se establece que aquellos materiales que no cumplen con las normas pueden permitirse, mediante una aprobación especial, cuando se presente evidencia aceptable de comportamiento satisfactorio.

Por otra parte la norma NSR-10 establece las características que deben cumplir los agregados para concreto, basado en la NTC colombiana, como son:

- Agregado de peso normal: cumplir lo estipulado en la NTC 174 (ASTM C33)
- Agregado liviano: cumplir lo estipulado en la NTC 4045 (ASTM C330).

También recomienda en el numeral (C.3.3.2) el valor máximo permitido de tamaño de agregado grueso, como se indica a continuación:

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
- 1/3 de la altura de la losa

- 3/4 del espaciamiento mínimo entre las barras o alambre individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales y/o paquetes de ductos.

Como se ha resaltado anteriormente, las propiedades de los agregados afectan directamente las características de los concretos elaborados, debido a esto es importante seleccionarlos y evaluarlos correctamente.

Determinar la calidad y las propiedades de los agregados para ser usados en obras de ingeniería civil, es un requisito indispensable, que requiere de la realización de ensayos a muestras representativas de lotes de agregados, con el fin de obtener una caracterización confiable que garantice excelentes resultados en los productos finales, razón por la cual, la correcta realización del muestreo es fundamental para este propósito, y para tal fin las normas técnicas colombianas lo reglamentan en la norma NTC 129 (Agregados pétreos. Extracción y preparación de muestras). Cabe resaltar que en la práctica, no siempre es posible muestrear bajo las condiciones de la norma NTC 129, en estos casos es recomendable, definir un plan de muestreo adecuado que garantice representatividad de la muestra obtenida para el ensayo, la cual deberá tomarse por el método del cuarteo.

Es necesario recalcar, que el muestreo y los ensayos sobre los agregados permiten la determinación de propiedades físicas y químicas, las cuales deben ser consideradas, y en ocasiones exigidas al momento de la selección de un agregado para una aplicación específica. A continuación se sintetizan las propiedades físicas y químicas relevantes:

- Propiedades químicas

Debido a que los agregados conservan la composición mineralógica de la roca que les dio origen, se les deben practicar los ensayos de laboratorio necesarios, para evitar la presencia de sustancias agresivas o componentes geológicos o mineralógicos, que reaccionen en la masa de concreto y afecte sus propiedades de forma desfavorable. Uno de los más frecuentes es la sílice activa; esta es una reacción en la cual los agregados con presencia de óxidos de silicio en sus formas inestables reaccionan con los hidróxidos alcalinos del cemento, produciendo así un gel que aumenta de volumen a medida que absorbe agua, dando origen a presiones internas en el concreto con la consiguiente expansión, agrietamiento y ruptura de la pasta de cemento. La detección de sílice activo se realiza mediante ensayos de reactividad potencial por el método químico descrito en la norma NTC 175. (Gutierrez de L, L. 2003)

Hasta el momento, solo se conoce una reacción química favorable de los agregados, esta es llamada Epitaxia, la cual proporciona mejor adherencia entre algunos agregados calizos y la pasta de cemento con el paso del tiempo.

- Propiedades físicas

Según Niño Hernandez, J.R. (2010) las propiedades físicas más importantes de los agregados en el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto son: granulometría o gradación, densidad, porosidad, masa unitaria y forma y textura de las partículas.

Granulometría o gradación: La granulometría o gradación hace referencia al tamaño de las

partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices estándar, dispuestos de mayor a menor, cuyas características están consignadas en la norma Icontec NTC 32. La operación de tamizado debe realizarse según la norma NTC77 (tamizado de materiales granulados. Agregados o áridos), en la cual se describe el tamaño de la muestra a ensayar y los procedimientos adecuados para realizar un análisis granulométrico.

A medida que han avanzado los estudios de los agregados, se han ido desarrollando “curvas” o zonas de granulometría ventajosas, las cuales aportan datos importantes al momento de seleccionar agregados. (Garcia Calderon, J.A, 2010)

Un agregado, para efectos prácticos, generalmente está acompañado con especificaciones granulométricas que contemplan dos curvas, la primera definiendo el límite superior y la segunda definiendo el inferior. Cualquier granulometría que caiga dentro de estos límites es aceptada. En Colombia, la norma técnica NTC 174 especifica un par de curvas límites para agregado fino, las cuales deben utilizarse para concreto solamente, estas no son aplicables para morteros. También define diez (10) pares de curvas para agregados gruesos según su tamaño máximo nominal. (Garcia Calderon, J.A, 2010)

El análisis granulométrico, además de permitir determinar la distribución de los tamaños y la ausencia o exceso de los mismos dentro de una masa de agregado, permite sacar valores que

luego son usados como parámetros en los diseños o como factores de calidad, Según Gutiérrez de López, L. (2003), entre ellos tenemos:

Tamaño máximo: Se conoce como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra, es decir indica la dimensión de la partícula más grande que se encuentra en la muestra.

Tamaño máximo nominal: El tamaño máximo nominal indica el tamaño promedio de partículas más grandes que se encuentran dentro de una masa de agregado grueso. Por lo general, en un análisis granulométrico, el tamaño máximo y el máximo nominal no coinciden, razón por la cual se deben indicar claramente en las especificaciones.

Módulo de finura: El módulo de finura es conocido como el número que se obtiene al dividir por 100 la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie normalizada. El valor de este módulo es mayor cuando, el agregado contiene granos más gruesos y decrece cuando el agregado disminuye de tamaño. Se interpreta como la indicación del tamiz en que, supuestamente, quedaría retenido o pasaría el 50% del material.

Porcentaje de finos: Se define como el porcentaje que pasa el tamiz Icontec N°. 200 (0.074mm).

Formas de las partículas del agregado: La forma de las partículas del agregado depende principalmente del tipo de roca que lo originó, y en algunos casos, depende del método de obtención, como en el caso de obtención de agregados por trituración. Es importante destacar

que la forma de las partículas en un agregado influye de forma directa o indirecta en el comportamiento del concreto, ejerciendo un efecto sobre la trabajabilidad, la resistencia y otras propiedades. Según estudios realizados se considera que las formas perjudiciales son las partículas muy alargadas y/o escamosas. (Niño Hernandez, J.R. 2010)

Textura: Esta propiedad está relacionada con la dureza, forma, y estructura de la roca original, dando origen a agregados lisos o ásperos. La textura superficial de un agregado afecta directamente la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento fraguado, al igual que ejerce efecto sobre las propiedades del concreto o mortero endurecido. Propiedades como la densidad, la resistencia a la compresión y a la flexión, la cantidad de agua requerida, entre otras, son afectadas por la textura del agregado. (Niño Hernandez, J.R. 2010)

Densidad: Esta propiedad es definida como la relación entre la masa y el volumen de una masa determinada y está directamente relacionada con la roca original de la cual proviene.

La densidad es determinada mediante procedimientos definidos en las normas NTC 176 y NTC 237, para agregados gruesos y finos respectivamente.

Como bien sabemos, las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua, según la permeabilidad interna, dando origen con ello a distintos tipos de densidad, que según Gutierrez de L, L. (2003) son:

Densidad absoluta o real: Es la relación entre el peso de la masa de agregado y el volumen

que ocupa solo sus partículas sólidas.

$$DA = \frac{Ps}{Vm - Vv} \quad (1)$$

Ps = peso del material seco

Vm= volumen de la masa

Vv = volumen de vacios

Densidad nominal: Es la realacion que existe entre el peso de la masa del agregado y el volumen que ocupan las particulas del material incluidos los poros no saturables.

$$DN = \frac{Ps}{Vm - Vvs} \quad (2)$$

Ps = peso de la muestra seca

Vm= volumen ocupado por la muestra

Vvs = volumen delos poros saturables.

Densidad aparente: Está definida por la relación entre el peso y el volumen de las partículas de ese material incluidos todos los poros, saturables y no saturables.

$$Densidad\ Aparente = \frac{Ps}{Vm} \quad (3)$$

Dónde:

Ps = peso seco de la muestra

Vm = volumen ocupado por la masa

La más importante es la densidad aparente, ya que con ella se determina el peso del agregado requerido para un volumen unitario de concreto; por lo general en agregados pétreos de masa normal, oscila entre $2,3 \text{ g/cm}^3$ y $2,8 \text{ g/cm}^3$, según la roca de origen. Para su determinación se debe tener en cuenta lo especificado en la norma Icontec NTC 176.

Porosidad y absorción: La porosidad es un parámetro importante, asociado a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que tienen los agregados, a mayor porosidad de un agregado implica menor resistencia mecánica, y cuanto menor sea la absorción, el material es más compacto y de mejor calidad.

Para determinar la absorción de los agregados se deben seguir las indicaciones dadas en las normas Icontec NTC 237 y NTC 176, para agregados finos y gruesos, respectivamente.

Masa unitaria o peso unitario: Hace referencia a 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 de volumen conocido. Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el mayor peso unitario se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado. El método para la determinación de la

masa unitaria de los agregados se encuentra descrito en la norma Icontec NTC 92. (Niño Hernandez, J.R, 2010).

- Propiedades mecánicas

A continuación se hace una breve descripción de las propiedades mecánicas más determinantes en los agregados.

Resistencia: Es de gran importancia que el agregado utilizado en una mezcla de concreto tenga una resistencia tal que no llegue a fallar antes que la pasta de cemento endurezca. Por lo general al emplear los agregados en obras de ingeniería, tal es el caso de concretos hidráulicos, la resistencia de éstos, se relaciona directamente con la resistencia del agregado, resistencia estrechamente relacionada con la estructura de los granos de la partícula, o con el proceso de trituración y explotación. (Gutierrez de L, L. 2003)

Dureza: Es la resistencia que ofrece el agregado a la acción del roce y al desgaste diario, y depende de la constitución mineralógica, la estructura y la procedencia del agregado. Para determinar esta propiedad se emplea el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles, ensayo descrito en las normas NTC 90 y 98, y que tiene en cuenta la gradación y tamaño del material, por lo que es necesario hacer una granulometría previa con el fin de determinar la gradación del ensayo que mejor represente al agregado. (Gutierrez de L, L. 2003)

Tenacidad: La tenacidad es la resistencia que ofrece el agregado al impacto, y tiene mucho

que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles al impacto pueden alterar su granulometría y por consiguiente la calidad de la obra. (Gutierrez de L, L. 2003)

Adherencia: La adherencia del agregado es una característica importante que depende de la forma, textura y tamaño de las partículas y se considera como una interacción entre la zona de contacto agregado – pasta, la cual es producida por fuerzas de origen físico químico. (Niño Hernandez, J.R, 2010)

Sustancias perjudiciales presentes en los agregados: Los agregados además de poseer propiedades físicas, químicas y mecánicas, contienen sustancias adicionales que son consideradas en cierta forma perjudicial para la producción de concretos de alta calidad. A continuación se hace mención de aspectos importantes de algunas de estas sustancias:

Contenido de Arcilla: Perjudica el fraguado del concreto y la adquisición de resistencia mecánica. Los limos, arcillas y polvos procedentes de la trituración de las rocas con diámetros menores de 0.074 mm son perjudiciales si se encuentran en un alto porcentaje en los agregados. La razón radica especialmente en que por ser tamaños menores que los granos del cemento, se encuentran recubriendo los agregados más gruesos impidiendo una buena adherencia entre éstos y la pasta de cemento. Los límites tolerables se encuentran en la norma NTC 174. (Gutierrez de L, L. 2003)

Terrones de arcilla o partículas deleznales: El agregado grueso no debe contener terrones de arcilla u otros granos o grumos de material deleznable, tales como partículas blandas, madera, carbón, lignito o mica, los cuales se confunden con el agregado grueso por su forma. En la masa

del concreto, los materiales deleznales significan puntos débiles que disminuyen las propiedades mecánicas del concreto o su durabilidad, en el caso de estar expuestos a la abrasión. El método para la determinación aproximada de partículas deleznales y terrones de arcilla en el agregado para hormigón, se encuentra descrito en la norma Icontec, NTC 589. (Niño Hernandez, J.R, 2010)

Los límites permitidos del contenido de partículas se establecen en la norma NTC 174, determinados según la norma NTC 589.

Sales solubles: Los sulfatos atacan al cemento produciendo reacciones expansivas que agrietan y desmoronan su masa. Los cloruros, por su parte, corroen el acero del concreto armado perdiendo sus condiciones resistentes, aumentan el volumen y agrieta las secciones de concreto. (Garcia Calderon, J.A, 2010)

Materia orgánica: La presencia significativa de materia orgánica no visible, ejerce interferencia sobre la hidratación del cemento, resultando en un concreto de menor resistencia y retrasos importantes en su tiempo normal de fraguado. (Garcia Calderon, J.A, 2010)

2.4.1.3 Agua. Como es sabido, el agua es considerada un ingrediente fundamental en la producción de concretos, ya que gracias a ella, el cemento se ve involucrado en reacciones químicas que le permiten fraguar y endurecer formando un material resistente en unión con sus agregados. Además, dada la necesidad de hidratar al cemento, es la cantidad de agua con relación a la cantidad de cemento la cifra clave para determinar la calidad del concreto. Por tal motivo el agua necesaria para la producción de concreto debe ser limpia y libre de sustancias nocivas,

contaminantes, sedimentos, aceites, azúcares o químicos que puedan afectar la resistencia y el fraguado del cemento. (Parra, K.M y Bautista, M.A., 2010)

De acuerdo a lo estipulado en la norma NSR-10, en el numeral C.3.4.1, el agua empleada en el mezclado del concreto debe cumplir con las disposiciones de la norma NTC 3459 (BS3148) o de la norma ASTM C1602M cuando sean menos exigentes que los de la norma NTC 3459.

Por otra parte, según la norma NSR (2010), cualquier agua natural que se pueda beber (potable) y que no tenga un sabor u olor marcado, puede utilizarse como agua de mezclado en la elaboración de concreto. Las impurezas excesivas en el agua de mezclado, pueden afectar no sólo el tiempo de fraguado, la manejabilidad, la resistencia del concreto y la estabilidad volumétrica (variación dimensional), sino que también pueden provocar eflorescencia o corrosión en el refuerzo. Siempre que sea posible, debe evitarse el agua con altas concentraciones de sólidos disueltos.

De los procesos de fraguado y endurecimiento, surge la clasificación de dos tipos de agua a utilizar en la preparación de concretos y morteros, el agua de mezclado y el agua de curado. A su vez el agua de mezclado se divide en agua de hidratación y agua evaporable. El agua evaporable se compone de agua de absorción o activa, capilar y libre. A continuación se hace una síntesis de cada una de ellas:

- Agua de mezclado

Es la cantidad de agua por volumen de concreto que requiere el cemento para hidratarse de

manera que la pasta adquiera fluidez que le permita la lubricación a los agregados en estado plástico. En el momento en que se forma la pasta se encuentra dos formas básicas de agua: de hidratación y evaporable. (Parra, K.M y Bautista, M.A., 2010)

Agua de hidratación: Aquella que hace parte de la fase sólida del gel. Se llama no evaporable porque se conserva a 110 grados centígrados de temperatura y 0% de humedad del ambiente.

Agua evaporable: Correspondiente al agua restante que existe en la pasta, evaporable a 0% de humedad relativa del ambiente y a 110°C de temperatura.

- Agua de curado

Está definida como el conjunto de agua adicional para que se hidrate la pasta completamente, esta hace referencia al conjunto de condiciones como humedad y temperatura, requeridas para la hidratación no interrumpida de la pasta hasta que la totalidad del cemento se hidrate, permitiendo así, que el concreto alcance sus propiedades potenciales. El objetivo principal del proceso de curado es entonces el de mantener el concreto lo más próximo posible a la saturación, permitiendo que los espacios inicialmente saturados por agua, sean ocupados por los productos derivados de la hidratación del cemento, conocido comúnmente como “gel”. (Parra, K.M y Bautista, M.A., 2010)

La cantidad de agua de curado depende fundamentalmente de la humedad del ambiente, la relación agua cemento y la densidad del agua no evaporable.

2.4.1.4 Cenizas volantes. De las adiciones que pueden incorporarse al cemento para mejorar alguna de sus propiedades, destacan las puzolanas, las cuales son sustancias de composición silíceas, sílico-aluminosa o combinación de ambas que le dan a los cementos mayor compacidad e impermeabilidad, menor calor de hidratación y también inhiben o contrarrestan las expansiones producidas por la presencia de cal libre y magnesia libre. (Suarez, S. y Fernandez, L., 2010)

Las cenizas volantes se constituyen en una de las puzolanas artificiales más empleadas actualmente en el sector de la construcción, ya que son compuestos sílico aluminosos, que provienen de un tratamiento térmico adecuado y que constituyen un gran peso en la actualidad debido a sus múltiples ventajas económicas y técnicas, además ofrecen propiedades que favorecen la durabilidad y la resistencia en mezclas de concreto. (Suarez, S. y Fernandez, L., 2010)

Según la norma NTC 3493 (ASTM C 618-05 -Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento portland), las cenizas volantes se clasifican de acuerdo a su contenido de cal, de la siguiente manera:

- Clase N: Puzolanas naturales crudas o calcinadas que cumplan con los requisitos aplicables para la clase, como algunas tierras de diatomeas; lutitas, tobas y cenizas volcánicas y materiales diversos que requieren calcinación para inducir propiedades satisfactorias, tales como algunas arcillas y lutitas.

- Clase F: Este tipo de Ceniza posee propiedades puzolánicas, con bajo contenido de cal y obtenidas a partir de la quema de antracita, carbón bituminoso, a partir de carbón sub-bituminoso y lignito.

- Clase C: Esta clase de ceniza además de tener propiedades puzolanas, posee propiedades cementantes, Cenizas con alto contenido de carbón proveniente de la quema de carbón sub-bituminoso⁴ o lignito y que a su vez puede presentar propiedades hidráulicas.

El grado de reactividad y composición de la ceniza volante depende fundamentalmente del tipo de carbón empleado, del proceso de transformación durante su combustión, tipo de horno o caldera, velocidad de enfriamiento y sistema de captación (húmedo o seco) (ASTM C150, 2012).

Por otra parte, la variedad de composición química y propiedades físicas de las cenizas volantes hacen difícil predecir de forma general la modificación de las características del hormigón. Por esta razón, el Instituto Americano del Hormigón (ACI por sus siglas en inglés) en su guía para Hormigones Duraderos recomienda el análisis de las cenizas volantes y la realización de ensayos de caracterización del hormigón con adición de cenizas.

En los hormigones con adición de cenizas volantes ocurren dos reacciones principales. En la primera se produce gel y Portlandita (hidróxido cálcico) por la hidratación del cemento Pórtland, en la segunda, la Portlandita se combina con las cenizas volantes (CV) para formar

nuevos geles de C-S-H. Razón por la cual el resultado suele traducirse en un hormigón de mejores propiedades físicas y mecánicas. (Anales de Mecánica de la Fractura 25, vol. 2 (2008))

- Propiedades de las cenizas volantes

De acuerdo con M.C. Alonso; M. P. de Luxán, citado por Suarez, S. y Fernandez, L. (2010), las cenizas volantes presentan las siguientes propiedades:

- Capacidad reactiva, lo que las hace aptas para múltiples aplicaciones. Otra de sus propiedades es la puzolanicidad e hidraulicidad, aunque se necesita de un período más o menos largo de tiempo para que se manifieste su reactividad puzolánica.
- Las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad del material en estado plástico, debido a un aumento en la dispersión de las partículas del sistema.
- Las cenizas volantes en los morteros disminuyen las expansiones asociadas a la reacción árido-álcalis, disminuyendo la pérdida por durabilidad.
- El contenido de agua libre (que no reacciona con el cemento) es mayor en presencia de cenizas volantes a primeras edades, y por lo tanto la porosidad del sistema también será mayor. Sin embargo, dado que las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad, es posible reducir la relación agua / cemento, contrarrestando la mayor porosidad.
- Las resistencias mecánicas al utilizar cenizas volantes serán menores en las primeras edades, comparadas con las alcanzadas en cementos Pórtland. Las cenizas actúan como un

diluyente inerte, durante el tiempo de incubación de la reacción puzolánica. A edades largas se produce un refinamiento de la estructura porosa debido a la evolución de la actividad puzolánica.

- Las cenizas volantes reducen el calor de hidratación en el cemento debido al menor contenido de alita (C3S) procedente del clínker Pórtland. Este compuesto es el responsable en su mayor parte del calor desprendido durante la hidratación del cemento Pórtland. La reacción puzolánica también es exotérmica, pero su desprendimiento es progresivo en el tiempo.

- Las cenizas volantes incorporadas al cemento mejoran su durabilidad en determinados ambientes sulfatados y de agua de mar. Esto se debe a una mayor impermeabilidad y a la reducción en el contenido de portlandita. Esto último, inhibe la formación de etringita expansiva. El aumento en la impermeabilidad se debe a que los productos formados durante la actividad puzolánica se depositan en el interior de los poros capilares interconectados, dificultando la penetración de los iones sulfato y cloruros.

A continuación se mencionan algunos aspectos importantes de las propiedades físicas y químicas de las cenizas volantes de acuerdo a lo descrito en (Anónimo, Caracterización de las Cenizas Volantes, 2011)

- Propiedades físicas

Las cenizas volantes secas suelen presentarse como una arena o polvo muy fino, suave al tacto y de un color gris más o menos claro, según la proporción de hierro y carbón sin quemar.

Sus características físicas y propiedades dependen de múltiples factores entre los que cabe resaltar; la composición química de los componentes incombustibles del carbón, el grado de pulverización del mismo, el tipo de caldera, la temperatura de combustión, el tipo de extractor, el sistema por el cual las cenizas son retiradas de la central termina. Así se pueden distinguir básicamente tres grupos: las cenizas convencionales procedentes de central térmica, las obtenidas en centrales de lecho fluido y las procedentes de centrales con planta de desulfuración.

La finura medida de las cenizas volantes brutas, es decir, sin moler, es comparable a la del cemento portland ordinario y su tamaño de grano oscila entre 0,2 y 200 micras de diámetro, llegando en casos excepcionales a valores de hasta 500 micras. La densidad de conjunto es aproximadamente de $0,89\text{g/cm}^3$ y el peso específico de las partículas oscila entre 2 y $2,9\text{g/cm}^3$.

El contenido de humedad depende de la forma en que estas se depositen después de abandonar los filtros y precipitadores. Cuando se quieren aprovechar estas cenizas deben recogerse a la salida de los filtros, a fin de que su contenido de agua sea mínimo.

- Propiedades químicas

La composición química de las cenizas es muy variable dependiendo de la composición química de los componentes del carbón. Los porcentajes en los que se presentan los distintos componentes de las cenizas, varían sustancialmente de unas a otras.

Componentes presentes en las cenizas en mayor proporción:

- ✓ Sílice (SiO_2)
- ✓ Alumina (Al_2O_3)
- ✓ Óxidos de hierro (Fe_2O_3)
- ✓ Cal (CaO)
- ✓ Carbón si quemar

En menor proporción, generalmente menor del 5% en peso:

- ✓ Magnesia (MgO)
- ✓ Óxido de azufre (SO_3)
- ✓ Alcalinos (Na_2O)

Otros constituyentes en cantidades aún más reducidas:

- ✓ Titanio
- ✓ Vanadio
- ✓ Manganeso
- ✓ Fosforo
- ✓ Germanio
- ✓ Galio

Para realizar la caracterización de CV se hace necesaria la determinación de los componentes de las cenizas volante, que se realiza mediante técnicas espectroscópicas. En cuanto a la caracterización mineralógica, para identificación y cuantificación del contenido de fases cristalinas y amorfas en las cenizas volantes se lleva a cabo mediante difracción de rayos X (DRX).

Uno de los métodos para medir la difracción de rayos X, es el método de Rietveld, el cual se describe a continuación:

- Método de Rietveld

Guirado, F. y Galis, S Citado por Truzilewicz, L.N, (2013), dicen:

El método de Rietveld ha sido diseñado originalmente para realizar el refinamiento de las estructuras cristalinas y magnéticas de los materiales, basándose en los datos de difracción de neutrones. Hasta la fecha, se han publicado numerosos trabajos relacionados con el análisis cuantitativo por el método de Rietveld (*Quantitative Phase Analysis, QPA*) en base a la Difracción de Rayos X aplicada a cementos Portland, cementos aluminosos, y, también, otros cementos. Este método consiste en minimizar iterativamente la diferencia entre el modelo calculado y el difractograma obtenido con los datos reales, donde es necesario conocer la estructura cristalina de todos los componentes de la mezcla así como los parámetros del equipo (factores instrumentales) involucrados en la obtención del perfil difractante.

2.4.1.5 Cenizas de bagazo de caña. El bagazo de caña es un subproducto de la agroindustria azucarera; el cual es utilizado particularmente como combustible. Sin embargo, la ceniza de bagazo (CBCA) ha sido considerada como un residuo que causa problemas de disposición y afecta el medio ambiente.

Por otra parte cabe señalar, que según estudios realizados, se ha demostrado que las CBCA presentan actividad puzolánica, debido al alto contenido de sílice presente en estos materiales. Entre estos, cabe mencionar el realizado por Torres Agredo, et al, donde se consideró la viabilidad técnica para el uso de la CBA como reemplazo parcial del cemento Portland; en los ensayos se caracterizaron dos muestras de CBA de una industria azucarera colombiana, en los cuales la composición química presentó altos porcentajes de sílice en un 76.3% y 63.2%. La actividad puzolánica de la CBCA fue evaluada utilizando el ensayo de Frattini y el índice de actividad por resistencia mecánica (IAR). La norma ASTM C618 define un índice IAR de al menos el 75% para clasificar un material como una puzolana; esta condición fue alcanzada en estos ensayos. Los resultados indican que la CBA puede ser reciclada como un material puzolánico en la fabricación de cementos comerciales, de esta forma dicho material suplementario puede reemplazar parcialmente el cemento y por lo tanto reducir las emisiones de CO₂. (Torres, Mejía, Eacandon y Gonzales, 2014)

De igual forma que las cenizas volantes, para las cenizas de bagazo de caña es de vital importancia determinar su composición química y mineralógica y el grado de concentración, fundamental para realizar la respectiva caracterización y determinar si es posible su uso en la industria de la construcción, en este caso como adición a mezclas de concreto.

- Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar

La composición de la ceniza varía según el tipo de caña, su edad, el tipo de suelo y la cantidad de fertilizantes empleados. Por su parte, la actividad puzolánica depende de algunos parámetros, como son el tamaño de las partículas, la temperatura de calcinación y la composición química, debido a que tiene altos contenidos de dióxido de silicio (SiO_2). (Hernandez J, U. 2011)

De acuerdo con lo anterior, determinar la composición mineralógica de las cenizas de bagazo de caña, es muy importante, ya que para ser empleadas en la elaboración de materiales de construcción se deben determinar cada uno de los elementos presentes y el grado de concentración de los mismos. La técnica empleada para su determinación es la difracción de rayos x.

2.4.2 Concreto. El concreto es uno de los materiales de construcción más ampliamente utilizado a nivel mundial, ya que es resistente, presenta facilidad para trabajar y moldearlo, y nos brinda además de sus características como elemento estructural una gran economía, razones que lo hacen muy competente y de gran preferencia en el campo de la construcción para el desarrollo de todo tipo de proyectos de ingeniería.

De acuerdo con Niño Hernandez, J.R, las propiedades más características del concreto son: la manejabilidad, la velocidad del fraguado, la durabilidad o resistencia con el paso del tiempo, la masa unitaria, la estabilidad de volumen; y la apariencia, entre otras. Además de las propiedades mencionadas, la propiedad más ampliamente referenciada y considerada más

importante es la Resistencia a la Compresión.

Es importante decir, que la variación de las propiedades mencionadas y las características del concreto en los diferentes estados, dan origen a la clasificación de concretos en diferentes tipos, por lo cual es importante conocer las propiedades y características propias de cada estado. De este conocimiento también se derivan las medidas de control que se deben efectuar para garantizar la calidad de un concreto.

A continuación encontrará una breve descripción de las propiedades del concreto en estado fresco, de acuerdo a lo dicho por Niño Hernandez, (2010), en el capítulo 7, en: Tecnología del concreto- Tomo 1.

2.4.2.1 Propiedades del Concreto Fresco. En estado fresco, las propiedades del concreto deben permitir que se llenen adecuadamente las formaletas y los espacios alrededor del acero de refuerzo, así como también obtener una masa homogénea sin grandes burbujas de aire o agua atrapada.

A continuación se resumen las propiedades del concreto fresco que pueden ser determinadas por ensayos:

Trabajabilidad o Manejabilidad. Técnicamente, la trabajabilidad determina cual es el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los componentes del concreto, y entre éste y el encofrado o refuerzo, para lograr una compactación adecuada, sin que se produzca segregación alguna.

La trabajabilidad se representa por cuatro características principales a saber:

- ✓ La compacidad. Facilidad del concreto o mortero fresco para ser compactado o consolidado para reducir el volumen de vacío y por lo tanto el aire atrapado.
- ✓ La cohesividad. Capacidad del concreto o mortero fresco de mantenerse como masa estable sin segregación.
- ✓ La plasticidad. Capacidad del concreto o mortero fresco de deformarse continuamente sin romperse.
- ✓ La consistencia o movilidad. Habilidad del concreto o mortero fresco para fluir, llenando espacios vacíos alrededor de los elementos que absorbe.

Existen factores que afectan directamente la trabajabilidad del concreto o mortero fresco, entre los cuales se destacan principalmente:

- ✓ El contenido de agua de mezclado. La trabajabilidad es afectada principalmente por el contenido de agua evaporable de una mezcla. A mayor contenido de agua evaporable, mayor fluidez y mayor lubricación de los agregados. Sin embargo, altos contenidos de agua evaporable pueden ocasionar disminuciones en la resistencia del concreto endurecido y la aparición de grietas.
- ✓ Contenido de Aire. El aire produce una disminución en los requerimientos de agua del concreto para una misma manejabilidad, e igualmente aumenta las condiciones de cohesión
- ✓ Propiedades de los agregados. Propiedades de los agregados como: el tamaño máximo, la forma y textura de las partículas, la densidad, la absorción, el contenido de finos, y la

materia orgánica, afectan las características del concreto fresco.

