

DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I. Y EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



ANDRÉS FELIPE ROMERO QUINTERO.
JOHAN CAMILO HERNÁNDEZ RICO.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2014

DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I. Y EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



AUTORES:

ANDRÉS FELIPE ROMERO QUINTERO.
JOHAN CAMILO HERNÁNDEZ RICO.

Trabajo de Grado tipo INVESTIGACIÓN (IN)

DIRECTOR TRABAJO DE GRADO:

Ingeniero Civil MSc. Humberto Valbuena Leguízamo

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2014

Nota de aceptación:

Firma del jurado # 1

Firma del Jurado # 2

Firma del director

Bogotá D.C., 03 de Octubre de 2014

DEDICATORIA

A nuestros padres y hermanos por su colaboración y comprensión incondicional, en los momentos que más los necesitábamos para el desarrollo de nuestras metas y más en esta nueva etapa de obtención de un título de Ingeniero Civil. No solo los amamos profundamente, sino que los admiramos por su gran labor como familia, a pesar de que a veces tuviéramos limitaciones; siempre nos demostraron ese aprecio que necesitábamos para seguir y salir adelante con todo lo que nos proponíamos hacer.

A Dios mil gracias por nunca abandonarnos en los momentos buenos y malos que hemos vivido y que de ti hemos aprendido que la vida está llena de metas y que nunca hay que darse por vencido fácilmente, frente a las primeras dificultades que tengamos. También te agradecemos por iluminarnos en los momentos de oscuridad que pudimos haber tenido y por último por habernos dejado compartir momentos felices entre nosotros mismos y con la compañía de nuestras familias.

A nuestros amigos más cercanos, gracias por la colaboración y apoyo que nos dieron durante nuestra vida universitaria; donde compartimos alegrías y tristezas que nos dejaron como enseñanza el valor de la amistad y el respeto como seres humanos; vale la pena seguir cultivando una gran amistad y lazos de fraternidad que conlleven a un mejor futuro para nosotros y poder mejorar el campo de la infraestructura del país.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Santo Tomás y la Facultad de Ingeniería Civil, por darnos la oportunidad de pertenecer a una gran institución, de la cual nos sentimos muy orgullosos, donde pudimos ampliar nuestras capacidades cognitivas y personales, con ayuda de todas las herramientas posibles para un mejor aprendizaje y formación de profesionales íntegros.

Al Magister Humberto Valbuena Leguízamo, por brindarnos el apoyo y colaboración para desarrollar y culminar el proyecto de grado y vincularnos al semillero de investigación de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás donde fuimos auxiliares de investigación y donde ganamos experiencia muy valiosa con sus consejos y por los conocimientos sobre la carrera, especialmente en el campo de los materiales de construcción de obras civiles.

Al Ingeniero Víctor Mendoza, por dedicarnos parte de su tiempo como par académico, para la revisión de nuestro trabajo de grado y por sus consejos para mejorar en nuestra vida profesional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
MARCO TEÓRICO	6
1. EL CONCRETO HIDRÁULICO	7
1.1. GENERALIDADES	7
1.2. EL CONCRETO FRESCO	7
1.3. EL CONCRETO ENDURECIDO	8
2. COMPONENTES DEL CONCRETO	10
2.2. GENERALIDADES	10
2.3. LOS AGREGADOS	10
2.3.1. PROPIEDADES QUÍMICAS	12
2.3.2. PROPIEDADES FÍSICAS	12
2.3.3. PROPIEDADES MECÁNICAS	14
2.3.4. FUNCIONES	14

2.4. CEMENTO	15
2.4.1. DEFINICIÓN	15
2.4.2. PROPIEDADES	16
2.4.3. FUNCIONES	18
2.5. AGUA	18
2.5.1. CARACTERÍSTICAS	18
2.5.2. FUNCIONES	22
2.6. ADITIVOS	22
2.6.1. GENERALIDADES	22
2.6.2. FUNCIONES	25
3. LAS CENIZAS VOLANTES	26
3.2. DEFINICIÓN	26
3.3. PROPIEDADES FÍSICAS	26
3.3.1. COLOR	26
3.3.2. FORMA	27
3.3.3. FINURA	27
3.3.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA	27
3.4. PROPIEDADES QUÍMICAS	28
3.4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA	28

3.4.2. PÉRDIDAS POR IGNICIÓN	29
3.5. USOS DE LAS CENIZAS VOLANTES EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	29
3.6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO	30
4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO A.C.I PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN	35
4.2. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO	35
4.3. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)	36
4.4. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE	37
4.5. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA	38
4.6. ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO (a/c)	39
4.7. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO	41
4.8. VERIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA	41
4.8.1. MÉTODO A.C.I	43
4.8.2. MÉTODO DE LA ROAD NOTE LABORATORY (RNL) PARA OPTIMIZAR LA GRANULOMETRÍA	45
4.9. AJUSTE DE LA CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO DEBIDO A LA HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	49
4.10. AJUSTE DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA	51

5. OTROS MÉTODOS PARA DOSIFICAR EL CONCRETO HIDRÁULICO.....	53
5.2. DOSIFICACIÓN POR VOLUMEN PARA MEZCLAS DE CONCRETO ...	53
5.3. MÉTODO SEGÚN DE LA PEÑA.....	54
5.4. MÉTODO DISEÑO RACIONAL DE MEZCLA DE HORMIGÓN – MÉTODO ICPA	54
5.5. MÉTODO NUEVA TÉCNICA DE DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES RECICLADOS: MÉTODO DEL VOLUMEN DE MORTERO EQUIVALENTE (E.M.V)	55
6. COMPARACIÓN DEL MÉTODO A.C.I CON LOS OTROS MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO	57
7. METODOLOGÍA.....	58
7.2. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO	59
7.2.1. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.....	61
7.2.2. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN).....	61
7.2.3. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE	61
7.2.4. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO.....	62
7.2.5. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (a/c)	62
7.2.6. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO	62
7.2.7. VERIFICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS	63

7.2.8. AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS PARA LA MEZCLA NÚMERO 1.....	68
7.2.9. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO 70	
7.2.10. REEMPLAZO DE CEMENTO POR CENIZAS VOLANTES	70
7.3. CONTROL DE LA HUMEDAD DE LOS MATERIALES PÉTREOS.....	72
7.3.1. AJUSTE DE LA HUMEDAD DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA NÚMERO 2.....	72
7.3.2. AJUSTE DE LA HUMEDAD DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA NÚMERO 3.....	73
7.3.3. AJUSTE DE LA HUMEDAD DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA NÚMERO 4.....	75
7.4. CONTROL DE CILINDROS DEL PROYECTO	77
7.4.1. PRIMERA MEZCLA CON EL PRIMER AJUSTE DE HUMEDAD.....	77
7.4.2. SEGUNDA MEZCLA CON EL SEGUNDO AJUSTE DE HUMEDAD .	80
7.4.3. TERCERA MEZCLA CON EL TERCER AJUSTE DE HUMEDAD	83
7.4.4. CUARTA MEZCLA CON EL CUARTO AJUSTE DE HUMEDAD	85
7.5. FALLA DE CILINDROS A COMPRESIÓN	88
8. RESULTADOS	95
8.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO .	95

8.3. CARBÓN Y CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO	99
8.3.1. ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS	99
9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	102
9.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO	
102	
9.3. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS CENIZAS	
VOLANTES Y DEL CARBÓN DE TERMOTASAJERO	103
10. CONCLUSIONES	105
11. RECOMENDACIONES	106
12. BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXOS	110
ANEXO A: REGISTRO FOTOGRÁFICO	111
ANEXO B: RESULTADOS ASOCRETO	130

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS SEGÚN SU TAMAÑO	11
TABLA 2.2. COMPUESTOS DEL CEMENTO	16
TABLA 2.3. CONCENTRACIÓN TOLERABLE DE IMPUREZA EN AGUA DE MEZCLA	19
TABLA 2.4. EFECTOS NEGATIVOS SOBRE EL CONCRETO, SI SE SUPERAN LOS VALORES LÍMITES PERMISIBLES DE SUSTANCIAS EN EL AGUA	21
TABLA 2.5. CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA CONCRETO	24
TABLA 3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS VOLANTES	28
TABLA 3.2. ANÁLISIS QUÍMICO DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO	30
TABLA 3.3. ANÁLISIS PRÓXIMO DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO, EN MUESTRA SECADA AL AIRE	31
TABLA 3.4. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE LAS CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO	31
TABLA 3.5. DENSIDAD Y FINURA BLAINE DE LAS CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO	32
TABLA 3.6. ANÁLISIS PRÓXIMO DEL CARBÓN DE TERMOTASAJERO, EN MUESTRA SECADA AL AIRE	32
TABLA 3.7. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS EN EL CARBÓN TRITURADO DE TERMOTASAJERO	33
TABLA 3.8. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS CENIZAS VOLANTES (CARBÓN) DE TERMOTASAJERO, (750 °C), % MASA	34

TABLA 4.1. VALORES DE ASENTAMIENTO RECOMENDADOS PARA DIVERSAS CLASES DE CONSTRUCCIÓN	36
TABLA 4.2. VALORES RECOMENDADOS DE TMN SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN	37
TABLA 4.3. VALORES RECOMENDADOS PARA EL CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN	37
TABLA 4.4. REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO	38
TABLA 4.5. RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y ALGUNOS VALORES DE LA RELACIÓN A/C.....	40
TABLA 4.6. RECOMENDACIONES GRANULOMÉTRICAS PARA AGREGADO GRUESO, SEGÚN LAS NORMA ASTM C33 (NTC 174)	42
TABLA 4.7. RECOMENDACIONES GRANULOMÉTRICAS PARA AGREGADO FINO, SEGÚN LA NORMA ASTM C33 (NTC 174).....	43
TABLA 4.8. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO (B/B ₀)	44
TABLA 4.9. PROPORCIONES DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA EN PESO Y EN VOLUMEN PARA 1,00 m ³ DE CONCRETO	45
TABLA 4.10. GRANULOMETRÍA DE FULLER Y THOMPSON	46
TABLA 4.11. RANGO GRANULOMÉTRICO RECOMENDADO PARA EL MÉTODO GRÁFICO	47
TABLA 5.1. VALORES RECOMENDADOS PARA HACER 1 m ³ DE CONCRETO, MÉTODO VOLUMÉTRICO	53
TABLA 7.1. GRANULOMETRÍA A COMPARAR CON LAS ESPECIFICACIONES ASTM C33	64

TABLA 7.2. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS Y RANGOS GRANULOMÉTRICOS RECOMENDADOS	65
TABLA 7.3. GRANULOMETRÍA OPTIMIZADA EN EL PROYECTO	67
TABLA 7.4. MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO DEL PROYECTO.....	70
TABLA 7.5. TABLA RESUMEN REEMPLAZO DE CEMENTO POR CENIZAS VOLANTES	71
TABLA 7.6. MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO, CON SU RESPECTIVO AJUSTE DE HUMEDAD – NÚMERO 2	73
TABLA 7.7. MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO, CON SU RESPECTIVO AJUSTE DE HUMEDAD – NÚMERO 3	75
TABLA 7.8. MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO, CON SU RESPECTIVO AJUSTE DE HUMEDAD – NÚMERO 4	76
TABLA 7.9. CANTIDAD DE MATERIALES USADOS PARA EL PRIMER MEZCLADO	79
TABLA 7.10. CANTIDAD DE MATERIALES USADOS PARA EL SEGUNDO MEZCLADO	82
TABLA 7.11. CANTIDAD DE MATERIALES USADOS PARA EL TERCER MEZCLADO.....	85
TABLA 7.12. CANTIDAD DE MATERIALES USADOS PARA EL CUARTO MEZCLADO	88
TABLA 7.13. IDENTIFICACIÓN DE LOS CILINDROS DE PRUEBA.....	88
TABLA 7.14. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE PRUEBA.....	91
TABLA 8.1. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS PARA SU ANÁLISIS	95
TABLA 8.2. TABLA RESUMEN SOBRE LOS ANÁLISIS DE LAS CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO	100
TABLA 8.3. TABLA RESUMEN SOBRE EL ANÁLISIS DEL CARBÓN USADO EN LA PLANTA TERMOTASAJERO	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1. CURVAS DE REQUERIMIENTOS DE AGUA DE MEZCLADO	39
FIGURA 4.2. CURVAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN A/C	40
FIGURA 5.1. ESQUEMAS DE LOS VOLÚMENES DE UNA MEZCLA CONVENCIONAL Y OTRA POR EL MÉTODO E.M.V.	56
FIGURA 7.1. GRÁFICA DEL MÉTODO GRÁFICO	66
FIGURA 8.1. GRÁFICA DE LAS TENDENCIAS DE LOS CILINDROS A ESFUERZOS DE COMPRESIÓN	98

RESUMEN

Este trabajo se realizó con el fin de explicar el comportamiento en la resistencia a la compresión de mezclas de hormigón, cuando se adicionan las cenizas volantes de la planta termoeléctrica Termotasajero (Cúcuta – Norte de Santander), como reemplazo del cemento Pórtland.

Para el proyecto se diseñó la mezcla de concreto hidráulico, utilizando el método A.C.I. (American Concrete Institute), con la norma A.C.I. 211.1, basada en la norma ASTM C33, donde se explica el procedimiento para optimizar la granulometría en las mezclas de concreto. Se elaboraron noventa (90) cilindros con reemplazo en peso, de cemento por ceniza volante de Termotasajero, en los siguientes porcentajes: mezcla estándar o 0%, 10%, 20%, 25% y 30%, para las siguientes edades: 3 días, 7 días, 14 días, 21 días, 28 días y 60 días.

Para las pruebas de resistencia a la compresión se fallaron especímenes con ceniza volante y sin la inclusión de ellas. Para una mayor facilidad de correlación de los datos, se elaboraron tres (3) cilindros para cada edad, con su respectivo reemplazo de cemento por ceniza volante, incluyendo la mezcla estándar.

Se encontró que al aumentar la edad de las muestras de concreto sin reemplazo y con reemplazo, la resistencia a la compresión se incrementa. Además, al aumentar el porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante, la resistencia a la compresión disminuye, para todas las edades. También, se observó que a medida que el porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza aumenta, la mezcla absorbe mayor cantidad de agua; evidenciando una menor trabajabilidad.

El manejo de los inquemados cumple con los parámetros ambientales (resolución 0058 de 2002); pero para las mezclas de concreto, el porcentaje de carbón presente en las cenizas supera los límites máximos admisibles establecidos por la norma NTC 3493 (6%). La deficiencia de oxígeno que presenta la planta Termotasajero, para la combustión del carbón, contribuye en la presencia de inquemados en las cenizas volantes.

Los componentes químicos del cemento y del carbón no son compatibles, pues no generan una reacción química adecuada entre la sílice y la cal; por esta razón, al

aumentar los porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante, se incrementa el contenido de inquemados y se reduce la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto endurecido.

Del análisis de las propiedades del carbón, se determinó que es un carbón bituminoso, alto en volátiles C; de los ensayos realizados en muestras de cenizas volantes, se establece que clasifican como cenizas tipo F, con composición química de silicatos vítreos que contienen sílices y óxidos establecidos en la norma NTC 3493.

Se concluyó que al aumentar el contenido de ceniza volante en la mezcla, su resistencia baja por efectos de la presencia de inquemados y deficiencia en la adherencia con los otros materiales que componen la mezcla de concreto hidráulico.

PALABRAS CLAVES

Concreto, ceniza volante, cemento, resistencia a la compresión.

INTRODUCCIÓN

El concreto hidráulico es un material de gran uso en la construcción de obras civiles; compuesto por un material aglutinante (cemento Pórtland hidráulico), agregados pétreos (grava y arena), agua y en ocasiones aditivos.

El proyecto pretende investigar la influencia que ejercen las cenizas volantes de la planta termoeléctrica Termotasajero, en la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto hidráulico. Se necesita una óptima dosificación y una adecuada elección de los materiales, para que soporten las cargas a las que son sometidas las obras; existen métodos para dosificar los componentes del hormigón, que pueden ser empíricos, métodos basados en observación o por la experiencia que las personas ganan durante su constante contacto con el medio de los materiales de construcción y métodos teóricos.

El concreto se fabrica para que cumpla con criterios de durabilidad, resistencia y trabajabilidad; esto depende del control de calidad de los materiales, sus propiedades físico-químicas y mecánicas.

Las cenizas volantes son residuos de la combustión del carbón, que impactan nocivamente el medio ambiente; afectando la calidad del suelo, aire y agua. Su producción es masiva y exige disponibilidad de áreas de botadero. Teniendo en cuenta estos aspectos y considerando los beneficios que pueden aportar como material de construcción, se han realizado investigaciones a nivel mundial con el propósito de incrementar sus usos en el medio de la construcción, generando beneficios técnicos, ambientales y económicos.

En el desarrollo de esta investigación se cumplió con un plan de ensayos de laboratorio, para determinar la resistencia a la compresión de especímenes de concreto hidráulico, para mezcla estándar y mezclas con reemplazos de cemento por ceniza volante de Termotasajero.

JUSTIFICACIÓN

Esta propuesta de investigación se soporta en:

- La necesidad de identificar la influencia que ejercen las cenizas volantes de Termotasajero en la resistencia a la compresión de mezclas de concreto hidráulico.
- Teniendo en cuenta los elevados volúmenes de cenizas volantes residuos de la combustión del carbón utilizados en centrales termoeléctricas, es importante buscar alternativas para un eficiente uso de las mismas en proyectos civiles, que involucren el concreto como material de construcción, con beneficios técnicos, económicos y ambientales.
- El desarrollo de este proyecto es una oportunidad para aplicar los conocimientos del concreto, pero en mezclas adicionadas con residuos de la combustión del carbón, que anualmente son producidos como escoria que ambientalmente presentan efectos nocivos y que en la industria de la construcción, si se conocen sus propiedades pueden generar grandes beneficios.
- Existen evidencias nacionales e internacionales de grandes inversiones para la construcción, donde se involucran materiales que a corto y a mediano plazo presentan deterioro.