✓ Las condiciones climáticas. Condiciones climáticas como el viento, el sol, la temperatura y la humedad del ambiente, pueden afectar la manejabilidad del concreto fresco, ya que pueden producir entre otras: pérdidas de agua por evaporación, cambios en la temperatura interna del concreto por intercambio de calor, cambios volumétricos y modificaciones en los tiempos de fraguado.

✓ El tiempo y la temperatura. El concreto recién mezclado se vuelve rígido con el tiempo, fenómeno que no debe ser confundido con el fraguado del cemento. La temperatura por su parte, afecta las reacciones químicas, modificando las características del concreto en estado fresco y posteriormente en estado endurecido, por lo tanto, la norma NTC 3357 fija límites permitidos de la temperatura del concreto fresco.

Propiedades como la cohesión y adhesión son las que determinan el grado de manejabilidad, usualmente son determinadas por un examen visual y mediante la manipulación del concreto con herramientas para dar acabados, debido que hasta el momento no se conoce ningún ensayo que las mida directamente. Existen sin embargo, ensayos con los cuales se puede determinar o correlacionar las propiedades del concreto en estado plástico en términos de consistencia, fluidez, cohesión y grado de compactación.

Ensayo de Asentamiento. Es una medida del grado de fluidez de la mezcla, refiriéndose a la consistencia de la mezcla. Este factor indica qué tan seca o fluida está la mezcla cuando se encuentra en estado plástico, y no constituye por sí misma una medida directa de la trabajabilidad.

Para concretos cuyo asentamiento sea inferior a 25mm, no es aplicable este ensayo, así como para concretos elaborados con fibras y agregados muy livianos. Para concretos con fibras, su consistencia se mide en función del tiempo que tarda la mezcla en fluir a través del cono invertido, así como es señalado en la NTC 3689. Para ensayos en concretos livianos, es usual emplear conos de mayor altura para compensar la diferencia en masa.

Las diferentes medidas de asentamiento obtenidas en la práctica, han dado origen a una clasificación de la mezcla de acuerdo con su consistencia:

- ✓ Mezcla muy seca. Asentamiento inferior a 2 cm. Empleada en prefabricados de alta resistencia.
- ✓ Mezcla seca. Medidas de asentamiento entre 2,5 y 3,5 cm. Utilizada en la construcción de pavimentos colocados con terminadora vibratoria.
- ✓ Mezcla semi-seca. Asentamientos entre 3,5 y 5 cm. Aplicaciones en pavimentos y cimentaciones en concreto simple. Mezcla mediana. Asentamientos entre 5 y 10 cm. Empleada en pavimentos, losas, muros y vigas.
- ✓ Mezcla húmeda. Asentamiento entre 10 y 15cm. Utilizada en la elaboración de elementos esbeltos.
- ✓ Mezcla muy húmeda. Presenta asentamientos mayores a 15 cm, empleada en la construcción de elementos muy esbeltos y pilotes construidos in situ.

Ensayo de Remoldeo. Éste ensayo fue creado por Powers, y mide la trabajabilidad con base en el esfuerzo que se hace para cambiar la forma de una muestra de concreto. El esfuerzo se mide en base al número de sacudidas necesarias para que ocurra el cambio de forma. Debido a

los requerimientos del ensayo, éste no es usado en campo sino en laboratorios.

Masa unitaria. Tanto para el concreto fresco como para el concreto endurecido, la masa unitaria depende del tamaño máximo, la granulometría y la densidad de los agregados. También se ve afectada por la cantidad de agua y la cantidad de aire presente en la mezcla.

El ensayo de rendimiento volumétrico descrito en la norma NTC 1926, mide la masa unitaria de un concreto de masa normal.

Contenido de aire. El aire atrapado normalmente en diámetros mayores a 1 mm, representa un problema para el concreto, pues disminuye la resistencia, reduce las secciones afectivas de los elementos y causa un mal aspecto.

Con el fin de mejorar la manejabilidad y disminuir el riesgo de exudación segregación en estado fresco y aumentar la durabilidad en el concreto endurecido, es común agregar burbujas microscópicas de aire intencionalmente en el concreto durante la preparación.

En Colombia, se cuenta con tres procedimientos estandarizados para determinar el contenido de aire del concreto en estado fresco: el ensayo de presión, descrito en la norma NTC 1028; el volumétrico, norma NTC 1032; y el gravimétrico, presentado en la norma técnica colombiana NTC 1026.

Contenido de agua. El contenido de agua es un factor determinante para el desempeño del concreto, por lo cual debe tratar de utilizar en la mezcla la cantidad de agua estipulada en los

diseños.

Para determinar el contenido de agua en una mezcla se pueden emplear dos procedimientos descritos en la norma NTC 3752, los cuales miden directamente la concentración del ión cloruro, debido a la reacción química de la mezcla de concreto con una solución de cloruro de volumen y características determinadas.

2.4.2.2 Proceso de Fraguado. Durante el fraguado, el concreto pasa de un estado plástico, donde se deforma indefinidamente por la aplicación de carga, a uno en que se comporta de manera elástica ante la acción de la misma. Durante este proceso se observan cambios en el concreto, como el tiempo de fraguado y la contracción plástica. (García calderón, J.A., 2010)

Tiempo de Fraguado. Tiempo que tarda el concreto en pasar de estado plástico a estado endurecido. De acuerdo con estos tiempos, el concreto puede clasificarse como: concretos de fraguado lento, de fraguado normal, o de fraguado rápido.

Contracción plástica. Se conoce como el fenómeno por el cual se presentan cambios de volumen producidos durante el fraguado, los cuales se manifiestan por la aparición de fisuras y son debidos a una reducción en el volumen del sistema cemento – agua, causado tanto por el inicio del proceso de hidratación como por la pérdida de agua de mezclado por evaporación.

A continuación se esbozan algunos aspectos importantes de las propiedades del concreto endurecido, tal como lo describe Niño, J. R. (2010), en Tecnología del concreto – Tomo 1

(Materiales, propiedades y diseño de mezclas), en el capítulo 8.

2.4.2.3 Propiedades del Concreto endurecido. Las propiedades mecánicas del concreto están gobernadas por la resistencia de la pasta endurecida, los agregados y la interface pasta-agregados, las cuales a su vez son modificadas por procesos de colocación y condiciones de curado.

Dependiendo de las propiedades de sus componentes y de la interacción entre ellos, el concreto es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

Dentro de las muchas propiedades que posee el concreto se puede mencionar: la masa unitaria, las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, acústicas, y su apariencia entre otras.

Resistencia. Es la habilidad de resistir esfuerzos de compresión, tracción, flexión y corte. El concreto presenta alta resistencia a los esfuerzos de compresión y poca resistencia a los esfuerzos de tracción, por lo tanto, es la resistencia a la compresión simple la característica de mayor importancia.

De acuerdo a la resistencia, los concretos se clasifican en: Concretos de resistencia normal, no superior a los 42 MPa; concreto de alta resistencia, entre los 42 y los 100 MPa; y el concreto de ultra alta resistencia, ubicado en valores superiores a los 100 MPa. Todos valores medidos a los 28 días de vida del concreto. Si la resistencia del concreto es superior a los 100Mpas, este es considerado como de ultra alta resistencia.

Por su naturaleza, el concreto es una mezcla endurecida y heterogénea cuya resistencia depende únicamente de los siguientes factores:

- La resistencia de la pasta endurecida
- La resistencia propia de las partículas del agregado
- La adherencia entre la pasta y los agregados.

Factores que inciden en la resistencia del concreto:

El factor más importante en la resistencia de un concreto es la relación agua cemento, sin embargo para obtener una mezcla con las propiedades requeridas de trabajabilidad, bien dosificada y en condiciones normales de mezclado, curado y métodos de ensayo, también influyen otros elementos como el tipo y calidad del cemento, las características del agregado, el tipo y cantidad de los aditivos, el fraguado y la edad.

La relación agua/cemento (a/c): Se describe como la cantidad de agua en masa, sin incluir el agua absorbida por los agregados, sobre la cantidad de cemento en masa. A mayor cantidad de agua, menor será la resistencia del concreto, dicha propiedad fue demostrada por Duff Abrams en el año 1918.

Contenido y tipo de cemento: Debido a que el cemento es el material químicamente activo de la mezcla, presenta una gran influencia en la resistencia que finalmente alcanzará el concreto. La cantidad de cemento utilizado influye en el comportamiento del concreto, de esta manera, una

mayor cantidad de cemento genera una mayor resistencia, solo hasta cierto límite, después del cual, el cemento no logra hidratarse correctamente pasando a formar una parte inerte del concreto. Por otro lado se ha demostrado que para mezclas con una baja relación agua/cemento, en las cuales se incrementa el contenido de este material a valores superiores a 470 kg/m^3 , se origina una disminución de la resistencia, en especial cuando se utiliza agregado de gran tamaño.

Características de los agregados: Como se ha venido diciendo, las propiedades de los agregados o áridos también influyen en el comportamiento del concreto y sus características. Entre ellas tenemos, la textura y forma, la granulometría, la resistencia y el tamaño máximo.

Tipo y dosificación de aditivos: La dosificación de los aditivos debe hacerse siguiendo las especificaciones e instrucciones dadas por los fabricantes, pues estos utilizados en cantidades menores o mayores a las recomendadas no produce los efectos deseados sobre la resistencia del concreto.

Fraguado del concreto: las condiciones de tiempo y temperatura durante el proceso de fraguado son otro de los factores que afectan la resistencia del concreto.

Curado del concreto: Es la prevención del secado prematuro del concreto, bajo un nivel de temperatura favorable por un periodo específico. Éste periodo debe ser por lo menos 7 días a una temperatura mínima de 10°C y máximo de 32°C . En concretos acelerados el tiempo puede reducirse a 3 días. La temperatura es un factor importante en el curado del concreto, ya que un aumento durante este proceso acelera las reacciones químicas de la hidratación, lo cual afecta en forma benéfica la resistencia a edades tempranas del concreto, pero con consecuencias adversas en la resistencia posterior.

Edad del concreto. Los concretos convencionales alcanzan su resistencia de diseño a los 28 días. Los de alta resistencia, se especifica un periodo entre 56 a 90 días.

Por otra parte cabe resaltar que la resistencia física es la propiedad más importante del concreto, porque influye en las demás características de significado práctico. En general los más resistentes son más densos, menos permeables, y más resistentes al intemperismo y a ciertos agentes destructivos. A continuación se considera particularmente las diferentes fuerzas a las que se somete un concreto.

Resistencia a la compresión. Para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad.

La medida de la resistencia a la compresión se efectúa por medio de ensayos normalizados. En Colombia, se utilizan los procedimientos de las normas NTC 550 y NTC 673 en donde se encuentran descritos métodos de elaboración y ensayo de los especímenes.

La resistencia a la compresión se mide con una prensa, que aplica carga sobre la superficie superior de un cilindro a una velocidad especificada mientras ocurre la falla. La carga a la cual falla el cilindro queda registrada, y este valor se divide por el área de la sección transversal del cilindro obteniéndose así el esfuerzo de rotura del concreto. Se toma como estándar, la resistencia máxima a la compresión a los 28 días.

Estos cilindros, son muestras tomadas del concreto en campo o en laboratorio, y el procedimiento de elaboración de los mismos se encuentra especificado en las normas técnicas

NTC 550 y NTC 1377.

Predicción de la resistencia a la compresión: La resistencia especificada a compresión tiene el inconveniente de tener que esperar 28 días para conocer la certeza de su magnitud, tiempo que es desfavorable para agilizar los procesos de construcción. Motivo por el cual es conveniente calcular la resistencia probable a 28 días lo más pronto posible y de esta manera tomar las medidas pertinentes.

Existen fórmulas que relacionan la resistencia a los 7 días con la resistencia a los 28 días, como las que a continuación se enumeran:

$$R_{28} = R_7 + K(R_7)^{0.5} \text{ (Fórmula de Slater) (4)}$$

$$R_{28} = a + b(R_7) \text{ (5)}$$

Dónde:

R_{28} = Resistencia a compresión probable a 28 días.

R_7 = Resistencia a compresión a los 7 días.

K = Constante que depende principalmente de las propiedades del cemento empleado.

a y b = Constantes que dependen de las propiedades del cemento, la relación agua/cemento, la temperatura, la humedad y los aditivos.

Ensayos acelerados de resistencia a compresión: Debido a que la aplicación de las fórmulas que relacionan la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días no es muy segura, y toman tiempo se han ideado maneras para predecir la resistencia potencial a 28 días realizados pocas horas después de mezclado. Estos métodos aceleran la adquisición de resistencia de muestras de concreto, debido a que se someten las muestras a temperaturas elevadas durante un periodo corto de curado.

El procedimiento para la ejecución de este ensayo esta descrito en la norma técnica colombiana NTC 1513.

Masa unitaria. La masa unitaria del concreto depende en gran parte de la masa unitaria de los agregados. La masa unitaria del concreto endurecido es igual a la masa del concreto recién mezclado, menos el agua evaporable.

En el concreto endurecido, la masa unitaria puede determinarse por medio de métodos nucleares tales como los descritos en la norma ASTM C 1040, y están basados en transmisión directa e indirecta de rayos gama.

La clasificación del concreto según su masa unitaria se presenta en la tabla 3.

Tabla 3*Clasificación del concreto según la masa unitaria*

Masa unitaria (Kg/m³)	Descripción
500 - 2000	Concreto ligero
2000 - 2500	Concreto normal (convencional)
2600 - 5600	Concreto pesado

Nota. Fuente: Niño H, J.R. Tecnología del concreto (2010), tabla 8.2.

A continuación se describe el método de dosificación para mezclas de concreto, tal como lo especifica Niño Hernandez, J.R, (2010), en Tecnología del concreto – Tomo 1 (Materiales, propiedades y diseño de mezclas), en el capítulo 11.

2.4.3 Diseño de mezclas de concreto. Según Niño Hernández, el conocimiento de las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido tiene como finalidad primordial la de determinar el diseño de la mezcla.

Una mezcla debe diseñarse tanto para estado fresco como estado endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad y economía, y para concreto endurecido son las de resistencia, durabilidad, y en algunos casos el peso volumétrico.

Para proporcionar los ingredientes en una mezcla de concreto se debe seguir un procedimiento, para lo cual se han sugerido muchos métodos dentro de los cuales se encuentran

los analítico, experimentales, semianalíticos y empíricos.

El método empleado para el diseño de las mezclas de concreto para el presente proyecto es el método americano ACI (American Concrete Institute), descrito por Hernández, en Tecnología del Concreto – Tomo 1, ya que es el más conocido y el más ampliamente usado. Se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams, que consiste en seguir una serie de pasos para determinar la cantidad de cada material en peso y volumen, para $1m^3$ de concreto.

Antes de dosificar una mezcla de concreto además de tener las especificaciones de la obra a construir, también se deben conocer las propiedades de los materiales con los que se va a preparar la mezcla.

Cabe señalar que en el método ACI, el proporcionamiento de los agregados se hace teniendo en cuenta que estos cumplan las especificaciones granulométricas de la norma ASTM C33; en caso contrario se puede emplear el procedimiento alternativo propuesto por la Road Note Laboratory (RNL), que consiste en hacer una optimización granulométrica.

2.4.3.1 Método de dosificación. Para el diseño de mezclas se recurre tanto a datos reales como a datos empíricos o de experiencia que con la ayuda de tablas, gráficas y ábacos, se obtiene una guía para alcanzar combinaciones óptimas de los materiales.

La optimización de las proporciones de la mezcla de concreto que cumpla con las

características deseadas con los materiales disponibles, se logra mediante el sistema de ajuste y reajuste. Dicho sistema consiste en preparar una primera mezcla de prueba con unas proporciones iniciales calculadas por los métodos que se explican a continuación. A la mezcla de prueba se le efectúa el ensayo de asentamiento y si su valor es diferente del recomendado, se reajustan las cantidades. Cuando se logra el asentamiento deseado con las proporciones reajustadas, se elaboran muestras de cilindros a los que se les determine su resistencia a la compresión; se compara con la resistencia especificada y si son diferentes, se vuelven a ajustar las cantidades. Una vez reajustadas las cantidades, se elabora otra mezcla que debe cumplir con el asentamiento y la resistencia requerida; si por algún motivo no se cumple ninguno de los requerimientos debido a particularidades que no se detectan con los ensayos corrientes que se efectúan a los materiales, se pueden hacer ajustes similares a los indicados hasta lograr los resultados deseados.

Los criterios de dosificación de mezclas de concreto incluyen los siguientes pasos:

- Elección del asentamiento
- Elegir el tamaño máximo nominal
- Estimar el contenido de aire
- Estimar la cantidad de agua de mezclado
- Estimar la cantidad de agua/cemento (a/c)
- Calcular la cantidad de cemento
- Verificar si los agregados cumplen las recomendaciones granulométricas.
- Estimación del contenido de grava

- Estimar el contenido de agregado fino
- Ajustar la cantidad de agua por el contenido de humedad del agregado
- Ajustar las mezclas de prueba.

Elección del asentamiento. El asentamiento se selecciona teniendo en cuenta los parámetros contemplados en la Tabla 4, es decir, la consistencia requerida de la mezcla, el tipo de estructura y las condiciones de colocación del concreto y el grado de manejabilidad solicitados por el diseño. Cuando el asentamiento no se encuentra especificado en la tabla mostrada, se puede adoptar un valor apropiado para la obra, recordando siempre que se deben usar mezclas con la mínima consistencia que permitan una colocación eficiente.

Tabla 4

Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción

ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA CONCRETOS DE DIFERENTES GRADOS DE MANEJABILIDAD		
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
Muy seca	0 - 2,0	Pilotes o vigas prefabricadas de alta resistencia con vibradores de formaleta
Seca	2,0 - 3,5	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria
Semi Seca	3,5 - 5,0	Pavimentos con vibradores normales. Fundaciones de concreto simple. Construcciones en masa voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración
Media	5,0 - 10,0	Pavimentos compactados a mano. Losas medianamente reforzadas, con mediana compactación, columnas, vigas, fundaciones y muros reforzados con vibración.
Húmeda	10,0 - 15;0	Revestimiento de túneles. Secciones con demasiado refuerzo. Trabajos, donde la colocación sea difícil. Normalmente no es apropiado para compactarlo con demasiada vibración.

Nota. Fuente: Niño Hernandez, J.R, (2010), Tecnología del concreto, tabla 11.1.

Elección del tamaño máximo nominal. El tamaño máximo nominal (TMN) está limitado por las dimensiones de la estructura, como se mencionó anteriormente según la NSR -10, en ningún caso debe exceder de un quinto la menor dimensión entre los lados de la formaleta. De un tercio el espesor de las losas, ni de las tres cuartas partes del espaciamiento libre entre varillas individuales de refuerzo. Estas restricciones se pueden evitar, si a juicio del ingeniero, la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto se puede colocar sin que produzcan hormigoneos o vacíos.

Estimación del contenido de aire. Con el objeto de tener un mejor criterio acerca de la cantidad de aire en el concreto, en la tabla 5 se enseñan los valores que recomienda el ACI 318 S-08 para varios grados de exposición.

Tabla 5

Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición

Agregado grueso		porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
			Suave	Mediano	Severo
Pulgadas	mm				
3/8	9,51	3	4,50	6,00	7,50
1/2	12,5	2,5	4,00	5,50	7,00
3/4	19,1	2	3,50	5,00	6,00
1	25,4	1,5	3,00	4,50	6,00
1 1/2	38,1	1	2,50	4,50	5,50
2	50,8	0,5	2,00	4,00	5,00
3	76,1	0,3	1,50	3,50	4,50
6	152,4	0,2	1,00	3,00	4,00

Nota. Fuente: Niño Hernandez, J.R, (2010), Tecnología del concreto, tabla 11.3.

Estimación de la cantidad de agua de mezclado. La cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir un asentamiento dado depende del tamaño máximo del agregado, la forma y textura de las partículas así como de la gradación de los agregados, de la cantidad de aire incluido y de los aditivos reductores de agua (cuando son utilizados).

Según estudios desarrollados se puede obtener estimativos aproximados de la cantidad de agua de mezclado. Este criterio es el suministrado por el ACI y se muestra en tabla 6.

Tabla 6

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y TMN del agregado

AGUA EN KILOGRAMOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO PARA LOS TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGEGADO INDICADOS							
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO							
AENTAMIENTO (cm)	10 mm	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	180
15 a 18	240	230	230	210	205	185	180
CONTENIDO DE AIRE (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,3	0,3
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO							
AENTAMIENTO (cm)	10 mm	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	165	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
CONTENIDO DE AIRE (%)	8	7	6	5	4,5	4	3,5

Nota. Fuente: Niño Hernandez, J.R, (2010), Tecnología del concreto, tabla 11.4.

Elección de la relación agua/cemento (a/c). La relación agua cemento, medida en peso, es uno de los factores más importante en el diseño de mezclas de concreto y por lo tanto se le debe prestar mucha atención a su escogencia, la relación a/c requerida se determina básicamente por requisitos de resistencia, durabilidad, impermeabilidad y acabado.

Si la relación a/c no se puede llevar a cabo mediante pruebas de laboratorio o registros de experiencia, por limitaciones de tiempo, se pueden usar las relaciones planteadas en la tabla 7, solo para concretos elaborados con cemento portland tipo I.

Tabla 7

Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c

Resistencia a la compresión a los 28 días en (Kg/cm²) - (psi)	Concreto sin inductor de aire. Relación absoluta por peso	Concreto con inductor de aire. Relación absoluta por peso
175 (2500)	0,68	0,46
210 (3000)	0,58	0,5
245 (3500)	0,52	0,46
280 (4000)	0,47	0,42
315 (4500)	0,43	0,38
350 (5000)	0,4	0,35

Nota. Fuente: Niño Hernandez, J.R, (2010), Tecnología del concreto, tabla 11.5

Calculo del contenido de cemento. El cálculo de la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto es muy sencillo. Teniendo la relación agua cemento y el contenido de agua, calculados en los pasos inmediatamente anteriores se despeja el contenido de cemento según la ecuación.

$$C = \frac{a}{a/c} \quad (6)$$

Verificación de las especificaciones granulométricas. La verificación se lleva a cabo bien sea elaborando una curva granulométrica de los agregados de que se dispone y compararla con la recomendada en la norma técnica NTC 174, o bien tabulando.

Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino. Dependiendo de si están o no dentro del rango granulométrico recomendado por la NTC 174, la dosificación de grava y arena se puede lograr por uno de los métodos siguientes.

- Método ACI: Se utiliza cuando los agregados cumplen con las recomendaciones granulométricas NTC 174.
- Método de la Road Note Laboratory: Se utiliza cuando los agregados no cumplen con las recomendaciones granulométricas NTC 174.

Ajuste de la cantidad de agua de mezclado debido a la humedad de los agregados. Las partículas de agregado, debido a la porosidad de los granos, siempre tendrán algún grado de humedad, y para su dosificación se asume que están en condición sss (saturada superficialmente seca). Por tal razón siempre tendrán un exceso de agua libre o un defecto, cantidad que no es independiente del agua de mezclado y por lo tanto se debe restar la cantidad de exceso o sumar la cantidad en defecto.

Para la determinación del sobrante o faltante de agua se puede utilizar la expresión propuesta por Diego Sánchez:

$$A = M (H \pm Abs) \quad (7)$$

Donde:

A= Agua de exceso o defecto respecto a la condición sss

M= peso de la muestra seca, en kg

H= humedad del agregado en tanto por uno

Abs= Absorción del agregado en tanto por uno

La humedad se determina con la siguiente formula:

$$H = \frac{M_h - M}{M} \quad (8)$$

Donde:

H= humedad de la muestra en tanto por uno

Mh= peso de la muestra húmeda en gramos

M= peso de la muestra seca, en gramos.

El cálculo de la absorción se puede lograr mediante la expresión:

$$Abs = \frac{M_{sss} - M}{M} \quad (9)$$

Dónde:

Abs= Absorción del agregado en tanto por uno

M= peso de la muestra seca, en gramos.

Msss= peso de la muestra en estado sss, en gramos.

Cuando la humedad es mayor que la absorción, indica que el agregado tiene agua en exceso y está aportando agua a la mezcla, de tal forma que hay que restarle agua a la mezcla y por lo tanto se debe usar el signo menos (-). Por el contrario, cuando la absorción es mayor que la humedad indica que el agregado necesita más agua para llegar a la condición sss, entonces hay que agregarle agua a la mezcla puesto que hay defecto de esta, por lo tanto hay que usar el signo positivo(+).

Como el material húmedo pesa más que el seco, la corrección de peso seco a húmedo se realiza por medio de la expresión 10.

$$M_h = M (1 + H) \quad (10)$$

Ajuste a las mezclas de prueba. Con el diseño explicado anteriormente se pueden encontrar unas cantidades que teóricamente producen un concreto con las propiedades deseadas. Sin embargo se deben comprobar por medio de las mezclas de prueba, las cuales deben realizarse de acuerdo con la norma ASTM C3.

Los ajustes de la mezcla de prueba se pueden llevar a cabo siguiendo el procedimiento sugerido por el ACI.

2.5 Marco legal

Con el propósito de realizar los procesos necesarios que determinaran la confiabilidad y éxito de los resultados obtenidos mediante el desarrollo del proyecto en estudio, se hace necesario realizar todos los procesos bajo lo establecido por la normatividad vigente establecida, se trata desde luego en el desarrollo de este proyecto, la norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), creada por la ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 de 2008).

De acuerdo a la NSR (2010), los ensayos de materiales y del concreto deben hacerse de acuerdo con las normas técnicas colombianas, NTC, promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, A falta de ellas deben seguirse las normas de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM)

Materiales cementantes:

Los materiales cementantes deben cumplir con las normas relevantes así:

Cemento fabricado bajo las normas NTC 121 y NTC 321 y también se permite el uso de cementos fabricados bajo la norma ASTM C150.

- **Norma :NTC 121(ASTM C150)**

Nombre del ensayo: especificación de desempeño para cemento hidráulico.

Descripción: Esta Norma Técnica se refiere a cementos hidráulicos para uso tanto general como especial. No hay restricciones sobre la composición del cemento o de sus componentes (véase la Nota 1).

Nota 1. Hay 2 normas de ASTM relacionadas con cemento hidráulico, la ASTM C 150 para cemento portland y ASTM C595 para cementos adicionados. Dichas normas contienen requisitos prescriptivos y de desempeño.

✓ Esta norma clasifica los cementos con base en requisitos específicos para uso general, alta resistencia temprana, resistencia al ataque por sulfatos y calor de hidratación. Se indican requisitos opcionales para la propiedad de baja reactividad con agregados reactivos álcali-sílice y para cementos con incorporadores de aire.

✓ Los valores estándar expresados, deben estar bien sea bajo el Sistema internacional de unidades o en el sistema ingles de unidades, y considerados separadamente. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes, por lo tanto, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en la no conformidad con la norma.

✓ El texto de esta norma hace referencia a notas y notas al pie de página que proveen material explicativo. Estas notas y notas al pie de página (excluyendo aquellas referentes

a tablas y figuras) no son requisitos de la Norma.

✓ Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias. Las mezclas frescas de cemento hidráulico son cáusticas y pueden causar irritaciones en la piel y tejidos, debido a exposición prolongada. Se recomienda el uso de guantes, traje de protección y protección visual. En caso de exposición, lavar la parte afectada con abundante agua. En el caso de los ojos, se deben lavar con agua limpia por lo menos durante 15 min. Se debe evitar el contacto del cuerpo con el agua residual del mortero, concreto, pasta o lechada. Retire el traje contaminado inmediatamente luego de la exposición. En cualquier caso, se debe tener asistencia médica idónea.

- **Norma :NTC 321**

Nombre: cemento portland: especificaciones químicas.

Descripción: los ensayos deben realizarse de acuerdo a la norma ICONTEC 184.

EMPAQUE Y ROTULADO, los empaques deberán llevar marcas legibles con la siguiente información:

- ✓ Las palabras “cemento portland”.
- ✓ La marca del cemento y el lugar de fabricación.
- ✓ El tipo de cemento.
- ✓ La masa de los bultos en kg.

✓ Deberá suministrarse información similar en el aviso de expedición que acompañe al pedido del cemento a granel. Todos los bultos deberán estar en buenas condiciones en el momento de la inspección en fábrica.

- **Norma: NTC 184.**

Nombre: Cementos. Métodos de análisis químico de los cementos hidráulicos.

Descripción: Esta norma establece los métodos de análisis químico de los cementos hidráulicos. Se puede emplear cualquier método de comprobada precisión y sesgo aceptables para el análisis de los cementos hidráulicos, incluyendo los análisis para propósitos de verificación y certificación, de acuerdo con el capítulo 3. Se proporcionan métodos químicos específicos de ensayo de referencia para facilidad de quienes deseen usarlos, los cuales están agrupados como métodos de ensayo de referencia y métodos de ensayo alternativos los métodos de ensayo de referencia son métodos químicos clásicos por vía húmeda que proporcionan un esquema bien integrado de análisis de los cementos hidráulicos. Los métodos de ensayo alternativos generalmente suministran determinaciones individuales de componentes específicos, y pueden ser usados solos o como alternos y las determinaciones dentro del esquema básico quedan a opción del analista como se indica en el método individual. Se requiere que el analista demuestre un desempeño aceptable en cuanto a precisión y sesgo, tal como se explica en el capítulo 3, cuando se usan éstos métodos de ensayo.

- **Norma :NTC 3493**

Nombre: cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento pórtland.

Descripción: Esta norma establece la utilización de cenizas volantes o puzolanas naturales, calcinadas o crudas, como aditivos minerales para concreto, donde sea deseable la acción cementante o puzolánica, o ambas, o donde puedan considerarse apropiadas otras propiedades, normalmente atribuidas a aditivos minerales finos; o donde se busque lograr ambos objetivos.

Nota 1. Los materiales finos pueden tender a reducir el contenido de aire incorporado del concreto. Por lo tanto, si se adiciona un aditivo mineral a un concreto al cual se le especifica aire incorporado, se deberán tomar las precauciones para que se conserve la cantidad de aire indicado mediante ensayos de contenido de aire y de la utilización adicional de un aditivo incorporador de aire, o por medio del uso de una combinación de un aditivo incorporador de aire con un cemento hidráulico con aire incorporado.

Agregado de peso normal: NTC 174 (ASTM C33)

- **Norma :NTC 174 (ASTM C33)**

Nombre: concretos. Especificaciones de los agregados para concreto

Descripción:

- ✓ Esta norma establece los requisitos de gradación y calidad para los agregados

finos y gruesos, (excepto los agregados livianos y pesados) para uso en concreto.

✓ La información que se presenta en esta norma la puede utilizar el contratista, el proveedor o el comprador, como parte del documento de compra que describe el material por suministrar.

✓ Esta norma es adecuada para asegurar materiales satisfactorios para uso en la mayoría de concretos. Se pueden necesitar mayores o menores restricciones para ciertas obras o regiones. Por ejemplo, en donde la estética es importante, se pueden considerar límites más restrictivos en relación con las impurezas que puedan manchar la superficie de concreto. Es conveniente que quien establece las especificaciones sobre los agregados, indique en el área de trabajo la disponibilidad de ellos en relación con su gradación, propiedades físicas, químicas o una combinación de ellas.

✓ Esta norma también es para uso en especificaciones de proyectos, para definir la calidad del agregado, su tamaño máximo y otros requisitos de gradación específicos. Las personas responsables de seleccionar las proporciones de la mezcla de concreto también deben determinar las proporciones de agregado fino y grueso y la adición de una mezcla de agregados de diferente tamaño, si se requieren o aprueban.

✓ Los valores se deben regir de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. Véase la NTC 1000 (ISO 1000).

✓ El texto de esta norma hace referencia a notas corrientes que brindan material explicativo. Estas notas (se excluyen las de las tablas y las de las figuras) no se deben considerar requisitos de esta norma.

Agregado liviano: NTC 4045 (ASTM C330), requisito de NSR (2010).

- **Norma : NTC 4045((ASTM C330)**

Nombre: agregados livianos para concreto estructural.

Descripción:

✓ Esta norma se refiere a agregados livianos utilizados en concreto estructural, en donde las consideraciones principales son el poco peso y la resistencia del concreto a la compresión. Los procedimientos a que se refiere esta norma no están previstos para el control de la calidad del concreto en obra.

✓ Los tamaños de los agregados deben ser determinados mediante el uso de tamices estándar especificados en la NTC 32 (ASTM E 11). 1.3 Los valores se deben regir de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (Véase la NTC 1000 Metrología (ISO 1000)).

Nota 2. Esta norma se considera adecuada para garantizar agregados livianos satisfactorios para la mayoría de concretos estructurales livianos. Para el uso de agregados livianos en otro tipo de construcciones o propósitos y condiciones especiales, tales como resistencia al fuego, relleno

y alto desempeño, se deben realizar verificaciones adicionales para determinar su comportamiento

Agua:

El agua empleada en el mezclado del concreto debe cumplir con las disposiciones de la norma NTC 3459 (BS3148) o de la norma ASTM C1602M cuando sean menos exigentes que los de la norma NTC 3459.

- **Norma : NTC 3459**

Nombre: Concretos agua para la elaboración de concreto.

Descripción: Esta norma tiene por objeto determinar el método para establecer por medio de ensayos, si el agua es apropiada para la elaboración de concreto. Los ensayos a que se refiere esta norma no proporcionan información con respecto a la durabilidad del concreto a largo plazo.

Generalidades El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto.

El agua para elaborar el concreto puede tomarse de fuentes naturales y, por lo tanto puede contener elementos orgánicos indeseables o contenidos inaceptables de sales inorgánicas, Las aguas superficiales, en particular, a menudo contienen materia en suspensión, como aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales, y puede ser inadecuado emplearlas sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para que dicha materia en suspensión se elimine.

Agua de lavado El agua de lavado proveniente de la operación de limpieza de las mezcladoras o de las zonas de almacenamiento de materias primas, se puede usar para la fabricación de concreto siempre que los ensayos cumplan con las especificaciones contenidas en el numeral 3 de esta norma.

Se debe tener cuidado cuando se empleen aguas que pueden estar contaminadas por efluentes industriales o por drenaje de minas, depósitos de minerales entre otros; estas aguas deben ensayarse de acuerdo con esta norma. (Norma Técnica Colombiana, NTC 3459)

Normas NTC promulgadas por el ICONTEC:

- **Norma : NTC 30**

Nombre: Cemento Portland – Clasificación y nomenclatura.

Descripción:

- ✓ Esta norma establece la clasificación y nomenclatura de los cementos Portland dea

cuerdo con sus cualidades y usos.

- **Norma : NTC 396(ASTM C143)**

Nombre: Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.

Descripción:

✓ Esta norma establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en la obra y en el laboratorio.

✓ Esta norma puede involucrar materiales, maniobras y equipos peligrosos; sin embargo, no implica referirse a los problemas de seguridad asociados con su empleo. Es responsabilidad del usuario constatar antes de su empleo las prácticas y condiciones tanto de seguridad como de sanidad y, además, determinar la aplicación de éstas.

- **Norma : NTC 454(ASTM C172)**

Nombre: Hormigón fresco, toma de muestras.

Descripción:

✓ Esta norma establece los procedimientos para obtener muestras representativas de concreto fresco, tal como se entrega en el sitio del proyecto, sobre las cuales se realizan los ensayos para verificar el cumplimiento de los requisitos de calidad de acuerdo con las especificaciones bajo las que se suministra el concreto (véase la Nota 3).

✓ La norma incluye muestreos de mezcladoras estacionarias, pavimentadoras, en camiones mezcladores y de equipos agitadores y no agitadores usados para transportar el concreto mezclado en planta.

✓ Las unidades están dadas de acuerdo con lo establecido en la NTC 1000 (ISO 1000). Los valores dados entre paréntesis son conversiones matemáticas al sistema libra-pulgada las cuales tienen propósitos informativos.

Nota 3. Esta norma requiere muestreos compuestos, a menos que se exceptúen específicamente para procedimientos que rijan algún ensayo particular, tal como el usado para determinar la uniformidad de la consistencia y la eficiencia de la mezcladora. Esta norma no incluye los procedimientos usados para seleccionar la mezclada (bachada)¹ específica, pero se recomienda usar muestreos aleatorios para determinar el cumplimiento global de las especificaciones.

✓ Esta norma también incluye procedimientos para la preparación de muestras de concreto para ensayos adicionales, cuando sea deseable o necesario remover el agregado de tamaño mayor al designado, se recomienda efectuar esta remoción de partículas de agregado grueso mediante tamizado húmedo.

✓ Esta norma hace referencia notas y pies de página que proporcionan material informativo. Estas notas y pies de página no deben considerarse como requisitos de esta práctica.

✓ Esta norma no pretende manejar todas las inquietudes sobre la seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas apropiadas de salud y seguridad, así como aplicar las disposiciones regulatorias determinadas antes del uso. Las mezclas frescas de concreto son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas en la piel y los tejidos ante exposiciones prolongadas.

- **Norma: NTC 504(ASTM C617)**

Nombre: Refrentado de especímenes cilíndricos de concreto.

Descripción:

✓ Esta norma contempla aparatos, materiales y procedimientos para el refrentado con cemento puro de cilindros de concreto moldeados en fresco y con yeso de alta resistencia o mortero de azufre para cilindros de concreto endurecido o núcleos extraídos de concreto.

✓ El refrentado debe tener como mínimo la resistencia del concreto. El espécimen de compresión refrentado debe quedar plano dentro de una tolerancia de 0,05 mm medida a través de cualquier diámetro.

✓ La verificación de la planitud del refrentado se debe realizar diariamente.

✓ Los valores se registrarán de acuerdo con el sistema internacional de unidades. Véase la NTC 1 000. Metrología.

✓ Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias.

Significado y uso:

Esta norma describe procedimientos para proporcionar superficies planas en los extremos de cilindros de concretos moldeados fresco, cilindros endurecidos, o núcleos de concreto extraídos cuando dichas superficies no satisfacen los requisitos de plenitud y perpendicularidad de las normas aplicables.

- **Norma : NTC 673 (ASTM C39)**

Nombre: Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

Descripción:

✓ Este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene un peso unitario mayor que 800 kg/m³ [50 lb/ft³].

✓ Los valores normativos se expresan de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. Véase la NTC 1000 (ISO 1000). Los valores informativos se expresan entre paréntesis en el sistema libra-pulgada y pueden no ser equivalentes al sistema internacional.

✓ La presente norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas adecuadas de salud y seguridad así como determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de su uso. Las mezclas frescas de concreto o mortero hidráulico son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas al contacto directo con la piel. Cualquier caso de exposición se debe tratar con la atención de un profesional médico.

✓ El texto de las notas de referencia y pies de página de esta norma proveen material informativo. Estas notas no deben ser consideradas como requisitos de la norma.

- **Norma : NTC 722 (ASTM C496)**

Nombre: Ensayo de tracción indirecta de cilindros de concreto.

Descripción:

✓ Este método de ensayo permite determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto, tales como los cilindros moldeados y núcleos.

Nota 4. Para los métodos de moldeo de especímenes cilíndricos de concreto, véanse las NTC 1377 (ASTM C192) y NTC 550 (ASTM C31). Para los métodos de extracción de núcleos, véase la NTC 3658 (ASTM C42).

✓ Los valores presentados se deben regir de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. Véase la NTC 1000 (ISO 1000).

✓ Esta norma comprende materiales, operaciones y equipos peligrosos. El propósito de ésta, no es presentar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas adecuadas de seguridad y salud, y determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de utilizarla.

Resumen del método de ensayo:

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

✓ Se usan listones de apoyo delgados fabricados en madera contrachapada, de manera que la carga se aplique uniformemente en toda la longitud del cilindro. 3.3 Para obtener la resistencia a la tensión indirecta, la carga máxima soportada por el espécimen se divide entre los factores geométricos apropiados.

- **Norma : NTC 1032 (ASTM 231)**

Nombre: Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión.

Descripción: Esta norma describe el método de ensayo para determinar el contenido de aire del concreto fresco mezclado, a partir de la observación del cambio de volumen de concreto, con un cambio de presión.

✓ Este método de ensayo se aplica en concretos y morteros hechos con agregados relativamente densos. No se aplica para concretos hechos con agregados livianos, escoria de alto horno enfriada al aire o agregados de alta porosidad. En estos casos, se debe emplear el método de ensayo presentado en la NTC 1028. Esta norma tampoco es aplicable para concreto no plástico, tal como el que comúnmente se usa en la fabricación de tubos y unidades de concreto para mampostería.

✓ El texto de este método hace referencia a notas y notas al pie de página que suministran información explicativa. Estas notas y notas al pie de página (exceptuando aquellas en las tablas y las figuras) no se deben considerar requisitos de este método de ensayo.

✓ Los valores normativos están de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. Véase la norma NTC-ISO 80000-1 Cantidades y Unidades. Parte 1: Generalidades.

✓ Esta norma no busca señalar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias, antes de su uso. Las mezclas frescas de cemento hidráulico son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas y peladuras al tejido de la piel por su exposición prolongada.

- **Norma : NTC 1377 (ASTM C192)**

Nombre: Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo laboratorio.

Descripción:

✓ Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo un control preciso de los materiales y las condiciones de ensayo, usando concreto que se puede compactar por apisonamiento o vibración, como se describe en la presente norma.

✓ Los valores normativos se presentan de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades según lo indica la NTC 1000. Los valores entre paréntesis se presentan de manera informativa. Los valores colocados en cada sistema no son exactamente correspondientes por lo que se deben utilizar por separado.

✓ Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas de seguridad y salud así como determinar la aplicación de los requisitos reglamentarios. Las mezclas cementosas hidráulicas son cáusticas y pueden ocasionar quemaduras en la piel después de una exposición prolongada, se deben tomar las medidas necesarias para evitar sus efectos.

Importancia y uso:

✓ Esta norma proporciona los requisitos para la preparación de materiales, mezclado del concreto y la elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en condiciones de laboratorio. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1377.

Cuando la elaboración del espécimen se controla como se indica en esta norma, éste puede ser usado para obtener información con los siguientes propósitos: 3.2.1 Dosificación de concreto para un proyecto;

✓ Evaluación de diferentes mezclas y materiales.

✓ Correlación con ensayos no destructivos.

Nota 4. Los resultados de ensayos de especímenes de concreto elaborados y curados usando esta norma se utilizan con muchos propósitos. Se pueden usar para aceptar concreto para un proyecto, para evaluaciones en investigación y otros estudios. Es necesario un manejo cuidadoso y

experimentado de los materiales, mezclado del concreto, elaboración de especímenes y curado de éstos.

- ✓ Los ensayos de esta norma deben realizarse en un laboratorio competente. Nota 5.

Un laboratorio competente es aquel que cumple con los requisitos de la norma NTC ISO/IEC 17025 o demuestra estar acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación – ONAC para cada ensayo o los requisitos de control de calidad indicados por el cliente, en este caso es recomendable realizar verificaciones aleatorias.

- **Norma : NTC 3459 (BS3148)**

Nombre: Agua para la elaboración de concreto.

Descripción: Esta norma tiene por objeto determinar el método para establecer por medio de ensayos, si el agua es apropiada para la elaboración de concreto. Los ensayos a que se refiere esta norma no proporcionan información con respecto a la durabilidad del concreto a largo plazo.

Generalidades: El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto. El agua para elaborar el concreto puede tomarse de fuentes naturales y, por lo tanto puede contener elementos orgánicos indeseables o contenidos inaceptables de sales inorgánicas,

Las aguas superficiales, en particular, a menudo contienen materia en suspensión, como aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales, y puede ser inadecuado emplearlas sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para que dicha materia en suspensión se elimine.

✓ Agua de lavado. El agua de lavado proveniente de la operación de limpieza de las mezcladoras o de las zonas de almacenamiento de materias primas, se puede usar para la fabricación de concreto siempre que los ensayos cumplan con las especificaciones contenidas en el numeral 3 de esta norma. (Norma Técnica de Colombia, NTC 3459)

Resumen: Contaminación por desechos industriales Se debe tener cuidado cuando se empleen aguas que pueden estar contaminadas por efluentes industriales o por drenaje de minas, depósitos de minerales entre otros; estas aguas deben ensayarse de acuerdo con esta norma.

- **Norma : NTC 4025(ASTM C469)**

Nombre: Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a compresión.

Descripción:

Esta norma determina:

✓ El módulo de elasticidad secante (o módulo de Young) y (2) la relación de Poisson de cilindros de concreto normalizados y núcleos de concreto, cuando éstos se hallan bajo

esfuerzos de compresión longitudinal. Las definiciones de módulo de elasticidad secante y de relación de Poisson, se encuentran en las definiciones de la NTC 4525 (ASTM E6).

✓ Los valores se rigen de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. Véase la NTC 1000 (ISO 1000).

✓ Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las regulaciones primordiales a usar.

Importancia y uso:

✓ Esta norma proporciona una relación de esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado establecidas.

✓ Los valores de módulo de elasticidad y relación de Poisson, aplicables dentro del intervalo de esfuerzos de trabajo (0 % a 40 % de la resistencia última del concreto), se pueden usar en el dimensionamiento de elementos estructurales reforzados y no reforzados para establecer las cantidades de acero de refuerzo y calcular los esfuerzos para las deformaciones observadas.

✓ Los valores de módulo de elasticidad calculados son usualmente menores para el módulo obtenido bajo una aplicación rápida de carga (por ejemplo, variaciones dinámicas o

sísmicas), y usualmente son mayores para aquellos valores obtenidos bajo una aplicación lenta de carga o bajo carga sostenida a largo plazo, manteniendo otras condiciones del ensayo.

Probetas curadas en forma estándar. (Norma sismo Resistente, NSR, 2010)

Las muestras para ensayos de resistencia deben tomarse de acuerdo con NTC 454 (ASTM C172).

Los cilindros para los ensayos de resistencia deben ser fabricados y curados en laboratorio de acuerdo con NTC 550 (ASTM C31M), y deben ensayarse de acuerdo con NTC 673 (ASTM C39M). Los cilindros deben ser de 100 por 200 mm o de 150 por 300mm.

Capítulo 3. Diseño metodológico

La problemática mundial a solucionar en la actualidad es el mejoramiento o recuperación del medio ambiente, es así que de esta condición nace el hecho de llevar a cabo una investigación que establece nuevos materiales y procesos en la elaboración de concretos, se refiere por supuesto en este caso a incorporar en dichas mezclas materiales de desecho como lo son las cenizas volantes y las cenizas de bagazo de caña.

Por otra parte, según Behar, D (2008):

“La ciencia es el quehacer humano que consiste en la actitud de observar y experimentar dentro de un orden particular de conocimientos, los cuales se organizan de manera sistemática mediante determinados métodos, partiendo de un núcleo de conceptos o principios básicos, a fin de alcanzar un saber de validez universal.”

De acuerdo a lo anterior se puede decir que en la ardua labor de contribuir con la investigación se hace necesario la recopilación de teorías existentes, establecer y conocer métodos de estudio, así mismo realizar procesos experimentales, a partir de lo que se indicó, podemos precisar la importancia del proyecto de investigación “EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE CONCRETOS, REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR”.

3.1 Tipo de investigación

De acuerdo con la **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION Daniel S. Behar Ribero**, la investigación a desarrollar es:

- Por el método a usar :

Método experimental. El método experimental ha sido uno de los que más resultados ha dado. Aplica la observación de fenómenos, que en un primer momento es sensorial. Con el pensamiento abstracto se elaboran las hipótesis y se diseña el experimento, con el fin de reproducir el objeto de estudio, controlando el fenómeno para probar la validez de las hipótesis.

La esencia de la concepción de experimento es que éste involucra la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles efectos. Se refiere a la manipulación deliberada de una ó más variables independientes para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una ó más variables dependientes, dentro de una situación de control para el investigador.

En este método el investigador interviene sobre el objeto de estudio modificando a este directa o indirectamente para crear las condiciones necesarias que permitan revelar sus características fundamentales y sus relaciones esenciales bien sea:

- ✓ Aislando al objeto y las propiedades que estudia de la influencia de otros factores.

✓ Reproduciendo el objeto de estudio en condiciones controladas. -Modificando las condiciones bajo las cuales tiene lugar el proceso o fenómeno que se estudia.

✓ Así los datos son sacados de la manipulación sistemática de variables en un experimento

- Por la clase de medios utilizados para obtener los datos:

Investigación experimental. Recibe este nombre la investigación que obtiene su información de la actividad intencional realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga, y así poder observarlo.

- Clasificación de los tipos de estudios:

Estudios experimentales. En ellos el investigador desea comprobar los efectos de una intervención específica, en este caso el investigador tiene un papel activo, pues lleva a cabo una intervención.

En los estudios experimentales el investigador manipula las condiciones de la investigación.

En los estudios de seguimiento los individuos son identificados en base a su exposición, en

cambio en los estudios experimentales es el investigador el que decide la exposición.

- Por el propósito o finalidades perseguidas: básica o aplicada.

Investigación aplicada. Este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica, activa, dinámica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. Es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas.

Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías. La investigación aplicada, movida por el espíritu de la investigación fundamental, ha enfocado la atención sobre la solución de teorías. Behar Ribero, D (2008):

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población. Para el desarrollo del proyecto de investigación se usarán materiales de desecho, con propiedades puzolánicas, para este caso cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña, presentes en Colombia.

3.2.2 Muestra. En Colombia existen diversas centrales termoeléctricas las cuales son termotasajero, Termopaipa, Tedsa, Termoemcali, Termoflores, Termocartagena, Termoguajira, Termosierra, Termobarranca, Proelectrica, Merilectrica, Termodorada, Termozipla, Termovalle, Termogualanday (Termodinámica, en Línea ,2015), en las cuales como es sabido se está

generando cenizas volantes, ahora bien para el desarrollo de esta investigación se trabajara con las cenizas producidas en la central eléctrica Termotasajero, ubicada en el departamento de norte de Santander, la elección de usar las cenizas provenientes de esta Termoelectrica se debe a la cercanía que esta central tiene con la ciudad de Ocaña, que es donde se desarrollara el proyecto, por otra parte se trabaja solo con las cenizas provenientes de esta Termoelectrica, puesto que de acuerdo con otros autores como Gómez Pérez, Juan . Aprovechamiento de cenizas de carbón mineral producidas en la industria local como material conglomerante en la construcción. Medellín, 2011. Las propiedades y características de este material pueden variar, dependiendo del tipo del carbón usado y la forma en que se produce la combustión del mismo.

Por otra parte, según Quezada, W., citado por Quintero, J., (2015), Colombia ocupa el segundo lugar en producción mundial de panela, con una cifra de 34 toneladas consumidas por persona. En esta perspectiva, la producción de panela es considerada la segunda agroindustria rural después del café. (p. 46) Así mismo De acuerdo con el Fondo De Fomento panelero, Fedepanela, el departamento de Norte de Santander representa el 3.3% de la producción del país (Fondo de Fomento panelero, Fedepanela), con lo que claramente se evidencia la gran cantidad de cenizas que se produce en la quema del bagazo de caña; es necesario destacar que las cenizas de bagazo de caña a usar como material para el desarrollo de esta investigación se obtuvieron como se ha mencionado paginas atrás del municipio de Convención, Norte De Santander, siendo más precisos de la finca San Antonio, dado que en esta finca cuenta con uno de los trapiches más activos y tecnificados de la región.

3.3 Técnicas de recolección de información

Las técnicas de recolección de información utilizadas para desarrollar la investigación en estudio, se realiza mediante uso de fuentes primarias, Norma Sismo Resistente Colombiana en su título C, y las normas técnicas que este considere, y fuentes secundarias como el uso del internet, revistas científicas y tesis de investigación.

3.4 Fases de la investigación

3.4.1 Fase I: Recolección de información y materiales. Recolección de la información: Valiéndose de fuentes primarias, Norma Sismo Resistente Colombiana en su título C, y las normas técnicas que este considere, y fuentes secundarias como el uso del internet, revistas científicas y tesis de investigación.

Ubicar las fuentes de material y obtención del mismo: Mediante un análisis de alternativas viables para la obtención de los materiales de desecho a usar, como se ha establecido paginas atrás, cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña, se determinó usar cenizas volantes de la termoelectrica, Termotasajero en el departamento de Norte De Santander y cenizas de bagazo de caña de la finca San Antonio, en el municipio de Convención, posteriormente se procede a la gestión para el suministro de este material y por último se realiza la adquisición del mismo.

3.4.2 Fase II: Ensayos de laboratorio. Esta primera fase cumple con realizar el primer objetivo específico, el cual consiste en determinar los componentes y la caracterización de los diferentes tipos de cenizas, para esto se hace necesario realizar ensayos por difracción de rayos-

X de muestras monocristalinas, las cuales se realizaran en el laboratorio de Rayos-X del Parque Tecnológico Guatiguará adscrito a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión en los respectivos artículos, de la Universidad Industrial de Santander.

Lo anterior con el propósito de obtener la clasificación de las cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana, NTC 3493 (ASTM C618) y NTC 3823.

3.4.3 Fase III: Diseño y elaboración de la mezclas. En el desarrollo de la segunda fase se lleva a cabo el cumplimiento del segundo objetivo específico, el cual consiste en evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los concretos diseñados reemplazando parcialmente el cemento tradicional por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar, para realizar dicha evaluación es necesario realizar los cálculos y ensayos de laboratorio de acuerdo a lo establecido en la NSR10, en el título C, igualmente de acuerdo con las normas técnicas colombianas, NTC, promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, así mismo a falta de ellas deben seguirse las normas de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM).

3.4.4 Fase IV: Análisis de resultados. En esta etapa del proyecto se realiza un análisis y comparación de los resultados obtenidos en los procesos realizados en la III FASE, con el propósito de determinar el porcentaje óptimo de cenizas a usar como reemplazo parcial del cemento, con lo cual se da fin al tercer objetivo específico, llegado a este punto en el desarrollo de la investigación se procede a emitir las conclusiones y recomendaciones que los autores consideren convenientes y necesarias, siendo así cabe resaltar que tras determinar las

conclusiones de la investigación se define la aptitud de los concretos diseñados diseñados reemplazando parcialmente el cemento portland tipo I por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar.

3.5 Administración del proyecto o recursos disponibles materiales y financieros

Los recursos materiales para el desarrollo de la presente investigación se describen en la siguiente tabla:

Tabla 8

Recursos financieros del proyecto

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIADA	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Fotocopias	Una	200	\$ 100,00	\$ 20.000,00
Impresiones	Una	300	\$ 100,00	\$ 20.000,00
Cemento	Bulto	2	\$ 24.000,00	\$ 48.000,00
Transporte cenizas Volantes				\$ 50.000,00
Transporte cenizas de bagazo de caña				\$ 30.000,00
Viaticos				\$ 250.000,00
Otros				\$ 100.000,00
Total				\$ 518.000,00
Imprevistos (5%)				\$ 25.900,00
Valor Total				\$ 543.900,00

Nota. Fuente: Autores del proyecto

En cuanto al material de río o agregados necesarios para el desarrollo de la tesis, se obtuvieron mediante la empresa asociativa de trabajo PROVIAS E.A.T, en la ciudad de Ocaña, así mismo las cenizas volantes se obtuvieron de manera gratuita gracias a la empresa

Termotasajero S.A, en la ciudad de Cúcuta y las cenizas de bagazo de caña se obtuvieron de la finca San Antonio, en el municipio de Convención.

3.5.1 Recursos institucionales. Los recursos institucionales necesarios para el buen desarrollo de la investigación son:

- Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña.
- Biblioteca
- Laboratorio de suelos y resistencia de materiales (Programa de Ingeniería Civil) de la Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña.
- Laboratorio de Rayos-X del Parque Tecnológico Guatiguará adscrito a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, Universidad Industrial de Santander.

3.5.2 Recursos tecnológicos. Los elementos tecnológicos usados o necesarios para llevar a cabo la presente investigación son entre otros, computador, calculadora, cámara digital, impresora, internet, celulares.

3.5.3 Recursos humanos. Los recursos humanos que hacen parte del desarrollo de la investigación son:

- Investigadores principales

Estudiantes de proyecto de grado; Ninfa Piedad Duran Herrera y Norexy Velásquez Amado

- Co-investigadores

Director del proyecto; Rodrigo Peñaranda Jácome, Ingeniero en Metalurgia.

Codirector del proyecto; José Antonio Henao Martínez, Doctor en Química Aplicada Opción
Estudio de Materiales.

Capítulo 4. Metodología experimental

Partiendo del hecho de que el concreto es el material más usado en procesos de construcción y considerando que es de vital importancia en la actualidad darle uso a materiales considerados como desechos, se procede a plantear la dosificación de mezclas de concreto diseñados reemplazando parcialmente el cemento tradicional por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar, dicho planteamiento se soporta en estudios de laboratorio realizado por etapas, tal como se describe en la figura 6.

METODOLOGIA PARA DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO	
PRUEBAS REALIZADAS A LOS MATERIALES	NORMAS EMPLEADAS
CENIZAS VOLANTES	<ul style="list-style-type: none"> • Tamizado de materiales granulados (agregados o áridos) NTC 77 • Peso específico NTC 221 • Composición mineralógica, método difracción de rayos X. • Humedad INV E – 122-07
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR	<ul style="list-style-type: none"> • Tamizado de materiales granulados (agregados o áridos) NTC 77 • Peso específico NTC 221 • Composición mineralógica, método difracción de rayos X. • Humedad INV E – 122-07
AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	<ul style="list-style-type: none"> • Especificaciones de agregados para hormigón, NTC 174 • Tamizado de materiales granulados (agregados o áridos) NTC 77 • Peso específico y absorción de los agregados gruesos NTC 176.

	<ul style="list-style-type: none"> • Peso específico y absorción de los agregados finos INV E – 222-07 • Resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles NTC 98 • Contenido de materia orgánica de agregado fino NTC 127 • Masa unitaria de los agregados NTC 92 • Humedad natural de los agregados NTC 1776.
CEMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Peso específico NTC 221
DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO METODO ACI	<ul style="list-style-type: none"> • Selección del asentamiento • Selección del tamaño máximo nominal • Estimación del contenido de agua y aire • Determinación de la resistencia del diseño • Selección de la relación agua-cemento • Selección de la proporción adecuada de agregados según el menor porcentaje de vacíos • Estimación del contenido de agregados • Ajustes por humedad y por asentamiento
ENSAYO PARA CONCRETO EN ESTADO PLASTICO	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de asentamiento. NTC 396
ENSAYO PARA CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de compresión de cilindro de concreto. NTC 673 • Ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y a relación de Poisson en concreto a compresión. NTC 4025

Figura 6. Flujograma para la dosificación de mezclas de concreto.

Fuente: Autores del proyecto.

4.1 Ensayos realizados a los materiales utilizados para la elaboración del concreto

Para dar inicio a la segunda fase de la investigación, se procedió a realizar los ensayos de laboratorio para determinar la caracterización de los agregados finos y gruesos, el cemento y las cenizas volantes y las cenizas de bagazo de caña de azúcar, ensayos que fueron realizados en las instalaciones de los laboratorios de ingeniería civil de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y en el laboratorio de Rayos-X del Parque Tecnológico Guatiguará adscrito a la vicerrectoría de investigación y extensión, Universidad Industrial de Santander.

Esta caracterización incluye peso específico de las cenizas y el cemento utilizado para el desarrollo del proyecto, granulometría, humedad y composición química y mineralógica de las cenizas, incluye además las especificaciones de agregados para hormigón, tamizado de materiales granulados (agregados o áridos), peso específico y absorción de los agregados gruesos y finos, resistencia al desgaste de los agregados gruesos, contenido de materia orgánica del agregado fino, determinación de partículas deleznable y terrones de arcilla, masa unitaria y humedad natural de los agregados.

A continuación se describe cada uno de los ensayos realizados para cada material:

4.1.1 Composición mineralógica de las cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar, método difracción de rayos x. Estos análisis se realizaron para identificar las fases o componentes minerales presentes en las muestras de cenizas, especialmente en aquellas muestras de granulometría muy finas las cuales son difíciles de definir.