OBJETIVO GENERAL

Identificar la influencia de la cenizas volantes de Termotasajero en la resistencia a la compresión de mezclas de concreto hidráulico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y aplicar el método del A.C.I. (American Concrete institute) para el diseño de mezclas de hormigón.
- Identificar los porcentajes de reemplazo de cemento por ceniza volante que presentan mayor beneficio en la resistencia a la compresión, a través de los resultados de las pruebas de laboratorio.
- Articular este proyecto con el proyecto de investigación aprobado en la Facultad de Ingeniería Civil, cuyo título es “Influencia de las cenizas volantes de Termotasajero en la resistencia a la compresión de mezclas de concreto hidráulico. Estudio petrográfico”.
- Fortalecer los semilleros y proyectos de investigación en la Facultad de Ingeniería Civil, integrando el pregrado con la Maestría en Infraestructura Vial.
- Realizar una revisión del estado del arte de los métodos de diseño de mezclas de concreto hidráulico, utilizados en Colombia.
- Comparar las metodologías utilizadas para diseñar las mezclas respecto a los procedimientos de cálculos, manejo de gráficas, cuadros y alternativas para dosificación de agregados gruesos y agregados finos.
- Identificar las ventajas que ofrece el método A.C.I. (American Concrete Institute) para el diseño de mezclas de hormigón.

MARCO TEÓRICO

El Hormigón o concreto hidráulico es la mezcla de un material aglutinante (Cemento Pórtland), un material de relleno (agregados), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un sólido compacto y después de cierto tiempo puede soportar grandes esfuerzos de compresión.

Un material que se puede adicionar al concreto son las cenizas volantes; partículas muy finas, vitrificadas y esféricas, residuo de la combustión del carbón utilizado en centrales termoeléctricas.

La literatura existente explica la influencia que ejerce el uso de las cenizas volantes en las mezclas de hormigón. En general, se plantean efectos como:

Las cenizas poseen acción puzolánica, disminuyen el calor de hidratación, mejoran la manejabilidad del concreto, aumentan la resistencia a la compresión, etc.

Arango (2003), Valbuena (2006), y otros investigadores como Winslow y Lin, Khatri y Sirivivatnanon, Snyder y Harlan y Vargas han indicado como resultado de sus investigaciones, que no todas las cenizas volantes producto de las termoeléctricas generan beneficios técnicos, ya que influyen aspectos como tipo de carbón y procedimientos industriales en cada termoeléctrica.

Ya que algunas cenizas constituyen un material de importancia, aprovechable en el sector de la construcción, y si se considera el gran volumen producido en las termoeléctricas, surge la necesidad de investigar en detalle estos materiales.

1. EL CONCRETO HIDRÁULICO

El concreto hidráulico se ha convertido en uno de los materiales más utilizados en la construcción a nivel mundial, por su trabajabilidad, resistencia, durabilidad y facilidad para conseguir sus componentes. Sus propiedades físicas, químicas y mecánicas dan un material homogéneo que puede resistir grandes esfuerzos a la compresión y ser utilizado en elementos estructurales.

1.1. GENERALIDADES

Este material se elabora para que en cierto tiempo sea capaz de soportar principalmente esfuerzos de compresión; generalmente se utiliza en estructuras de concreto armado en unión con el acero, para formar una asociación que permita que las estructuras resistan grandes cargas a tensión y a compresión.

El concreto se produce a partir de un diseño de dosificación que consiste en la selección de materiales (cemento, agregados, agua y aditivos), para producir una mezcla económica, que en estado fresco se deje manejar y que en estado endurecido sea un material durable y resistente.

1.2. EL CONCRETO FRESCO

Es el estado del concreto donde todos los materiales (cemento, agregado fino, agregado grueso, agua, aditivos y aire) se unen en una mezcla homogénea y manejable para ser colocada en su destino final. Esta propiedad permite que se llenen adecuadamente las formaletas y los espacios alrededor del acero de refuerzo o armadura.

Las propiedades que se tienen en cuenta en el concreto fresco son:

- Manejabilidad: es la propiedad del concreto que determina el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los materiales que componen la mezcla de concreto y el encofrado o refuerzo.

- **Compacidad:** esta propiedad describe la facilidad con la que la mezcla fresca es compactada.
- **Contenido de aire:** permite un requerimiento menor de agua en la mezcla de concreto.
- **Contenido de agua y cemento:** sirve para determinar el desempeño del concreto endurecido; es decir, la resistencia y la durabilidad.
- **Consistencia:** es la capacidad del concreto recién mezclado, para fluir.
- **Sangrado:** es la evaporación del agua en el concreto mezclado, provocado por el asentamiento de los materiales sólidos.
- **Cohesión:** esta propiedad describe la capacidad que tiene la mezcla de concreto fresco para mantenerse como una masa estable y sin segregación.
- **Segregación:** determina el grado de descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes, cuando el agregado grueso tiende a separarse de la pasta.

1.3. EL CONCRETO ENDURECIDO

Es el estado del concreto después del fraguado, donde la mezcla gana resistencia y toma la forma a la cual se moldeó y es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

Las propiedades del concreto endurecido son:

- **Resistencia:** es la habilidad para soportar esfuerzos.

- Durabilidad: es la habilidad para resistir la acción del medio ambiente; los ataques químicos, la abrasión y a otras condiciones de servicio.
- Permeabilidad: es la capacidad de permitir el paso de un fluido (líquido o gas) a través del concreto.
- Cambios volumétricos: es la principal causa de agrietamiento en la mezcla y esto se debe a los cambios de volumen que experimenta durante su vida útil.
- Acabado: esta propiedad muestra la apariencia natural de la mezcla, cumpliendo las funciones de resistencia y de dar una apariencia agradable al diseño de la obra.
- Masa unitaria: esta característica debe ser igual a la masa del concreto recién mezclado, menos el agua evaporable.

2. COMPONENTES DEL CONCRETO

2.2. GENERALIDADES

Los componentes principales o materia prima para hacer concreto son: Agregados (pueden ser finos o gruesos), cemento (comúnmente es Pórtland), agua (especialmente limpia) y en ocasiones aditivos. Estos materiales cuando se mezclan hacen que el concreto se convierta en una mezcla homogénea y resistente, con el fin de usarlo en obras civiles, que van desde proyecto de cimentación, represas o edificaciones simples como una casa, o complejas como edificios de varios pisos de altura.

2.3. LOS AGREGADOS

Los agregados son partículas pétreas que dan una resistencia mecánica y textura superficial, que garantiza la adherencia a la pasta de cemento; controlan los cambios volumétricos que comúnmente se presentan durante el fraguado del concreto.

Generalmente los agregados constituyen más del setenta (70) por ciento del material en un metro cúbico de concreto; por tal motivo disminuyen el costo de las mezclas.

La calidad de los agregados depende del lugar de origen, de su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. Los orígenes de los agregados involucran condiciones específicas de temperatura y presión, así como también procesos de meteorización, erosión, etc.

Estos materiales se pueden extraer de depósitos aluviales (gravas y arenas de río) y de canteras de varias rocas naturales. También existen agregados artificiales que se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro entre otros.

Los agregados se clasifican según su procedencia, su tamaño y su densidad. La clasificación de los materiales según su origen o procedencia no implica que las rocas se puedan emplear para un determinado propósito y por eso es conveniente

que se realicen ensayos de laboratorio que cumplan con las normas de cada país. La clasificación más usada a nivel mundial es por el tamaño del agregado (granulometría), el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros. La tabla 2.1. NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo Rene. muestra una clasificación general del material. La clasificación según su densidad, lo hace en materiales naturales o artificiales conforme a la relación de la cantidad de masa con el volumen que ocupa el material.

TABLA 2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS SEGÚN SU TAMAÑO

Tamaño de las partículas en mm (Tamiz)	Denominación corriente	Clasificación como agregado para concreto
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina
0,002 – 0,074 (No. 200)	Limo	
0,075 – 4,76 (No. 200) – (No. 4)	Arena	Agregado fino
4,76 – 19,1 (No. 4) – (3/4")	Gravilla	Agregado grueso
19,1 – 50,8 (3/4") – (2")	Grava	
50,8 – 152,4 (2") – (6")	Piedra	
> 152,4 (6")	Rajón Piedra bola	

NIÑO HERNANDEZ, Jairo René. Tecnología del concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

Se deben evitar los agregados que tengan formas alargadas y/o aplanadas, porque dichas formas suelen ser muy quebradizas y perjudican la trabajabilidad de la mezcla de concreto en estado fresco. Además, se advierte que la textura de los materiales debe ser rugosa para facilitar la adherencia con la pasta de cemento y evitar grandes vacíos de aire incluidos en la mezcla.

Las propiedades de los agregados tanto finos como gruesos dependen en gran parte de la roca origen. Los criterios para la elección del material pétreo son: el carácter de trabajo; que es la utilidad del material para los diferentes tipos de obras. Las condiciones climáticas; que definen las condiciones mineralógicas y de solidez de los agregados en medios agresivos. Los factores que afectan la

durabilidad en condiciones de abrasión y erosión y la economía que depende de factores directos (extracción, mano de obra, transporte, etc.) e indirectos (se basa más en la trabajabilidad del concreto cuando la mezcla está en estado fresco y la resistencia y durabilidad cuando el concreto se encuentra en estado endurecido).

2.3.1. PROPIEDADES QUÍMICAS

El uso de materiales pétreos en la construcción exige la evaluación de parámetros químicos para evitar reacciones en la masa del concreto. Por ejemplo, evitar las sustancias agresivas y componentes geológicos o mineralógicos reactivos, como la sílice amorfa.

Una reacción favorable es la Eritaxia, propiedad química que da mejor adherencia entre ciertos agregados calizos y la pasta de cemento, a medida que transcurre el tiempo.

La reacción álcali-agregado, se produce entre los óxidos del cemento con algunos agregados, y produce expansiones del material, destrucción de la masa y la pérdida de resistencia del agregado. Las rocas que generalmente producen esta reacción son las que contienen sílice; como el pedernal, caliza y dolomitas o las volcánicas ácidas e intermedias, como las riolitas, latitas, dacitas, andesitas y tobas.

2.3.2. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas tienen mayor importancia en el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto, porque de ellas depende la resistencia y la durabilidad de la mezcla en estado endurecido; estas propiedades son: granulometría, densidad, porosidad, masa unitaria, forma y textura de las partículas.

La granulometría es la composición en porcentajes de los diversos tamaños de agregados en una muestra. Esta propiedad indica la cantidad de material en peso que es retenida parcialmente de cada tamaño y se muestra en una escala de mayor a menor tamaño. Esta propiedad se hace con un ensayo de granulometría que consiste en pasar el material por una serie de tamices, que tienen aberturas cuadradas y un número de espacios (de igual cantidad tanto horizontal como

vertical) por los que pasa el material, para finalmente obtener pesos en porcentajes del material retenido por cada malla o tamiz.

Para obtener una buena mezcla de concreto, es necesario que los materiales pétreos tengan una adecuada granulometría que maximice la masa unitaria, puesto que esta condición controla el volumen de espacios entre las partículas dentro de la mezcla.

La forma del agregado depende mucho del tipo de roca que lo originó, ya que para ciertas rocas resulta determinante la laminación y foliación, las posibles fracturas y su estado de meteorización. Por esta razón es recomendable que para concretos se haga una previa trituración del material, para que los agregados tengan las formas ideales que permitan obtener adecuada resistencia y que generen menos vacíos de aire.

La textura de los agregados toma una gran importancia por su influencia en la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento fraguado y también permite que la mezcla pueda ser más trabajable en estado fresco.

La densidad depende directamente de la roca madre de donde es extraída y ésta se define como la relación entre la masa y el volumen.

La porosidad del agregado influye en la resistencia del material pétreo; por lo tanto, entre menos poroso sea, el agregado tendrá más resistencia mecánica.

En la mezcla de concreto se necesita que el material pétreo a utilizar tenga menos absorción, para que genere una mezcla compacta y de mejor calidad.

La masa unitaria es el grado de acomodamiento de las partículas de la mezcla de concreto y debe ser conocida para seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de concreto; es decir, entre menor espacio exista entre partículas la mezcla será menos porosa.

2.3.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas permiten diferenciar los materiales que componen la mezcla; ya sea por su composición, estructura o comportamiento, cuando estos reaccionan a efectos físicos y químicos. Las propiedades mecánicas describen los comportamientos de dureza, resistencia, tenacidad y adherencia de los materiales pétreos.

La mineralogía, la estructura y la procedencia controlan la dureza del agregado y esta propiedad toma importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo. Para determinar este parámetro es necesario hacer un ensayo en la máquina de los Ángeles, el cual indica una degradación de los agregados minerales.

La tenacidad es una propiedad que depende de la roca origen y se debe tener en cuenta en el comportamiento de los agregados bajo cargas de impacto, para que posteriormente no se altere la granulometría y la calidad del concreto.

Un aspecto importante de una mezcla de concreto es su resistencia en estado endurecido; para esto, el agregado grueso es esencial porque define el comportamiento de la resistencia del concreto debido a su génesis y tamaño de los granos dentro de la masa de la mezcla.

2.3.4. FUNCIONES

Los agregados cumplen con las siguientes funciones dentro de la mezcla de concreto:

- Esqueleto o relleno de la pasta y así reducir el contenido de cemento por metro cúbico.
- Producir una mezcla de concreto económica.
- Proporcionar una masa de partículas que sea capaz de resistir grandes esfuerzos a compresión.

- Disminuir los cambios volumétricos que resultan en el proceso de fraguado.

2.4. CEMENTO

El cemento es un material aglutinante con propiedades de adherencia y cohesión, que permite la unión de materiales minerales entre sí, formando una mezcla compacta y homogénea. En la construcción, el cemento más usado es el cemento Pórtland, compuesto por materiales calcáreos, arcillosos y otros como óxidos de hierro, que se someten a elevadas temperaturas y posteriormente se mezclan con yeso para obtener un material homogéneo.

2.4.1. DEFINICIÓN

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, permite la unión de materiales minerales entre sí, formando una mezcla compacta y homogénea.

En la construcción, el cemento más usado es el cemento Pórtland, que es un material compuesto por materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que poseen sílice, aluminio u óxidos de hierro, que se unen con yeso para posteriormente someterlo a altas temperaturas.

El cemento Pórtland es fabricado a partir de materiales calcáreos y arcillosos; por eso se debe tener en cuenta las canteras de donde son extraídos los materiales, para obtener una composición química adecuada para la fabricación del cemento. El material calcáreo pasa por varios procesos de trituración y pulverizado y adicionando directamente óxido de hierro (Fe_2O_3) y arenas silíceas, se logra que la mezcla tenga un equilibrio químico. A esta mezcla se le adiciona yeso, que se utiliza para controlar el endurecimiento del cemento una vez entre en contacto con el agua.

2.4.2. PROPIEDADES

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas del cemento Pórtland varían dependiendo del estado en que se encuentre, ya que el cemento posee una gran variedad de minerales en sus componentes.

La estructura química del cemento se basa prácticamente en el proceso de clinkerización, donde involucra la transformación de las materias primas a productos más complejos, por medio de reacciones en estado sólido, donde su modelo químico se fundamenta en reacciones de óxidos, silicatos, aluminos y ferroaluminos. La composición química del cemento Pórtland se ilustra en la tabla 2.2.

TABLA 2.2. COMPUESTOS DEL CEMENTO

Nombre del compuesto	Fórmula química	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	C_4AF
Yeso natural		
Óxidos menores de Ca, Mg, Na, K, Mn, Ti, P, Fe		

GUTIÉRREZ de LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. 2003

Los componentes del cemento Pórtland se presentan en fases que son: la alita (alto contenido de C_3S), la belita (se compone principalmente de C_2S), el aluminato (donde el material es rico en C_3A) y el ferrito (es la solución sólida que está compuesta por ferritos y aluminatos de calcio).

El cemento Pórtland tipo 1 está compuesto químicamente por un 48% de C_3S , 27% de C_2S , 12% de C_3A y un 8% de C_4AF . Estos valores significan que este tipo de cemento Pórtland compensa el calor de hidratación y aumenta de forma rápida la resistencia mecánica (NIÑO HERNANDEZ, Jairo Rene, 2010).

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento son: densidad, finura, consistencia, tiempos de fraguado, fraguado rápido, expansión, fluidez, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

La densidad del cemento Pórtland normal, suele estar alrededor de $3,15 \text{ g/cm}^3$ y en otros casos como del cemento adicionado, es menor porque el contenido de clinker por tonelada de cemento es inferior y su valor normalmente oscila entre $2,90 \text{ g/cm}^3$. Esta propiedad es importante en el cálculo del diseño de la mezcla de concreto, porque sirve para determinar el espacio que ocupa una determinada masa de cemento en dicha mezcla (NIÑO HERNANDEZ, Jairo Rene, 2010).

La finura del cemento es el tamaño de las partículas de cemento que se efectúan en el proceso de molido del Clinker y el yeso; esta propiedad define la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y el aumento o disminución de la resistencia (NIÑO HERNANDEZ, Jairo Rene, 2010).

EL tiempo de fraguado se utiliza para describir la rigidez de la pasta; es decir, para especificar el cambio de estado fresco a endurecido. Esta propiedad se determina desde el tiempo que la pasta se plastifica hasta que llegue el momento donde la pasta no tenga viscosidad y su temperatura se empieza a elevar.

La expansión o expansión en autoclave es la propiedad física que determina, una vez hidratada la mezcla, el comportamiento de expansión del material para que soporte comportamientos perjudiciales o destructivos, o en otras palabras que controle el fenómeno de retracción de la mezcla (NIÑO HERNANDEZ, Jairo Rene, 2010).

Las propiedades mecánicas están determinadas por la resistencia tanto a flexión como a compresión, cuando la mezcla se encuentra en estado endurecido; por ende, esta propiedad es la que define el requisito primordial para el uso en obra. Estas propiedades se determinan con ensayos de laboratorio que consisten en hacer probetas (moldes) con los materiales principales de la mezcla (cemento, agua, arena y grava), donde los resultados que se obtengan se ven afectados por la variación de las características de los agregados usados.

2.4.3. FUNCIONES

El cemento tiene diversos de usos en el medio de la construcción; desde pegante para unir materiales de construcción hasta un material que soporte y resista esfuerzos a compresión de grandes magnitudes. Por esto es importante resaltar que la pasta de cemento tiene varias funciones; estas son:

- Cuando la mezcla está en estado plástico, la pasta de cemento actúa como lubricante de los agregados.
- Cuando la mezcla se encuentra en estado sólido, la pasta de cemento obstruye los espacios que hay entre las partículas al aglutinarse, reduciendo la permeabilidad del concreto y evitando el desplazamiento de agua dentro de la mezcla endurecida.
- La pasta endurecida en unión con los agregados (áridos), forman una mezcla que resiste grandes esfuerzos de compresión.

2.5. AGUA

El agua es un ingrediente importante en la elaboración de las mezclas de concreto, pues cumple la función de hidratar el cemento, para que desarrolle sus propiedades ligantes y de endurecimiento.

2.5.1. CARACTERÍSTICAS

Se recomienda que el agua sea limpia; es decir, agua que no posea partículas extrañas (tales como materia orgánica, sustancias alcalinas, ácidos, aceites, sulfatos, cloro flúor, azúcares, entre otros) que puedan afectar el comportamiento de la mezcla tanto en estado fresco como endurecido.

Las impurezas pueden influir en el fraguado del cemento y posteriormente afectar la resistencia mecánica de la mezcla y corroer el acero de refuerzo. Cuando el agua tiene partículas en suspensión aumenta su demanda, ya que dichas partículas absorben el agua calculada para la mezcla.

Se debe tener en cuenta la procedencia del agua a utilizar y hacer controles periódicamente tanto de P.H. como de las impurezas. Se incluyen el análisis de aguas marinas, aguas con impureza orgánicas, aguas con azúcares, aguas ácidas y aguas alcalinas.

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René, en su libro Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, recomienda los siguientes valores de la tabla 2.3., para impurezas tolerables en el agua y la tabla 2.4., que son los posibles efectos negativos que tendría el agua en la mezcla de concreto:

TABLA 2.3. CONCENTRACIÓN TOLERABLE DE IMPUREZA EN AGUA DE MEZCLA

TIPO DE IMPUREZA	VALOR MÁXIMO RECOMENDADO
Ácido inorgánico	10.000 ppm
Aceite mineral	2 %
Agua con algas	NO RECOMENDABLE
Agua de mar • Para concreto no reforzado • Para concreto pretensado o reforzado	35.000 ppm NO RECOMENDABLE
Agua sanitaria	20 ppm
Azúcares	500 ppm ³
Carbonato de calcio y magnesio	400 ppm
Carbonatos y Bicarbonatos de sodio y potasio	1.000 ppm ³
Cloruro de calcio	30.000 ppm
Cloruro de magnesio	40.000 ppm
Cloruros • Estructuras con bajo potencial de corrosión • Concreto pretensado • Estructuras con elementos galvanizados y aluminio	20.000 ppm 500 ppm 1.000 ppm
Hidróxido de potasio	1.2 %
Hidróxido de sodio	0.5%
Partículas en suspensión	2.000 ppm
PH	6 - 8
Sales de hierro	40.000 ppm

TABLA 2.3. CONCENTRACIÓN TOLERABLE DE IMPUREZA EN AGUA DE MEZCLA - CONTINUACIÓN

TIPO DE IMPUREZA	VALOR MÁXIMO RECOMENDADO
Sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo	500 ppm
Sulfato de magnesio	25.000 ppm
Sulfato de sodio	10.000 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm

NIÑO HERNANDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

2.5.2. FUNCIONES

El agua cumple las siguientes funciones:

- Agua de lavado de agregados: se utiliza cuando los agregados están en el proceso de trituración, y su función es retirar impurezas y excesos de finos presentes.
- Agua de mezclado: se utiliza para producir una pasta hidratada con fluidez, que permita la lubricación adecuada de la mezcla de concreto.
- Agua de curado: cuando el concreto ha fraguado, es necesario suministrar agua que garantice la completa hidratación del grano de cemento, con el fin de evitar la deshidratación de la mezcla por la absorción de los materiales pétreos (grava y arena) y aglutinantes (cemento) y evitar posibles fisuras dentro y por fuera de la mezcla endurecida.

2.6. ADITIVOS

Los aditivos son compuestos que se incorporan al concreto antes o durante el mezclado y se usan para modificar algunas propiedades de la mezcla, a voluntad del diseñador y/o constructor.

2.6.1. GENERALIDADES

Los primeros aditivos que se usaron se remontan a las construcciones del Imperio Romano, donde se adicionaban sangre y leche de animales a los materiales cementantes, para mejorar las propiedades y aumentar la durabilidad; hasta el siglo XX, con la industrialización del cemento y del concreto, se han hecho estudios de los aditivos, para las múltiples aplicaciones que tiene el concreto en las obras.

Generalmente los aditivos hacen que el concreto sea más durable, resistente y en ocasiones evitan que la mezcla se agriete cuando se encuentra en estado endurecido.

Al igual que todos los componentes de la mezcla de concreto (cemento, agua, grava y arena), los aditivos no están exentos de las pruebas de calidad, donde se verifican la homogeneidad y uniformidad que las diferentes marcas de fabricantes especifican. Los ensayos de control empleados para estos tipos de materiales de construcción son:

- Observación de la naturaleza física.
- Determinación del contenido de sólidos.
- Determinación del PH.
- Determinación de la densidad.
- Análisis de los ingredientes (específicamente cloruros o carbohidratos).
- Examen espectroscópico infrarrojo o ultravioleta (Este ensayo sirve para identificar los componentes activos).

Las normas que rigen estos ensayos son la NTC 1299 y la ASTM C 494, donde se describe cada ensayo con sus rangos y/o parámetros, para el uso en el medio de la construcción.

Según la norma NTC 1299, hay varios tipos de aditivos que se clasifican en cinco grupos, de acuerdo a los efectos que producen en la mezcla. En la tabla 2.5. se muestra la clasificación y los efectos deseados de los aditivos en la mezcla de concreto:

TABLA 2.5. CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA CONCRETO

TIPO DE ADITIVO	EFEECTO DESEADO
Aditivos convencionales	
Plastificantes	Plastificar o reducir agua entre el 5% y el 12%
Retardantes	Retardar el tiempo de fraguado
Acelerantes	Acelerar el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edades tempranas
Plastificantes retardantes	Plastificar o reducir agua entre el 5% y el 12% y retardar el fraguado
Plastificantes acelerantes	Plastificar o reducir agua entre el 5% y el 12% y acelerar el fraguado
Superplastificantes	Superplastificar o reducir agua entre el 12% y el 30% y retardar el tiempo de fraguado
Inclisor de aire	
Aditivos minerales	Aumentar la impermeabilización y mejorar la trabajabilidad
Cementantes	Aumentar propiedades cementantes y sustituir parcialmente el cemento
Puzolanas	Mejorar la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos, reducir la reacción álcali-agregado, reducir la permeabilidad, reducir el calor de hidratación y sustituir parcialmente el cemento y rellenar
Inertes	Mejorar la trabajabilidad y rellenar
Aditivos misceláneos	
Formadores de gas	Provocar expansión antes del fraguado
Impermeabilizantes	Disminuir la permeabilidad
Ayudas de bombeo	Mejorar la capacidad de bombeo
Inhibidores de corrosión	Reducir el avance de la corrosión en ambientes con cloruros
colorantes	Colorear concreto

NIÑO HERNANDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

2.6.2. FUNCIONES

Los aditivos se usan principalmente para modificar las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido, con el fin de hacer la mezcla de concreto adecuada a las exigencias. Las funciones de los aditivos son:

- Reducir costos en la construcción de obras civiles.
- Aumentar las especificaciones del concreto.
- Asegurar la calidad del concreto en condiciones ambientales severas, durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado.
- Aumentar la manejabilidad y trabajabilidad para el mismo contenido de agua de la mezcla.
- Reducir la segregación por mayor cohesión de la mezcla.
- Retardar o acelerar el fraguado del concreto.
- Retardar o reducir la generación de calor de hidratación.
- Controlar exudación o sangrado.
- Disminuir la permeabilidad.
- Controlar la expansión causada por la reacción Álcali-Agregado.

3. LAS CENIZAS VOLANTES

En los últimos años se han realizado investigaciones sobre las cenizas volantes y sus efectos en el medio de la construcción, tanto en reemplazos de los materiales de construcción más comunes, como lo son el cemento o los agregados pétreos hasta materiales de estabilización en suelos.

Se han hecho estudios sobre el uso de las cenizas volantes, donde se ha comprobado que con porcentajes de reemplazo de cenizas por cemento, entre rangos del 10% al 30%, en mezclas de hormigón, el agua de mezclado por unidad de volumen del hormigón generalmente no requiere aumentar y en ocasiones puede ser reducida. También se ha encontrado que para edades muy tempranas, no hay efecto alguno en el aumento de la resistencia; por el contrario, hay una leve disminución y solo a edades superiores a 28 días, el concreto normal puede igualar o superar su resistencia.

3.2. DEFINICIÓN

Las cenizas volantes son producto de la combustión del carbón, utilizado en las plantas termoeléctricas y se caracterizan por ser partículas muy finas (menor a 45 μm), vitrificadas y esféricas. Las cenizas volantes principalmente están compuestas por silicio, aluminio y hierro, los cuales se presentan en forma de óxidos.

3.3. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas varían dependiendo de los procesos de molienda y combustión del carbón que se efectúan en la caldera. Las principales propiedades físicas de las cenizas volantes son: color, forma, finura y gravedad específica.

3.3.1. COLOR

Las cenizas volantes tienen una apariencia gris, que es el resultado de la quema del carbón cuando dicho material está en el proceso de combustión y está en presencia reducida de oxígeno. El color puede variar de gris claro a negro, dependiendo del contenido de cal o carbón que la ceniza posea. También se

presentan colores como café claro o marrón, donde las cenizas presentan contenidos de hierro (LANE y BEST, 1982).

3.3.2. FORMA

Las formas esféricas de las cenizas dependen de la fuente, del grado de pulverización previo a la combustión, de la temperatura y la cantidad de oxígeno presente en la combustión y el tipo de sistema de colector utilizado. Estas formas pueden estar en fracciones gruesas de aproximadamente 300 μm a partículas más finas de 45 μm . Estos tamaños representan la cantidad de carbón quemado parcialmente en las cenizas (CORONA ZAZUETA, Miguel Ángel.).

Las partículas de cenizas volantes son vítreas, sólidas, huecas y esféricas; por esto las cenizas se clasifican en cenosferas, que poseen huecos vacíos, y pleurosferas, que no poseen huecos vacíos.

3.3.3. FINURA

La finura de las cenizas es expresada por el área de las partículas que están contenidas en un gramo de peso del material. Es importante por sus aplicaciones en el medio de la construcción, como lo es el control de la resistencia en los concretos o para efectos puzolánicos. (CHÁVEZ VELASQUEZ, Camilo Andrés y GUERRA MAESTRE, Yohana Liz., trabajo de grado en curso).

En concretos, la finura afecta en estado fresco la trabajabilidad y en estado endurecido su resistencia; por eso se recomienda que el material debe pasar por el tamiz número 325 (VALBUENA LEGUÍZAMO, Humberto, 2006). Si la finura de la ceniza aumenta, la velocidad de hidratación de las partículas es mayor y la reacción sílice- cal será más eficiente (LANE y BEST, 1982).

3.3.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica de las partículas sólidas de las cenizas varía entre un rango de 2.2 a 2.8 y estos valores dependen del contenido de hierro o carbón; es decir, que al aumentar el contenido de hierro la gravedad específica aumenta y

cuando tiene mayor contenido de carbón disminuye, (HOBBS, 1979) y (ERLIN Y STARK, 1990).

3.4. PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas determinan los elementos químicos que dominan la composición en las partículas de las cenizas volantes. Los elementos predominantes son silicio, aluminio y hierro; muchos están presentes en forma de óxidos. La tabla 3.1. muestra los componentes químicos en las cenizas volantes.

TABLA 3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS VOLANTES

Componentes	Cantidad (%)
Sílice (SiO_2)	49,10
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	26,18
Óxido férrico (Fe_2O_3)	14,63
Óxido de magnesio (MgO)	1,13
Óxido de Calcio (CaO)	5,84
Trióxido de azufre (SO_3)	0,58
Óxido de sodio (Na_2O)	1,52
Cloruros (Cl^-)	Trazas
Óxido de potasio (K_2O)	0,77
Pérdida por calcinación	1,27
Residuo insoluble	77,31

OSSA M., Mauricio y JORQUERA S., Héctor, 1984, Cementos con cenizas volantes, Materiales de construcción. Vol. 34, Chile.

3.4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA

Los parámetros para la composición química y mineralógica que se exigen a nivel internacional, están estandarizados por la norma ASTM C 618, la cual exige un mínimo de 70% de óxidos principales (óxido de silicio, óxido de aluminio y óxido de hierro) y un máximo de 5% de sulfatos (trióxido de azufre).

Las cenizas se clasifican según la cantidad de material químico predominante; las más comunes son: tipo C (donde el calcio es el material predominante) y tipo F (donde los óxidos predominan).

Mineralógicamente las cenizas volantes están compuestas por una fase de vidrio (compone más del 80% de la ceniza) y otra fase cristalina, que está constituida básicamente de mullita, cuarzo, magnetita y yeso (CORONA ZAZUETA, Miguel Ángel).

3.4.2. PÉRDIDAS POR IGNICIÓN

Las pérdidas por ignición son las partículas de carbón no quemado y que producen una decoloración de la superficie (SCHULTZ, JENSEN Y MEPPER, 1978). COOK, 1983, plantea que dichas partículas no se logran quemar completamente por el tipo de carbón (origen) y la deficiencia en los procesos de la quema del carbón en la planta.

Se ha encontrado que las pérdidas por ignición afectan el fraguado, logrando que este proceso se haga más lento y perjudicial (CORONA ZAZUETA, Miguel Ángel).

3.5. USOS DE LAS CENIZAS VOLANTES EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En el medio de la construcción las cenizas volantes son usadas para:

- Adición de cenizas al hormigón.
- Manufactura de cemento Pórtland.
- Agregados livianos.
- Estabilización de suelos.
- Terraplenes y rellenos.
- Mezclas asfálticas

3.6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO

Los resultados de los ensayos químicos y físicos de las cenizas volantes de Termotasajero fueron:

TABLA 3.2. ANÁLISIS QUÍMICO DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO

COMPOSICIÓN QUÍMICA	PORCENTAJE %
Dióxido de silicio (SiO_2)	53,21
Trióxido de aluminio (Al_2O_3)	26,74
Óxido de hierro (FeO_3)	9,15
Óxido de calcio (CaO)	0,59
Óxido magnésico (MgO)	0,45
Óxido de sodio (Na_2O)	0,16
Óxido de potasio (K_2O)	0,64
Óxido de titanio (TiO_2)	1,28
Óxido de fósforo (P_2O_5)	0,52
Trióxido de azufre (SO_3)	0,01
Óxido de bario (BaO)	0,14
Óxido de estroncio (SrO)	0,03
Pérdida por calcinación a 750°C	7,96
Inquemados	7,80

CHÁVEZ VELÁSQUEZ, Camilo Andrés y GUERRA MAESTRE, Liz Johana,
Trabajo de grado en curso, “*Producción, propiedades y usos de los residuos de la combustión del carbón de Termotasajero*”, Facultad de Ingeniería Civil,
Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

**TABLA 3.3. ANÁLISIS PRÓXIMO DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO, EN
MUESTRA SECADA AL AIRE**

ANÁLISIS	CENIZA
Humedad residual, % masa	0,17
Materia volátil, % masa	1,29
Cenizas, % masa	92,04
Carbono fijo, % masa	6,50
Azufre total, % masa	0,16
Poder calorífico, Btu/lb	908
Poder calorífico, J/g	2111

CHÁVEZ VELÁSQUEZ, Camilo Andrés y GUERRA MAESTRE, Liz Johana,
Trabajo de grado en curso, *“Producción, propiedades y usos de los residuos de la
combustión del carbón de Termotasajero”*, Facultad de Ingeniería Civil,
Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

**TABLA 3.4. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE LAS CENIZAS VOLANTES DE
TERMOTASAJERO**

MATERIAL (% PESO)	RETENIDO	ACUMULADO
Retenido malla No 230 (63 µm)	32,1	32,1
Pasa malla No 230 (63 µm) y retiene en malla No 270 (53 µm)	2,8	34,9
Pasa malla No 270 (53 µm) y retiene en malla No 325 (45 µm)	9,0	43,9
Pasa malla No 325 (45 µm) y retiene en malla No 400 (37 µm)	31,6	75,5
Pasa malla No 400 (37 µm) y retiene en fondo	24,3	99,8

CHÁVEZ VELÁSQUEZ, Camilo Andrés y GUERRA MAESTRE, Liz Johana,
Trabajo de grado en curso, *“Producción, propiedades y usos de los residuos de la
combustión del carbón de Termotasajero”*, Facultad de Ingeniería Civil,
Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

TABLA 3.5. DENSIDAD Y FINURA BLAINE DE LAS CENIZAS VOLANTES DE
TERMOTASAJERO

CARACTERÍSTICAS	CENIZA
Finura Blaine (cm ² /g)	2,067
Densidad (g/cm ³)	2,103

CHÁVEZ VELÁSQUEZ, Camilo Andrés y GUERRA MAESTRE, Liz Johana,
Trabajo de grado en curso, “*Producción, propiedades y usos de los residuos de la
combustión del carbón de Termotasajero*”, Facultad de Ingeniería Civil,
Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

TABLA 3.6. ANÁLISIS PRÓXIMO DEL CARBÓN DE TERMOTASAJERO, EN MUESTRA
SECADA AL AIRE

ANÁLISIS	CENIZA
Humedad residual, % masa	2,96
Materia volátil, % masa	38,36
Cenizas, % masa	8,83
Carbono fijo, % masa	49,85
Azufre total, % masa	0,74
Poder calorífico, Btu/lb	12700
Poder calorífico, J/g	295528

CHÁVEZ VELÁSQUEZ, Camilo Andrés y GUERRA MAESTRE, Liz Johana,
Trabajo de grado en curso, “*Producción, propiedades y usos de los residuos de la
combustión del carbón de Termotasajero*”, Facultad de Ingeniería Civil,
Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

**TABLA 3.7. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS EN EL CARBÓN TRITURADO DE
TERMOTASAJERO**

MATERIAL (% PESO)	RETENIDO	ACUMULADO
Retenido malla No 16 (1,18mm)	39,7	39,7
Pasa malla No 16 (1,18mm) y retiene en malla No 30 (0,60mm)	35,5	75,5
Pasa malla No 30 (0,60mm) y retiene en malla No 50 (0,30mm)	14,0	89,5
Pasa malla No 50 (0,30mm) y retiene en malla No 100 (0,15mm)	4,7	94,2
Pasa malla No 100 (0,15mm) y retiene en malla No 200 (0,075mm)	2,7	96,9
Pasa malla No 200 (0,075mm) y retiene en fondo	3,4	100,3

CHÁVEZ VELÁSQUEZ, Camilo Andrés y GUERRA MAESTRE, Liz Johana,
Trabajo de grado en curso, “*Producción, propiedades y usos de los residuos de la
combustión del carbón de Termotasajero*”, Facultad de Ingeniería Civil,
Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

TABLA 3.8. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS CENIZAS VOLANTES (CARBÓN) DE
TERMOTASAJERO, (750 °C), % MASA

COMPOSICIÓN QUÍMICA	PORCENTAJE %
Dióxido de silicio (SiO_2)	62,17
Trióxido de aluminio (Al_2O_3)	27,22
Óxido de hierro (FeO_3)	5,28
Óxido de calcio (CaO)	1,29
Óxido magnésico (MgO)	0,41
Óxido de sodio (Na_2O)	0,26
Óxido de potasio (K_2O)	0,86
Óxido de titanio (TiO_2)	1,45
Óxido de fósforo (P_2O_5)	0,08
Trióxido de azufre (SO_3)	0,37
Óxido de bario (BaO)	0,061
Óxido de estroncio (SrO)	0,051

CHÁVEZ VELÁSQUEZ, Camilo Andrés y GUERRA MAESTRE, Liz Johana,
Trabajo de grado en curso, “*Producción, propiedades y usos de los residuos de la
combustión del carbón de Termotasajero*”, Facultad de Ingeniería Civil,
Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO A.C.I PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

El método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1 que a su vez, está basa en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas.