✓ **Preparación de la muestra.** Las muestras fueron disgregadas en un mortero de ágata con la finalidad de obtener una fracción de granulometría más fina y llevarlas a un tamaño menor o igual de $38 \mu\text{m}$ (400 mesh).

✓ **Montaje de la muestra.** El montaje de la muestra es un factor importante para poder obtener una buena información, el espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un portamuestra de polimetilmetacrilato (PMMA) mediante la técnica de llenado frontal.

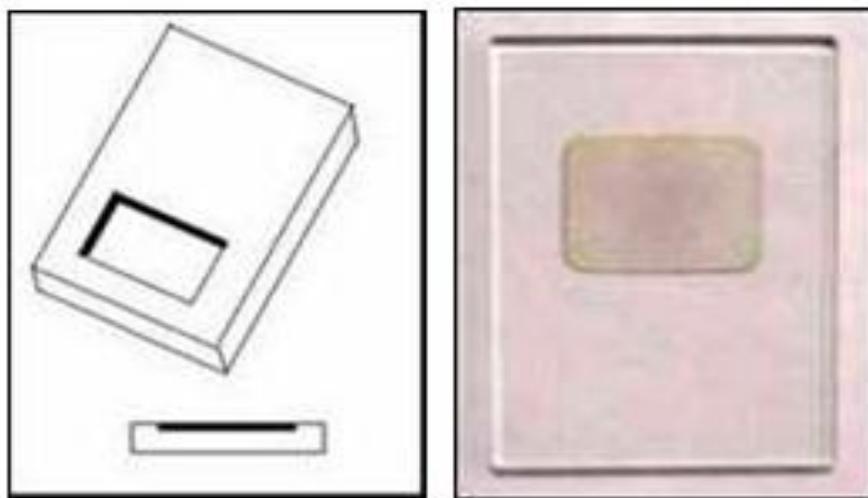


Figura 7. Portamuestras para DRX, técnica de llenado frontal.

✓ **Condiciones de Medición.** Se realizó en un difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con Geometría DaVinci bajo las siguientes condiciones:

Tabla 9

Resumen de las condiciones técnicas durante la operación del equipo utilizado para los análisis de difracción de rayos x

Voltaje	40(kV)
Corriente	30(Ma)
Rendija de Divergencia	0,6 mm
Rendija soller Primario	2,5°
Muestreo	0,01526° 2 theta
Rango de Medicion	3,5-70° 2 theta
Radiacion	CuK α I
Filtro	Niquel
Uso de Anti-dispersor de Aire	Tope superior hacia abajo: 57mm para Arcillas
Detector	Lineal LynxEye
Tipo de barrido	A pasos
Tiempo de muestreo	0,4 segundos

Nota. Fuente: Laboratorio de Rayos-X, Universidad Industrial de Santander, (UIS)

✓ **Tipos de análisis, ensayos.**

- Análisis Cualitativo

El análisis cualitativo de las fases presentes en la muestra se realizó mediante comparación del perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD).

- Análisis Cuantitativo

El análisis cuantitativo de las fases encontradas se realizó mediante el refinamiento por el método de Rietveld del perfil observado habiéndole agregado a la muestra una cantidad

conocida de un estándar interno (Aluminum oxide, Corundum, α -phase) correspondiente al 20%.

4.1.2 Determinación de la granulometría para cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña. Para el análisis granulométrico de las cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar, se siguieron los procedimientos descritos en la NTC 77 y NTC 78, tal como se indica a continuación:

Se tomó una cantidad representativa de cada uno de los materiales por el método del cuarteo (500 gr de Cenizas de Bagazo de Caña y 100 gr de Cenizas Volantes), luego, se llevaron las muestras de material al horno a temperatura de 110 ± 5 °C, posteriormente se lavaron los subproductos a través del tamiz No. 200, se secaron al horno y luego se pasó la masa de cada tipo de cenizas por una serie de tamices según la Norma Técnica Colombiana NTC 32, colocando los tamices en orden descendente (de mayor a menor abertura), finalmente se pesó la masa de agregado retenida en cada uno de ellos. Ver figura 8



Figura 8. Granulometría de cenizas

Los tamices empleados para dicho ensayo fueron los siguientes: 3/8", No.4, No.10, No.20, No.40, No.100 y No.200.

4.1.3 Humedad natural de las cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña. El

procedimiento para hallar el contenido de humedad de las cenizas se obtuvo siguiendo lo descrito en la norma del Invias INV E – 122-07, como se describe a continuación:

Se toma un recipiente, se pesa y luego se agrega la cantidad de muestra húmeda a ensayar y se introduce en el horno (recipiente más muestra) a temperatura de 105°C, durante un periodo de 16h y se seca hasta masa constante, transcurrido este tiempo, se saca del horno, se deja enfriar y luego se toma el peso del material seco. El procedimiento es el mismo tanto para cenizas volantes como para cenizas de bagazo de caña. La cantidad de material húmedo ensayado fue de 60gr y para obtener una mejor precisión en los cálculos, se tomaron 3 muestras por cada tipo de ceniza. Ver figura 9



Figura 9. Determinación del contenido de humedad de las cenizas

4.1.4 Peso específico de las cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar. El peso específico de las cenizas volantes y las cenizas de bagazo de caña, se determinó siguiendo el procedimiento de la Norma Icontec, NTC 221 (Método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico). A continuación se describe el procedimiento realizado: Para este ensayo se utilizó el frasco de Le Chatelier, el cual se llenó cuidadosamente de kerosene hasta un punto entre las marcas 0 y 1 ml del frasco, tratando de que el frasco por encima del nivel estuviera seco. Luego se procedió a sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura ambiente y pasados unos minutos se tomó la lectura correspondiente al nivel alcanzado por el kerosene.

A continuación se agregó la cantidad de material a ensayar (46,5gr de cenizas volantes – 52gr de cenizas de bagazo de caña de azúcar), en pequeñas cantidades evitando que el material quedara adherido en las paredes del frasco.

Por último se tapó el frasco, se giró inclinándolo sobre una superficie lisa, para sacar el aire atrapado en las cenizas y se introdujo en el baño de agua nuevamente para tomar las lecturas finales. La diferencia entre la lectura inicial y la lectura final representa el volumen de líquido desplazado por el peso de las cenizas. Ver figura 10



Figura 10. Determinación del peso específico de las cenizas

4.1.5 Especificación de los agregados para hormigón. Las especificaciones de agregados para concreto se deben tener presentes, ya que se crearon con el fin de asegurar materiales satisfactorios para uso en la mayoría de concretos; la norma que establece las especificaciones que deben cumplir los agregados tanto fino como grueso, es la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174.

4.1.6 Granulometría de agregados finos y gruesos. Este ensayo se usa principalmente para determinar la gradación de los materiales propuestos para usarse como agregados, o que se están utilizando como tales. Los resultados se usan para determinar la correlación entre la distribución de los tamaños de las partículas y los requisitos específicos de aplicación, y para suministrar los datos necesarios para el control de la producción de varios materiales y mezclas que contienen agregados. Los datos también pueden ser útiles en la determinación de las relaciones de porosidad y entramamiento. Las normas que rigen el ensayo de granulometría son las Normas

Técnicas Colombianas NTC 77 y NTC 78. En términos generales, el procedimiento seguido se resume como sigue:

Según el procedimiento descrito en la NTC 77, se tomó una cantidad representativa de cada uno de los agregados por el método del cuarteo, tal como lo describe la NTC 129, luego, se llevó la muestra de material al horno a temperatura de 110 ± 5 °C, posteriormente se lavaron los agregados a través del tamiz No. 200, se secaron al horno y luego se pasó la masa de agregados por una serie de tamices según la Norma Técnica Colombiana NTC 32 colocando los tamices en orden descendente (de mayor a menor abertura), finalmente se pesó la masa de agregado retenida en cada uno de ellos.

Con la realización de este ensayo se determinó el tamaño máximo (TM), tamaño máximo nominal (TMN) y módulo de finura (MF) de los agregados. Ver figura 11



Figura 11. Granulometría de agregados.

4.1.7 Peso específico y absorción de los agregados gruesos. La densidad aparente es la característica usada generalmente para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diferentes tipos de mezclas, incluyendo el concreto de cemento Portland.

Según la NTC 176, los valores de la absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida por los poros saturables, comparado con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente como para colmar la mayoría de su potencial de absorción. La norma que rige el ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados gruesos es la Norma Técnica Colombiana NTC 176; En términos generales, el procedimiento seguido fue el siguiente:

Se tomaron aproximadamente 5000 gr del material por el método del cuarteo, se lavó y se dejó sumergido en agua durante 24 horas a una temperatura ambiente, Ver figura 12



Figura 12. Preparación de muestra para ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos.

Pasado este tiempo, se sacó el material y se dejó escurrir durante unos minutos, se secó superficialmente con una toalla y se tomó el peso de la muestra saturada con superficie seca.

Luego se preparó la balanza mecánica con la canastilla y se colocó la muestra en la canastilla, se sumergió en agua y se tomó el peso de la muestra, Ver figura 13 posteriormente se introdujo la muestra en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, durante 24h y se tomó su peso seco. Con esos datos se determinó la densidad nominal y aparente del material y el porcentaje de absorción de éste.



Figura 13. Toma del peso del agregado grueso sumergido en agua.

4.1.8 Peso específico y absorción de los agregados finos. El ensayo de peso específico y absorción de los agregados finos se realizó siguiendo los procedimientos descritos en la Norma INV E – 222-07. En términos generales, el procedimiento es el siguiente:

Se tomaron aproximadamente 1000gr de material por el método del cuarteo, se lavó cuidadosamente y se dejó sumergido en agua durante 24 horas a una temperatura ambiente. Pasado este tiempo se retiró el agua teniendo cuidado de no perder material, se extendió la muestra sobre una superficie no absorbente, y se expuso a una corriente suave de aire caliente con el fin de secar la muestra. La operación de secado se dio por terminada cuando los agregados finos estaban sueltos y cumplieron con el ensayo del molde cónico, el cual, consiste en llenar de arena un molde cónico, apisonarlo con el pistón 25 veces dejándolo caer desde una altura aproximada de 1 cm, se enraza y se levanta el molde sin girarlo, si la arena se derrumba parcialmente esta en condición Saturado Superficie Seca (s.s.s) y está lista para el siguiente paso, sino se sigue aireando la muestra.

Luego de tener la muestra en condición Saturada Superficialmente Seca, se pesaron 100 g de arena, se introdujeron en el picnómetro cuidadosamente con un embudo, se llenó de agua y se colocó en baño María a 20°C, dejándolo durante 1 hora aproximadamente, terminado este tiempo, se tomó el peso del conjunto (probeta, arena y agua), luego se sacó la arena con el agua del picnómetro y se introdujo en el horno para tomar el peso seco de la muestra. Por último se tomó el peso del picnómetro limpio y completamente lleno de agua. Ver figura 14.

Una vez terminado este procedimiento se realizaron los cálculos para la determinación de la densidad aparente del material y su porcentaje de absorción.



Figura 14. Determinación de la densidad y absorción de los agregados finos.

4.1.9 Masa unitaria de los agregados. Este ensayo se realizó siguiendo la Norma Técnica NTC 92, la cual describe el procedimiento a seguir para el ensayo de masa unitaria de los agregados. El procedimiento se resume así:

4.1.9.1 Masa unitaria del agregado suelto. Se cuartea el material, de la misma forma como se hace para granulometría y se toma la cantidad necesaria de agregado. La muestra de agregado se debe introducir en el molde cilíndrico de dimensiones conocidas, dejando caer los agregados de una altura no mayor de 50mm por encima del borde del molde. Una vez lleno el molde, se pesa y se guarda el registro del peso de material contenido en el molde y se determina el volumen del molde que contiene el material. De la relación del peso y el volumen se obtiene la masa unitaria suelta. Ver figura 15.



Figura 15. Determinación de masa unitaria suelta.

4.1.9.2 Masa unitaria del agregado compactado. Se utiliza el mismo molde cilíndrico de la masa suelta. Se agrega tres capas de material, apisonando cada una de ellas con 25 golpes con una varilla, se enrasa y se lleva hacia la balanza para determinar su peso. De la relación del peso de material compactado y el volumen se obtiene la masa unitaria suelta. Ver figura 16.



Figura 16. Determinación de masa unitaria compacta.

4.1.10 Resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles. Este método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de los agregados naturales o triturados empleando la citada máquina de los ángeles (Ver Figura 17); la maquina está constituida por un tambor cilíndrico hueco de acero, un eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que le transmite un movimiento de rotación y una abertura para introducir el material junto con la carga abrasiva. La carga abrasiva hace referencia a un número de esferas de acero, determinado por el tipo de granulometría del agregado.



Figura 17. Máquina de los ángeles, ensayo de desgaste del agregado grueso.

Este ensayo se llevó a cabo mediante la Norma Técnica Colombiana NTC 98, la cual nos indica el siguiente procedimiento:

La muestra se toma por medio del cuarteo, se separa por tamizado las distintas fracciones del agregado, se lava y se seca en el horno a una temperatura de 110°C, luego se elige la gradación

más parecida a la usada en obra, hasta completar 5000 gr. Según lo descrito en la NTC 98, se toma la cantidad indica en la Tabla 10 para cada tamaño de las partículas, en nuestro caso se seleccionó la gradación B, con un numero de esferas igual a 11, Ver Tabla 11.

Luego de tener la muestra lista, se comprobó que la Maquina de los Ángeles estuviera limpia, se colocaron los 5000 gr de agregado y la carga abrasiva correspondiente, según lo indicado en la norma y se puso a girar hasta completar 500 revoluciones. Cuando la maquina terminó las 500 revoluciones se procedió a sacar el material de esta y se pasó por el tamiz No 12, según NTC 77, posteriormente el material retenido se lavó, se secó en el horno a una temperatura de 110°C y luego se pesó en la balanza.

Tabla 10

Cantidades de material para ensayo de desgaste dependiendo del tipo de granulometría

TAMIZ ICONTEC	CANTIDAD DE MUESTRA EN GRAMOS			
	GRADACION			
PASA / RETIENE	A	B	C	D
38,1mm - 25,4mm	1250± 25			
25,4mm - 19,0mm	1250± 25			
19,0mm - 12,7mm	1250± 10	2500± 10		
12,7mm - 9,51mm	1250± 10	2500± 10		
9,51mm - 6,35mm			2500± 10	
6,35mm - 4,76mm			2500± 10	
4,76mm - 2,38mm				5000± 10
TOTAL	5000± 10	5000± 10	5000± 10	5000± 10

Nota. Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 98.

Tabla 11*Carga abrasiva para ensayo de desgaste*

TIPO	NUMERO DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS
A	12	5000± 25
B	11	4584± 25
C	8	3330± 25
D	6	2500± 15

Nota. Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 98.

4.1.11. Contenido de materia orgánica de agregado fino. Este procedimiento se hace con el fin de determinar el contenido de materia orgánica que posee el material, indicado en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 127. Para este ensayo se tomaron 130 ml de arena y se colocó en un frasco de vidrio, luego se agregó solución de hidróxido de sodio al 3% hasta completar un volumen de 200ml, tapamos el frasco y agitamos vigorosamente, luego lo dejamos en reposo por 24 horas. Cumplido este tiempo se comparó el color del agua que sobrenadaba en el frasco que contenía el material, con la tabla de escala de coloración y se obtuvo un valor para el ensayo igual a uno (1). Ver Figura 18.

Según la Norma I.N.V.E – 212 -07, se considera que la arena contiene componentes orgánicos, si el color que sobrenada por encima de la muestra de ensayo es más oscuro que el color No. 3 de la placa orgánica.



Figura 18. Determinación del contenido de materia orgánica.

4.1.12 Humedad natural de los agregados. El ensayo de humedad consiste en determinar el porcentaje de agua que tienen los agregados en un momento determinado. Este procedimiento se obtuvo siguiendo la norma NTC 1776 (Agregados para hormigón. Determinación del contenido de humedad total), que consiste en lo siguiente:

Se toma un recipiente, se pesa y luego se agrega la cantidad de muestra húmeda a ensayar y se introduce en el horno (recipiente más muestra) y se seca hasta masa constante, se saca del horno, se deja enfriar y luego se toma el peso del material seco. El procedimiento es el mismo tanto para agregados gruesos como finos, solo cambia la cantidad material a ensayar. Para nuestro caso se tomaron 500 gr de agregado fino y 2500 gr de agregado grueso. Cabe resaltar que para obtener una mejor precisión en los cálculos, se tomaron 3 muestras por cada uno de los agregados (grueso y fino). Ver Figura 19



Figura 19. Determinación de la humedad en los agregados

Para determinar el contenido de humedad total se utiliza la siguiente expresión:

$$H = \frac{(W-D)}{D} * 100 \quad (11)$$

Dónde:

H= Contenido de humedad, en %

W= Masa inicial de la muestra, en gr

D= Masa de la muestra seca, en gr

4.1.13 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable en el agregado. Este ensayo se realiza siguiendo la norma NTC 589, la cual establece el procedimiento para hacer una determinación aproximada de partículas deleznable y terrones de arcilla.

La muestra de agregados para este ensayo debe ser el material retenido, después de la conclusión del ensayo para la determinación de materiales más finos que pasa el tamiz No. 200, según la NTC 78.

4.1.13.1 Para agregado fino: Se tomaron 100 gramos de agregado de la fracción retenida por el tamiz ICONTEC 1,19mm (No. 16), se extendió en una capa delgada sobre el fondo de un recipiente, luego se cubrió con agua y se dejó en remojo por 24 horas. Terminado el tiempo de remojo, se desintegra con los dedos las partículas hasta reducirlas a material fino, después de que todas las partículas desintegrables se han roto, la muestra se tamiza por vía húmeda utilizando el tamiz No. 20 y el material retenido en este tamiz, se seca hasta masa constante, se dejan enfriar y se determina su masa.

4.1.13.2 Para agregado grueso: las muestras para ensayo del agregado grueso se deben separar en diferentes tamaños, empleando los siguiente tamices: 4.75mm (No.4), 9.5mm (3/8”), 19.0mm (3/4”), y 37,5mm (1 1/2”). La muestra para el ensayo no deberá pesar menos de lo indicado en la tabla 12.

Tabla 12.

Masa de la muestra de ensayo para agregado grueso

Tamaño de las partículas de la muestra	Masa mínima de la fracción
4,76mm(No.4) a 9,51mm(3/8")	1000 g
9,51mm(3/8") a 19,0mm(3/4")	2000 g
19,0mm(3/4") a 38,1mm(1 1/2")	3000 g
mayor que 38,1mm(1 1/2")	5000 g

Nota. Fuente: Norma Técnica Colombiana, NTC 589.

En nuestro caso, para el agregado grueso solo se tomó la fracción obtenida en (No. 4 – 3/8") y (3/8" – 3/4") ya que para los otros tamaños mencionados en la tabla 11, la gradación de la muestra original indica que se retiene menos del 5%, por tanto, según la norma dicho tamaño no se somete a ensayo, sino que, para fines del cálculo del promedio ponderado, se deberá considerar que contiene el mismo porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales que el tamaño inmediatamente mayor o inmediatamente menor.

Una vez obtenida la masa de la muestra a ensayar, se agrega agua y se deja en remojo durante 24 horas.

Terminado el tiempo de remojo, se desintegra con los dedos las partículas hasta reducir las a material fino, después de que todas las partículas desintegrables se han roto, la muestra se

tamiza por vía húmeda utilizando los tamices indicados en la tabla 13. Por último, el material retenido en cada tamiz, se seca hasta masa constante, se deja enfriar y se determina su masa.

Tabla 13

Tamices para hacer el lavado de la muestra

Tamaño de las partículas de la muestra	Tamiz Icontec para hacer el lavado de la muestra
Agregado fino, retenido en tamiz Icontec 1,19mm (No. 16)	841 μm (N°20)
4,76mm(No.4) a 9,51mm(3/8")	2,38mm (N°8)
9,51mm(3/8") a 19,0mm(3/4")	4,76mm (N°4)
19,0mm(3/4") a 38,1mm(1 1/2")	4,76mm (N°4)
superior a 38,1mm(1 1/2")	4,76mm (N°4)

Nota. Fuente: Norma Técnica Colombiana, NTC 589.

El porcentaje de partículas deleznable y grumos de arcilla del agregado fino o de los tamaños de agregado grueso indicados en la tabla 12, deben calcularse de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P = \frac{c}{M} * 100 \quad (12)$$

Dónde:

P= Porcentaje de partículas deleznable y grumos de arcilla

M= Masa de la muestra

C= Masa de las partículas deleznablees tamizado.

Según la NTC 589, El porcentaje de partículas deleznablees y grumos de arcilla para el agregado grueso es el promedio de los porcentajes de partículas deleznablees y grumos de arcilla obtenidos entre los distintos tamaños en que se dividió la muestra.

4.1.14 Peso específico del cemento. Este ensayo se realiza siguiendo el procedimiento descrito en la NTC 221 (Método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico). A continuación se describe el procedimiento realizado:

Para este ensayo se utilizó el frasco de Le Chatelier, el cual se llenó cuidadosamente de kerosene hasta un punto entre las marcas 0 y 1 ml del frasco, tratando de que el frasco por encima del nivel estuviera seco. Luego se procedió a sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura ambiente y pasados unos minutos se tomó la lectura correspondiente al nivel alcanzado por el kerosene. A continuación se agregaron 64 gramos de cemento Cemex, tipo 1, en pequeñas cantidades evitando que el material quedara adherido en las paredes del frasco.

Por último se tapó el frasco, se giró inclinándolo sobre una superficie lisa, para sacar el aire atrapado en el cemento y se introdujo en el baño de agua nuevamente para tomar las lecturas finales. La diferencia entre la lectura inicial y la lectura final representa el volumen de líquido desplazado por el peso del cemento. Ver figura 20

El peso específico del cemento se obtuvo al dividir el peso del cemento (gr) entre el

volumen desplazado por el peso el cemento usado en el ensayo (ml).

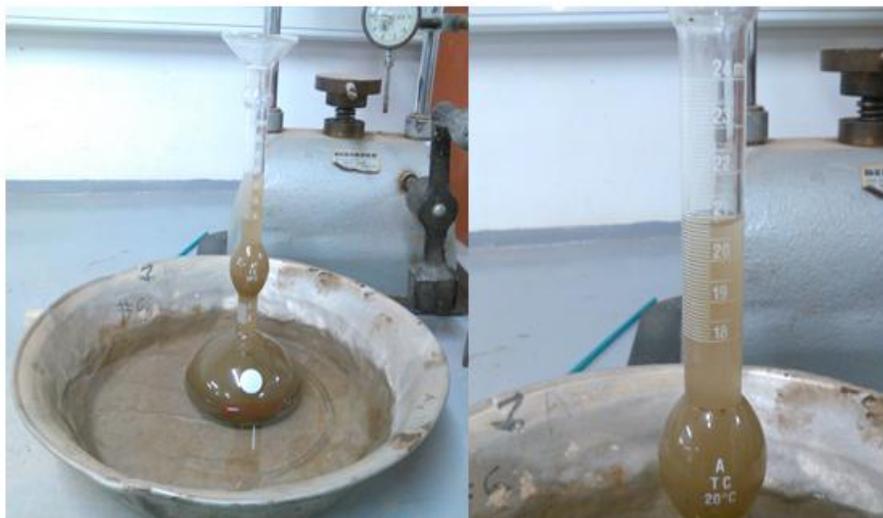


Figura 20. Determinación del peso específico del cemento

4.1.15 De acuerdo con la norma NTC 1377 las muestras de concreto se realizaron de la siguiente forma: El cemento fue mezclado con los diferentes porcentajes de cenizas, posteriormente fue mezclado con los agregados en estado seco para conseguir su uniformidad durante el ensayo tras obtener la uniformidad de los materiales se procedió a agregar el agua y nuevamente al proceso de mezclado de forma manual.

4.1.15.1 Curado del concreto. El curado es la exposición de los especímenes de concreto a condiciones estándar de humedad y temperatura antes de someter las muestras a ensayo. El control en estas condiciones es fundamental para garantizar la calidad de los resultados en los ensayos. Estudios han demostrado que aun en condiciones de temperatura adecuadas (16 a

27oC) la resistencia puede bajar hasta un 8% si las condiciones de humedad no son las recomendadas. (F. Greño., 2005)

Un curado eficaz es necesario para reducir o evitar el secado prematuro y permitir la evolución adecuada de la hidratación del cemento. Por su parte un curado defectuoso puede comprometer la calidad del concreto de recubrimiento, reduciendo su resistencia al desgaste y su durabilidad.

Según lo establece la NTC 1377 las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 y horas ni mayor que 48despues de su elaboracion, considerando esto se removieron las muestras de de las formaletas en un periodo de tiempo aproximado de 24 horas.

Seguidamente fueron sumergidas en una pileta de agua a la caul se le adiciono cal para manter las condiciones de de humedad con temperatura aproximada de 22° según lo descrito en la norma en mencion.



Figura 21. Proceso de curado.

4.1.15.2 Ensayos del concreto en estado fresco.

- Asentamiento: de acuerdo con la NTC 396 la realización de este ensayo consistió en colocar en cono de Abrams molde conico sobre una superficie plana y no absorbente y posteriormente se presiono con los pies las agarraderas para que el concreto no se perdiera por la parte inferior del cono, seguidamene se lleno el cono de la mezcla de concreto en tres capas cada una con un volumen aproximadamente igual las cuales fueron apisonadas con 25 golpes dados con el extremo redondeado de una varilla de 16mm de diametro y 60 cm de longitud, estos golpes se dieron en diferentes sitios de la seccion transversal, al fianl de la tercera capa se nivelo la superficie con un palustre y se levanto el cono cuidadosamente en direccion vertical, luego de retirado el molde se procedio a medir la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro de la base superior del espécimen.



Figura 22. Ensayo de asentamiento.

4.1.15.3 Ensayos del concreto endurecido. Siguiendo lo especificado en la norma NTC 673, se llevó a cabo el ensayo a compresión en los cilindros a diferentes edades del concreto (7 y 14 días), de dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Este método consiste en la aplicación de una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos a una velocidad que está dentro de un intervalo prescrito hasta que ocurra la falla (Figura 23)



Figura 23 Ensayo de resistencia a la compresion.

Capítulo 5. Resultados y análisis de datos

5.1 Resultados de los ensayos realizados a los materiales utilizados para la elaboración del concreto

A continuación se presenta los resultados de los ensayos realizados a los materiales utilizados para la elaboración del concreto, en el cual se determina la calidad de los mismos y el grado de cumplimiento de acuerdo a las especificaciones técnicas y estudios realizados.

Clasificación de las cenizas de acuerdo a su composición química y mineralógica:

Según, Truzilewicz, L.N., (2013), Existen varias clasificaciones de las adiciones puzolánicas, dependiendo del aspecto o punto de vista que se considere, de la siguiente forma:

Por su origen: Según el cual se clasifican en naturales, artificiales y semi-artificiales.

Por su composición mineralógica: Toda adición puzolánica de cualquier origen, posee una parte, generalmente la mayor, amorfa, y otra, generalmente la menor, cristalina. Además, la parte amorfa es la que más la caracteriza y posee un estado físico que puede ser un compendio de vítreo, amorfo, gel, pseudo-gel, numolítico, pseudo- cristalino, etc. Consecuentemente, dicha parte amorfa puede llegar a originar con el tiempo minerales más o menos aguilizados, tales como, augita, $(Ca,Mg,Fe)_2(Si,Al)_2O_6$, herschelita o chabazita-Na, $NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O$, feldspatos, etc., productos todos ellos que suelen provenir de una mayor o menor meteorización de sus vidrios volcánicos originales. La parte cristalina suele ser, en cambio, lo que más

diferencia a las adiciones puzolánicas [103] y está representada, por lo general, por sílico-aluminatos cristalinos, naturales o no, bastante estables e inatacables por ácidos fuertes, y quizás menos, por bases fuertes. Por lo común, las mencionadas estructuras ordenadas se obtienen por síntesis mediante calentamientos, fusiones y/o recristalizaciones de diverso grado y cantidad, que dan por resultado mullita o porcelanita, $Al_4+2xSi_2-2xO_{10-x}$ ($x < 0.4$), sillimanita, Al_2SiO_5 , cuarzo, SiO_2 , tridimita, SiO_2 , cristobalita, SiO_2 , andalucita, Al_2SiO_5 , disteno, Al_2SiO_5 , o cianita, Al_2SiO_5 , hematita, Fe_2O_3 , magnetita, Fe_3O_4 , maghemita, $Fe_2.67O_4$, etc., aunque por ser su cantidad escasa, son las que menos influyen o caracterizan la adición. En cambio, la parte amorfa y/o vítrea (o parte reactiva) es la que más.

Clasificación de las adiciones puzolánicas por su carácter químico: En la investigación que realizó Rahhal, citado por Truzilewicz, (2013) se estimó la complejidad de clasificar y catalogar las puzolanas en función de sus contenidos totales de óxidos y, en definitiva, en función de su composición química, al considerarla insuficiente para la caracterización de su actividad, pero indicando, no obstante, que la composición química de su parte vítrea y/o amorfa era la más apropiada para dicho fin clasificador y/o catalogador, y, por tanto, para su empleo y adecuada dosificación en hormigones, morteros y pastas de cemento.

Todas las puzolanas naturales y artificiales de bajo contenido en CaO, consideradas como un conjunto heterogéneo pero indivisible o conjunto "disjunto", pueden clasificarse, independientemente de su origen, según su composición química reactiva, cuali- y cuantitativa y estructural, pero sobre todo, según su comportamiento frente al ataque del yeso (sulfatos) por un lado, y de las sales de deshielo (cloruros) por otro, de sus cementos de mezcla de los que formen

parte. Lo que permitió clasificarlas a TODAS en grupos.

5.1.1 Clasificación de las cenizas volantes.

5.1.1.1 Por su origen. Se clasifican como puzolánicas artificiales, están constituidas principalmente por subproductos de otras industria, obtenidas de la combustión de carbones minerales diversos (antracitas, hullas, lignitos) en centrales termoeléctricas.