Antes de diseñar la mezcla, se deben tener datos previos del tipo de obra que se va a construir y los tipos de materiales que se van a usar para construir la obra.

4.2. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Los valores del asentamiento recomendados son los mostrados en la tabla 4.1. y se usan cuando el método de compactación utilizado es la vibración (para otros métodos se deben sumar 2.5 cm a los valores de la tabla 4.1.).

TABLA 4.1. VALORES DE ASENTAMIENTO RECOMENDADOS PARA DIVERSAS CLASES DE CONSTRUCCIÓN

ASENTAMIENTO (CM)	CONSISTENCIA (TIPO DE CONCRETO)	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
0-2,0	MUY SECA	MUY PEQUEÑO	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaletas
2,0-3,5	SECA	PEQUEÑO	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3,5-5,0	SEMI-SECA	PEQUEÑO	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales
5,0-10,0	MEDIA	MEDIO	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración
10,0-15,0	HUMEDA	ALTO	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

4.3. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)

Se trata de elegir una adecuada granulometría, tener una masa más compacta y con menos vacíos. La tabla 4.2. muestra los valores recomendados del TMN para los diferentes tipos de construcciones.

TABLA 4.2. VALORES RECOMENDADOS DE TMN SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN

DIMENSIÓN MÍNIMA DEL ELEMENTO (cm)	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL EN MM (PULGADAS)			
	MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS	MUROS SIN REFUERZO	LOSAS MUY REFORZADAS	LOSAS SIN REFUERZO O POCO REFORZADAS
6-15	12(1/2") - 19(3/4")	19(3/4")	19(3/4") - 25(1")	19(3/4") - 38(1 1/2")
19-29	19(3/4") - 38(1 1/2")	38(1 1/2")	38(1 1/2") - 76(3")	
30-74	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")
75 O MAS	38(1 1/2") - 76(3")	152(6")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3") - 152(6")

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

4.4. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

El contenido de aire beneficia la manejabilidad y la cohesión de la mezcla. La tabla 4.3. muestra los valores recomendados para estimar el contenido de aire de la mezcla, teniendo como base las referencias que se especifican en la norma ACI 318 S-08.

TABLA 4.3. VALORES RECOMENDADOS PARA EL CONTENIDO 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		
PULGADAS	mm		SUAVE	MEDIANO	SEVERO
3/8	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,40	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38,10	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

4.5. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

La demanda de agua en las mezclas se debe a aspectos de manejabilidad, adherencia e hidratación. La figura 4.1. y tabla 4.4. muestran el requerimiento de agua en la mezcla, que está en función del asentamiento y el TMN.

TABLA 4.4. REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO

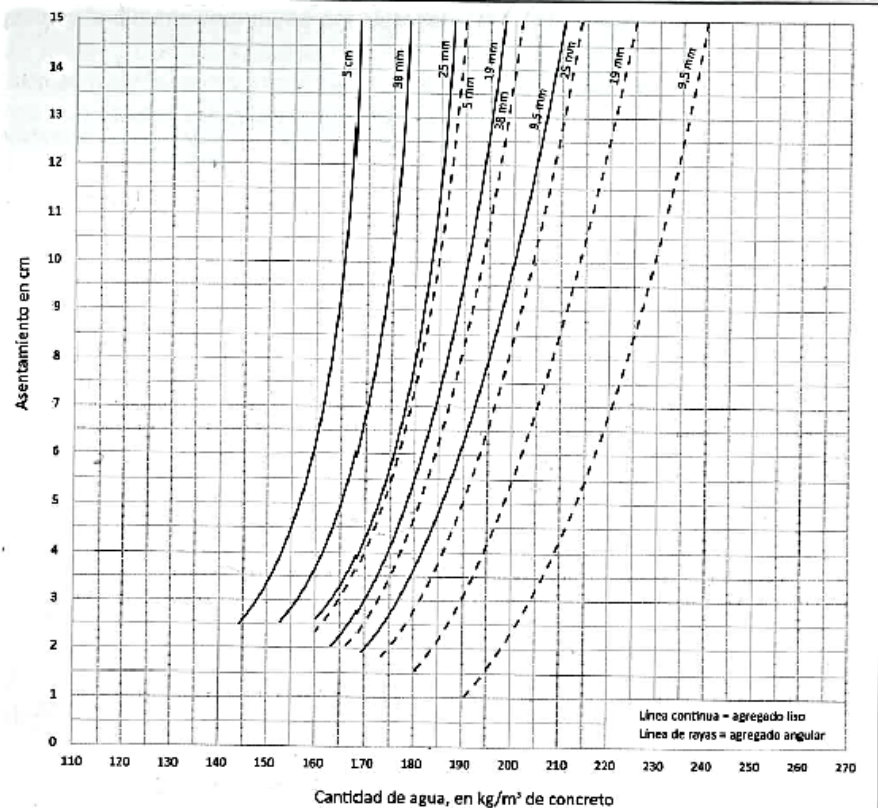
Condición del contenido de aire	Asentamiento cm	Agua en kg/m ³ de concreto para los TMN del agregado indicados							
		10 —	12,5 —	20 —	25 —	40 —	50 —**	70 —**	150 —**
Concreto sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	---
	Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	---
	Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

* Estas cantidades de agua de mezclado deben utilizarse en los cálculos de los factores de cemento para mezclas de prueba. Son las máximas para agregados gruesos angulares razonablemente bien formados graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.

** Los valores de asentamiento para un concreto que contenga un agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de asentamiento efectuado después de remover las partículas mayores de 40 mm por medio de cribado húmedo.

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

FIGURA 4.1. CURVAS DE REQUERIMIENTOS DE AGUA DE MEZCLADO



NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

4.6. ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO (a/c)

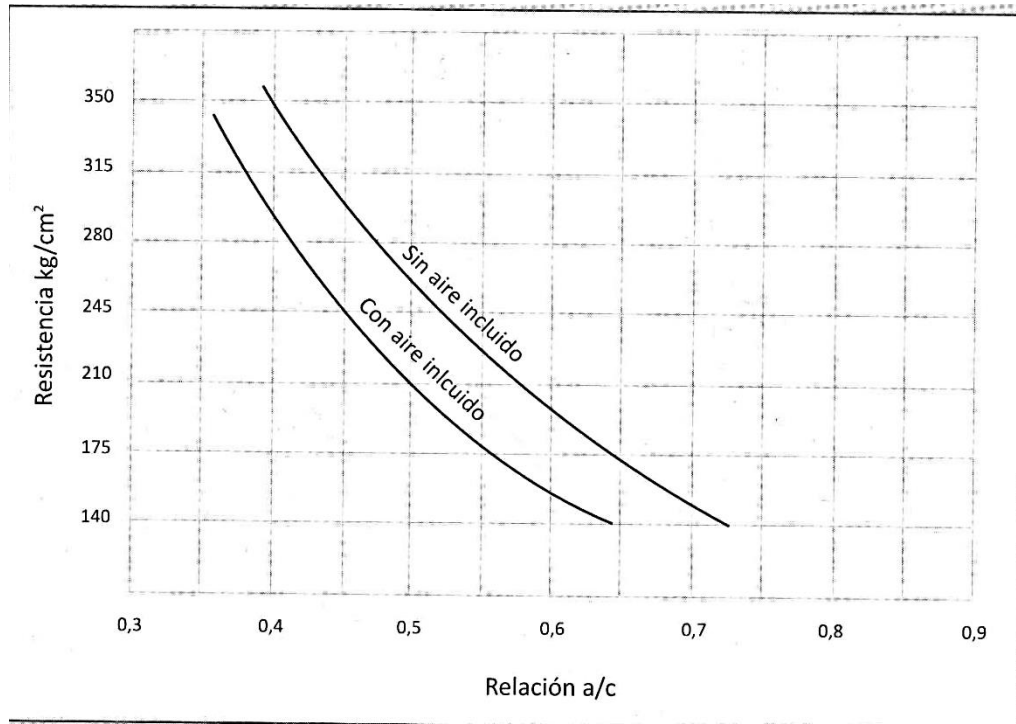
Este es el factor más importante en el diseño de mezclas de concreto, porque con él se pueden determinar los requisitos de resistencia, durabilidad, permeabilidad y acabado. Para determinar esta relación se utiliza la tabla 4.5. o la figura 4.2. (los valores del diagrama son sacados de la tabla).

TABLA 4.5. RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y ALGUNOS VALORES DE LA RELACIÓN A/C

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS		CONCRETO SIN INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)	CONCRETO CON INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)
Kg/cm ²	PSI		
175	2500	0,65	0,56
210	3000	0,58	0,50
245	3500	0,52	0,46
280	4000	0,47	0,42
315	4500	0,43	0,38
350	5000	0,40	0,35

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

FIGURA 4.2. CURVAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN A/C



NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

4.7. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

Para el cálculo de cemento se utiliza la ecuación 4.1. que relaciona el agua y la relación agua/cemento (a/c), cuyos valores ya se han calculado en los pasos 4.4 y 4.5.

$$C = \frac{a}{a/c}$$

Ecuación 4.1.

4.8. VERIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA

Esta etapa es utilizada en gran medida para verificar los valores de resistencia en la mezcla de concreto. Para esto se deben seguir los parámetros establecidos por la norma ASTM C33, las cuales se muestran en las tablas 4.6. y 4.7.:

TABLA 4.6. RECOMENDACIONES GRANULOMÉTRICAS PARA AGREGADO GRUESO, SEGÚN LAS NORMA ASTM C33 (NTC 174)

AGREGADO	TAMAÑO NORMAL (mm)	MATERIAL QUE PASA CADA UNO DE LOS SIGUIENTES TAMICES (PORCENTAJE)												
		101,60 mm 4"	90,50 mm 3 1/2"	76,10 mm 3"	64,00 mm 2 1/2"	50,80 mm 2"	38,10 mm 1 1/2"	25,40 mm 1"	19,00 mm 3/4"	12,70 mm 1/2"	9,51 mm 3/8"	4,76 mm # 4	2,38 mm # 8	1,19 mm # 16
0	90,50 a 38,10	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
1	64,00 a 38,10			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
2	50,80 a 4,76				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
3	38,10 a 4,76					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
4	25,40 a 4,76						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
5	19,00 a 4,76							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
6	12,70 a 4,76								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
7	9,51 a 2,38									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
8	50,80 a 25,40				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
9	38,10 a 19,00					100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5				

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

TABLA 4.7. RECOMENDACIONES GRANULOMÉTRICAS PARA AGREGADO FINO, SEGÚN LA NORMA ASTM C33 (NTC 174)

TAMIZ		% PASA	
mm	PULGADAS	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
9,51	3/8	100	100
4,76	# 4	95	100
2,38	# 8	80	100
1,19	# 16	50	85
0,595	# 30	25	60
0,297	# 50	10	30
0,149	# 100	2	10

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

4.8.1. MÉTODO A.C.I

El método A.C.I. es usado cuando los agregados cumplen con las recomendaciones granulométricas ASTM C33, y este consiste en hallar el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto; para esto se hace uso de la tabla 4.8. que muestra el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Después se determina el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso, y se obtiene dividiendo la masa unitaria compacta (MUC) y la densidad aparente de la grava (d_g):

$$b_o = \frac{MUC}{d_g}$$

Ecuación 4.2.

Teniendo el valor de volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto y el volumen de partículas de agregado grueso por metro cúbico, se determina el volumen total de agregado grueso que posee la mezcla para un metro cúbico. Esto se hace multiplicando los valores hallados en la tabla 4.8. y de la ecuación de volumen de partículas de los agregado gruesos:

$$B = \left(\frac{b}{b_o}\right) * b_o'$$

Ecuación 4.3.

TABLA 4.8. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO (B/B_o)

MÁXIMO TAMAÑO NOMINAL DE AGREGADOS		VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECADO EN EL HORNO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DE AGREGADO FINO			
		MÓDULO DE FINURA			
PULGADAS	mm	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	9,51	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,1	0,66	0,64	0,62	0,60
1	25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,1	0,82	0,80	0,78	0,76
6	152,4	0,87	0,85	0,83	0,81

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

Ya calculado el volumen de grava, cemento, agua y aire, queda faltando el volumen del agregado fino (arena); éste se calcula restando el volumen total de los ingredientes conocidos (grava, cemento, agua y aire) por el volumen requerido de arena; esto se puede observar en la tabla 4.9.:

TABLA 4.9. PROPORCIONES DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA EN PESO Y EN VOLUMEN PARA 1,00 m³ DE CONCRETO

MATERIAL	PESO W (Kg/m ³)	DENSIDAD APARENTE (Kg/m ³)	VOLUMEN V (a ³ /m ³)
Agua	K/w	1000	Vw
Aire	0	0	Va
Cemento	W/c	dc	Vc
Agregado Grueso	Wg	dg	Vg
Agregado Fino	Wf	df	Vf
Total	Wt		1,00 m ³

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

4.8.2. MÉTODO DE LA ROAD NOTE LABORATORY (RNL) PARA OPTIMIZAR LA GRANULOMETRÍA

Se utiliza cuando los agregados no cumplen con las recomendaciones granulométricas especificadas en la norma ASTM C33 (o NTC 174) y existen dos tipos de métodos para determinar la cantidad en peso y en volumen de agregados gruesos y finos; el primero es el método de Fuller y Thompson, y el segundo es el método gráfico.

- ❖ El método de Fuller y Thompson es uno de los más usados pero con la condición de que la mezcla de concreto tenga más de 350 Kg/m³ de cemento; esto se debe a que el método tiene una deficiencia en la determinación de la arena. La tabla 4.10. muestra la granulometría recomendada para este método.
- ❖ El método gráfico consiste en determinar el mejor porcentaje de arena y grava y lograr que la mezcla sea manejable y resistente. La tabla 4.11. muestra los rangos granulométricos para optimizar el contenido de grava y arena en la mezcla.

TABLA 4.10. GRANULOMETRÍA DE FULLER Y THOMPSON

TAMIZ		D= 50 mm (2")	D= 38 mm (1 1/2")	D= 25 mm (1")	D= 19 mm (3/4")	D= 12,5 mm (1/2")
PULGADAS	mm					
2	50,8	100				
1 1/2	38,1	87	100			
1	25,4	71	82	100		
3/4	19,0	61	71	87	100	
1/2	12,5	50	58	71	82	100
3/8	9,5	43	50	61	71	87
No. 4	4,8	31	35	43	50	62
No. 8	2,4	22	25	31	35	44
No. 16	1,2	15	18	22	25	31
No. 30	0,600	11	12	15	18	22
No. 50	0,300	8	9	11	13	16
No. 100	0,150	5	6	8	9	10

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

TABLA 4.11. RANGO GRANULOMÉTRICO RECOMENDADO PARA EL MÉTODO GRÁFICO

TAMIZ		LÍMITE DE LOS PORCENTAJES QUE PASAN LOS SIGUIENTES TAMAÑOS MÁXIMOS								
PULGADAS	mm	D= 90,6 mm (3 1/2")	D= 76,1 mm (3")	D= 64,0 mm (2 1/2")	D= 50,8 mm (2")	D= 38,1 mm (1 1/2")	D= 25,4 mm (1")	D= 19,0 mm (3/4")	D= 12,7 mm (1/2")	D= 9,51 mm (3/8")
3 1/2	90,6	100								
3	76,1	94 91	100							
2 1/2	64,0	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	19,0	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
No. 4	4,76	36 20	38 22	40 24	44 27	48 32	56 40	62 47	71 58	78 68
No. 8	2,36	28 13	30 15	32 16	34 18	38 22	44 27	48 32	55 40	61 46
No. 16	1,18	22 9	23 10	25 11	27 13	30 15	34 18	38 22	44 27	48 32
No. 30	600μ	17 6	18 7	20 8	21 9	23 10	27 13	30 15	34 19	38 22
No. 50	300μ	14 4	14 4	15 5	17 8	18 7	21 9	23 10	27 13	30 15
No. 100	150μ	11 3	11 3	12 4	13 4	14 5	17 6	18 7	21 9	23 10

NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

Después de obtener los rangos granulométricos (ya sea por el método de Fuller y Thompson o por el método gráfico), se hace una estimación del contenido de grava y arena por metro cúbico de concreto y éste se calcula de forma similar al método A.C.I.; para este proceso se necesita sacar una densidad aparente promedio y los respectivos pesos de grava y arena para el metro cúbico; se usan las ecuaciones 4.4., 4.5., 4.6., 4.7.:

$$d_{prom} = \frac{(dg) * (df)}{(\%f) * (dg) + (\%g) * (df)}$$

Ecuación 4.4.

$$d_{prom} = \frac{Wt}{Vt} \Rightarrow Wt = (d_{prom}) * (Vt)$$

Ecuación 4.5.

$$Wg = (d_{prom}) * (Vt) * (\%g)$$

Ecuación 4.6.

$$Wf = (d_{prom}) * (Vt) * (\%f)$$

Ecuación 4.7.

Donde:

d_{prom} = Densidad aparente promedio.

d_g = Densidad del agregado grueso (grava).

d_f = Densidad del agregado fino (arena).

$\%g$ = porcentaje de agregado grueso, en forma decimal.

$\%f$ = porcentaje de agregado fino, en forma decimal.

W_t = Masa total de agregados por m^3 de concreto.

V_t = Volumen total de agregados por m^3 de concreto.

W_g = Masa del agregado grueso por m^3 de concreto.

W_f = Masa del agregado fino por m^3 de concreto.

4.9. AJUSTE DE LA CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO DEBIDO A LA HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Debido a las partículas de los agregados que pueden estar húmedas o parcialmente húmedas, la mezcla de concreto puede quedar con mucha más cantidad de agua de la requerida, por eso se recomienda que los agregados pétreos deben estar totalmente secos; se hace indispensable el uso del laboratorio donde se puede lograr que los agregados estén totalmente secos. Los agregados, se deben dejar durante 24 horas en un horno a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los cálculos que se hacen en los puntos anteriores corresponden a una mezcla donde se considera que los materiales pétreos están totalmente secos, pero por lo general en obra no se puede hacer que dichos materiales estén totalmente secos; se considera que tanto como el agregado grueso (grava) y el agregado fino (arena) están en un estado saturado superficialmente seco (SSS).

Se necesita hacer una corrección por ajuste de humedad a los materiales pétreos. SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego, recomienda hacer el ajuste de humedad con la expresión 4.8.:

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

Ecuación 4.8.

Donde:

A= Agua en 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 fórmula 4.9.:

$$H = \frac{M_h - M}{M}$$

Ecuación 4.9.

Donde:

H= Humedad del agregado en tanto por uno.

M_h= Peso de la muestra húmeda en gramos.

M= Peso de la muestra seca, en gramos

El cálculo de la absorción de determinada por la expresión 4.10.:

$$Abs = \frac{M_{SSS} - M}{M}$$

Ecuación 4.10.

Donde:

Abs= Absorción de la muestra en tanto por uno.

M_{SSS}= Peso de la muestra en estado SSS, en gramos.

M= Peso de la muestra, en gramos

4.10. AJUSTE DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA

Este ajuste se hace cuando la mezcla no cumple con el asentamiento requerido; se debe hacer un cilindro de prueba, con los cálculos o valores de los materiales ya determinados en los puntos anteriores. La mejor forma para determinar el asentamiento es con el ensayo del cono de Abrams, donde se verifica el peso unitario y el rendimiento volumétrico del concreto.

Para determinar el cálculo del ajuste de una mezcla, se utilizan las formulas 4.11. y 4.12.:

$$W = \frac{W_{mat+recip} - W_{recip}}{V_{recip}} (Kg / m^3)$$

Ecuación 4.11.

Donde:

W = Peso unitario del concreto.

$W_{\text{mat} + \text{recip}}$ = Peso de concreto de la mezcla fresca más el peso del recipiente de medida.

W_{recip} = Peso del recipiente de medida.

V = Volumen del recipiente de medida.

$$Y = \frac{W_1}{W} (m^3)$$

Ecuación 4.12.

Donde:

Y = Volumen de concreto producido por dosificación (rendimiento volumétrico).

W = Peso unitario del concreto.

W_1 = Peso total del material dosificado ($W_{\text{agregados}} + W_{\text{cimento}} + W_{\text{agua}}$).

5. OTROS MÉTODOS PARA DOSIFICAR EL CONCRETO HIDRÁULICO

A continuación se explicarán algunos métodos de dosificación del concreto, tanto a nivel colombiano como a nivel internacional:

5.2. DOSIFICACIÓN POR VOLUMEN PARA MEZCLAS DE CONCRETO

Es el método empírico para dosificar mezclas de concreto más antiguo del mundo; es usado por su facilidad y comodidad para calcular la cantidad de material aglutinante (cemento) y pétreo (grava y arena) para un metro cúbico de mezcla. La tabla 5.1. muestra los valores recomendados en proporciones de los materiales principales de la mezcla, para diferentes valores de resistencia a la compresión del concreto.

TABLA 5.1. VALORES RECOMENDADOS PARA HACER 1 M³ DE CONCRETO, MÉTODO VOLUMÉTRICO

Dosificación o riqueza de cemento por metro cúbico de hormigón (kg/m ³)	Proporciones			Litros			Usos y empleos preferentes del hormigón
	Cemento	Arena	Grava	Cemento	Arena	Grava	
100	1	6	12	75	450	900	Rellenos. Hormigón de limpieza o pobre.
150	1	4	8	110	440	880	Zanjas. Cimientos. Grandes espesores.
200	1	3	6	145	435	870	Muros de contención. Pozos de cimentación. Soleras.
250	1	2,5	5	170	425	850	Pilares, soportes y prefabricados corrientes. Pavimentos.
300	1	2	4	207	415	830	Hormigones amados. Zapatas. Muros especiales.
350	1	2	3	240	480	720	Hormigones para estructuras. Pilares. Vigas.
400	1	1,5	3	263	395	790	Forjados delgados. Piezas a fatiga. Viguetas.
450	1	1,5	2,5	290	435	725	Prefabricados especiales. Pretensados. Postensados.
500	1	1	2	360	360	730	Trabajos y obras muy especiales de gran control.

Universidad de Cantabria, [Santander, Cantabria, España]

<URL:<http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/cementos-morteros-y-hormigones/otros-recursos-1/Dosificacion%20de%20Hormigones.pdf>>

El defecto que tiene este método es su uso en obras de bajo costo e impacto donde, la realización de la obra sea manual.

5.3. MÉTODO SEGÚN DE LA PEÑA

Este es un método que se aplica en hormigones estructurales de edificios, pavimentos, canales, depósitos de agua, puentes, etc. Se basa en dosificar las mezclas cumpliendo una resistencia solicitada.

Para este método se debe tener en cuenta el contenido de cemento mínimo para un metro cúbico de mezcla de concreto, debe ser de 300 Kg/m³ y que la estructura no esté expuesta a condiciones abrasivas. También, considera como tamaño máximo del árido la abertura del tamiz más pequeño de la serie empleada, que retenga menos del 25 % de la fracción más gruesa del árido.

El método de “De La Peña”, relaciona principalmente la concentración de agua/cemento (en peso), y en segunda instancia la resistencia del hormigón a los 28 días (en N/mm²).

5.4. MÉTODO DISEÑO RACIONAL DE MEZCLA DE HORMIGÓN – MÉTODO ICPA

Este método se utiliza para diseño de mezclas consideradas convencionales y permite asegurar la durabilidad bajo condiciones de exposición abrasivas. Este método exige un reconocimiento detallado tanto de los materiales como de la información de la obra.

El método considera las siguientes etapas:

- Elección del cemento a emplear (según la clasificación CP30 – CP40 – CP50).
- Elección de una consistencia adecuada (asentamiento).
- Estimar la cantidad de aire a incorporar.
- Distribución granulométrica de los agregados.

- Cálculo de la cantidad de agua de mezclado.
- Cálculo de la resistencia de diseño.
- Estimación de la relación agua/cemento (a/c).
- Cálculo del contenido unitario de cemento.
- Determinación de la cantidad de agregado fino y grueso.

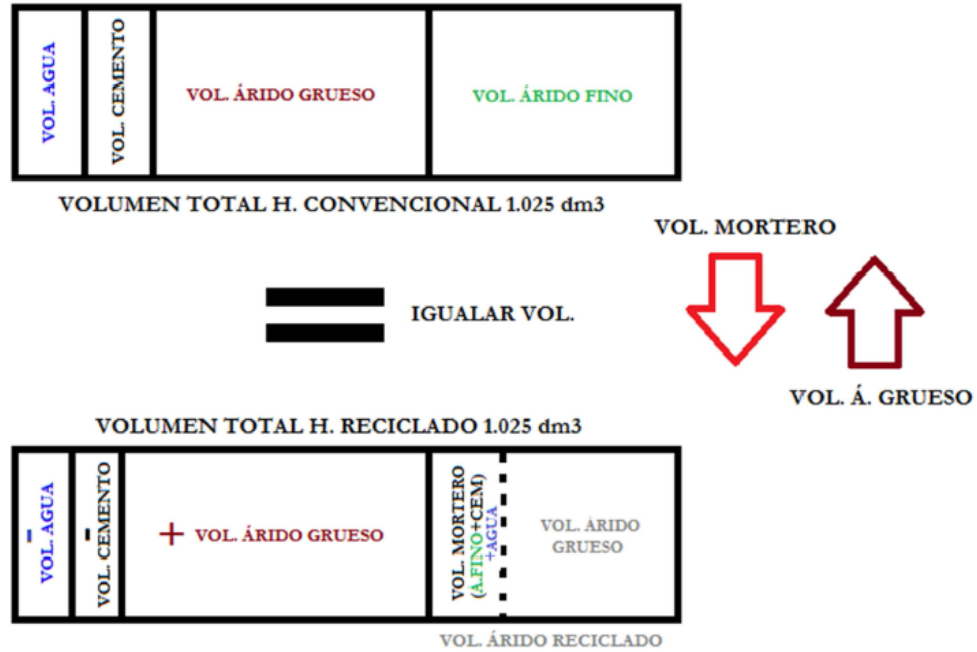
5.5. MÉTODO NUEVA TÉCNICA DE DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES RECICLADOS: MÉTODO DEL VOLUMEN DE MORTERO EQUIVALENTE (E.M.V)

Este método consiste en hacer dosificaciones del hormigón con áridos reciclables no mayores al 20%; el material de reemplazo es cemento y arena por material pétreo reciclable. También, se hace necesario una adición mayor de agua de mezclado (mayor a los concretos convencionales), para conseguir una consistencia (asentamiento) deseado y en ocasiones se deben usar aditivos plastificantes o superplastificantes, para que los agregados finos y gruesos cumplan con la humedad óptima. Para este método se necesita tener previamente la cantidad de mortero adherido al árido natural, en los áridos reciclados (GONZÁLES ARIAS, Eduardo, 2012).

Trata de igualar el volumen de contenido de mortero y árido grueso en la mezcla, con relación al volumen que podría contener un hormigón convencional; esto se logra considerando el volumen residual adherido al árido reciclado correspondiente y al volumen fresco generado en el nuevo hormigón elaborado (GONZÁLES ARIAS, Eduardo, 2012).

El método E.M.V. causa un descenso en el uso del cemento, arena y agua en la mezcla, para substituirlo e igualar los volúmenes por árido grueso, (GONZÁLES ARIAS, Eduardo, 2012), la figura 5.1. muestra el esquema del comportamiento en volúmenes de un mezcla convencional y uno reciclable:

FIGURA 5.1. ESQUEMAS DE LOS VOLÚMENES DE UNA MEZCLA CONVENCIONAL Y OTRA POR EL MÉTODO E.M.V.



GONZÁLES ARIAS, Eduardo. Trabajo de Grado: Nueva técnica de dosificación de hormigones reciclados: Método del volumen de mortero equivalente. 2012. Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de Ingeniería de la Construcción.

El método E.M.V. se fundamenta en adoptar el método de Bolomey y aplicando la metodología del método A.C.I., la relación agua/cemento está comprendida entre los rangos de 0,45 – 0,60 (GONZÁLES ARIAS, Eduardo, 2012).

6. COMPARACIÓN DEL MÉTODO A.C.I CON LOS OTROS MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

Cualquier tipo de diseño de mezclas de concreto tiene como finalidad encontrar las proporciones adecuadas de los diferentes tipos de materiales, que al mezclarse posean características de resistencia, durabilidad y trabajabilidad.

Como se puede observar en el punto anterior, los métodos para el diseño de mezclas de hormigón (diferentes al A.C.I.) utilizados, son comúnmente empíricos o se basan en el método convencional A.C.I.; esto hace que el método A.C.I. sea por un lado el método de dosificación de concreto más usado a nivel mundial y por otro lado el más exacto a la hora de calcular las proporciones de los ingredientes de la mezcla; además el método A.C.I. considera abrasivas para la durabilidad de la mezcla.

El método de dosificación por volumen es comúnmente usado en obra por su facilidad al calcular, pero con respecto al A.C.I., es un método donde no se puede comprobar una consistencia y trabajabilidad de la mezcla; otro problema es que no considera el tamaño y la humedad de los agregados, que pueden afectar el transporte de la mezcla a la obra o al sitio de colocación y la relación agua/cemento por el exceso o defecto de agua de mezclado.

Con respecto al método de “De La Peña”, el método A.C.I. considera parámetros de asentamiento y granulometría óptima, esto hace que el método de “De La Peña” solo sea usado para que el concreto cumpla con una resistencia requerida, lo que causa que la mezcla sea de difícil manejo y colocación en obra.

El defecto que tiene el diseño racional de mezcla de hormigón es la limitación del tipo de cemento que se puede usar, limitando también el número de estructuras u obras que se pueden realizar con dicho método.

El método E.M.V. se ve afectado por el rango que se tiene en la relación agua/cemento; lo que puede limitar algunas capacidades del concreto para resistir algunas cargas a compresión. Por otro lado, se debe escoger un material reciclable adecuado para su tratamiento y mezclado con el nuevo material; esto conlleva a que los efectos puedan ser adversos, si dichos materiales no cumplen con las normas internacionales para reutilizar los materiales de construcción.

7. METODOLOGÍA

El diseño de mezclas de concreto se realizó por el método A.C.I., con agregados pétreos (agregado grueso- grava y agregado fino-arena) de origen aluvial y cemento tipo 1.

Se elaboraron mezclas de concreto en el laboratorio de suelos y materiales de la Universidad Santo Tomás, sede Bogotá. Para esta actividad se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Probetas cilíndricas con 100% de cemento.
- Probetas con cemento + 10% de ceniza volante.
- Probetas con cemento + 20% de ceniza volante.
- Probetas con cemento + 25% de ceniza volante.
- Probetas con cemento + 30% de ceniza volante.

Las Normas Icontec que se tuvieron en cuenta en el proyecto fueron:

TIPO DE NORMA	TÍTULO DE LA NORMA
NTC 3459	Calidad del agua para concretos
NTC 673	Resistencia a la compresión
NTC 550	Elaboración de probetas cilíndricas de concreto
NTC 504	Refrentado de cilindros

NTC 1377	Curado en el laboratorio
NTC 3512	Tanques de curado
NTC 454	Toma de muestras

Las muestras de concreto endurecido se fallaron para determinar la resistencia a la compresión a 3, 7, 14, 21, 28 y 60 días. Se hicieron quince (15) cilindros por cada porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante, para un total de 90 cilindros realizados.

Recopilando datos de laboratorio y de literatura internacional, se estructuraron informes preliminares, para posteriormente, del análisis y corrección de la información experimental, interpretar el comportamiento e influencia de las cenizas volantes en la resistencia a la compresión de mezclas de concreto, teniendo en cuenta los porcentajes de reemplazo de cemento por ceniza y la caracterización de las cenizas volantes de Termotasajero.

7.2. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

El cálculo de la mezcla de hormigón se realizó de la siguiente manera:

- **Datos generales de la obra:** El diseño se hace para Columnas de dimensiones mínimas entre 19 y 29 centímetros, no está expuesta a intemperismo ni a condiciones agresivas. El diseño estructural exige una resistencia a la compresión a los 28 días de 280 Kg/cm². El diseño del elemento en lo que se refiere al espaciamiento de acero de refuerzo y la dimensión mínima del elemento, obligan a que el Tamaño Máximo Nominal sea de 1 pulgada.
- **Datos de los materiales:** de los materiales disponibles para elaborar el concreto se conoce:

A. Del agregado grueso (Grava):

A.1. Granulométrica: Ver resultados y gráfica de análisis granulométricos, de donde se tiene que el Tamaño Máximo es igual a 1 pulgada y Tamaño Máximo Nominal es igual a 1 pulgada. (Ver anexo B).

A.2. Masas unitarias:

Masa unitaria compacta (M.U.C.)= 1406 Kg/m^3 .
Masa unitaria suelta (M.U.S.) = 1304 Kg/m^3 .

A.3. Densidad aparente seca: $2,24 \text{ g/cm}^3$.

A.4. Absorción: 4,2 %.

A.5. Humedad Natural: 1,74%.

A.6. Origen y forma: el material es angular y de textura rugosa.

B. Del agregado fino (Arena):

B.1. Granulométrica: Ver resultados y gráfica de análisis granulométricos, de donde se tiene que el módulo de finura es de 3.02. (Ver anexo B).

B.2. Masas unitarias:

Masa unitaria compacta (M.U.C.)= 1713 Kg/m^3 .
Masa unitaria suelta (M.U.S.) = 1547 Kg/m^3 .

B.3. Densidad aparente seca: $2,52 \text{ g/cm}^3$.

B.4. Absorción: 0,7 %.

B.5.Humedad Natural: 4,20%.

B.6.Ensayo colorimétrico: número 2.

C. Del cemento: el tipo de cemento que se usó en el proyecto es cemento portland tipo 1, específicamente Cemex Súper Resistente, el cual tiene una densidad de $3,0 \text{ g/cm}^3$ (3000 Kg/m^3).

7.2.1. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Con base a la tabla 4.1. se puede elegir el rango de asentamiento, que está comprendido entre 5 y 10 centímetros. Como se trata de un elemento (no es un muro de gravedad) que requiere de un grado de trabajabilidad medio con tendencia a ser alto, se puede adoptar un asentamiento de 10 centímetros.

7.2.2. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)

El TMN limitado por las dimensiones de la estructura, está estipulado en 1 pulgada (25.4 mm), ver tabla 4.2. De acuerdo con la granulometría de la grava, se aprecia que cumple con este requisito. TMN = 1 pulgada.

7.2.3. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

Los elementos estructurales no estarán expuestos a ambientes agresivos ni a ciclos de congelamiento deshielo, por tanto no se requiere el uso de incorporación de aire. En cuanto a la estimación de la cantidad de aire atrapado, de la tabla 4.3., para un TMN de 1 pulgada, se tiene una cantidad aproximada de 1.5 %, o sea de 15 litros ($0,015 \text{ m}^3/\text{m}^3$).

7.2.4. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO

Para un TMN de 1 pulgada, agregados de forma angulosa y textura rugosa, asentamiento de 10 centímetros y concreto sin aire incluido, se tiene de la figura 4.1., 204 Kg de agua por metro cúbico de concreto (204 Kg/m^3); es decir, 204 litros de agua por metro cúbico de concreto. De la tabla 4.4., 195 Kg de agua por metro cúbico de concreto; es decir, 195 litros de agua por metro cúbico de concreto. En la tabla numero 11.7 (SANCHEZ DE GUZMAN, Diego), con asentamiento, TM, forma angular y textura rugosa, sin aire incluido se obtiene: Asentamiento = 100 mm, $T_m = 1$ pulgada. Entonces:

❖ 192 litros de agua por metro cúbico de concreto.

Se toma el valor de la tabla 4.4., que corresponde a 195 litros de agua, $0.195 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 195 Kg/m^3 .

7.2.5. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (a/c)

La elección de la relación agua/cemento depende básicamente de la resistencia y la durabilidad. Se utilizan los valores de la tabla 4.5., de donde se consigue para una resistencia de 280 Kg/cm^2 y para un concreto sin aire incluido, una relación agua/cemento de 0,47 (en la figura 4.2., se obtiene agua/cemento = 0,475 aproximadamente). Se tomará agua/cemento = 0.47.