5.1.1.2 Composición mineralógica., método difracción de rayos x. Según la Norma NTC 3493, las cenizas o aditivos minerales serán aceptados o rechazados si no se cumplen los requisitos que en la norma se establecen; ahora bien las cenizas se clasifican de acuerdo a la tabla.14.

Tabla 14

Clasificación de aditivos minerales

Requisitos	Clase de aditivo mineral		
	N	F	C
- Dioxido de Silice (SiO ₂) + Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃) + Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃) (%min)	70.00	70.00	70.00
- Trióxido de Azufre (SO ₃) (%max)	4.0	5.0	5.0
- Contenido de humedad, (%max)	3.0	3.0	3.0
- Pérdida al fuego (%max)	10.0	6.0 ⁴	6.0

Nota. Fuente: Norma Técnica Colombiana, NTC 3493

Los resultados obtenidos durante los análisis cuantitativos, se relacionan a continuación en la tabla 15, que describen las fórmulas y nombres de las fases identificadas, para la muestra analizada.

Tabla 15

Resultados composición mineralogía de cenizas volantes

CENIZAS VOLANTES (D7CD)				
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	$Al_2 (Al_{2.624} Si_{1.376}) O_{9.688}$	010-74-8551	Mullita	18,4 %
	$Si O_2$	010-77-1060	Cuarzo	11,1 %
	$(Mg_{0.22} Fe_{0.78}) (Al_{0.40} Mg_{0.78} Fe_{0.82}) O_4$	010-79-5407	Magnetita	4,0 %
	$Fe_2 O_3$	010-73-3825	Hematita	0,6 %
	$Al_2 Si O_5$	010-83-1562	Sillimanita	N.C
	Total Cristalino			34,1 %
	Amorfos y otros			65,9 %

Nota. N.C = No Cuantificable (La(s) fase(s) son identificadas pero debido a su baja proporción no es posible refinar sus datos cristalográficos necesarios para su respectiva cuantificación)

Observaciones: Los resultados se relacionan únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s), pasante(s) de malla 400 mesh.

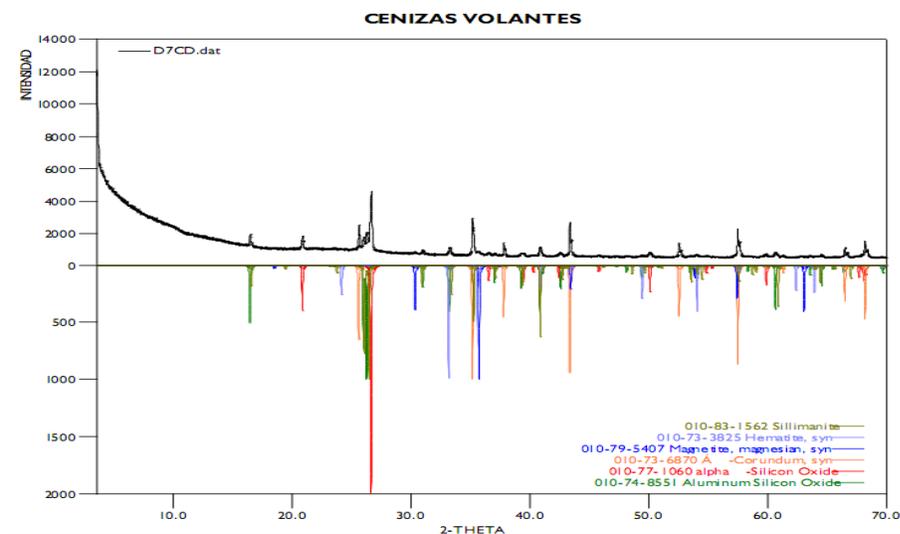


Figura 24. Perfil de difracción, cenizas volantes.

Considerando lo establecido en la NTC 3493 y analizando los resultados del análisis de las cenizas obtenidos, tanto cualitativos como cuantitativos, se puede establecer que la suma del contenido de SiO_2 (%) + Al_2O_3 (%) + Fe_2O_3 (%) arroja un resultado de 11,7% valor que es inferior al 70%, con lo cual no se podría clasificar en ninguna de las clases que establece la tabla 14.

Sin embargo de acuerdo con Moya y cols. 1988. Citado por Truzilewicz, (2013). Se demostró con la técnica de NMR-MAS (^{27}Al y ^{29}Si), la presencia de Al *tetra-* y *penta-* coordinado en la caolinita deshidroxilada a diferentes regímenes de temperatura, hasta la formación de *mullita*. Consecuentemente, lo que Talero denominó como alúmina reactiva, y representó como $\text{Al}_2\text{O}_3\text{r-}$, que correspondía, a partir de entonces, con la alúmina *tetra-* o *penta-* coordinada, o alúmina amorfa del metacaolín, la cual es diferente físicamente de la de las demás puzolanas tales como las cenizas volantes con propiedades puzolánicas, en los que dichos tipos de alúminas aparecen mayoritariamente en estado vítreo, o vítreo y amorfo a la par, lo que se

traduce en que poseen una cierta dureza o resistencia mecánica a pesar de su fragilidad al impacto.

Ahora bien de acuerdo a lo anterior y considerando que las cenizas volantes contienen Mullita en un 18.4 %, se estableció como una posibilidad de estudio con respecto a la resistencia mecánica, que podían ofrecer, incluso a pesar de no cumplir con lo establecido en la norma NTC 3493.

Por otra parte de acuerdo con los análisis proporcionados por TERMOTASAJERO S.A. y determinados por el laboratorio de SGS S.A en Barranquilla el 28 de Mayo de 2015, se estableció la siguiente composición mineralógica de las cenizas volantes:

Tabla 16

Composición mineralógica de las cenizas volantes, 28 de Mayo de 2015

FASE	NOMBRE	CUANTITATIVO
MgO	Oxido de Magnesio	0.64%
MnO ₂	Oxido de Manganeso	0.02%
K ₂ O	Oxido de Potasio	1.18%
SiO ₂	Dioxido de Silicio	60.18%
NaO ₂	Oxido de Sodio	0.28%
TiO ₂	Dióxido de Titanio	1.05%
SO ₃	Trióxido de Azufre	0.16%
Al ₂ O ₃	Oxido de Aluminio	25.02%
CaO	Oxido de Calcio	0.93%
SrO	Oxido de Estroncio	0.02%
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforos	0.09%
Fe ₂ O ₃	Oxido de Hierro	7.55%

Nota: La tabla muestra la composición mineralógica para las cenizas volantes de la

Termoelectrica Termotasajero S.A, en Cúcuta. Fuente: Termotasajero S.A, Laboratorio de SGS S.A de Barranquilla.

Según la NTC 3493 y específicamente lo establecido en la tabla 16, analizando los resultados obtenidos tanto cualitativos como cuantitativos, se puede establecer que la suma del contenido de SiO_2 (%) + Al_2O_3 (%) + Fe_2O_3 (%) arroja un resultado de 92,75 % valor que es superior al 70% ,con un contenido porcentual de SO_3 (Trióxido de Azufre) de 0,16% valor inferior al 5%, y con un porcentaje de CaO (Oxido de Calcio) de 0.93%, que representa un bajo contenido, se pueden clasificar las cenizas volantes de este bloque de acuerdo con los requisitos de la norma en mención como **aditivo mineral Clase F**, que son los inquemados o cenizas volantes obtenidas de la incineración de antracitas y carbones bituminosos.

5.1.1.3 Por su carácter químico. No fue posible su determinación por no tener definida la composición de los minerales amorfos.

5.1.2 Clasificación de las cenizas de bagazo de caña de azúcar.

5.1.2.1 Por su origen. Se clasifican como puzolánicas artificiales obtenidas en el horno tradicional en procesos de molienda para la producción de panela y azúcar.

5.1.2.2 Composición mineralógica, método difracción de rayos x. Los resultados obtenidos durante los análisis cuantitativos, se relacionan a continuación en la tabla 17, que describen las fórmulas y nombres de las fases identificadas, para la muestra analizada.

Tabla 17

Resultados composicion mineralogia de cenizas de bagazo de caña de azúcar

CENIZAS DE BAGAZO CAÑA DE AZÚCAR (D7CE)				
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-71-0785	α-Cristobalita	8,7 %
	Si O ₂	010-85-0795	Cuarzo	7,1 %
	Si O ₂	010-71-6246	β-Cristobalita	1,2 %
	Ca (C O ₃)	010-76-2712	Calcita	0,6 %
	K (Si _{0.75} Al _{0.25}) ₄ O ₈	010-77-0135	Microclina	4,0 %
	Si O ₂	000-42-1401	Tridimita	N.C
	Fe O (O H)	010-76-7160	Goetita	N.C
	K (Al Si ₂ O ₆)	010-76-8737	Leucita	0,9 %
	K ₂ (S O ₄)	010-70-1488	Arcanita	1,1 %
	Al ₄ Si ₈ O ₂₂	010-73-4051	Pirofilita	1,8 %
	Na _{7.2} (Al _{8.9} Si _{27.1} O ₇₂) (H ₂ O) _{25.92}	010-82-1228	Heulandita	N.C
	(Ca _{1.92} Mg _{0.168}) (Si ₁₆ O ₃₂) (H ₂ O) _{12.57}	010-76-2598	Tschernichita	0,9 %
	Total Cristalino			
Amorfos y otros				73,7 %

Nota: N.C = No Cuantificable (La(s) fase(s) son identificadas pero debido a su baja proporción no es posible refinar sus datos cristalográficos necesarios para su respectiva cuantificación)

Observaciones: Los resultados se relacionan únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s), pasante(s) de malla 400 mesh.

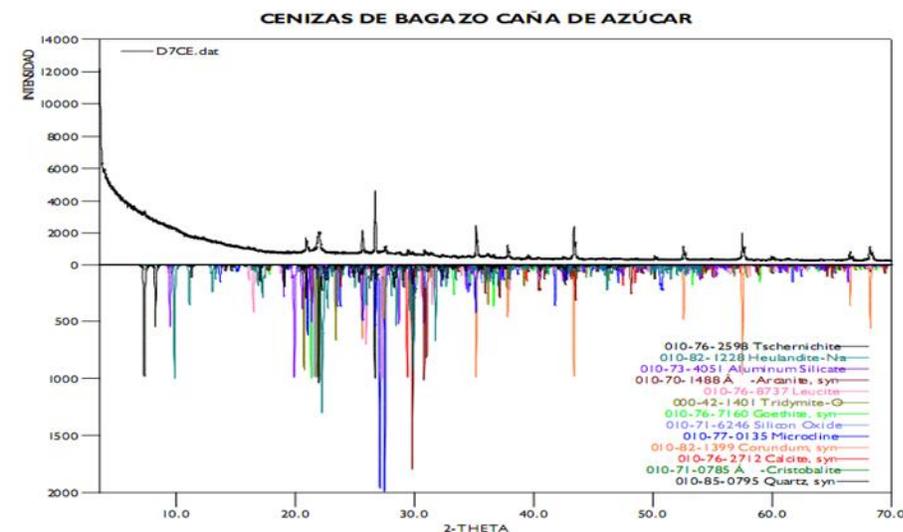


Figura 25. Perfil de difracción, cenizas de bagazo de caña de azúcar.

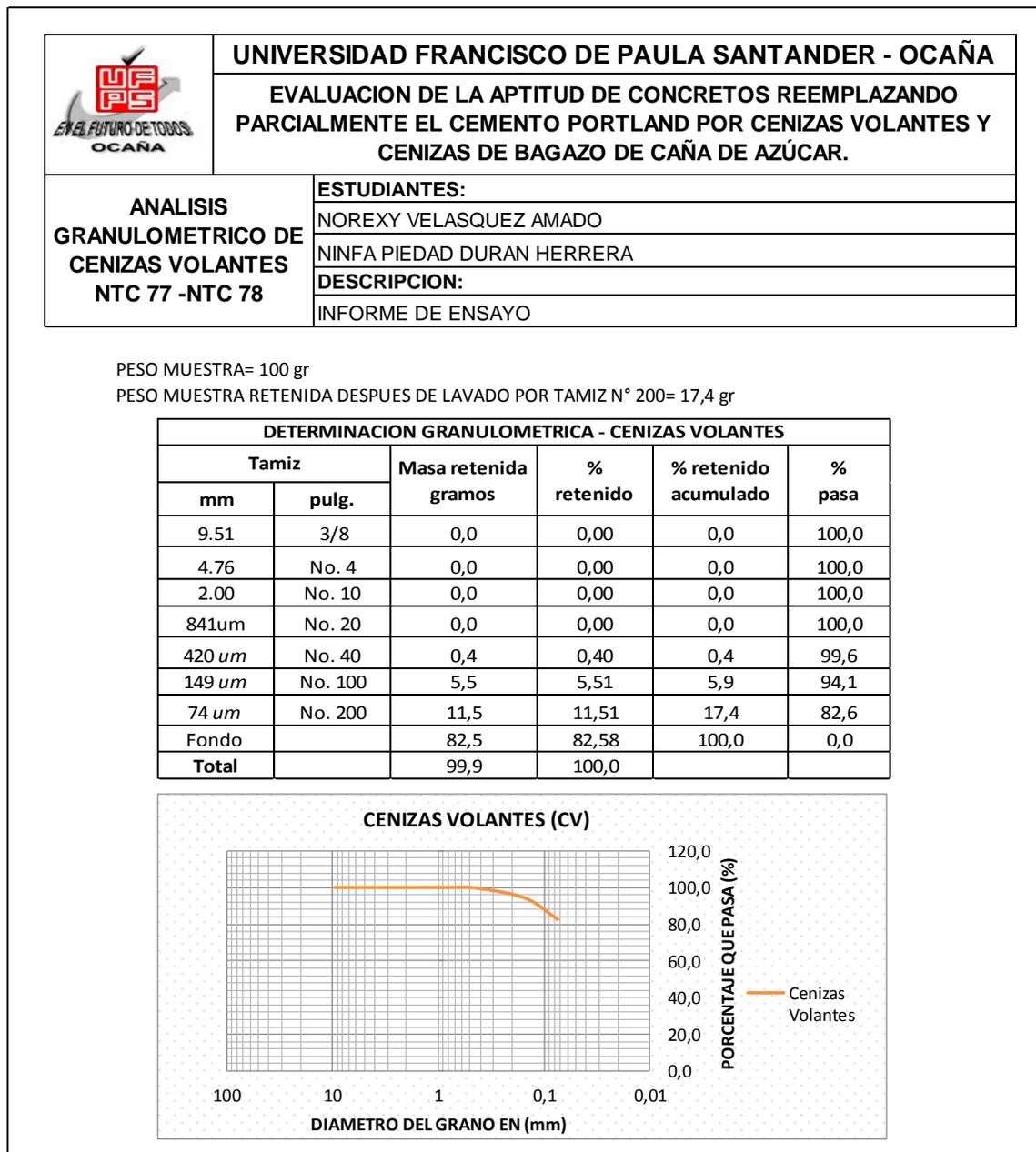
Según la NTC 3493 y analizando los resultados del análisis de las cenizas obtenidos, tanto cualitativos como cuantitativos, se puede establecer que la suma del contenido de SiO_2 (%), en todas sus formas + Al_2O_3 (%) + Fe_2O_3 (%) arroja un resultado de 17%, valor que es inferior al 70% , con lo cual no se podría clasificar en ninguna de las clases que establece la tabla 14.

5.1.2.3 Por su carácter químico. Según Talero, citado por Truzilewicz. (2013) , por su carácter químico las cenizas de bagazo de caña se clasifican en una gama de naturaleza silíceo, y de carácter químico silícico (el residuo quemado de la incineración adecuada del bagazo de la caña de azúcar), porque su contenido en sílice reactiva, $\text{SiO}_2\text{-r}$, es elevado, lo que en cantidad y curado hídrico adecuado, eleva las resistencias sulfáticas del cemento portland ordinario con el que se mezclen, pero disminuye sus resistencias mecánicas y su resistencia a la corrosión electroquímica de las armaduras de su hormigón armado.

Ahora bien considerando que la norma ASTM C618 diferencia dos clases de cenizas volantes: las cenizas volantes clase F y las cenizas volantes clase C. Las clase F tienen propiedades puzolánicas y proceden de la combustión de carbones antracíticos o bituminosos. En cambio, las clase C, además de poseer propiedades puzolánicas, poseen también ciertas propiedades cementíceas, es decir, hidráulicas, y proceden de la combustión de lignitos o carbones sub-bituminosos. Y según dicha norma, las dos clases de cenizas volantes pueden ser añadidas al hormigón en planta, aunque de diferente manera: las cenizas clase F, puzolánicas nada más, suelen sustituir parcialmente el CP del hormigón, porque al reaccionar con la portlandita de su hidratación generan productos de hidratación semejantes a los del propio CP, aunque de origen puzolánico. En cambio, las cenizas volantes de la clase C, puzolánicas e hidráulicas, suelen adicionarse, en cambio, en sustitución del árido fino del hormigón.

De acuerdo con lo anteriormente establecido se pueden clasificar Ambas cenizas en **CLASE F**, ya que estas fueron usadas como reemplazo parcial del cemento, considerando los resultados de las cenizas volantes obtenidos en 2015.

5.2 Analisis granulométrico ceniza volante



Como podemos observar, según los resultados obtenidos de la granulometría, las cenizas volantes están compuestas por una fracción muy fina, un 82,6% tiene tamaño limo.

5.3 Peso específico cenizas volantes

El peso específico de las cenizas volantes según el ensayo realizado es de $2,109 \text{ gr/cm}^3$.

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA															
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.															
PESO ESPECIFICO DE LAS CENIZAS VOLANTES NTC 221	ESTUDIANTES:															
	NOREXY VELASQUEZ AMADO															
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA															
	DESCRIPCION:															
LIQUIDO EMPLEADO (KEROSENE)																
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">MUESTRA No</th> <th rowspan="2">MATERIAL (gr)</th> <th rowspan="2">VOLUMEN DESPLAZADO (ml)</th> <th colspan="2">PESO ESPECIFICO</th> </tr> <tr> <th>gr/cm^3</th> <th>kg/m^3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>46,5</td> <td>22,05</td> <td>2,109</td> <td>2109</td> </tr> </tbody> </table>					MUESTRA No	MATERIAL (gr)	VOLUMEN DESPLAZADO (ml)	PESO ESPECIFICO		gr/cm^3	kg/m^3	1	46,5	22,05	2,109	2109
MUESTRA No	MATERIAL (gr)	VOLUMEN DESPLAZADO (ml)	PESO ESPECIFICO													
			gr/cm^3	kg/m^3												
1	46,5	22,05	2,109	2109												
OBSERVACIONES: NINGUNA																

En cuanto al peso específico de las cenizas volantes, según el ensayo realizado es de $2,109 \text{ gr/cm}^3$

5.4 Contenido de humedad

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA																																		
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.																																		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS CENIZAS VOLANTES INV E 122-07	ESTUDIANTES:																																		
	NOREXY VELASQUEZ AMADO																																		
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA																																		
	DESCRIPCION:																																		
INFORME DE ENSAYO																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PRUEBA N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del recipiente, (gr)</td> <td>86,00</td> <td>79,90</td> <td>87,10</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente mas suelo humedo, (gr)</td> <td>146,00</td> <td>139,90</td> <td>147,10</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente mas suelo seco, (gr)</td> <td>145,30</td> <td>139,20</td> <td>146,40</td> </tr> <tr> <td>peso del suelo seco, (gr)</td> <td>59,30</td> <td>59,30</td> <td>59,30</td> </tr> <tr> <td>Peso del agua, (gr)</td> <td>0,70</td> <td>0,70</td> <td>0,70</td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>1,18</td> <td>1,18</td> <td>1,18</td> </tr> <tr> <td>% de humedad promedio</td> <td colspan="3">1,2</td> </tr> </tbody> </table>				PRUEBA N°	1	2	3	Peso del recipiente, (gr)	86,00	79,90	87,10	Peso del recipiente mas suelo humedo, (gr)	146,00	139,90	147,10	Peso del recipiente mas suelo seco, (gr)	145,30	139,20	146,40	peso del suelo seco, (gr)	59,30	59,30	59,30	Peso del agua, (gr)	0,70	0,70	0,70	Contenido de humedad (%)	1,18	1,18	1,18	% de humedad promedio	1,2		
PRUEBA N°	1	2	3																																
Peso del recipiente, (gr)	86,00	79,90	87,10																																
Peso del recipiente mas suelo humedo, (gr)	146,00	139,90	147,10																																
Peso del recipiente mas suelo seco, (gr)	145,30	139,20	146,40																																
peso del suelo seco, (gr)	59,30	59,30	59,30																																
Peso del agua, (gr)	0,70	0,70	0,70																																
Contenido de humedad (%)	1,18	1,18	1,18																																
% de humedad promedio	1,2																																		
Observaciones: Ninguna																																			

5.5 Análisis granulométrico de las cenizas de bagazo de caña de azúcar



Las cenizas de bagazo de caña tienen un contenido bajo de material fino en comparación con las cenizas volantes, solo el 16,9 % pasa el tamiz N° 200.

5.6 Peso específico cenizas de bagazo de caña de azucar

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA			
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.			
PESO ESPECIFICO DE LAS CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA NTC 221	ESTUDIANTES:			
	NOREXY VELASQUEZ AMADO			
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA			
	DESCRIPCION:			
LIQUIDO EMPLEADO (KEROSENE)				
MUESTRA No	MATERIAL (gr)	VOLUMEN DESPLAZADO (ml)	PESO ESPECIFICO	
			<i>gr/cm³</i>	<i>kg/m³</i>
1	52	22,7	2,291	2291
OBSERVACIONES: NINGUNA				

El peso específico de las cenizas volantes según el ensayo realizado es de 2,291 *gr/cm³*.

5.7 Contenido de humedad ceniza de bagazo de caña de azúcar

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA		
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA INV E 122-07	ESTUDIANTES:		
	NOREXY VELASQUEZ AMADO		
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA		
	DESCRIPCION:		
			INFORME DE ENSAYO
PASAS N° 4			
PRUEBA N°	1	2	3
Peso del recipiente, (gr)	78,70	80,80	79,60
Peso del recipiente mas suelo humedo, (gr)	138,70	140,80	139,60
Peso del recipiente mas suelo seco, (gr)	136,10	138,40	137,30
peso del suelo seco, (gr)	57,40	57,60	57,70
Peso del agua, (gr)	2,60	2,40	2,30
Contenido de humedad (%)	4,53	4,17	3,99
% de humedad promedio	4,2		
PASAS N° 100			
PRUEBA N°	1	2	3
Peso del recipiente, (gr)	81,10	75,90	76,70
Peso del recipiente mas suelo humedo, (gr)	141,10	135,90	136,70
Peso del recipiente mas suelo seco, (gr)	138,86	133,38	134,30
peso del suelo seco, (gr)	57,76	57,48	57,60
Peso del agua, (gr)	2,24	2,52	2,40
Contenido de humedad (%)	3,88	4,38	4,17
% de humedad promedio	4,1		
Observacion: Ninguna			

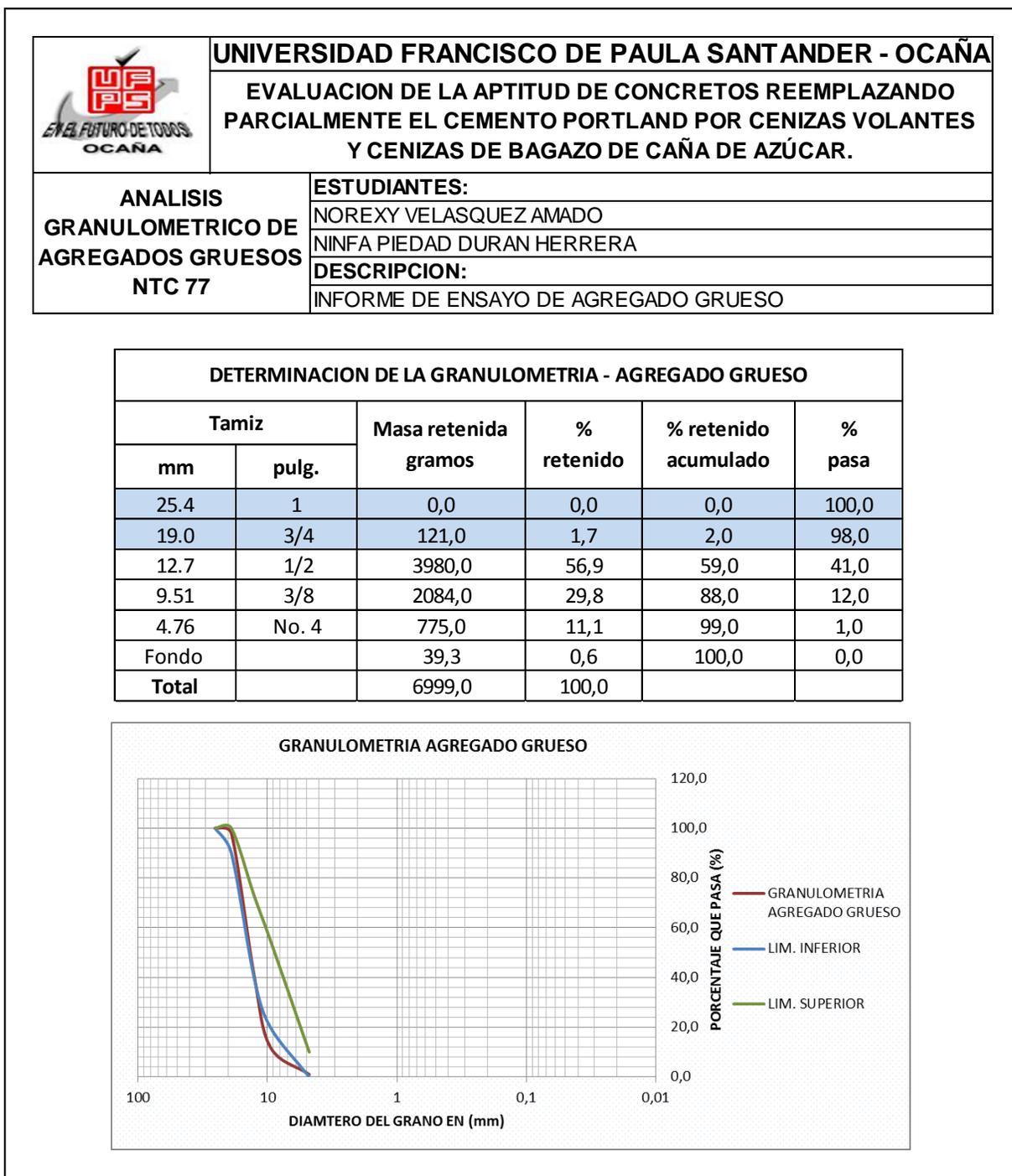
El contenido de humedad de las cenizas, el contenido de humedad de las cenizas de bagazo de caña de azúcar dio mayor al de las cenizas volantes, esto se debe, a que este tipo de residuo es almacenado a la intemperie.

5.8 Peso específico del cemento

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA			
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.			
PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO NTC 221	ESTUDIANTES:			
	NOREXY VELASQUEZ AMADO			
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA			
	DESCRIPCION:			
CEMENTO CEMEX TIPO I - LIQUIDO EMPLEADO (KEROSENE)				
MUESTRA No	MATERIAL (gr)	VOLUMEN DESPLAZADO (ml)	PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO	
			<i>gr/cm³</i>	<i>kg/m³</i>
1	64	20,6	3,106	3106
OBSERVACIONES: NINGUNA				

El peso específico del Cemento Portland Cemex Tipo I utilizado para el desarrollo de este proyecto fue de 3.106 g/cm^3 , calculado mediante la Norma ICONTEC NTC 221, lo que demuestra que es un cemento portland con densidad normal.

5.9 Analisis granulométrico del agregado grueso



Se realizó el ensayo de granulometría a los agregados y se obtuvieron los siguientes tamaños: Tamaño Máximo (TM) de 1" y Tamaño Máximo Nominal (TMN) igual a $\frac{3}{4}$ ". Además, se graficaron los límites inferior y superior según las especificaciones dadas en la NTC 174 (Especificaciones de los agregados para hormigón), para verificar el cumplimiento con los parámetros establecidos en la norma en mención.

Según Niño Hernández, J.R (2010), los resultados de la clasificación de los agregados atendiendo a los parámetros de tamaño máximo y tamaño máximo nominal se hallaron de acuerdo a los siguientes conceptos:

- El tamaño máximo corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie de tamices que permite el paso del 100% del material.
- El tamaño máximo nominal es el de la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.

5.10 Peso específico y absorción de los agregados gruesos

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA																		
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.																		
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO NTC 176	ESTUDIANTES:																		
	NOREXY VELASQUEZ AMADO																		
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA																		
	DESCRIPCION:																		
INFORME DE ENSAYO																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>UNIDAD</th> <th>VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M= Masa en gramos de la muestra seca</td> <td>gr</td> <td>4946</td> </tr> <tr> <td>M_s= Masa en gramos de muestra saturada y superficialmente seca</td> <td>gr</td> <td>5032</td> </tr> <tr> <td>M_i = Masa en gramos de la muestra sumergida en agua</td> <td>gr</td> <td>3139,5</td> </tr> </tbody> </table>				NOMBRE	UNIDAD	VALOR	M= Masa en gramos de la muestra seca	gr	4946	M_s = Masa en gramos de muestra saturada y superficialmente seca	gr	5032	M_i = Masa en gramos de la muestra sumergida en agua	gr	3139,5				
NOMBRE	UNIDAD	VALOR																	
M= Masa en gramos de la muestra seca	gr	4946																	
M_s = Masa en gramos de muestra saturada y superficialmente seca	gr	5032																	
M_i = Masa en gramos de la muestra sumergida en agua	gr	3139,5																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DENSIDAD NOMINAL (D_n)</td> <td>$D_n = M / (M - M_i)$</td> <td>gr/cm³</td> <td>2,74</td> </tr> <tr> <td>DENSIDAD APARENTE (D_a)</td> <td>$D_a = M / (M_s - M_i)$</td> <td>gr/cm³</td> <td>2,61</td> </tr> <tr> <td>ABSORCION (%de absorcion)</td> <td>% de abs= $(M_s - M) / M$</td> <td>%</td> <td>1,74</td> </tr> </tbody> </table>				PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCION				DENSIDAD NOMINAL (D_n)	$D_n = M / (M - M_i)$	gr/cm ³	2,74	DENSIDAD APARENTE (D_a)	$D_a = M / (M_s - M_i)$	gr/cm ³	2,61	ABSORCION (%de absorcion)	% de abs= $(M_s - M) / M$	%	1,74
PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCION																			
DENSIDAD NOMINAL (D_n)	$D_n = M / (M - M_i)$	gr/cm ³	2,74																
DENSIDAD APARENTE (D_a)	$D_a = M / (M_s - M_i)$	gr/cm ³	2,61																
ABSORCION (%de absorcion)	% de abs= $(M_s - M) / M$	%	1,74																

La densidad cumple con los parámetros establecidos dentro del rango de valores de 2,3 a 2,8 g/cm³, así como también el porcentaje máximo de Absorción obtenido, que fue de 1,74 %, el cual está dentro de los límites permitidos tanto para las especificaciones técnicas de Invias como la NTC-174, las cuales plantean un límite máximo permitido de 4%.

5.11 Masa unitaria de agregado grueso

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA		
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.		
MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS GRUESOS NTC 92	ESTUDIANTES:		
	NOREXY VELASQUEZ AMADO		
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA		
	DESCRIPCION:		
INFORME DE ENSAYO			

TRITURADO	
Peso molde (gr)	7330,0
Volumen molde cm^3	2915,79

Masa Unitaria	Muestra	(MUC) Compacta	(MUS) Suelta
Peso molde mas agregado (gr)	1	11778	11592
Peso molde mas agregado (gr)	2	11780	11595
Peso molde mas agregado (gr)	3	11776	11589
Masa promedio (gr)		11778	11592
Masa triturado (gr)		4448,0	4262,0
Masa Unitaria (Kg/m^3)		1525,49	1461,70
Masa Unitaria (g/cm^3)		1,53	1,46
$MU = \frac{\text{Peso Muestra}}{\text{Volumen Recipiente}}$			

Observaciones: Ninguna

La masa unitaria obtenida con el ensayo para mezcla suelta es de 1,46 g/cm^3 y de 1,53 g/cm^3 para mezcla compacta, valores admitidos por las especificaciones para concretos NTC-

174.

5.12 Resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA			
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.			
RESISTENCIA AL DESGASTE, MAQUINA DE LOS ANGELES NTC 98	ESTUDIANTES:			
	NOREXY VELASQUEZ AMADO			
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA			
	DESCRIPCION:			
INFORME DE ENSAYO, AGREGADO GRUESO				

TAMIZ ICONTEC	CANTIDAD DE MUESTRA EN GRAMOS			
	GRADACION			
PASA / RETIENE	A	B	C	D
38,1mm - 25,4mm	1250± 25			
25,4mm - 19,0mm	1250± 25			
19,0mm - 12,7mm	1250± 10	2500± 10		
12,7mm - 9,51mm	1250± 10	2500± 10		
9,51mm - 6,35mm			2500± 10	
6,35mm - 4,76mm			2500± 10	
4,76mm - 2,38mm				5000± 10
TOTAL	5000± 10	5000± 10	5000± 10	5000± 10

TIPO	NUMERO DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS
A	12	5000± 25
B	11	4584± 25
C	8	3330± 25
D	6	2500± 15

PRUEBA N°		1
Gradacion empleada		B
Carga Abrasiva		11
Revoluciones		500
P1 (Masa muestra seca antes del ensayo)		5000
P2 (Masa muestra seca despues del ensayo, previo lavado sobre tamiz N° 12)		2976
$\% \text{ DE DESGASTE} = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$		40,48

5.13 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznales en el agregado grueso

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA			
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.			
TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES NTC 589	ESTUDIANTES:			
	NOREXY VELASQUEZ AMADO			
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA			
	DESCRIPCION:			
INFORME DE ENSAYO, AGREGADO GRUESO				

Tamaño de las partículas de la muestra	Masa mínima de la fracción	Tamiz Icontec para hacer el lavado de la
4,76mm(No.4) a 9,51mm(3/8")	1000 g	2,38mm (N°8)
9,51mm(3/8") a 19,0mm(3/4")	2000 g	4,76mm (N°4)
19,0mm(3/4") a 38,1mm(1 1/2")	3000 g	4,76mm (N°4)
mayor que 38,1mm(1 1/2")	5000 g	4,76mm (N°4)

PARTICULAS DELEZNABLES	VALORES			
	N°4 - 3/8"	3/8" - 3/4"	3/4" - 1 1/2"	> 1 1/2"
M (Masa muestra seca antes del ensayo), en gr	1000,0	2000,0		
M1 (Masa muestra seca retenida despues del ensayo, previo lavado sobre tamiz N° 8 ó N°4, respectivamente), en gr	997,2	1995,5		
C (Masa de las partículas deleznales), (C= M-M1), en gr	2,8	4,5		
P (Porcentaje de partículas deleznales), (P = (C/M)*100), en %	0,28	0,23	0,25	0,25
Pprom (Promedio de los Porcentaje de partículas deleznales), en %	0,25			

Observacion: Para este caso, para el agregado grueso solo se tomó la fracción obtenida en (No. 4 – 3/8") y (3/8" – 3/4") ya que para los otros tamaños mencionados en la tabla 11, la gradación de la muestra original indica que se retiene menos del 5%, por tanto, según la norma dicho tamaño no se somete a ensayo, sino que, para fines del cálculo del promedio ponderado, se deberá considerar que contiene el mismo porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales que el tamaño inmediatamente mayor o inmediatamente menor.

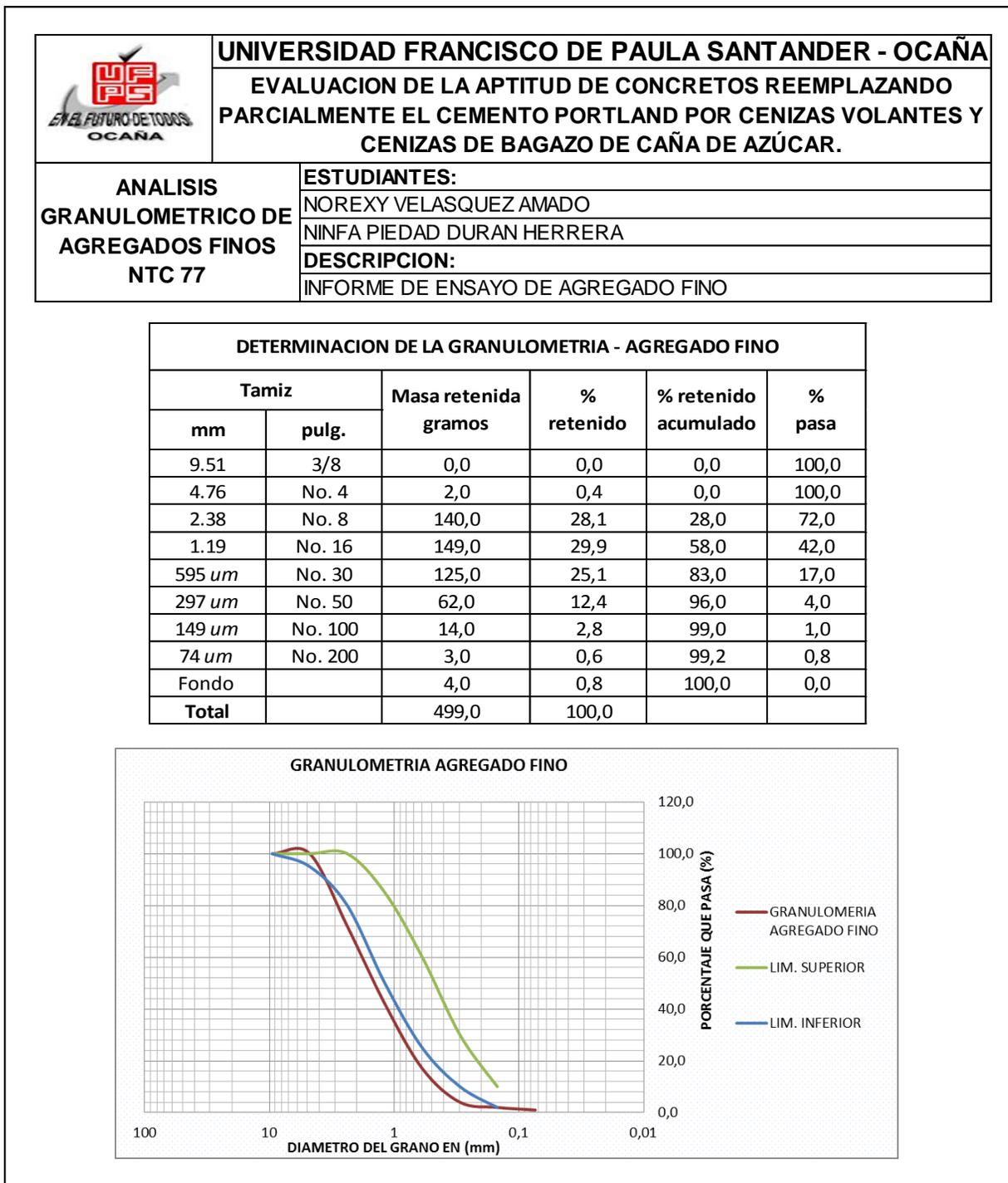
El porcentaje de partículas deleznable obtenido con la realización del ensayo es de 0,25%, valor admitido por las especificaciones para concretos NTC-174, puesto que el porcentaje máximo permitido es de 0,25% para agregado grueso.

5.14 Contenido de humedad del agregado grueso.

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA																																		
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.																																		
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO NTC 1776	ESTUDIANTES:																																		
	NOREXY VELASQUEZ AMADO																																		
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA																																		
	DESCRIPCION:																																		
INFORME DE ENSAYO																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PRUEBA N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del recipiente, (gr)</td> <td>105</td> <td>166</td> <td>138</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente mas suelo humedo, (gr)</td> <td>2605</td> <td>2666</td> <td>2638</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente mas suelo seco, (gr)</td> <td>2584</td> <td>2644</td> <td>2617</td> </tr> <tr> <td>peso del suelo seco, (gr)</td> <td>2479</td> <td>2478</td> <td>2479</td> </tr> <tr> <td>Peso del agua, (gr)</td> <td>21</td> <td>22</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>0,85</td> <td>0,89</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>% de humedad promedio</td> <td colspan="3">0,86</td> </tr> </tbody> </table>				PRUEBA N°	1	2	3	Peso del recipiente, (gr)	105	166	138	Peso del recipiente mas suelo humedo, (gr)	2605	2666	2638	Peso del recipiente mas suelo seco, (gr)	2584	2644	2617	peso del suelo seco, (gr)	2479	2478	2479	Peso del agua, (gr)	21	22	21	Contenido de humedad (%)	0,85	0,89	0,85	% de humedad promedio	0,86		
PRUEBA N°	1	2	3																																
Peso del recipiente, (gr)	105	166	138																																
Peso del recipiente mas suelo humedo, (gr)	2605	2666	2638																																
Peso del recipiente mas suelo seco, (gr)	2584	2644	2617																																
peso del suelo seco, (gr)	2479	2478	2479																																
Peso del agua, (gr)	21	22	21																																
Contenido de humedad (%)	0,85	0,89	0,85																																
% de humedad promedio	0,86																																		
Observaciones: Ninguna																																			

De acuerdo al ensayo realizado, se obtuvo un valor del contenido de humedad para el agregado grueso de 0,86%.

5.15 Analisis granulometrico agregado fino



En cuanto a la determinación de los tamaños del agregado fino se encontró que la arena utilizada presentó un módulo de finura de 4,62, tamaño considerado como aceptable para elaboración de concretos. El módulo de finura se obtuvo al dividir por 100 la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz de la serie normalizada.

5.16 Peso específico y absorción de los agregados finos

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA																										
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.																										
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS INV E - 222-07	ESTUDIANTES:																										
	NOREXY VELASQUEZ AMADO																										
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA																										
	DESCRIPCION: INFORME DE ENSAYO																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">NOMBRE</th> <th rowspan="2">UNIDAD</th> <th colspan="2">PRUEBA</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A= Masa al aire de la muestra seca al horno</td> <td>gr</td> <td>97,1</td> <td>96,99</td> </tr> <tr> <td>B= Masa del picnometro aforado lleo de agua</td> <td>gr</td> <td>667,5</td> <td>660,8</td> </tr> <tr> <td>C= Masa total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua</td> <td>gr</td> <td>728,62</td> <td>721,55</td> </tr> <tr> <td>S= Masa de la mestra saturada y superficialmente seca</td> <td>gr</td> <td>100,0</td> <td>100,0</td> </tr> </tbody> </table>				NOMBRE	UNIDAD	PRUEBA		1	2	A= Masa al aire de la muestra seca al horno	gr	97,1	96,99	B= Masa del picnometro aforado lleo de agua	gr	667,5	660,8	C= Masa total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua	gr	728,62	721,55	S= Masa de la mestra saturada y superficialmente seca	gr	100,0	100,0		
NOMBRE	UNIDAD	PRUEBA																									
		1	2																								
A= Masa al aire de la muestra seca al horno	gr	97,1	96,99																								
B= Masa del picnometro aforado lleo de agua	gr	667,5	660,8																								
C= Masa total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua	gr	728,62	721,55																								
S= Masa de la mestra saturada y superficialmente seca	gr	100,0	100,0																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCION</th> </tr> <tr> <th>PRUEBA</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>PROM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gravedad Especifica Aparente, 23/23°C, $G_{sa} = A/(B+A-C)$, gr/cm^3</td> <td>2,690</td> <td>2,676</td> <td>2,68</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Especifica bulk, 23/23°C, $G_{sb} = A/(B+S-C)$, gr/cm^3</td> <td>2,497</td> <td>2,471</td> <td>2,48</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Especifica bulk SSS, 23/23°C, $G_{sb\ sss} = S/(B+S-C)$, gr/cm^3</td> <td>2,572</td> <td>2,548</td> <td>2,56</td> </tr> <tr> <td>Absorcion, $(S-A)/A * 100$, (%)</td> <td>2,987</td> <td>3,103</td> <td>3,05</td> </tr> </tbody> </table>				PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCION				PRUEBA	1	2	PROM	Gravedad Especifica Aparente, 23/23°C, $G_{sa} = A/(B+A-C)$, gr/cm^3	2,690	2,676	2,68	Gravedad Especifica bulk, 23/23°C, $G_{sb} = A/(B+S-C)$, gr/cm^3	2,497	2,471	2,48	Gravedad Especifica bulk SSS, 23/23°C, $G_{sb\ sss} = S/(B+S-C)$, gr/cm^3	2,572	2,548	2,56	Absorcion, $(S-A)/A * 100$, (%)	2,987	3,103	3,05
PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCION																											
PRUEBA	1	2	PROM																								
Gravedad Especifica Aparente, 23/23°C, $G_{sa} = A/(B+A-C)$, gr/cm^3	2,690	2,676	2,68																								
Gravedad Especifica bulk, 23/23°C, $G_{sb} = A/(B+S-C)$, gr/cm^3	2,497	2,471	2,48																								
Gravedad Especifica bulk SSS, 23/23°C, $G_{sb\ sss} = S/(B+S-C)$, gr/cm^3	2,572	2,548	2,56																								
Absorcion, $(S-A)/A * 100$, (%)	2,987	3,103	3,05																								

El porcentaje máximo de Absorción obtenido es de 3,05 %, el cual está dentro de los límites permitidos tanto para las especificaciones técnicas de Invias como la NTC-174, las cuales

plantean un límite máximo permitido de 4%. En cuanto a la densidad cumple con los parámetros establecidos dentro del rango de valores de 2,3 a 2,8 g/cm³, establecidos en la norma en mención.

5.17 Masas unitarias de los agregados finos

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA		
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.		
MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS FINOS NTC 92	ESTUDIANTES:		
	NOREXY VELASQUEZ AMADO		
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA		
	DESCRIPCION:		
INFORME DE ENSAYO			

ARENA	
Peso molde (gr)	7330,0
Volumen molde cm ³	2915,79

Masa Unitaria	Muestra	(MUC) Compacta	(MUS) Suelta
Peso molde mas agregado (gr)	1	12174	11823
Peso molde mas agregado (gr)	2	12170	11819
Peso molde mas agregado (gr)	3	12178	11814
Masa promedio (gr)		12174	11819
Masa triturado (gr)		4844,0	4488,7
Masa Unitaria (Kg/m ³)		1661,30	1539,43
Masa Unitaria (g/cm ³)		1,66	1,54

$MU = \frac{\text{Peso Muestra}}{\text{Volumen Recipiente}}$
--

Observaciones: Ninguna

La masa unitaria obtenida con el ensayo para mezcla suelta es de 1,54 g/cm³ y de 1,66 g/cm³ para mezcla compacta, valores admitidos por las especificaciones para concretos NTC-174.

5.18 Contenido de materia orgánica de agregado fino

Según el ensayo realizado de acuerdo a la Norma NTC 127, se encontró que la arena no contiene componentes orgánicos, ya que el color que sobrenadaba por encima de la muestra de ensayo es igual a uno (1) según la escala de vidrios de colores de referencia, valor que está por debajo del color normal de referencia aceptado para aprobar la arena para su utilización en la fabricación de concretos.

5.19 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable en el agregado fino

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA	
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.	
TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES NTC 589	ESTUDIANTES:	
	NOREXY VELASQUEZ AMADO	
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA	
	DESCRIPCION:	
INFORME DE ENSAYO, AGREGADO FINO		
PARTICULAS DELEZNABLES		VALOR EN GRAMOS
M (Masa muestra seca antes del ensayo), en gr		100
M1 (Masa muestra seca retenida despues del ensayo, previo lavado sobre tamiz N° 20)		99,34
C (Masa de las particulas deleznable), (C= M-M1)		0,66
P (Porcentaje de particulas deleznable), (P = (C/M)*100)		0,66
Observaciones: Ninguna		

El Porcentaje de partículas delezables obtenido con la realización del ensayo es de 0,66%, valor admitido por las especificaciones para concretos, Norma Técnica Colombiana NTC-174, puesto que el porcentaje máximo permitido es de 1%.

5.20 Contenido de humedad agregado fino

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA		
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.		
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO NTC 1776	ESTUDIANTES:		
	NOREXY VELASQUEZ AMADO		
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA		
	DESCRIPCION: INFORME DE ENSAYO		
PRUEBA N°	1	2	3
Peso del recipiente, (gr)	38	37	38
Peso del recipiente mas suelo humedo, (gr)	138	137	138
Peso del recipiente mas suelo seco, (gr)	134	133	135
peso del suelo seco, (gr)	96	96	97
Peso del agua, (gr)	4	4	3
Contenido de humedad (%)	4,17	4,17	3,09
% de humedad promedio	3,8		
Observaciones: Ninguna			

De acuerdo al ensayo realizado, se obtuvo un valor del contenido de humedad para el agregado fino de 3,8%.

5.21 Diseño y elaboración de las mezclas de concreto

Una vez conocidas las propiedades de los materiales para la elaboración de concretos, se procedió a determinar la dosificación más práctica y económica de los materiales disponibles.

El método empleado para el diseño de las mezclas de concreto para el presente proyecto es el método americano ACI (American Concrete Institute), descrito por Niño Hernández,(2010) en Tecnología del Concreto – Tomo 1, ya que es el más conocido y el más ampliamente usado. Se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams, que consiste en seguir una serie de pasos para determinar la cantidad de cada material en peso y volumen, para $1m^3$ de concreto, como se describe a continuación:

Los criterios de dosificación de mezclas de concreto incluyen los siguientes pasos:

- Elección del asentamiento
- Elegir el tamaño máximo nominal
- Estimar el contenido de aire
- Estimar la cantidad de agua de mezclado
- Estimar la cantidad de agua/cemento (a/c)
- Calcular la cantidad de cemento
- Verificar si los agregados cumplen las recomendaciones granulométricas.
- Estimación del contenido de grava
- Estimar el contenido de agregado fino
- Ajustar la cantidad de agua por el contenido de humedad del agregado

- Ajustar las mezclas de prueba.

Cabe señalar que en el método ACI, el proporcionamiento de los agregados se hace teniendo en cuenta que estos cumplan las especificaciones granulométricas de la norma ASTM C33; en caso contrario se puede emplear el procedimiento alternativo propuesto por la Road Note Laboratory (RNL), que consiste en hacer una optimización granulométrica.

5.21.1 Procedimiento de dosificación

- **Elección del asentamiento**

El asentamiento se seleccionó teniendo en cuenta los parámetros contemplados en la Tabla 4 del Capítulo 2, como son, la consistencia requerida de la mezcla, el tipo de estructura, las condiciones de colocación del concreto y el grado de manejabilidad solicitados por el diseño. Se eligió un rango de asentamiento entre 5 y 10 cm, con grado de trabajabilidad medio, el cual es recomendado para diversas clases de construcción como son: Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano, columnas, vigas, fundiciones y muros, con vibración.

- **Elección del tamaño máximo nominal**

El Tamaño Máximo Nominal se obtuvo mediante los resultados del ensayo granulométrico de los agregados gruesos (triturado). Se obtuvo un TMN de $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

- **Estimación del contenido de aire**

Debido a que se considera que el concreto diseñado no estará expuesto a ambientes agresivos ni a ciclos de congelamiento y deshielo no se incorpora aire a las mezclas de concreto, sino, que se estima la cantidad de aire atrapado de acuerdo con la tabla 5 del Capítulo 2, donde se enseñan los valores que recomienda el ACI 318 S-08 para varios grados de exposición.

De acuerdo con lo anterior y para un TMN de 19mm (3/4"), se estimó un contenido de aire atrapado del 2%.

- **Estimación de la cantidad de agua de mezclado**

Según estudios desarrollados se puede obtener estimativos aproximados de la cantidad de agua de mezclado. Según el criterio suministrado por el ACI que se muestra en tabla 6 del capítulo 2, para un TMN igual a 3/4" (19mm), con un asentamiento máximo de 10 cm y considerando que el concreto no tiene aire incluido, la cantidad de agua de mezclado adoptada será de 200 Kg/m³.

- **Elección de la relación agua/cemento (a/c)**

La relación agua cemento, medida en peso, es uno de los factores más importante en el diseño de mezclas de concreto y por lo tanto se le debe prestar mucha atención a su escogencia, la relación a/c requerida se determina básicamente por requisitos de resistencia, durabilidad, impermeabilidad y acabado.

De acuerdo con las relaciones planteadas en la tabla 7 del Capítulo 2, la relación agua / cemento usada para el diseño de mezclas, adoptando una resistencia de diseño de 3500PSI (24MPas), será de 0,52.

- **Calculo del contenido de cemento**

Teniendo la relación agua cemento y el contenido de agua, calculados en los pasos inmediatamente anteriores se despeja el contenido de cemento según la expresión 6:

$$C = \frac{a}{a/c} \quad (6)$$

$$C = \frac{200Kg/m^3}{0,52} = 384,62$$

Por tanto la cantidad de cemento será de 384,62 Kg/m³ de concreto.

El volumen por metro cúbico de concreto será:

$$V_c = \frac{C}{D_c} \quad (13)$$

$$V_c = \frac{384,62Kg}{3106Kg/m^3} = 0,124m^3$$

El volumen de cemento estimado para un metro cúbico de concreto será de 0,124m³.

- **Verificación de las especificaciones granulométricas**

Tabla 18

Verificación de las especificaciones granulométricas para agregado grueso según la NTC 174

COMPARACION CON PARAMETROS DE LA NTC 174				
N°	NTC 174	MUESTRA	NTC 174	
TAMIZ	(Lim. Inferior)	%PASA	(Lim. Superior)	
1	100	100	100	cumple
3/4	90	98	100	cumple
1/2		41		
3/8	20	12	55	no cumple
No. 4	0	1	10	cumple

Tabla 19

Verificación de las especificaciones granulométricas para agregado fino según la NTC 174

COMPARACION CON PARAMETROS DE LA NTC 174				
N°	NTC 174	MUESTRA	NTC 174	
TAMIZ	(Lim. Inferior)	%PASA	(Lim. Superior)	
3/8	100	100	100	cumple
No. 4	95	100	100	cumple
No. 8	80	72	100	no cumple
No. 16	50	42	85	no cumple
No. 30	25	17	60	no cumple
No. 50	10	4	30	no cumple
No. 100	2	1	10	no cumple

- **Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino**

Como se puede observar en las tablas de verificación de especificaciones granulométricas, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso, algunos de los tamaños no están dentro del rango granulométrico recomendado por la NTC 174, por tal motivo se debe hacer optimización de granulometrías, por el método de la Road Note Laboratory, que es el que se utiliza cuando los agregados no cumplen con las recomendaciones granulométricas de la Norma NTC 174.

En la tabla 20, se muestran los rangos granulométricos recomendados según el tamaño máximo, para optimizar la granulometría, con el fin, de determinar la mejor mezcla de arena y grava para lograr un concreto de buenas propiedades de manejabilidad y resistencia.

Tabla 20

Rango granulométrico Recomendado para optimización de granulometrías

Tamiz		Límite de los porcentajes que pasan los siguientes tamaños maximos								
pulg	mm	90,6 mm (3 1/2")	76,1 mm (3")	64,0 mm (2 1/2")	50,8 mm (2")	38,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	9,51 mm (3/8")
3 1/2	90,6	100								
3	76,1	94 - 91	100							
2 1/2	64	89 - 83	94 - 91	100						
2	50,8	82 - 73	87 - 80	92 - 88	100					
1 1/2	38,1	74 - 62	78 - 68	83 - 75	90 - 85	100				
1	25,4	64 - 50	68 - 55	72 - 60	78 - 68	87 - 80	100			
(3/4)	19	58 - 42	62 - 47	65 - 51	71 - 58	78 - 68	90 - 85	100		
(1/2)	12,7	50 - 34	53 - 37	57 - 41	62 - 47	68 - 55	78 - 68	87 - 80	100	
(3/8)	9,51	45 - 29	48 - 32	51 - 35	56 - 40	62 - 47	71 - 58	78 - 68	90 - 85	100
N° 4	4,76	36 - 20	38 - 22	40 - 24	44 - 27	48 - 32	56 - 40	62 - 47	71 - 58	78 - 68
N° 8	2,36	28 - 13	30 - 15	32 - 16	34 - 18	38 - 22	44 - 27	48 - 32	55 - 40	61 - 46
N° 16	1,18	22 - 09	23 - 10	25 - 11	27 - 13	30 - 15	34 - 18	38 - 22	44 - 27	48 - 32
N° 30	600 μ	17 - 6	18 - 7	20 - 8	21 - 9	23 - 10	27 - 13	30 - 15	34 - 19	38 - 22
N° 50	300 μ	14 - 4	14 - 4	15 - 5	17 - 8	18 - 7	21 - 9	23 - 10	27 - 13	30 - 15
N° 100	150 μ	11 - 3	11 - 3	12 - 4	13 - 4	14 - 5	17 - 6	18 - 7	21 - 9	23 - 10

Nota. Fuente: Niño Hernandez, J.R. Tecnología del Concreto, tabla 11.12

Una vez escogida la especificación granulométrica según el tamaño máximo del agregado, se realizó la optimización de los agregados por el método gráfico, con el cual se obtuvo un 44% de grava y un 56% de arena a tomar. Ver figura 26

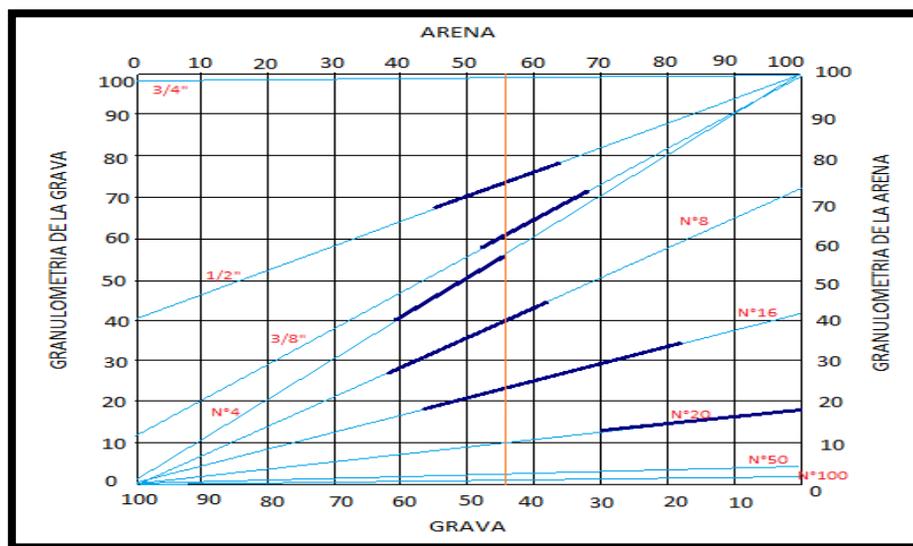


Figura 26. Método gráfico para la optimización granulométrica de los agregados (combinación agregado fino con el grueso)

De acuerdo con lo anterior, la mezcla óptima de agregados estará compuesta de 44% de grava y 56% de triturado, los valores correspondientes a cada tamiz del material combinado se muestra en la tabla 21.