7.2.6. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

Con la relación agua/cemento (en peso) elegido y la cantidad de agua, se logra la cantidad (en peso) de cemento por metro cúbico de concreto.

$$r = \frac{a}{c}$$

$$r = 0.47$$

$$a = 195 \text{Kg} / \text{m}^3$$

Entonces:

$$c = \frac{a}{r}$$

$$c = \frac{195 \text{Kg} / \text{m}^3}{0.47} = 414,89361 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$c = 414,89 \text{Kg} / \text{m}^3$$

El volumen de cemento por metro cúbico de concreto es:

$$V_c = \frac{c}{\rho} = \frac{414,89 \text{Kg} / \text{m}^3}{3000 \text{Kg} / \text{m}^3} = 0,1383 \text{m}^3 / \text{m}^3$$

$$V_c = 0,1383 \text{m}^3 / \text{m}^3$$

7.2.7. VERIFICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS

La tabla 7.1. muestra las granulometrías de los materiales que se utilizaron en el proyecto y las especificaciones A.C.I. (o ASTM C33) para el diseño de mezclas de concreto.

TABLA 7.1. GRANULOMETRÍA A COMPARAR CON LAS ESPECIFICACIONES ASTM C33

TAMIZ (PULGADAS)	PORCENTAJE QUE PASA (%PASA)			
	LÍMITE INFERIOR	GRANULOMETRÍA A COMPARAR	LÍMITE SUPERIOR	VERIFICACIÓN
GRAVA				
1	100	100	100	OK
3/4	90	67,7	100	NO
1/2		17,1		NO
3/8	20	11,7	55	NO
# 4	0	7,1	10	OK
# 8	0	4,6	5	OK
# 16		3,6		NO
# 30		3,2		NO
# 50		2,8		NO
# 100		1,9		NO
# 200		1,2		NO
ARENA				
3/8	100	100	100	OK
# 4	95	90,4	100	NO
# 8	80	73,8	100	NO
# 16	50	60,3	85	OK
# 30	25	42,7	60	OK
# 50	10	21,0	30	OK
# 100	2	9,4	10	OK
# 200		4,6		NO

Fuente: autores.

Como se puede apreciar en la tabla 7.1., algunos de los tamaños de los materiales (grava y arena) no cumplen con los requisitos granulométricos ASTM C33 (NTC 174). Por esta razón se debe optimizar la granulometría, por medio del método de la Road Note Laboratory (RNL), tomando el método gráfico como parámetro de diseño.

✓ Método gráfico:

La tabla 7.2. muestra los rangos granulométricos que se especifican para el método gráfico de la tabla 4.11.

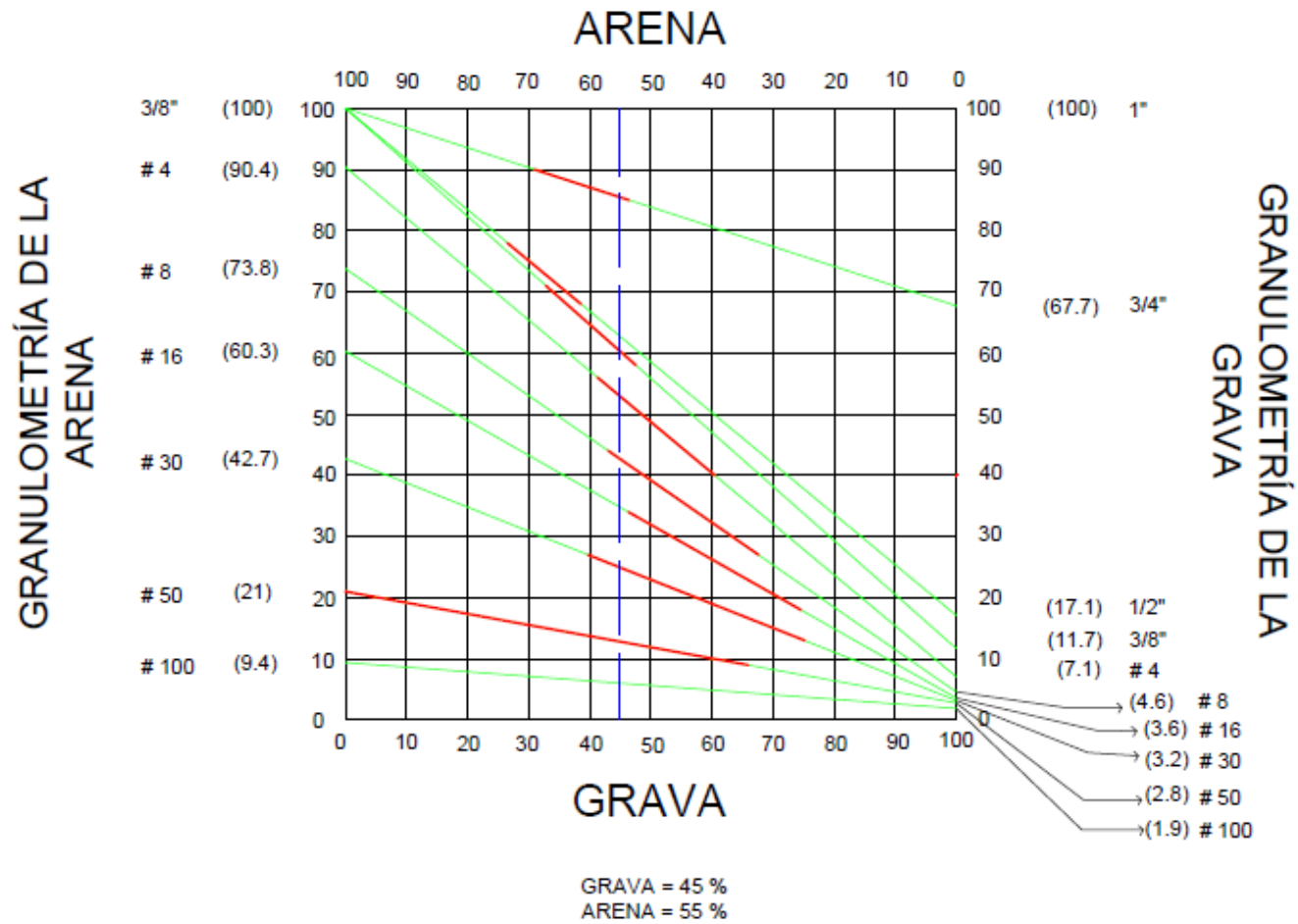
TABLA 7.2. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS Y RANGOS GRANULOMÉTRICOS RECOMENDADOS

TAMIZ (PULGADAS)	PORCENTAJE QUE PASA (%PASA)			
	GRAVA	ARENA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
1	100		100	100
3/4	67,7		85	90
1/2	17,1		68	78
3/8	11,7	100	58	71
# 4	7,1	90,4	40	56
# 8	4,6	73,8	27	44
# 16	3,6	60,3	18	34
# 30	3,2	42,7	13	27
# 50	2,8	21,0	9	21
# 100	1,9	9,4	6	17

Fuente: autores.

La gráfica 7.1. muestra los porcentajes de los materiales pétreos (grava y arena) que se usaron en la mezcla.

FIGURA 7.1. GRÁFICA DEL MÉTODO GRÁFICO



Fuente: autores.

✓ Optimización granulométrica:

La optimización granulométrica para el proyecto se muestra en la tabla 7.3. (ver grafica 7.1.).

TABLA 7.3. GRANULOMETRÍA OPTIMIZADA EN EL PROYECTO

TAMIZ (PULGADAS)	% PASA
1	100
3/4	85
1/2	75
3/8	62
# 4	44
# 8	41
# 16	34
# 30	24
# 50	13
# 100	6

Fuente: autores.

Según el método gráfico, la optimización de los porcentajes de grava y arena para utilizar en la mezcla son:

$$\% \text{ ARENA} = 55 \% = 0,55$$

$$\% \text{ GRAVA} = 45 \% = 0,45$$

Volumen de los agregados por metro cúbico de concreto:

$$V_{\text{agregados}} = 1 - (V_{\text{cemento}} + V_{\text{aire}} + V_{\text{agua}})$$

$$V_{\text{agregados}} = 1 - (0.138 + 0.015 + 0.195) = 0,652 \text{ m}^3 / \text{ m}^3$$

Para calcular los pesos secos respectivos se debe conocer la densidad aparente promedio. Como la densidad aparente de la grava ($d_g = 2240 \text{ Kg/m}^3$) y la densidad aparente de la arena ($d_f = 2520 \text{ Kg/m}^3$), se emplea la expresión:

$$d_{prom} = (\%f) * (d_f) + (\%g) * (d_g)$$

$$d_{prom} = (0,55 * 2520) + (0,45 * 2240)$$

$$d_{prom} = 1386 + 1008$$

$$d_{prom} = 2394 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Ahora:

$$W_{grava} = (d_{prom}) * (V_t) * (\%g)$$

$$W_{arena} = (d_{prom}) * (V_t) * (\%f)$$

V_t = volumen de agregados.

$$W_{grava} = 2394 * 0,652 * 0,45 = 702,40 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{arena} = 2394 * 0,652 * 0,55 = 858,49 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

De esta forma queda determinados todos los ingredientes de la mezcla.

7.2.8. AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS PARA LA MEZCLA NÚMERO 1

GRAVA: Absorción = 4.2%, Humedad = 1,74%
ARENA: Absorción = 0.7%, Humedad = 4,2%

Los pesos húmedos de los agregados son:

$$M_{Hgrava} = 702.40 * (1 + 0.0174) = 714,62Kg / m^3$$

$$M_{Harena} = 858.49 * (1 + 0.0420) = 894,55Kg / m^3$$

Entonces el agua en exceso o defecto es:

Para la grava:

$$A_{grava} = 702,40 * (0,0174 - 0,042) = 17,279Kg \quad (\text{Déficit})$$

Para la arena:

$$A_{arena} = 858,49 * (0,0420 - 0,007) = 30,047Kg \quad (\text{Exceso})$$

Entonces

$$A = 30,047 - 17,279 = 12,768Kg \quad (\text{Exceso})$$

Por lo tanto, el agua de mezclado será:

$$A_{mezclado} = 195 - 12,768 = 182,23Kg / m^3$$

7.2.9. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO

En la tabla 7.4. se indican los pesos de los materiales, para un metro cúbico de mezcla:

TABLA 7.4. MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO DEL PROYECTO

MATERIAL	PESO W (Kg/m ³)	DENSIDAD D ₁ (Kg/m ³)	VOLUMEN V ₁ (m ³ /m ³)	AJUSTE POR HUMEDAD W ₁ (Kg/m ³)	VALORES APROXIMADOS QUE SE VAN A USAR W ₁ (Kg/m ³)
CEMENTO	414,89	3000	0,138	414,89	415
AGUA	195	1000	0,195	182,23	182
AIRE	0	0	0,015	0	0
GRAVA	702,40	2240	0,314	714,62	715
ARENA	858,49	2520	0,341	894,55	895
TOTAL	2170,78		1,00		

Fuente: autores.

7.2.10. REEMPLAZO DE CEMENTO POR CENIZAS VOLANTES

Teniendo los valores de la cantidad exacta de cemento para el diseño de la mezcla, se procede a hacer los respectivos reemplazos de cemento por las cenizas volantes de la planta termoeléctrica Termotasajero de la ciudad de Cúcuta;

$$W_{1\text{cemento}}=415 \text{ Kg/m}^3$$

Los porcentajes de reemplazo para el proyecto son: 10%, 20%, 25%, y 30%, entonces:

$$W_{10\%} = 415 - (415 * 10\%) = 373,50 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{\text{CEMENTO}10\%} = 373,50 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{\text{CENIZAS}10\%} = 41,50 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{20\%} = 415 - (415 * 20\%) = 332 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{\text{CEMENTO}20\%} = 332 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{\text{CENIZAS}20\%} = 83 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{25\%} = 415 - (415 * 25\%) = 311,25 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{\text{CEMENTO}25\%} = 311,25 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{\text{CENIZAS}25\%} = 103,75 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{30\%} = 415 - (415 * 30\%) = 290,50 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{\text{CEMENTO}30\%} = 290,50 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$W_{\text{CENIZAS}30\%} = 124,50 \text{Kg} / \text{m}^3$$

La tabla 7.5. muestra un resumen del reemplazo de cemento por ceniza volante para el diseño de un metro cúbico de mezcla.

TABLA 7.5. TABLA RESUMEN REEMPLAZO DE CEMENTO POR CENIZAS VOLANTES

PORCENTAJE DE REEMPLAZO	CEMENTO W (Kg/m ³)	CENIZAS W (Kg/m ³)	TOTAL W (Kg/m ³)
NORMAL	415	0	415
10%	373,5	41,5	415
20%	332	83	415
25%	311,25	103,75	415
30%	290,5	124,5	415

Fuente: autores.

7.3. CONTROL DE LA HUMEDAD DE LOS MATERIALES PÉTREOS

Los materiales pétreos (grava y arena) cambian de humedad, por esta razón se hicieron varios ensayos de humedad y sus correspondientes ajustes.

7.3.1. AJUSTE DE LA HUMEDAD DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA NÚMERO 2

La nueva humedad de los agregados gruesos y finos es:

$$\begin{aligned}W_{\text{Grava}} &= 1,121 \% = 0,01121 \\W_{\text{Arena}} &= 3,57 \% = 0,0357\end{aligned}$$

Los pesos húmedos de los agregados son:

$$\begin{aligned}M_{H_{\text{grava}}} &= 702,40 * (1 + 0,01121) = 710,12 \text{Kg} / \text{m}^3 \\M_{H_{\text{arena}}} &= 858,49 * (1 + 0,0357) = 889,14 \text{Kg} / \text{m}^3\end{aligned}$$

Entonces el agua en exceso o defecto es:

Para la grava:

$$A_{\text{grava}} = 702,40 * (0,01121 - 0,042) = 21,63 \text{Kg} \quad (\text{Déficit})$$

Para la arena:

$$A_{\text{arena}} = 858,49 * (0,0357 - 0,007) = 24,64 \text{Kg} \quad (\text{Exceso})$$

Entonces

$$A_{total} = 24,64 - 21,63 = 3,01Kg \quad (\text{Exceso})$$

Por lo tanto, el agua de mezclado será:

$$A_{mezclado} = 195 - 3,01 = 191,99Kg / m^3$$

$$A_{mezclado} = 192Kg / m^3$$

Entonces la nueva mezcla (con el ajuste por humedad) queda como se muestra en la tabla 7.6.

TABLA 7.6. MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO, CON SU RESPECTIVO AJUSTE DE HUMEDAD – NÚMERO 2

MATERIAL	PESO W (Kg/m ³)	DENSIDAD D ₁ (Kg/m ³)	VOLUMEN V ₁ (m ³ /m ³)	AJUSTE POR HUMEDAD W ₁ (Kg/m ³)	VALORES APROXIMADOS QUE SE VAN A USAR W ₁ (Kg/m ³)
CEMENTO	414,89	3000	0,138	414,89	415
AGUA	195	1000	0,195	192	192
AIRE	0	0	0,015	0	0
GRAVA	702,40	2240	0,314	710,12	710
ARENA	858,49	2520	0,341	889,14	889
TOTAL	2170,78		1,00		

Fuente: autores.

7.3.2. AJUSTE DE LA HUMEDAD DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA NÚMERO 3

La nueva humedad de los agregados gruesos y finos es:

$$W_{\text{Grava}} = 0,77 \% = 0,0077$$

$$W_{\text{Arena}} = 4,16 \% = 0,0416$$

Los pesos húmedos de los agregados son:

$$M_{H\text{grava}} = 702,40 * (1 + 0,0077) = 707,81 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$M_{H\text{arena}} = 858,49 * (1 + 0,0416) = 894,20 \text{Kg} / \text{m}^3$$

Entonces el agua en exceso o defecto es:

Para la grava:

$$A_{\text{grava}} = 702,40 * (0,0077 - 0,042) = 24,09 \text{Kg} \text{ (Déficit)}$$

Para la arena:

$$A_{\text{arena}} = 858,49 * (0,0416 - 0,007) = 29,70 \text{Kg} \text{ (Exceso)}$$

Entonces

$$A_{\text{total}} = 29,70 - 24,09 = 5,61 \text{Kg} \text{ (Exceso)}$$

Por lo tanto, el agua de mezclado será:

$$A_{\text{mezclado}} = 195 - 5,61 = 189,39 \text{Kg} / \text{m}^3$$

Entonces la nueva mezcla (con el ajuste por humedad) queda como se muestra en la tabla 7.7.

TABLA 7.7. MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO, CON SU RESPECTIVO AJUSTE DE HUMEDAD – NÚMERO 3

MATERIAL	PESO W (Kg/m ³)	DENSIDAD D ₁ (Kg/m ³)	VOLUMEN V ₁ (m ³ /m ³)	AJUSTE POR HUMEDAD W ₁ (Kg/m ³)	VALORES APROXIMADOS QUE SE VAN A USAR W ₁ (Kg/m ³)
CEMENTO	414,89	3000	0,138	414,89	415
AGUA	195	1000	0,195	189,39	190
AIRE	0	0	0,015	0	0
GRAVA	702,40	2240	0,314	707,81	708
ARENA	858,49	2520	0,341	894,20	894
TOTAL	2170,78		1,00		

Fuente: autores.

7.3.3. AJUSTE DE LA HUMEDAD DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA NÚMERO 4

La nueva humedad de los agregados gruesos y finos es:

$$W_{\text{Grava}} = 0,92 \% = 0,0092$$

$$W_{\text{Arena}} = 4,34 \% = 0,0434$$

Los pesos húmedos de los agregados son:

$$M_{H\text{grava}} = 702,40 * (1 + 0,0092) = 708,86 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$M_{H\text{arena}} = 858,49 * (1 + 0,0434) = 895,75 \text{Kg} / \text{m}^3$$

Entonces el agua en exceso o defecto es:

Para la grava:

$$A_{grava} = 702,40 * (0,0092 - 0,042) = 23,04Kg \text{ (Déficit)}$$

Para la arena:

$$A_{arena} = 858,49 * (0,0434 - 0,007) = 31,25Kg \text{ (Exceso)}$$

Entonces

$$A_{total} = 31,25 - 23,04 = 8,21Kg \text{ (Exceso)}$$

Por lo tanto, el agua de mezclado será:

$$A_{mezclado} = 195 - 8,21 = 186,79Kg / m^3$$

Entonces la nueva mezcla (con el ajuste por humedad) queda como se muestra en la tabla 7.8.

TABLA 7.8. MEZCLA DE CONCRETO PARA UN METRO CÚBICO, CON SU RESPECTIVO AJUSTE DE HUMEDAD – NÚMERO 4

MATERIAL	PESO W (Kg/m ³)	DENSIDAD D ₁ (Kg/m ³)	VOLUMEN V ₁ (m ³ /m ³)	AJUSTE POR HUMEDAD W ₁ (Kg/m ³)	VALORES APROXIMADOS QUE SE VAN A USAR W ₁ (Kg/m ³)
CEMENTO	414,89	3000	0,138	414,89	415
AGUA	195	1000	0,195	186,79	187
AIRE	0	0	0,015	0	0
GRAVA	702,40	2240	0,314	708,86	709
ARENA	858,49	2520	0,341	895,75	896
TOTAL	2170,78		1,00		

Fuente: autores.

7.4. CONTROL DE CILINDROS DEL PROYECTO

Durante la realización del proyecto se llevó acabo un control para el manejo cronológico de los cilindros que se elaboraron; cada cilindro tiene su respectiva dosificación y ajuste de humedad de los agregados gruesos y finos. También realizó el ajuste de la mezcla de un metro cúbico, a la cantidad de cilindros que se hicieron en un día en el laboratorio.

7.4.1. PRIMERA MEZCLA CON EL PRIMER AJUSTE DE HUMEDAD

La mezcla que se preparó fue para 1 m³ o 1000 l, entonces los cálculos hechos anteriormente en el punto 7.1.9. y ajustados a la cantidad de cilindros elaborados, queda así:

- Volumen de 1 cilindro de prueba:

$$H = 30.6cm$$

$$D = 15,1cm$$

$$r = 7,55cm$$

$$V = \Pi * r^2 * H = \Pi * (7,55)^2 * (30,6) = 5479,81cm^3$$

$$1litro = 1000cm^3$$

$$5479,81cm^3 * \frac{1l}{1000cm^3} = 5,4798l$$

$$V = 5,48l$$

- Mayo 8 de 2014: se hicieron 15 cilindros todos a 60 días y se dividen así; 3 cilindros de mezcla estándar, 3 cilindros con reemplazo del 10% de ceniza, 3 cilindros con reemplazo del 20% de ceniza, 3 cilindros con reemplazo del 25% de ceniza y 3 cilindros con reemplazo del 30% de ceniza. Como se consideraron pérdidas durante el mezclado, se hicieron cálculos para 3.5 cilindros para cada reemplazo.
- Mayo 9 de 2014: se hicieron 6 cilindros los cuales 3 de ellos son a 3 días y los otros 3 son a 28 días y todos de mezcla estándar. Como se

consideraron pérdidas durante el mezclado, se hicieron cálculos para 3.5 cilindros para cada reemplazo.

Se muestran algunos cálculos que se hicieron para el desarrollo del control de los cilindros a las fechas efectuadas.

CEMENTO :

1000l → 415Kg

19,18l → X

$$X = \frac{415Kg * 19,18l}{1000l} = 7,96Kg$$

AGUA:

1000l → 182Kg

19,18l → X

$$X = \frac{182Kg * 19,18l}{1000l} = 3,49Kg$$

GRAVA :

1000l → 715Kg

19,18l → X

$$X = \frac{715Kg * 19,18l}{1000l} = 13,71Kg$$

ARENA :

1000l → 895Kg

19,18l → X

$$X = \frac{895Kg * 19,18l}{1000l} = 17,17Kg$$

La tabla 7.9. muestra el resumen de las cantidades correspondientes a los días mencionados.

TABLA 7.9. CANTIDAD DE MATERIALES USADOS PARA EL PRIMER MEZCLADO

TIPO DE MEZCLA	EDAD (DIAS)	MATERIAL	CANTIDAD (Kg)
FECHA: MAYO 8 /2014			
ESTANDAR	60	CEMENTO	7,96
		AGUA	3,49
		GRAVA	13,71
		ARENA	17,17
10%	60	CEMENTO	7,16
		CENIZA	0,8
		AGUA	3,49
		GRAVA	13,71
		ARENA	17,17
20%	60	CEMENTO	6,36
		CENIZA	1,6
		AGUA	3,49
		GRAVA	13,71
		ARENA	17,17
25%	60	CEMENTO	5,97
		CENIZA	1,99
		AGUA	3,49
		GRAVA	13,71
		ARENA	17,17
30%	60	CEMENTO	5,57
		CENIZA	2,39
		AGUA	3,49
		GRAVA	13,71
		ARENA	17,17
FECHA: MAYO 9 /2014			
ESTANDAR	3	CEMENTO	7,96
		AGUA	3,49
		GRAVA	13,71
		ARENA	17,17
ESTANDAR	28	CEMENTO	7,96
		AGUA	3,49
		GRAVA	13,71
		ARENA	17,17

Fuente: autores.

7.4.2. SEGUNDA MEZCLA CON EL SEGUNDO AJUSTE DE HUMEDAD

La mezcla que se preparó fue para 1 m³ o 1000 l, entonces los cálculos hechos anteriormente en el punto 7.2.2. y ajustados a la cantidad de cilindros elaborados, queda así:

- Volumen de 1 cilindro de prueba:

$$H = 30,6cm$$

$$D = 15,1cm$$

$$r = 7,55cm$$

$$V = \Pi * r^2 * H = \Pi * (7,55)^2 * (30,6) = 5479,81cm^3$$

$$1litro = 1000cm^3$$

$$5479,81cm^3 * \frac{1l}{1000cm^3} = 5,4798l$$

$$V = 5,48l$$

- Mayo 14 de 2014: se hicieron 12 cilindros todos a 28 días y se dividen así; 3 cilindros con reemplazo del 10% de ceniza, 3 cilindros con reemplazo del 20% de ceniza, 3 cilindros con reemplazo del 25% de ceniza y 3 cilindros con reemplazo del 30% de ceniza. Como se consideraron pérdidas durante el mezclado, se hicieron cálculos para 3.5 cilindros para cada reemplazo.
- Mayo 16 de 2014: se hicieron 30 cilindros, 15 de ellos fueron a 14 días y los otros 15 fueron a edades de 21 días y se dividen así; 6 cilindros de mezcla estándar, 6 cilindros con reemplazo del 10% de ceniza, 6 cilindros con reemplazo del 20% de ceniza, 6 cilindros con reemplazo del 25% de ceniza y 6 cilindros con reemplazo del 30% de ceniza. Como se consideraron pérdidas durante el mezclado, se hicieron cálculos para 7 cilindros para cada reemplazo.

Se muestran algunos cálculos que se hicieron para el desarrollo del control de los cilindros a las fechas efectuadas.

CEMENTO :

$$1000l \rightarrow 415Kg$$

$$38,36l \rightarrow X$$

$$X = \frac{415Kg * 38,36l}{1000l} = 15,92Kg$$

AGUA:

$$1000l \rightarrow 192Kg$$

$$38,36l \rightarrow X$$

$$X = \frac{192Kg * 38,36l}{1000l} = 7,36Kg$$

GRAVA :

$$1000l \rightarrow 710Kg$$

$$38,36l \rightarrow X$$

$$X = \frac{710Kg * 38,36l}{1000l} = 27,24Kg$$

ARENA :

$$1000l \rightarrow 889Kg$$

$$38,36l \rightarrow X$$

$$X = \frac{889Kg * 38,36l}{1000l} = 34,10Kg$$

La tabla 7.10. muestra el resumen de las cantidades correspondientes a los días mencionados.

TABLA 7.10. CANTIDAD DE MATERIALES USADOS PARA EL SEGUNDO MEZCLADO

TIPO DE MEZCLA	EDAD (DIAS)	MATERIAL	CANTIDAD (Kg)
FECHA: MAYO 14 /2014			
10%	28	CEMENTO	7,16
		CENIZA	0,8
		AGUA	3,68
		GRAVA	13,62
		ARENA	17,05
20%	28	CEMENTO	6,36
		CENIZA	1,6
		AGUA	3,68
		GRAVA	13,62
		ARENA	17,05
25%	28	CEMENTO	5,97
		CENIZA	1,99
		AGUA	3,68
		GRAVA	13,62
		ARENA	17,05
30%	28	CEMENTO	5,57
		CENIZA	2,39
		AGUA	3,68
		GRAVA	13,62
		ARENA	17,05
FECHA: MAYO 16 /2014			
ESTANDAR	14 y 21	CEMENTO	15,92
		AGUA	7,36
		GRAVA	27,24
		ARENA	34,1
10%	14 y 21	CEMENTO	14,32
		CENIZA	1,6
		AGUA	7,36
		GRAVA	27,24
		ARENA	34,1
20%	14 y 21	CEMENTO	12,72
		CENIZA	3,2
		AGUA	7,36
		GRAVA	27,24
		ARENA	34,1
25%	14 y 21	CEMENTO	11,94
		CENIZA	3,98
		AGUA	7,36
		GRAVA	27,24
		ARENA	34,1
30%	14 y 21	CEMENTO	11,14
		CENIZA	4,78
		AGUA	7,36
		GRAVA	27,24
		ARENA	34,1

Fuente: autores.

7.4.3. TERCERA MEZCLA CON EL TERCER AJUSTE DE HUMEDAD

La mezcla que se preparó fue para 1 m³ o 1000 l, entonces los cálculos hechos anteriormente en el punto 7.2.3. y ajustados a la cantidad de cilindros elaborados, queda así:

- Volumen de 1 cilindro de prueba:

$$H = 30,6cm$$

$$D = 15,1cm$$

$$r = 7,55cm$$

$$V = \Pi * r^2 * H = \Pi * (7,55)^2 * (30,6) = 5479,81cm^3$$

$$1litro = 1000cm^3$$

$$5479,81cm^3 * \frac{1l}{1000cm^3} = 5,4798l$$

$$V = 5,48l$$

- Junio 3 de 2014: se hicieron 9 cilindros todos a 3 días y se dividen así; 3 cilindros con reemplazo del 10% de ceniza, 3 cilindros con reemplazo del 20% de ceniza, 3 cilindros con reemplazo del 25% de ceniza. Como se consideraron pérdidas durante el mezclado, se hicieron cálculos para 3.5 cilindros para cada reemplazo.
- Junio 5 de 2014: se hicieron 6 cilindros todos a 7 días y se dividen así; 3 cilindros de mezcla estándar, 3 cilindros con reemplazo del 10% de ceniza. Como se consideraron pérdidas durante el mezclado, se hicieron cálculos para 7 cilindros para cada reemplazo.

Se muestran algunos cálculos que se hicieron para el desarrollo del control de los cilindros a las fechas efectuadas.

CEMENTO :

1000l → 415Kg

19,18l → X

$$X = \frac{415Kg * 19,18l}{1000l} = 7,96Kg$$

AGUA:

1000l → 190Kg

19,18l → X

$$X = \frac{190Kg * 19,18l}{1000l} = 3,64Kg$$

GRAVA:

1000l → 708Kg

19,18l → X

$$X = \frac{708Kg * 19,18l}{1000l} = 13,58Kg$$

ARENA :

1000l → 894Kg

19,18l → X

$$X = \frac{894Kg * 19,18l}{1000l} = 17,15Kg$$

La tabla 7.11. muestra el resumen de las cantidades correspondientes a los días mencionados.

TABLA 7.11. CANTIDAD DE MATERIALES USADOS PARA EL TERCER MEZCLADO

TIPO DE MEZCLA	EDAD (DIAS)	MATERIAL	CANTIDAD (Kg)
FECHA: JUNIO 3 /2014			
10%	3	CEMENTO	7,16
		CENIZA	0,8
		AGUA	3,64
		GRAVA	13,58
		ARENA	17,15
20%	3	CEMENTO	6,36
		CENIZA	1,6
		AGUA	3,64
		GRAVA	13,58
		ARENA	17,15
25%	3	CEMENTO	5,97
		CENIZA	1,99
		AGUA	3,64
		GRAVA	13,58
		ARENA	17,15
FECHA: JUNIO 5 /2014			
ESTANDAR	14 y 21	CEMENTO	7,96
		AGUA	3,64
		GRAVA	13,58
		ARENA	17,15
10%	14 y 21	CEMENTO	7,16
		CENIZA	0,8
		AGUA	3,64
		GRAVA	13,58
		ARENA	17,15

Fuente: autores.

7.4.4. CUARTA MEZCLA CON EL CUARTO AJUSTE DE HUMEDAD

La mezcla que se preparó fue para 1 m³ o 1000 l, entonces los cálculos hechos anteriormente en el punto 7.2.4. y ajustados a la cantidad de cilindros elaborados, queda así:

- Volumen de 1 cilindro de prueba:

$$H = 30,6cm$$

$$D = 15,1cm$$

$$r = 7,55cm$$

$$V = \Pi * r^2 * H = \Pi * (7,55)^2 * (30,6) = 5479,81cm^3$$

$$1litro = 1000cm^3$$

$$5479,81cm^3 * \frac{1l}{1000cm^3} = 5,47981l$$

$$V = 5,48l$$

- Junio 12 de 2014: se hicieron 3 cilindros a 7 días con reemplazo del 20% de ceniza. Como se consideraron pérdidas durante el mezclado, se hicieron cálculos para 3.5 cilindros para cada reemplazo.
- Junio 13 de 2014: se hicieron 9 cilindros, los cuales 3 cilindros fueron a 7 días con reemplazo del 25% de ceniza y 6 cilindros correspondientes a 3 cilindros de 3 días y 3 cilindros a 7 días de edad con reemplazo del 30% de ceniza. Como se consideraron pérdidas durante el mezclado, se hicieron cálculos para 7 cilindros para cada reemplazo.

Se muestran algunos cálculos que se hicieron para el desarrollo del control de los cilindros a las fechas efectuadas.

CEMENTO :

$$1000l \rightarrow 415Kg$$

$$19,18l \rightarrow X$$

$$X = \frac{415Kg * 19,18l}{1000l} = 7,96Kg$$

AGUA:

$$1000l \rightarrow 185Kg$$

$$19,18l \rightarrow X$$

$$X = \frac{185Kg * 19,18l}{1000l} = 3,55Kg$$

GRAVA :

$$1000l \rightarrow 709Kg$$

$$19,18 \rightarrow X$$

$$X = \frac{709Kg * 19,18l}{1000l} = 13,60Kg$$

ARENA :

$$1000l \rightarrow 896Kg$$

$$19,18l \rightarrow X$$

$$X = \frac{896Kg * 19,18l}{1000l} = 17,19Kg$$

La tabla 7.12. muestra el resumen de las cantidades correspondientes a los días mencionados.

TABLA 7.12. CANTIDAD DE MATERIALES USADOS PARA EL CUARTO MEZCLADO

TIPO DE MEZCLA	EDAD (DIAS)	MATERIAL	CANTIDAD (Kg)
FECHA: JUNIO 12 /2014			
20%	7	CEMENTO	6,36
		CENIZA	1,6
		AGUA	3,55
		GRAVA	13,6
		ARENA	17,19
FECHA: JUNIO 13 /2014			
25%	7	CEMENTO	5,97
		CENIZA	1,99
		AGUA	3,55
		GRAVA	13,6
		ARENA	17,19
30%	3 y 7	CEMENTO	11,24
		CENIZA	4,78
		AGUA	7,1
		GRAVA	27,2
		ARENA	34,38

Fuente: autores.

7.5. FALLA DE CILINDROS A COMPRESIÓN

La falla de cilindros a compresión se realizó según los parámetros dados por la norma NTC 673. Las tablas 7.13. y 7.14. muestran los resultados tomados en el laboratorio.

TABLA 7.13. IDENTIFICACIÓN DE LOS CILINDROS DE PRUEBA

NÚMERO DEL CILINDRO	EDAD (DÍAS)	PORCENTAJE DE CENIZA	FECHA DE FUNDIDO	FECHA DE FALLA A COMPRESIÓN
1	60	0	08/05/2014	07/07/2014
2	60	0	08/05/2014	07/07/2014
3	60	0	08/05/2014	07/07/2014
4	60	10	08/05/2014	07/07/2014

**TABLA 7.13. IDENTIFICACIÓN DE LOS CILINDROS DE PRUEBA –
CONTINUACIÓN**

NÚMERO DEL CILINDRO	EDAD (DÍAS)	PORCENTAJE DE CENIZA	FECHA DE FUNDIDO	FECHA DE FALLO A COMPRESIÓN
5	60	10	08/05/2014	07/07/2014
6	60	10	08/05/2014	07/07/2014
7	60	20	08/05/2014	07/07/2014
8	60	20	08/05/2014	07/07/2014
9	60	20	08/05/2014	07/07/2014
10	60	25	08/05/2014	07/07/2014
11	60	25	08/05/2014	07/07/2014
12	60	25	08/05/2014	07/07/2014
13	60	30	08/05/2014	07/07/2014
14	60	30	08/05/2014	07/07/2014
15	60	30	08/05/2014	07/07/2014
16	28	0	09/05/2014	06/06/2014
17	28	0	09/05/2014	06/06/2014
18	28	0	09/05/2014	06/06/2014
19	3	0	09/05/2014	12/05/2014
20	3	0	09/05/2014	12/05/2014
21	3	0	09/05/2014	12/05/2014
22	28	10	14/05//2014	11/06/2014
23	28	10	14/05//2014	11/06/2014
24	28	10	14/05//2014	11/06/2014
25	28	20	14/05//2014	11/06/2014
26	28	20	14/05//2014	11/06/2014
27	28	20	14/05//2014	11/06/2014
28	28	25	14/05//2014	11/06/2014
29	28	25	14/05//2014	11/06/2014
30	28	25	14/05//2014	11/06/2014
31	28	30	14/05//2014	11/06/2014
32	28	30	14/05//2014	11/06/2014
33	28	30	14/05//2014	11/06/2014
34	21	0	16/05/2014	06/06/2014
35	21	0	16/05/2014	06/06/2014
36	21	0	16/05/2014	06/06/2014
37	14	0	16/05/2014	30/05/2014
38	14	0	16/05/2014	30/05/2014
39	14	0	16/05/2014	30/05/2014

**TABLA 7.13. IDENTIFICACIÓN DE LOS CILINDROS DE PRUEBA –
CONTINUACIÓN**

NÚMERO DEL CILINDRO	EDAD (DÍAS)	PORCENTAJE DE CENIZA	FECHA DE FUNDIDO	FECHA DE FALLO A COMPRESIÓN
40	21	10	16/05/2014	06/06/2014
41	21	10	16/05/2014	06/06/2014
42	21	10	16/05/2014	06/06/2014
43	14	10	16/05/2014	30/05/2014
44	14	10	16/05/2014	30/05/2014
45	14	10	16/05/2014	30/05/2014
46	21	20	16/05/2014	06/06/2014
47	21	20	16/05/2014	06/06/2014
48	21	20	16/05/2014	06/06/2014
49	14	20	16/05/2014	30/05/2014
50	14	20	16/05/2014	30/05/2014
51	14	20	16/05/2014	30/05/2014
52	21	25	16/05/2014	06/06/2014
53	21	25	16/05/2014	06/06/2014
54	21	25	16/05/2014	06/06/2014
55	14	25	16/05/2014	30/05/2014
56	14	25	16/05/2014	30/05/2014
57	14	25	16/05/2014	30/05/2014
58	21	30	16/05/2014	06/06/2014
59	21	30	16/05/2014	06/06/2014
60	21	30	16/05/2014	06/06/2014
61	14	30	16/05/2014	30/05/2014
62	14	30	16/05/2014	30/05/2014
63	14	30	16/05/2014	30/05/2014
64	3	10	03/06/2014	06/06/2014
65	3	10	03/06/2014	06/06/2014
66	3	10	03/06/2014	06/06/2014
67	3	20	03/06/2014	06/06/2014
68	3	20	03/06/2014	06/06/2014
69	3	20	03/06/2014	06/06/2014
70	3	25	03/06/2014	06/06/2014
71	3	25	03/06/2014	06/06/2014
72	3	25	03/06/2014	06/06/2014
73	7	0	05/06/2014	12/06/2014
74	7	0	05/06/2014	12/06/2014

**TABLA 7.13. IDENTIFICACIÓN DE LOS CILINDROS DE PRUEBA –
CONTINUACIÓN**

NÚMERO DEL CILINDRO	EDAD (DÍAS)	PORCENTAJE DE CENIZA	FECHA DE FUNDIDO	FECHA DE FALLO A COMPRESIÓN
75	7	0	05/06/2014	12/06/2014
76	7	10	05/06/2014	12/06/2014
77	7	10	05/06/2014	12/06/2014
78	7	10	05/06/2014	12/06/2014
79	7	20	12/06/2014	19/06/2014
80	7	20	12/06/2014	19/06/2014
81	7	20	12/06/2014	19/06/2014
82	3	30	13/06/2014	16/06/2014
83	3	30	13/06/2014	16/06/2014
84	3	30	13/06/2014	16/06/2014
85	7	25	13/06/2014	20/06/2014
86	7	25	13/06/2014	20/06/2014
87	7	25	13/06/2014	20/06/2014
88	7	30	13/06/2014	20/06/2014
89	7	30	13/06/2014	20/06/2014
90	7	30	13/06/2014	20/06/2014

Fuente: autores.