Tabla 21*Granulometria Optima de agregados (Arena – Triturado)*

GRANULOMETRIA OPTIMA ARENA - TRIRURADO				
Pulg	TAMIZ	% PASA		granulometria óptima
	mm	grava (44%)	arena (56%)	
1	25,4	100,0	100	100
3/4	19	98,0	100	99
1/2	12,7	41,0	100	74
3/8	9,51	12,0	100	61
No. 4	4,76	1,0	100	56
No. 8	2,38	0,0	72	40
No. 16	1,19	0,0	42	24
No. 30	0,595	0,0	17	10
No. 50	0,297	0,0	4	2
No. 100	0,149	0,0	1	1

El volumen de agregados para un metro cubico de concreto será:

$$V_{agregado} = 1 - (V_{agua} + V_{cemento} + V_{aire}) \quad (14.)$$

$$V_{agregado} = 1 - (0,2 + 0,124 + 0,02)$$

$$V_{agregado} = 0,656m^3/m^3 \text{ de concreto}$$

Tabla 22*Propiedades de los agregados*

Propiedad del agregado	Agregado fino	Agregado grueso
% Absorción	3,05%	1,74%
% Humedad	3,80%	0,86%
Densidad Aparente (Kg/m3)	2680	2610

Tabla 23

Densidad aparente promedio de los agregados

Agregado	Densidad Aparente (Kg/m ³)
Fino	2680
Grueso	2610
Dpromedio	2649,2
$D_{prom} = (D_{aparente\ grava} * \%grava) + (D_{aparente\ arena} * \%arena)$	

Teniendo la densidad promedio de los agregados, se procedió a calcular los pesos secos del agregado y la arena:

Tabla 24

Pesos secos de la grava y la arena para un metro cubico de concreto

Agregado	Peso (Kg/m ³)
Arena	762,33
Grava	970,24
$W_{grava} = D_{prom} * V_{agregado} * \%grava$	
$W_{arena} = D_{prom} * V_{agregado} * \%arena$	

- **Ajuste de la cantidad de agua de mezclado debido a la humedad de los agregados.**

Las partículas de agregado, debido a la porosidad de los granos, siempre tienen algún grado de humedad, y para su dosificación se asume que están en condición sss (saturada superficialmente seca). Por tal razón siempre tendrán un exceso de agua libre o un defecto,

cantidad que no es independiente del agua de mezclado y por lo tanto se debe restar la cantidad de exceso o sumar la cantidad en defecto. Ver tabla 25.

Tabla 25

Ajuste de la cantidad de agua de mezclado

Ajuste por humedad (Kg)		
Grava		Arena
768,88		1007,11
peso húmedo grava= $W_{grava}(1 + \text{humedad grava})$		
Peso húmedo arena= $W_{arena}(1 + \text{humedad arena})$		
Agua en exceso o faltante (kg)		
Agua faltante grava	Agua en exceso arena	A total
19,82	7,277	12,54
A= agua en exceso o faltante		
$A_{grava} = W_{grava} * (\text{humedad grava} + \text{absorción grava})$		
$A_{fino} = W_{fino} * (\text{humedad fino} - \text{absorción fino})$		
$A_{total} = A_{grava} - A_{arena}$		
Cantidad total de agua de mezclado (Kg)		
$W_{agua} = \text{Cantidad de agua de diseño} + A_{total}$		212,54

Las cantidades en peso y en volumen por metro cubico de concreto se presentan en forma ordenada en la tabla 26.

Tabla 26*Cantidades de material para 1m³ de concreto*

Material	Peso W1 (Kg/m3)	Densidad D1 (Kg/m3)	Volumen V1 (m3/m3)	Ajuste por Humedad W1 (Kg/m3)
Cemento	384,62	3106	0,124	384,62
Aire	0	0	0,02	0
Agua	200	1000	0,2	212,54
Grava	762,33	2610	0,292	768,88
Arena	970,24	2680	0,362	1007,11
Total	2317,19		1,00	

	Agua	Cemento	Grava	Arena
Dosificacion	0,553	1,000	1,999	2,618

- **ajuste a las mezclas de prueba**

Con el diseño realizado anteriormente se obtuvo un asentamiento de 3cm y como el deseado era de 5cm, se procedió a realizar el respectivo ajuste.

- **Ajuste de agua de mezclado:**

La mezcla de prueba se elaboró con 0,01749 m³, de tal forma que la cantidad en peso de los ingredientes fue de:

Agua	3,7 Kg
Cemento	6,72Kg
Grava (húmeda)	13,45 Kg

Arena (húmeda) 17,61 Kg

Peso del material dosificado (W) 41,48 Kg.

En el cálculo del peso unitario del concreto fresco se obtuvo un valor de $2590,75 \text{ kg/m}^3$, y el rendimiento de la mezcla de prueba, según la expresión 15, es igual a $0,016 \text{ m}^3$.

$$Y = \frac{W1}{W} \quad (15)$$

Dónde:

W1: Peso de todo el material dosificado

W2: Peso unitario del concreto

$$Y = \frac{41,48 \text{ Kg}}{2590,75 \text{ Kg/m}^3} = 0,016 \text{ m}^3$$

La cantidad neta de agua de mezclado que se requiere para un metro cúbico de concreto con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba debe ser:

$$\frac{3,7}{0,016} = 231,25 \text{ Kg/m}^3$$

Para aumentar el asentamiento de 3 a 5 cm es necesario agregar 4kg de agua, ya que se debe incrementar 2kg por cada cm de defecto en el asentamiento, por tal razón la cantidad total de agua de mezclado debe ser de:

$$231,25 + 4 = 234,25kg/m^3$$

- **Ajuste de la cantidad de cemento:**

Al aumentar el agua de mezclado es necesario agregar cemento adicional para mantener la misma relación agua/cemento deseado de 0,52. La cantidad de cemento reajustado es de:

$$\frac{235,25}{0,52} = 452,5Kg/m^3$$

- **Ajuste de la cantidad de grava:**

La cantidad requerida de grava por metro cubico es:

$$\frac{13,45}{0,016} = 840,6Kg/m^3 \text{ (Húmeda)}$$

La cantidad de peso seco es de:

$$\frac{840,6}{1,0086} = 833,4Kg/m^3$$

Y la cantidad de peso sss es:

$$833,4 * 1,0174 = 847,9 \text{kg/m}^3$$

- Ajuste de la cantidad de arena:

La cantidad de arena requerida se determina por diferencia de pesos, ya que se conoce el peso volumétrico del concreto y los pesos del cemento, del agua y la grava.

$$\text{Arena} = 2590,75 - (452,5 + 235,3 + 847,9)$$

$$\text{Arena} = 1082,05 \text{ kg.}$$

En peso seco es de:

$$\frac{1082,05}{1,038} = 1042,4 \text{Kg/m}^3$$

De acuerdo a los cálculos realizados anteriormente se tiene que para un metro cúbico de concreto se requiere de los siguientes pesos:

Agua neta de mezclado	235,3 kg
Cemento	452,5 kg
Grava (seca)	833,4 kg
Arena (seca)	1042,4 kg

De acuerdo con el ajuste realizado, la dosificación queda de la siguiente manera:

Tabla 27

Dosificación para un metro cúbico de concreto.

	Agua	Cemento	Grava	Arena
Dosificación	0,52	1,00	1,84	2,30

5.22 Dosificación de cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar en la mezcla de concreto

Con el propósito de estudiar el comportamiento de estos subproductos agroindustriales, en cuanto a la resistencia que ofrecen al ser utilizados en la elaboración de concretos, las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y las cenizas volantes (CV) van hacer utilizadas como sustituto parcial del cemento portland.

De acuerdo con lo anterior, para evaluar el comportamiento de las cenizas, se debe elaborar una mezcla de concreto sin ninguna modificación de sus componentes, es decir, utilizando la dosificación encontrada en el diseño de mezcla del apartado anterior y que nos sirva como parámetro de comparación. La manera como se va a llevar a cabo la dosificación, es a base de sustitución porcentual. Los porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar y de cenizas volantes a ser reemplazados son de 5%, 10%, 15% y 20% del peso del cemento, obtenido de la dosificación de la mezcla de concreto.

En las tablas 28 y 29, se muestran las nomenclaturas y proporciones en % de las diferentes mezclas que se van a utilizar para la elaboración de los concretos.

Tabla 28

Nomenclaturas utilizadas para las mezclas de concreto

MEZCLA	CEMENTO (%)	CENIZA VOLANTE (%)	NOMENCLATURA	CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (%)	NOMENCLATURA
1	100	0	MP1 (mezcla de prueba)	0	MP1 (mezcla de prueba)
2	100	0	MP2 (muestra patrón o testigo)	0	MP2 (muestra patrón o testigo)
3	95	5	5% CV	5	5% CBCA
4	90	10	10% CV	10	10% CBCA
5	85	15	15% CV	15	15% CBCA
6	80	20	20% CV	20	20% CBCA

Tabla 29

Proporciones para diferentes porcentajes de CV y CBCA

MATERIAL (%)	CENIZAS VOLANTES				
	2	3	4	5	6
AGUA	9,18%	9,18%	9,18%	9,18%	9,18%
CEMENTO	17,65%	16,77%	15,89%	15,00%	14,12%
CENIZA VOLANTE	0%	0,88%	1,77%	2,65%	3,53%
AGREGADO GRUESO	32,51%	32,51%	32,51%	32,51%	32,51%
AGREGADO FINO	40,66%	40,66%	40,66%	40,66%	40,66%
	CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR				
AGUA	9,18%	9,18%	9,18%	9,18%	9,18%
CEMENTO	17,65%	16,77%	15,89%	15,00%	14,12%
CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA	0%	0,88%	1,77%	2,65%	3,53%
AGREGADO GRUESO	32,51%	32,51%	32,51%	32,51%	32,51%
AGREGADO FINO	40,66%	40,66%	40,66%	40,66%	40,66%

En la tabla 30 se muestran las dosificaciones para los diferentes porcentajes de CV y CBCA, para un metro cubico de concreto.

Tabla 30

Proporciones en peso para diferentes porcentajes de CV y CBCA.

MATERIAL (Kg)	CENIZAS VOLANTES				
	MEZCLA				
	2	3	4	5	6
AGUA	235,30	235,30	235,30	235,30	235,30
CEMENTO	452,50	448,50	444,51	440,52	436,53
CENIZA VOLANTE	0,00	4,00	7,99	11,98	15,97
AGREGADO GRUESO	833,40	833,40	833,40	833,40	833,40
AGREGADO FINO	1042,40	1042,40	1042,40	1042,40	1042,40
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR					
AGUA	235,30	235,30	235,30	235,30	235,30
CEMENTO	452,50	448,50	444,51	440,52	436,53
CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA	0,00	4,00	7,99	11,98	15,97
AGREGADO GRUESO	833,40	833,40	833,40	833,40	833,40
AGREGADO FINO	1042,40	1042,40	1042,40	1042,40	1042,40

5.23 Resistencia a la compresión

Al obtener y analizar la resistencia a la compresión que adquieren las muestras de concreto adicioandas con los distintos porcentajes de cenizas, se logra determinar y evaluar la aptitud en cuanto a resistencia se refiere de los concretos.

5.23.1 Ensayos de las muestras testigo

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA									
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.									
RESISTENCIA A LA COMPRESION MUESTRA TESTIGO.	ESTUDIANTES:									
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA									
	NOREXY VELASQUEZ AMADO									
	DESCRIPCION:									
RESISTENCIA A LA COMPRESION, MUESTRAS CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR										
DIA	ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	PESO (gr)	AREA (mm ²)	VOLUMEN (mm ³)	DENSIDAD (gr/mm ³)	CARGA KN	RESISTENCIA Mpa	% RESP F'CD	TIPO DEFALL
MUESTRA 1 100% CEMENTO										
7	305	153	12927	18385	5607556,2	0,0023053	296,6	16,13	67,211165	TIPO 5
14	301	151	12635	18027	5426127	0,0023285	385,7	21,396239	89,150996	TIPO 5
28	300	150	12946	17672	5301450	0,002442	476,7	26,975904	112,3996	TIPO 4
MUESTRA 2 100% CEMENTO										
7	298	149	12295	17554	5231092	0,0023504	286,3	16,31	67,964092	TIPO 5
14	298	151	12440	17908	5336557,2	0,0023311	435,5	24,319203	101,33001	TIPO 5
28	304,8	152	12495	18146	5530864,2	0,0022591	504,0	27,773099	115,72125	TIPO 5
OBSERVACION: RESISTENCIA DE DISEÑO 24 Mpa										

5.23.2 Ensayo de concretos con cenizas volantes

		UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA								
RESISTENCIA A LA COMPRESION CENIZAS VOLANTES.		EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.								
ESTUDIANTES:		NINFA PIEDAD DURAN HERRERA								
DESCRIPCION:		RESISTENCIA A LA COMPRESION, MUESTRAS CENIZAS VOLANTES								
DIA	ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	PESO (gr)	AREA (mm ²)	VOLUMEN (mm ³)	DENSIDAD (gr/mm ³)	CARGA KN	RESISTENCIA Mpa	% RESP F'C	TIPO FALLA
MUESTRA REEMPLAZANDO 5% DE CEMENTO POR CENIZA										
7	305	152	12757	18146	5534493,4	0,002305	297,8	16,41	68,39	TIPO 6
14	303	151	12440	17908	5426124	0,00229261	307,44	17,17	71,53	TIPO 3
28	306	152	12771	18146	5552639,28	0,00229999	475,4	26,20	109,17	TIPO 3
MUESTRA REEMPLAZANDO 10% DE CEMENTO POR CENIZA										
7	307	150	12705	17672	5425150,5	0,00234187	269,0	15,22	63,42	TIPO 5
14	304	150	12275	17790	5408160	0,00226972	259,63	14,59	60,81	TIPO 3
28	305	152	12643	18146	5534493,4	0,0022844	416,8	22,97	95,71	TIPO 5
MUESTRA REEMPLAZANDO 15% DE CEMENTO POR CENIZA										
7	305	152	12517	18146	5534493,4	0,00226163	200,4	11,04	46,01	TIPO 3
14	295	150	11835	17554	5178430	0,00228544	249,81	14,23	59,30	TIPO 3
28	305	152	12578	18146	5534493,4	0,00227266	339,1	18,69	77,86	TIPO 5
MUESTRA REEMPLAZANDO 20% DE CEMENTO POR CENIZA										
7	303	150	12395	17672	5354616	0,00231483	208,7	11,81	49,20	TIPO 3
14	306	153	12770	18385	5625941,58	0,00226984	298,4	16,23	67,62	TIPO 2
28	306	152	12775	18146	5552639,28	0,00230071	369,1	20,34	84,75	TIPO 5

OBSERVACION: RESISTENCIA DE DISEÑO 24 Mpa

5.23.3 Ensayos del concreto con cenizas de bagazo de caña d azúcar

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA									
	EVALUACION DE LA APTITUD DE CONCRETOS REEMPLAZANDO PARCIALMENTE EL CEMENTO PORTLAND POR CENIZAS VOLANTES Y CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.									
RESISTENCIA A LA COMPRESION CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR.	ESTUDIANTES:									
	NINFA PIEDAD DURAN HERRERA									
	NOREXY VELASQUEZ AMADO									
	DESCRIPCION:									
RESISTENCIA A LA COMPRESION, MUESTRAS CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR										
DIA	ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	PESO (gr)	AREA (mm²)	VOLUMEN (mm³)	DENSIDAD (gr/mm³)	CARGA KN	RESISTENCIA Mpa	% RESP F'C	TIPO DEFALLA
MUESTRA REEMPLAZANDO 5% DE CEMENTO POR CENIZA										
7	302	152	12545	18265	5516030	0,0022743	300,8	16,47	68,61	TIPO 4
14	305	152	12970	18146	5534493,4	0,0023435	385,9	21,27	88,63	TIPO 5
28	305	149	12921	18242	5563660,6	0,0023224	476,7	26,13	108,89	TIPO 5
MUESTRA REEMPLAZANDO 10% DE CEMENTO POR CENIZA										
7	300	149	12235	17437	5231100	0,0023389	248,3	14,24	59,34	TIPO 4
14	305	152	12664	18146	5534493,4	0,0022882	299,8	16,52	68,83	TIPO 5
28	304	152	12705	18146	5516347,5	0,0023032	405,3	22,33	93,06	TIPO 4
MUESTRA REEMPLAZANDO 15% DE CEMENTO POR CENIZA										
7	301	149	12260	17554	5283754	0,0023203	255,4	14,55	60,62	TIPO 3
14	305	152	12586	18146	5534493,4	0,0022741	314,8	17,35	72,29	TIPO 4
28	298	149	12242	17437	5196127,7	0,002356	378,1	21,68	90,35	TIPO 3
MUESTRA REEMPLAZANDO 20% DE CEMENTO POR CENIZA										
7	303	151	12100	18027	5462181	0,0022152	218,7	12,13	50,55	TIPO 4
14	306	153	12556	18385	5625941,6	0,0022318	289,9	15,77	65,70	TIPO 3
28	305	152	12301	18146	5534493,4	0,0022226	267,1	14,72	61,32	TIPO 5
OBSERVACION: RESISTENCIA DE DISEÑO 24 Mpa										

A continuacion se presentan las graficas de PORCENTAJES DE ADICION VS RESISTENCIA A LA COMPRESION, en los tiempos de curado de 7 14 y 28 dias, con la finalidad de comparar los valores de resistencia a la compresion que adquieren las muestras de concreto con los diferentes porcentajes de cenizas respecto a las muestras patrón.

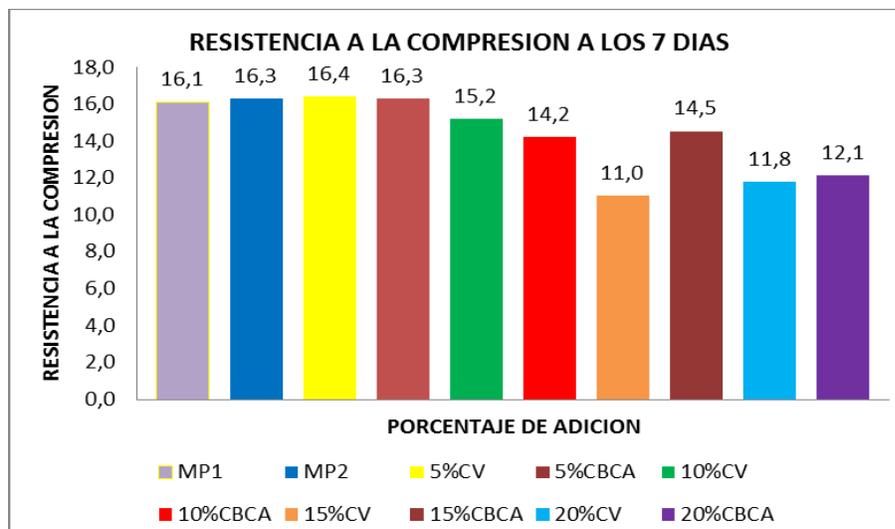


Figura 27. Resistencia a la compresión, 7 días.

La grafica muestra que a edad temprana, es decir, a los 7 dias de curado las muestras patron MP1 y MP2 alcanzan una resistencia relativamente igual, lo cual significa que en este tiempo no se perciben variaciones de importancia de acuerdo al ajuste por asentamiento realizado; ahora bien, con respecto a las muestras adicionadas con cenizas, se puede ver como las muestras en las que se reemplazo un 5% de cemento por ceniza volante y ceniza de bagazo de caña, alcanzo para el caso de la ceniza volante una resistencia superior a la alcanzada por las muestras patron, para el caso de la ceniza de bagazo de caña alcanzo una resistencia exactamente igual a la alcanzada por la muestra patron 2, para el caso de las muestras adicionadas con un 10%

de cenizas, la resistencia disminuye con respecto al 5% de adición, para el caso del 10% de adición se presenta una mayor resistencia de la muestra adicionada con cenizas volantes, por el contrario la muestra adicionada con un 15% de las cenizas de bagazo de caña aumenta la resistencia a la compresión y para las cenizas volantes disminuye bastante con respecto a las muestras adicionadas con 10%, además, las muestras adicionadas con un 20% de ceniza de bagazo siguen manteniendo una mayor resistencia con respecto a la muestra adicionada con ceniza volante aunque para el caso de la muestra de ceniza volante la resistencia aumento con respecto a la adicionada con un 15% de adición.

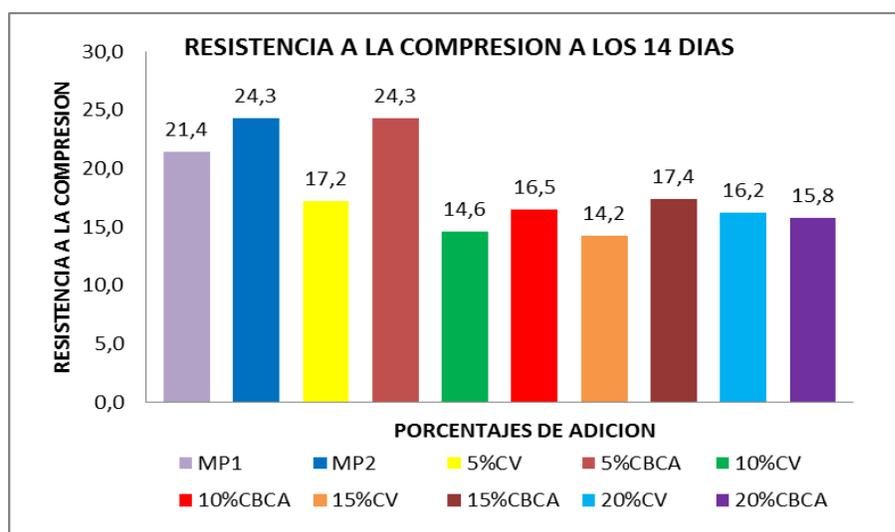


Figura 28. Resistencia a la compresión, 14 días.

En un tiempo de curado de 14 días se registra como la resistencia a la compresión de la muestra patrón 1 aumenta con respecto a la muestra patrón 1, para el caso de la muestra adicionada con un 5% de ceniza volante la resistencia esta por debajo de ambas muestra patrón a

diferencia de la muestra de bagazo de caña de azúcar, que alcanza una resistencia exactamente igual a la de la muestra patron 2 y obviamente supera la resistencia alcanzada por la muestra patron 1, para la muestra adicionada con 15% de cenizas se reduce la resistencia con respecto a la muestra adicionada con un 10% y sigue manteniendo una mayor resistencia la muestra adicionada con ceniza de bagazo de caña, finalmente, para el caso de las muestras con adición del 20% de cenizas volantes se registra un aumento de resistencia con respecto a la resistencia obtenida por la muestra adicionada con un 15%, con las muestras adicionadas con ceniza de bagazo de caña se presenta una disminución con respecto a la muestra adicionada con un 15% y con respecto a la muestra de 20% de adición de ceniza volante.

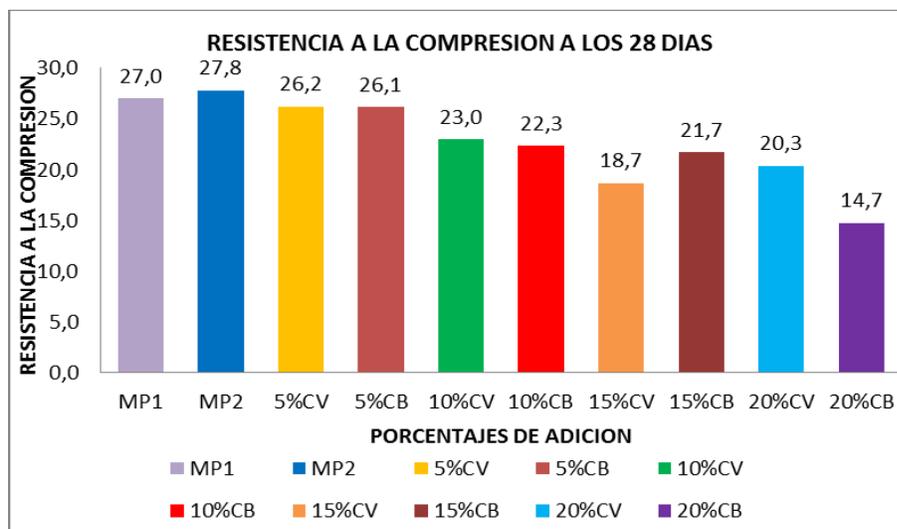


Figura 29. Resistencia a la compresion 28 dias.

La resistencia alcanzada a los 28 dias de curado, es desde luego, la resistencia que se necesita para conocer de cierta forma, por así decirlo, la aptitud de los concretos.

Como está representado, las muestras patrón alcanzaron una resistencia superior a la esperada según el diseño de la mezcla la cual era de 24 Mpa, ahora bien, la muestra patron 2 alcanzó una mayor resistencia que la muestra patron 1. Para el caso de las muestras adicionadas con 5% de ceniza, se puede ver según las graficas que ambas muestras alcanzaron una resistencia superior a la resistencia de diseño aunque menor que la ofrecida por las muestras patrón, para el caso de las muestras con un 10% de adición la resistencia disminuye y está por debajo de la resistencia de diseño, siendo la muestra con adición de ceniza volante la que ofrece mayor resistencia a este porcentaje, contrariamente para el caso de 15% de adición, en la que, la muestra de ceniza volante presenta una menor resistencia con respecto a la muestra adicionada con ceniza de bagazo, ambas muestras presentan una disminución de la resistencia con respecto al porcentaje de adición de 10% y finalmente las muestras con un 20% de adición presentan para el caso de las cenizas volantes un aumento en la resistencia con respecto al porcentaje de adición del 15% y las muestra con adición de ceniza de bagazo de caña presentan una disminución considerable frente a la muestra de adición del 15% ,desde luego se presenta una mayor resistencia para la muestra adicionada con ceniza volante.

Con el propósito de comparar de forma particular la resistencia alcanzada por las muestras adicionadas con cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar, se realizaron las siguientes graficas, ver Figura 30.

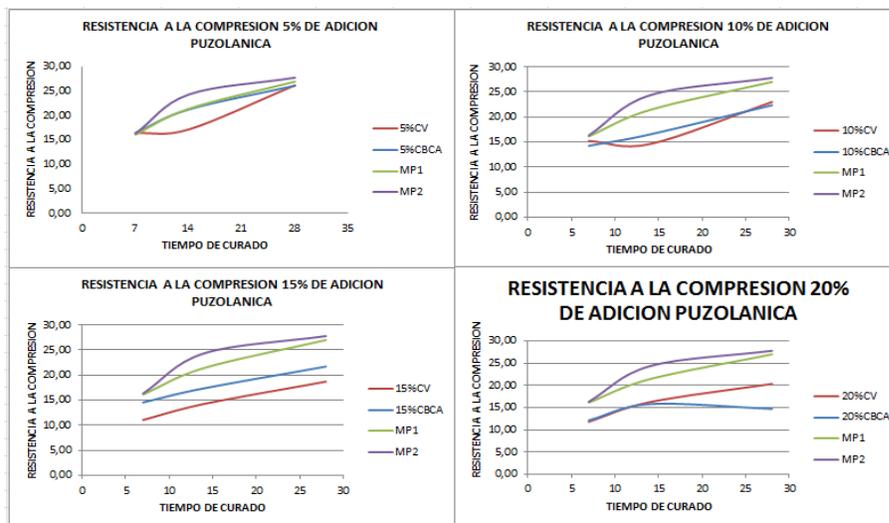


Figura 30. Resistencia a la compresion de cada porcentaje de adiccion de cenizas.

De acuerdo a las graficas de la figura 30 se pudo estimar que:

- **5% de adiccion puzolanica**

Para el caso de 5% de adiccion de ceniza, la muestra patron 1 y la muestra adicionada con ceniza de bagazo de caña no presentan variacion en cuanto a la resistencia que adquieren en los tiempos de fraguado, se observa una minima variacion en la resistencia alcanzada a los 28 dias, es decir la MP1 alcanzó una resistencia de 26,97Mpas, mientras que la muestra 5% CBCA alcanzó una resistencia de 26,13 Mpa.

Por otra parte la muestra adicionada con ceniza volante (5%CV) presenta una perdida de resistencia en el periodo de 7 a 14 dias de curado y finalmente vuelve a aumentar la resistencia, condicion que facilmente se puede ver en la gráfica.

La muestra MP2 mantiene un aumento de resistencia creciente.

- **10% de adición puzolánica**

Para este caso de 10% de adición de ceniza, se puede deducir según la gráfica, que la muestra adicionada con ceniza volante (10%CV) presenta pérdida de resistencia en el periodo de 7 a 14 días de fraguado, mientras que la muestra adicionada con ceniza de bagazo (10%CBCA) presenta una tendencia uniforme de adquisición de resistencia. Las muestras patrón MP1 y MP2 presentan una resistencia con tendencia creciente en el tiempo de fraguado.

- **15% de adición puzolánica**

Para este caso las muestras adicionadas tanto con cenizas volantes (15%CV) como las muestras adicionadas con cenizas de bagazo (15%CBCA) adquieren una resistencia de forma creciente y relativamente constante en el tiempo de fraguado.

- **20% de adición puzolánica**

Para este caso, las muestras adicionadas con ceniza volante (20%CV) presentan una adquisición de resistencia de forma creciente, mientras que la muestra adicionada con ceniza de bagazo 20%CBCA, presenta una pérdida de resistencia en el periodo de 14 a 28 días de fraguado, a pesar de que en el primer periodo de fraguado (7 y 14) días, presentan la misma resistencia y tendencia.

Para efectos de conocer el comportamiento de la resistencia en el tiempo de curado, se establecen las siguientes gráficas:

Variacion de la resistencia en un tiempo de curado de 7, 14 y 28 dias de las muestras patrón.

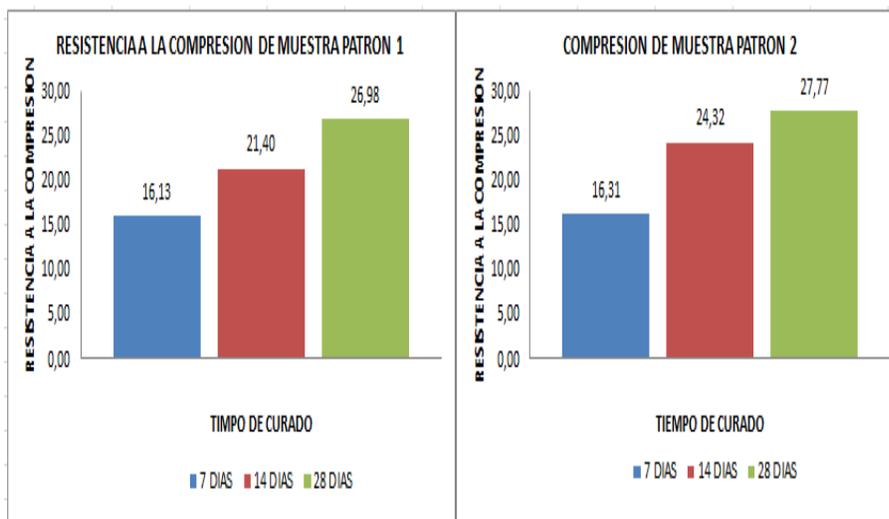


Figura 31. Variacion de la resistencia a la compresion de las muestras patrón.

Las muestras patrón presentan una tendencia creciente, en cuanto a la resistencia que alcanzan en los dias de curado estimados, tal como se ve, alcanzan una mayor resistencia en los primeros 7 dias de curado.

Variación de la resistencia en un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días de las muestras adicionadas con cenizas volantes.

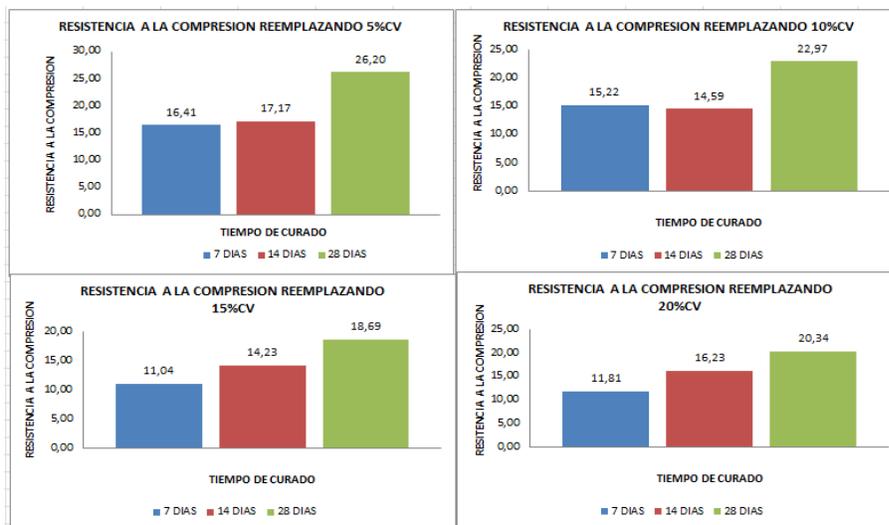


Figura 32. Variación de la resistencia a la compresión de las muestras adicionadas con cenizas volantes.

Para el caso de las muestras con adición de cenizas volantes se presenta que se alcanza una mayor resistencia en los primeros 7 días, es decir, gran parte de la resistencia se logra a esta temprana edad.

Para el caso de 5% de adición se presenta un mínimo aumento de la resistencia entre los 7 y 14 días de fraguado y un aumento mayor, entre los 14 y 28 días con respecto al periodo anterior.

Para el caso de 10% de adición se presenta que en el periodo de los 7 a 14 días de fraguado se presenta una disminución en la resistencia, lo cual se puede interpretar como una pérdida de resistencia en este periodo. Se desconocen los factores que pueden ocasionar estas condiciones.

Para el caso del 15% y 20% de adición, se presenta que la resistencia aumenta a medida que aumenta el tiempo de curado, condicion similar a la tendencia mostrada por las muestras patrón.

Variación de la resistencia en un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días de las muestras adicionadas con cenizas de bagazo de caña de azúcar.

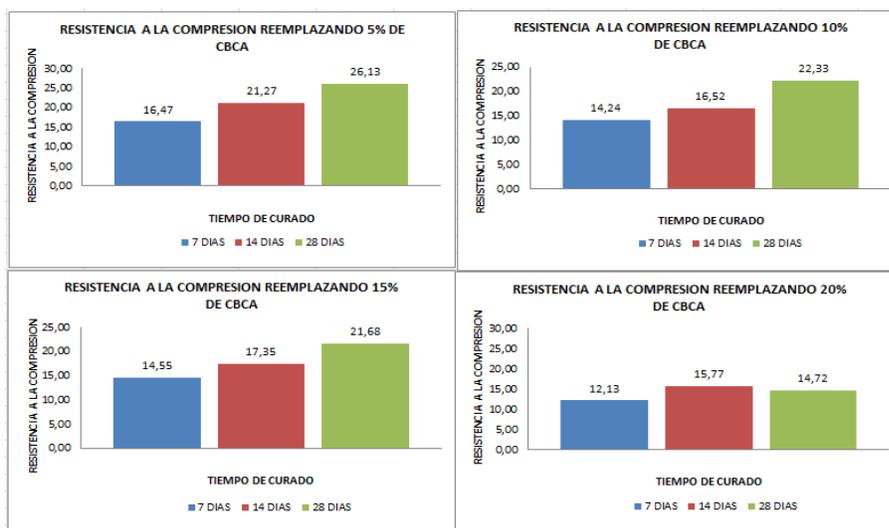


Figura 33. Variación de la resistencia a la compresión de las muestras adicionadas con cenizas de bagazo de caña de azúcar..

De igual forma que las mezclas adicionadas con cenizas volantes, en las muestras con adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar se presenta que se alcanza una mayor resistencia en los primeros 7 días, es decir, gran parte de la resistencia se logra a esta temprana edad.

Para el caso de las muestras adicionadas con 5%, 10% y 15% se presenta una resistencia directamente proporcional al tiempo de curado, para el caso de la muestra con adición del 20% se presenta que en el periodo de 7 a 14 días se presenta un aumento en la resistencia, pero en el periodo de 14 a 28 días de curado se presenta una pérdida de resistencia.

Con la finalidad de poder medir en forma porcentual las variaciones de la resistencia en los diferentes periodos de tiempo de curado, se realizó la siguiente tabla:

Tabla 31 .

Variación de la resistencia a la compresión en en los periodos de tiempo de curado.

PERIODO DE FRAGUADO	MUESTRA PATRON		5% DE ADICION DE CENIZA		10% DE ADICION DE CENIZA		15% DE ADICION DE CENIZA		20% DE ADICION DE CENIZA	
	MP1	MP2	CV	CBCA	CV	CBCA	CV	CBCA	CV	CBCA
0-7	59,8	58,73	62,65	63,01	66,27	63,77	59,1	67,1	58,05	82,43
7-14	19,52	28,83	2,88	18,38	-2,73	10,2	17,06	12,92	21,74	24,7
14-28	20,68	12,44	34,47	18,61	36,47	26,3	23,84	19,98	20,21	-7,14

Nota. Los valores negativos que se presentan en la tabla hacen referencia a pérdida de resistencia a la compresión.

5.24 Medicion y comparacion de costos

Con el propósito de evaluar la viabilidad económica en la producción de concretos utilizando cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar como remplazo parcial del cemento portland, se realizó el presupuesto para un metro cubico de concreto convencional

(mezcla patrón) y para el remplazo de 5% y 10% de cenizas, con el fin de realizar la respectiva comparación.

El valor de costo por metro cúbico de concreto con materiales convencionales es en promedio \$263.919,4. Para el presente estudio, el valor del precio por metro cúbico de concreto producido con el porcentaje óptimo encontrado (%5), desciende a \$262.117,32 para cenizas volantes y a \$262.057,25 para cenizas de bagazo de caña de azúcar. Ver tabla 32

Según los datos suministrados por la Empresa Termotasajero S.A, las cenizas volantes son vendidas a las empresas de CEMEX y ARGOS por un valor de \$30.000,0 por tonelada.

Para remplazo parcial del 10% de cenizas, el valor del precio por metro cúbico de concreto producido desciende a \$260.323,78 para cenizas volantes y a \$260.203,99 para cenizas de bagazo de caña de azúcar.

En la tabla 33, se muestra el análisis de costos para el remplazo del 10% de CV y 10% de CBCA del peso del cemento.

Tabla 32*Costos de preparación de concreto con reemplazo parcial de 5% de cenizas (% óptimo)*

ANALISIS PARA UN METRO CUBICO DE CONCRETO CON 5% DE CV Y 5% DE CBCA			
CONCRETO CONVENCIONAL			
MATERIALES Y MANO DE OBRA	CANTIDAD	COSTO	VALOR TOTAL
Cemento (kg)	452,5	\$ 480,00	\$ 217.200,00
Agregado Grueso (M3)	0,319	\$ 60.000,00	\$ 19.158,00
Agregado fino (M3)	0,389	\$ 22.000,00	\$ 8.555,80
Agua (M3)	0,235	\$ 2.000,00	\$ 470,60
Mano de obra			\$ 18.535,00
Costo Total			\$ 263.919,40
CONCRETO CON 5% de CV, % OPTIMO			
MATERIALES Y MANO DE OBRA	CANTIDAD	COSTO	VALOR TOTAL
Cemento (kg)	448,50	\$ 480,00	\$ 215.277,78
Agregado Grueso (M3)	0,319	\$ 60.000,00	\$ 19.158,00
Agregado fino (M3)	0,389	\$ 22.000,00	\$ 8.555,80
Agua (M3)	0,235	\$ 2.000,00	\$ 470,60
Cenizas volantes (kg)	4,00	\$ 30,00	\$ 120,14
Mano de Obra			\$ 18.535,00
Costo Total			\$ 262.117,32
CONCRETO CON 5% de CBCA, % OPTIMO			
MATERIALES Y MANO DE OBRA	CANTIDAD	COSTO	VALOR TOTAL
Cemento (kg)	448,50	\$ 480,00	\$ 215.277,78
Agregado Grueso (M3)	0,319	\$ 60.000,00	\$ 19.158,00
Agregado fino (M3)	0,389	\$ 22.000,00	\$ 8.555,80
Agua (M3)	0,235	\$ 2.000,00	\$ 470,60
Cenizas de bagazo de caña (kg)	4,00	\$ 15,00	\$ 60,07
Mano de Obra			\$ 18.535,00
Costo Total			\$ 262.057,25

Tabla 33.

Costos para un metro cubico de concreto con remplazo parcial de 10% de cenizas

ANALISIS PARA UN METRO CUBICO DE CONCRETO CON 10% DE CV Y 10% DE CBCA			
CONCRETO CONVENCIONAL			
MATERIALES Y MANO DE OBRA	CANTIDAD	COSTO	VALOR TOTAL
Cemento (kg)	452,5	\$ 480,00	\$ 217.200,00
Agregado Grueso (M3)	0,319	\$ 60.000,00	\$ 19.158,00
Agregado fino (M3)	0,389	\$ 22.000,00	\$ 8.555,80
Agua (M3)	0,235	\$ 2.000,00	\$ 470,60
Mano de obra			\$ 18.535,00
Costo Total			\$ 263.919,40
CONCRETO CON 10% de CV			
MATERIALES Y MANO DE OBRA	CANTIDAD	COSTO	VALOR TOTAL
Cemento (kg)	444,51	\$ 480,00	\$ 213.364,80
Agregado Grueso (M3)	0,319	\$ 60.000,00	\$ 19.158,00
Agregado fino (M3)	0,389	\$ 22.000,00	\$ 8.555,80
Agua (M3)	0,235	\$ 2.000,00	\$ 470,60
Cenizas volantes (kg)	7,99	\$ 30,00	\$ 239,58
Mano de Obra			\$ 18.535,00
Costo Total			\$ 260.323,78
CONCRETO CON 10% de CBCA			
MATERIALES Y MANO DE OBRA	CANTIDAD	COSTO	VALOR TOTAL
Cemento (kg)	444,51	\$ 480,00	\$ 213.364,80
Agregado Grueso (M3)	0,319	\$ 60.000,00	\$ 19.158,00
Agregado fino (M3)	0,389	\$ 22.000,00	\$ 8.555,80
Agua (M3)	0,235	\$ 2.000,00	\$ 470,60
Cenizas de bagazo de caña (kg)	7,99	\$ 15,00	\$ 119,79
Mano de Obra			\$ 18.535,00
Costo Total			\$ 260.203,99

De lo anterior se deduce que la preparación de concreto utilizando cenizas de bagazo de caña de azúcar y cenizas volantes (en el porcentaje óptimo encontrado), representa una economía del orden del 0,71% y 0,68%, respectivamente, por metro cúbico de concreto; para un 10% de cenizas bagazo de caña y cenizas volantes, representa una economía del orden de 1,41% y 1,36%, respectivamente, lo cual representa un beneficio adicional al ambiental.

Capítulo 6. Conclusiones

De esta investigación se concluye que:

Las cenizas volantes al igual que las cenizas de bagazo de caña de azúcar, son consideradas puzolanas artificiales y se clasificaron según la NTC 3493 como material de adición mineral Clase F.

La muestra adicionada con 5% de ceniza volante (5%CV) alcanzó una resistencia de 26,1Mpas, con lo que se puede decir, que alcanzó un 9,16% más de la resistencia esperada, lo que significa que cumplió satisfactoriamente con los resultados de resistencia esperada.

Las muestras adicionadas con 10% de ceniza volante (10%CV) alcanzaron una resistencia de 22,97Mpas, lo que significa que logró 95,71% de la resistencia de diseño; aunque para este caso, con el porcentaje de adición no se alcanzó la resistencia esperada, se logró alcanzar una alta resistencia, y considerando un margen de error del 5%, esta resistencia relativamente cumple.

Las muestras adicionadas con 15% de ceniza volante (15%CV) alcanzaron una resistencia de 18,68Mpas, lo que significa que logró un 77,85% de la resistencia de diseño; para este caso, se registra una disminución considerable con respecto a las adiciones de 5% y 10%, con lo cual se considera, que no es apropiado reemplazar este porcentaje para concretos de alta resistencia.

Las muestras adicionadas con 20% de ceniza volante (20%CV) alcanzaron una resistencia de 20,34Mpas, lo que significa que logro un 84,74% de la resistencia de diseño, de acuerdo con estos resultados y comparando con el resultado de reemplazar 15% de ceniza volante vemos que la resistencia aumenta, sin embargo no es recomendable usar esta dosificación en concretos de alta resistencia.

Las muestras adicionadas con 5% de bagazo de caña de azúcar (5%CBCA) alcanzaron una resistencia de 26,13Mpas, lo que significa un aumento del 8,88% de la resistencia de diseño, es decir, que cumplió satisfactoriamente con los resultados de resistencia esperada, con lo cual se podría poner en uso este porcentaje de adición en concretos de alta resistencia.

Las muestras adicionadas con 10% de bagazo de caña de azúcar (10%CBCA) alcanzaron una resistencia de 22,33Mpas, lo que significa que logró un 93,05% de la resistencia de diseño, aunque no cumple con la resistencia de diseño, se registró una alta resistencia, por otra parte, alcanzó una menor resistencia que la muestra adicionada con un 10% de ceniza volante.

Las muestras adicionadas con 15% de ceniza de bagazo de caña de azúcar (15%CBCA) alcanzó una resistencia de 21,68Mpas lo que significa que logro 90,3457% de la resistencia de diseño, lo cual es una resistencia bastante alta, considerando el porcentaje de adición, se podría considerar poner en uso este porcentaje de adición en concretos de mediana y baja resistencia.

Las muestras adicionadas con 20% de bagazo de caña de azúcar (20%CBCA) alcanzaron una resistencia de 14,72Mpas, lo que significa que logró el 61,32% de la resistencia de diseño, con lo que se registra una disminución de resistencia con respecto a la alcanzada por la muestra con un 15% de adición de ceniza de bagazo de caña y con respecto a la muestra adicionada con un 20% de ceniza volante, no es recomendable realizar esta adición para concretos de alta y mediana resistencia.

Las muestras de concreto adicionadas con 5% de cenizas, a pesar de no igualar la resistencia alcanzada por las muestras patrón MP1 y MP2, alcanzaron una resistencia superior a la resistencia de diseño, que es de 24 Mpa, es decir, la muestra adicionada con ceniza volante 5%CV alcanzó una resistencia de 26,2Mpas y la muestra adicionada con ceniza bagazo de caña alcanzó una resistencia de 26,1Mpas, para este caso ambas cenizas cumplieron con la resistencia esperada, con lo cual se puede determinar que el porcentaje de adición óptimo es el de 5% .

Las muestras que presentan un aumento progresivo de resistencia a los 7, 14 y 28 días son las muestras en las que se reemplazó el 15% y el 20% de ceniza volante (15%CV y 20%CV) y las muestras adicionadas con 5% 10% y 15% de bagazo de caña (5%CBCA, 10% CBCA y 15%CBCA), con lo cual se establece que estas muestras ofrecen de cierta forma confiabilidad, ya que esta es la misma tendencia de crecimiento tradicional, es decir, la que presentan las muestras patrón (MP1 y MP2).

La preparación de concreto utilizando cenizas de bagazo de caña de azúcar y cenizas volantes (en el porcentaje óptimo encontrado), representa una economía del orden del 0,71% y 0,68%, respectivamente, por metro cubico de concreto; para un 10% de cenizas bagazo de caña y cenizas volantes, representa una economía del orden de 1,41% y 1,36%, respectivamente, lo cual representa un beneficio adicional al ambiental.

Capítulo 7. Recomendaciones

Considerando que la calidad de los concretos diseñados y elaborados con adiciones de ceniza volante y ceniza de bagazo de caña de azúcar, depende de la durabilidad que estos desarrollen y considerando que durabilidad, se define según la norma ISO 15686:2000 como "la capacidad de mantener en servicio un producto, componente, conjunto o construcción, durante un tiempo especificado", lo que suele denominarse como "periodo de vida útil". Estos requerimientos se refieren fundamentalmente a tres parámetros: resistencia mecánica, estabilidad de volumen y durabilidad química; Se recomienda realizar estudios mas completos en los cuales se estudien y analicen los parámetros de estabilidad de volumen y durabilidad química, ya que para efectos de esta tesis, solo se estudió y analizó la resistencia mecánica que ofrecen los concretos diseñados con adiciones de minerales puzolánicos.

De acuerdo con Truzilewicz (2013), y lo establecido en su tesis doctoral DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ALUMINA REACTIVA DE LAS ADICIONES PUZOLANICAS NATURALES Y ARTIFICIALES, POR TERMOGRAVIMETRIA Y POR EL MÉTODO DE RIETVELD, "Toda adición puzolánica de cualquier origen, posee una parte, generalmente la mayor, amorfa, y otra, generalmente la menor, cristalina. Además, la parte amorfa es la que más la caracteriza" se recomienda realizar estudios mediante la implementación de un método de análisis cuantitativo, para determinar los componentes de los minerales amorfos y así caracterizar las cenizas como es debido y poderles asignar una clasificación específica y de mayor confiabilidad para su uso en la construcción.

Se recomienda realizar los análisis de resistencia a la compresión con cenizas de bagazo de caña puras, es decir, producto de la quema del bagazo de caña únicamente, para obtener una mayor precisión en los resultados sobre su composición mineralógica, ya que para efectos de esta tesis se tomaron las cenizas de bagazo de caña tal cual como son almacenadas en los trapiches paneleros, sin tener la total seguridad de que las cenizas resultantes eran obtenidas de la quema del bagazo únicamente, ya que es sabido que en ocasiones se le adicionan otros materiales con el fin de iniciar rápidamente la combustión.

De acuerdo con los resultados de resistencia a la compresión obtenidos, se recomienda realizar nuevos estudios usando porcentajes de adición alternos con valores que oscilen entre el 5% y el 10%.

Considerando que en la realización de esta tesis se analizaron las resistencias en un tiempo de curado de 28 días, de acuerdo con Ríos Eduardo y lo concluido en su tesis: **Empleo de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) como Sustituto Porcentual del Agregado Fino en la Elaboración de concreto Hidráulico**, "... El concreto con un 5% de CBCA a los 60 días desarrolló una resistencia casi a la de diseño" y a Hernandez Ivan en su tesis: **Efectos de una puzolana de desperdicios agrícolas y el tiempo de curado en la corrosión del ferrocemento**, que concluyó que "... a edades tardías de 90 días se obtiene una resistencia similar a la obtenida con el mortero elaborado solamente con cemento y a la edad de 100 días de curado la muestra de mortero con CCA rebosó en un 33.18% de resistencia a compresión a la muestra de control", se recomienda analizar resistencias en tiempos de curados superiores, es decir, a 56 días y hasta 112 días.

Se recomienda al elaborar las muestras, tener en cuenta la trabajabilidad, es decir analizar los posibles cambios que se puedan generar en el manejo y utilización de los porcentajes de las adiciones puzolánicas.

Con la finalidad de solucionar el problema de la reacción puzolánica tardía, se debe aumentar la superficie específica, por lo que se debe trabajar con el material que pasa por el tamiz No 350 en lugar del que pasa el No 200, para incrementar su finura y garantizar un alto índice de actividad puzolánica con lo que se obtendrán resultados más exactos y confiables.

Lista de referencias

- Lorca Aranda, P. (2014). Efecto de la adición de hidróxido cálcico sobre mezclas con alta sustitución de cemento por ceniza volante. Proyecto de grado (Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia.
- Pérez, J. & Ribero, R. (2008). Evaluación de la capacidad cementante de la ceniza de caña y ceniza volante para suelos granulares limpios. (Tesis pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Colombia.
- México Montes García, P. Artículo de ciencia. En: Periódico Amazings noticias de la ciencia y la tecnología.: (14 febrero, 2014). Recuperado el 17 de julio de 2015 en <http://noticiasdelaciencia.com/not/9573/bagazo-de-cana-posible-componente-de-concreto-hidraulico/>
- Niño Hernandez, J. R. Tecnología del concreto – Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas. Tercera edición. Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, Asocreto, 2010. ISBN 978-958-8564-03-6.
- Nistal Cordero, Á. F, Retana Maqueda, M.J. y Ruiz A, T. (2012).tecnología y medio ambiente. Revista Tecnología y desarrollo. Vol., X p. 5.
- Valderrama, C.P, Torres Agredo, J & Mejía De Gutiérrez, R. (2011).Características de desempeño de un concreto adicionado con cenizas volantes de alto nivel de quemados. Ingeniería e investigación. Vol., 31. No.1. 39-46.
- Burgos, D M, Angulo, D E. & Mejía De Gutiérrez, R. (2012) Durabilidad de morteros adicionados con cenizas volantes de alto contenido de carbón. En: Rev. LatinAm. Metal. Mat. 32 (1): 61-70
- Torres Rivas, B.J., Gaitán Arévalo, J.R., Espinoza Pérez, L.J & Escalante García, J.I., (2014). Valorización de ceniza de bagazo de caña de la industria azucarera Nicaragüense como sustituto parcial al cemento Portland. (Tesis pregrado). Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Nicaragua.
- Freites, A., Osuna, M., Rodríguez, H., Romero, M. & Salazar, D. (2010) Estudio de la resistencia a compresión en mezclas de concreto, sustituyendo el 10% en peso de cemento por cenizas de las hojas secas de la palma chaguaramo como material puzolánico. (Tesis pregrado). Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

- Vidal, D, Torres, J. & González, L. (2014). Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: Estudio preliminar. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Colombia.
- Santaella, L.E & Salamanca, C.R (2004). Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante (Termopaipa) y agua constante. (Tesis pregrado). Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Colombia.
- Fernández, S.E. (2009). Evaluación de concretos puzolánicos elaborados con contenido ceniza de hoja de maíz para uso estructural. (Tesis pregrado). Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
- Cabrera, S. & Díaz L, J.M. (2010). Evaluación del efecto de la adición de cenizas volantes producto de la incineración del bagazo de caña de azúcar en mezclas de concreto de bajas a medias resistencias como sustitución parcial del cemento. (Tesis pregrado). Escuela de Ingeniería Civil. Caracas.
- Mella Stappung, A. (2004). Estudio, caracterización y evaluación de puzolana locales en la masa cerámica del ladrillo. (Tesis pregrado). Universidad Del Bio Bio. Chile.
- Suárez Silgado. S.S (2010). Mezclas binarias y ternarias basadas en cenizas volantes. Influencia del activador sobre la formación de fases y resistencias mecánicas. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Catalunya. España.
- División político-administrativa de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Recuperado el 20 de septiembre. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Norte_de_Santander
- Norte de Santander. Biblioteca Luis Ángel Arango. 15 de marzo de 2012. Recuperado el 20 de septiembre de 2015 en https://es.wikipedia.org/wiki/Norte_de_Santander
- Departamento del Norte de Santander. Toda Colombia.com. 7 de diciembre de 2012. Recuperado el 20 de septiembre de 2015 en: <http://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/norte-de-santander.html>
- Reseña histórica. Finagro. Recuperado el 20 de septiembre de 2015. https://es.wikipedia.org/wiki/Norte_de_Santander.
- Pronto websiteviv L. (2015). Proyecto Ocaña la tierra que ama. Recuperado el 10 de septiembre de Disponible en (<http://viveocana.com/historia/>)

Ocaña Norte de Santander. Recuperado el 10 de septiembre de 2015. Disponible en http://ocananortedesantander.gov.co/informacion_general.shtml#geografia

Norte de Santander. Recuperado el 10 de septiembre de 2015. Disponible en ([https://es.wikipedia.org/wiki/San_Cayetano_\(Norte_de_Santander\)](https://es.wikipedia.org/wiki/San_Cayetano_(Norte_de_Santander))).

Termotasajero. Recuperado el 10 de septiembre de 2015. Disponible en http://www.termotasajero.com.co/page/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=32

Convención. Recuperado el 10 de septiembre de 2015. Disponible En [https://es.wikipedia.org/wiki/Convenci%C3%B3n.\(Norte_de_Santander\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Convenci%C3%B3n.(Norte_de_Santander)).

Latorre, G e Hipólito. Perfil de un Pueblo, apuntes sobre Convención, N.S

Ropero Angarita, W. (2014) Caracterización físico-mecánica de los agregados pétreos en el municipio de Ocaña. O. (Tesis pregrado). Universidad Francisco De Paula Santander, Ocaña.Colombia.

Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR 2010.

Amaris Martinez, N. (2009). Uso del silicato de sodio como adición natural del concreto. Bogotá D.C (Tesis pregrado). Universidad De La Salle.Colombia.

Cantillo Mier, Y. A. (2013). Elaboración de una guía de modelos y procedimientos para el diseño de elementos estructurales acorde a la nsr-10 colombiana - primera parte – vigas de concreto reforzado, Barranquilla, (Tesis pregrado).universidad de la costa facultad de ingeniería. Colombia.

Moreno Trujillo, L. (2012). Síntesis y caracterización estructural de materiales de la familia de $Ca_{1-x}Mn_2O_4$, ($X=0, 0.1$ Y 0.2). (Tesis pregrado).Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería Físico química. Colombia.

Barrera Quijano, J.C. (2010) Análisis del comportamiento mecánico del cemento hidráulico adicionado con cenizas volantes provenientes de la central de generación térmica termopaipa. Bucaramanga. (Tesis pregrado) Universidad Industrial de Santander.Colombia.

García Calderón, J. A. (2010) Determinación de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto (caso prevesa). Bucaramanga. (Tesis pregrado) Universidad Pontificia Bolivariana.Colombia.

- Sánchez de G, D. (2000) Tecnología del Concreto y el Mortero. Santa Fe de Bogotá. Colombia.
- Gutierrez de L. Libia. (2003) El concreto y otros materiales para la construcción. Segunda edición. Manizales. (ISBN 958-9322-82-4)
- Parra Maya, K.M. & bautista Moros, M.A. (2010) Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros. Bucaramanga. (Tesis pregrado)Universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga. Colombia.
- Suarez, S & Frenandez, L. (2010) Mezclas binarias y ternarias basadas en cenizas volantes. Influencia del activador sobre la formación de fases y resistencias mecánicas. Barcelona, (Maestria). Universidad Politécnica de Catalunya. España.
- La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento portland en la durabilidad del hormigón: propiedades físicas, difusión del ión cloruro y del dióxido de carbono. (2008). Anales de Mecánica de la Fractura 25, Vol. 2 Recuperado el 8 octubre, 2015 en:<http://www.gef.es/Congresos/25/PDF/8-1.pdf>
- Caracterizacion de las cenizas volantes. (2011) Recuperado el 2 de octubre, de 2015 en <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6986/06Capitulo2.pdf?sequence=6>
- Guirado, Galí, S., "Quantitative Rietveld analysis of CAC clinker phases using synchrotron radiation", Cem Concr Res, 36, p. 2021-2032 citado por Truzilewicz L N. (2013) .DDeterminacion del contenido de alumina reactiva de las adiciones puzolanicasnaturales y artificiales, por termogravimetria y por el método de Rietveld. (Tesis Doctoral.) Universidad Politecnica De Madrid. Madrid.
- Torres Agredo, J, Mejía, R., Escandon, C.E. & Gonzales, L.O. (2014) .Caracterización de ceniza de bagazo de la caña de azúcar; como material suplementario del cemento Portland. Ingeniería e Investigación; Vol. 34, núm. 1 5-10 2248-8723 0120-5609. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/38948/#sthash.t3t6oOPI.dpuf>
- Hernández J, U. (2011) Comportamiento mecánico y físico del mortero a base de CBCA como árido en aplanados en muros. Xalapa. (Especializacion). Universidad Veracruzana. Mexico.
- Behar Ribero, D. (2008) Metodología de la Investigación. Editorial Shalom.
- Termodinámica. Recuperado el 3 de Octubre de 2015 en (<http://termodinamicaudingelectricas.blogspot.com.co/2012/05/plantas-termoelectricas-localizadas-en.html?m=1>)

- Quezada, W. (2015) Guía Técnica de Agroindustria Panelera. p. 46; citado por Quintero, J. Balance energético en la hornilla panelera tradicional con el uso de bagazo de caña en el trapiche “san Antonio” en convención, norte de Santander. Ocaña. (Tesis pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Colombia.
- Greño, F. (2005) “Costes externos de la gestión de residuos urbanos”, Residuos, Volumen 82, enero-febrero, pp. 54-64
- Truzilewicz. L N. (2013).Determinacion del contenido de alumina reactiva de las adiciones puzolanicasnaturales y artificiales, por termogravimetria y por el método de Rietveld. (Tesis Doctoral). Universidad Politecnica De Madrid. Madrid.