**TABLA 7.14. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS
DE PRUEBA**

NÚMERO DEL CILINDRO	ÁREA DEL CILINDRO (cm²)	VALOR A COMPRESIÓN (KN)	VALOR A COMPRESIÓN (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
1	179,08	546,70	55747,89	311,30
2	179,08	540,30	55095,27	307,66
3	179,08	549,90	56074,19	313,13
4	179,08	526,00	53637,07	299,52
5	179,08	548,50	55931,43	312,33
6	179,08	570,00	58123,82	324,57
7	179,08	479,90	48936,18	273,27
8	179,08	502,50	51240,74	286,14
9	179,08	469,40	47865,48	267,29
10	179,08	432,80	44133,32	246,45

**TABLA 7.14. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS
CILINDROS DE PRUEBA - CONTINUACIÓN**

NÚMERO DEL CILINDRO	AREA DEL CILINDRO (cm²)	VALOR A COMPRESIÓN (KN)	VALOR A COMPRESIÓN (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
11	179,08	433,50	44204,70	246,85
12	179,08	422,80	43113,60	240,75
13	179,08	413,20	42134,67	235,29
14	179,08	409,50	41757,38	233,18
15	179,08	409,30	41736,98	233,07
16	179,08	516,30	52647,95	293,99
17	179,08	473,20	48252,97	269,45
18	179,08	569,20	58042,25	324,12
19	179,08	290,80	29653,35	165,59
20	179,08	304,80	31080,95	173,56
21	179,08	310,80	31692,78	176,98
22	179,08	435,10	44367,85	247,76
23	179,08	486,70	49629,59	277,14
24	179,08	475,10	48446,72	270,53
25	179,08	430,90	43939,57	245,36
26	179,08	406,40	41441,27	231,41
27	179,08	437,40	44602,39	249,07
28	179,08	392,50	40023,86	223,50
29	179,08	378,10	38555,47	215,30
30	179,08	397,70	40554,11	226,46
31	179,08	358,00	36505,84	203,85
32	179,08	346,70	35353,56	197,42
33	179,08	365,90	37311,42	208,35
34	179,08	482,60	49211,50	274,80
35	179,08	480,80	49027,96	273,78
36	179,08	488,20	49782,55	277,99
37	179,08	427,60	43603,07	243,49
38	179,08	456,00	46499,06	259,66
39	179,08	465,10	47427,00	264,84
40	179,08	387,50	39514,00	220,65
41	179,08	480,10	48956,58	273,38
42	179,08	448,10	45693,48	255,16
43	179,08	456,20	46519,45	259,77
44	179,08	460,30	46937,54	262,11

**TABLA 7.14. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS
CILINDROS DE PRUEBA - CONTINUACIÓN**

NÚMERO DEL CILINDRO	AREA DEL CILINDRO (cm²)	VALOR A COMPRESIÓN (KN)	VALOR A COMPRESIÓN (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
45	179,08	459,30	46835,57	261,54
46	179,08	399,50	40737,66	227,48
47	179,08	359,70	36679,19	204,82
48	179,08	387,40	39503,81	220,59
49	179,08	319,30	32559,54	181,82
50	179,08	361,10	36821,95	205,62
51	179,08	349,30	35618,69	198,90
52	179,08	374,10	38147,58	213,02
53	179,08	373,00	38035,41	212,40
54	179,08	398,60	40645,89	226,97
55	179,08	280,00	28552,05	159,44
56	179,08	313,10	31927,31	178,29
57	179,08	326,40	33283,54	185,86
58	179,08	363,20	37036,09	206,81
59	179,08	341,90	34864,10	194,69
60	179,08	328,00	33446,69	186,77
61	179,08	315,10	32131,26	179,43
62	179,08	311,30	31743,77	177,26
63	179,08	328,40	33487,48	187,00
64	179,08	194,60	19843,68	110,81
65	179,08	198,00	20190,38	112,75
66	179,08	210,50	21465,03	119,86
67	179,08	146,90	14979,63	83,65
68	179,08	150,00	15295,74	85,41
69	179,08	157,40	16050,33	89,63
70	179,08	170,20	17355,57	96,92
71	179,08	185,30	18895,34	105,51
72	179,08	175,50	17896,02	99,93
73	179,08	382,60	39014,34	217,86
74	179,08	362,40	36954,52	206,36
75	179,08	371,20	37851,87	211,37
76	179,08	309,10	31519,43	176,01
77	179,08	331,80	33834,18	188,93
78	179,08	320,00	32630,92	182,22

TABLA 7.14. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE PRUEBA - CONTINUACIÓN

NÚMERO DEL CILINDRO	AREA DEL CILINDRO (cm²)	VALOR A COMPRESIÓN (KN)	VALOR A COMPRESIÓN (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
79	179,08	243,80	24860,68	138,83
80	179,08	247,30	25217,58	140,82
81	179,08	245,00	24983,05	139,51
82	179,08	88,80	9055,08	50,56
83	179,08	97,40	9932,04	55,46
84	179,08	93,80	9564,94	53,41
85	179,08	225,10	22953,81	128,18
86	179,08	214,50	21872,91	122,14
87	179,08	233,80	23840,96	133,13
88	179,08	152,00	15499,69	86,55
89	179,08	161,90	16509,21	92,19
90	179,08	151,10	15407,91	86,04

Fuente: autores.

8. RESULTADOS

8.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

La tabla 8.1. muestra los datos arrojados en el laboratorio, según el porcentaje de ceniza volante de reemplazo.

TABLA 8.1. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS PARA SU ANÁLISIS

NÚMERO DEL CILINDRO	EDAD (DÍAS)	PORCENTAJE DE CENIZA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
19	3	0	165,59
20	3	0	173,56
21	3	0	176,98
73	7	0	217,86
74	7	0	206,36
75	7	0	211,37
37	14	0	243,49
38	14	0	259,66
39	14	0	264,84
34	21	0	274,80
35	21	0	273,78
36	21	0	277,99
16	28	0	293,99
17	28	0	269,45
18	28	0	324,12
1	60	0	311,30
2	60	0	307,66
3	60	0	313,13
64	3	10	110,81
65	3	10	112,75
66	3	10	119,86
76	7	10	176,01
77	7	10	188,93
78	7	10	182,22
43	14	10	259,77

TABLA 8.1. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS PARA SU ANÁLISIS
CONTINUACIÓN

NÚMERO DEL CILINDRO	EDAD (DÍAS)	PORCENTAJE DE CENIZA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
44	14	10	262,11
45	14	10	261,54
40	21	10	220,65
41	21	10	273,38
42	21	10	255,16
22	28	10	247,76
23	28	10	277,14
24	28	10	270,53
4	60	10	299,52
5	60	10	312,33
6	60	10	324,57
67	3	20	83,65
68	3	20	85,41
69	3	20	89,63
79	7	20	138,83
80	7	20	140,82
81	7	20	139,51
49	14	20	181,82
50	14	20	205,62
51	14	20	198,90
46	21	20	227,48
47	21	20	204,82
48	21	20	220,59
25	28	20	245,36
26	28	20	231,41
27	28	20	249,07
7	60	20	273,27
8	60	20	286,14
9	60	20	267,29
70	3	25	96,92
71	3	25	105,51
72	3	25	99,93
85	7	25	128,18
86	7	25	122,14
87	7	25	133,13

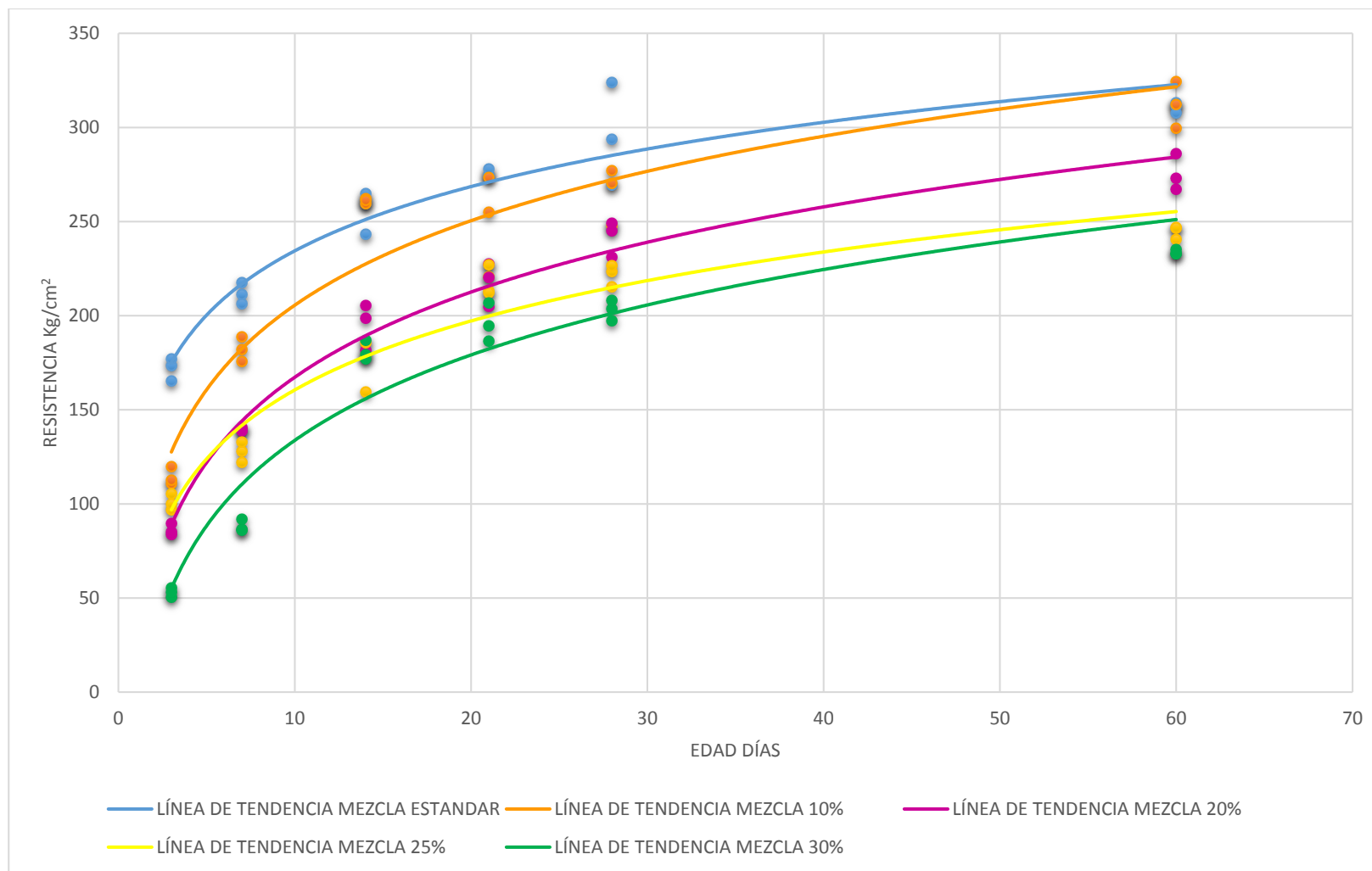
TABLA 8.1. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS PARA SU ANÁLISIS
CONTINUACIÓN

NÚMERO DEL CILINDRO	EDAD (DÍAS)	PORCENTAJE DE CENIZA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
55	14	25	159,44
56	14	25	178,29
57	14	25	185,86
52	21	25	213,02
53	21	25	212,40
54	21	25	226,97
28	28	25	223,50
29	28	25	215,30
30	28	25	226,46
10	60	25	246,45
11	60	25	246,85
12	60	25	240,75
82	3	30	50,56
83	3	30	55,46
84	3	30	53,41
88	7	30	86,55
89	7	30	92,19
90	7	30	86,04
61	14	30	179,43
62	14	30	177,26
63	14	30	187,00
58	21	30	206,81
59	21	30	194,69
60	21	30	186,77
31	28	30	203,85
32	28	30	197,42
33	28	30	208,35
13	60	30	235,29
14	60	30	233,18
15	60	30	233,07

Fuente: autores.

La gráfica 8.1. muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión para cada porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante.

FIGURA 8.1. GRÁFICA DE LAS TENDENCIAS DE LOS CILINDROS A ESFUERZOS DE COMPRESIÓN



Fuente: autores.

8.3. CARBÓN Y CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO

8.3.1. ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS

Las tablas 8.2. y 8.3. muestran los resultados obtenidos de los ensayos que se hicieron tanto al carbón como a las cenizas volantes de Termotasajero; adicionalmente, en las tablas se observan las recomendaciones o parámetros máximos permitidos para el uso de las cenizas volantes como reemplazo en el concreto hidráulico, según las especificaciones de las normas ASTM C 618-91 y NTC 3493.

TABLA 8.2. TABLA RESUMEN SOBRE LOS ANÁLISIS DE LAS CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO

PROPIEDADES QUÍMICAS (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	SrO
	53,21	26,74	9,15	0,59	0,45	0,16	0,64	1,28	0,52	0,01	0,14	0,03
NORMA NTC (RANGOS)	Min. 50 (clase C) - Mín. 70 (clase F)			---	---	Máx. 1,5	---	---	---	Máx. 5	---	---
NORMA ASTM (RANGOS)	Min. 50 (clase C) - Mín. 70 (clase F)			---	---	Máx. 1,5	---	---	---	Máx. 5	---	---
PROPIEDADES FÍSICAS	Finura Blaine (cm ² /g)				Densidad (g/cm ³)				% retenido tamiz No. 325			
	2,067				2,103				9			
NORMA NTC (RANGOS)	---				---				Máximo 34			
NORMA ASTM (RANGOS)	---				---				Máximo 34			
INQUEMADOS (%)	7,8											
NORMA NTC (VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES)	Máximo 6 %											
NORMA ASTM (VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES)	Máximo 6 %											
TIPO DE CENIZA	La ceniza que se produce en la planta termoeléctrica Termotasajero es tipo F											

Fuente: autores.

TABLA 8.3. TABLA RESUMEN SOBRE EL ANÁLISIS DEL CARBÓN USADO EN LA PLANTA TERMOTASAJERO

ANÁLISIS QUÍMICO (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	SrO
	62,17	27,22	5,28	1,29	0,41	0,26	0,86	1,45	0,08	0,37	0,061	0,051
NORMA ASTM (RANGOS)	45 - 75	15 - 35	1 - 12	0,1 - 2,3	0,2 - 1,4	0,1 - 0,9	0,8 - 2,6	0,4 - 2,2	0,1 - 1,5	0,1 - 1,6	---	---
ANÁLISIS PRÓXIMO	Humedad residual (%)		Materia volátil (%)		Cenizas (%)	Carbono fijo (%)		Azufre total (%)	Poder calorífico (Btu/lb)		Poder calorífico (J/g)	
	2,96		38,36		8,83	49,85		0,74	12700		295528	
NORMA ASTM (RANGOS)	Máximo 12		Mínimo 20		15 - 20	Máximo 20		0,8 - 1,1	11500 - 13000		26749 - 30238	
TIPO DE CARBÓN	Bituminoso											

Fuente: autores.

9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

9.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

Para las mezclas estándar se obtuvo, para edad de 3 días, los siguientes valores de resistencia a la compresión: 165,59 Kg/cm², 173,56 Kg/cm², 176,98 Kg/cm² y 172,04 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 7 días se obtuvo: 217,86 Kg/cm², 206,36 Kg/cm², 211,37 Kg/cm² y 211,86 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 14 días se obtuvo: 243,49 Kg/cm², 259,66 Kg/cm², 264,84 Kg/cm² y 255,99 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 21 días se obtuvo: 274,80 Kg/cm², 273,78 Kg/cm², 277,99 Kg/cm² y 275,53 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 28 días se obtuvo: 293,99 Kg/cm², 269,45 Kg/cm², 324,16 Kg/cm² y 295,87 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 60 días se obtuvo: 311,30 Kg/cm², 307,66 Kg/cm², 313,13 Kg/cm² y 310,70 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias.

Para las mezclas de 10% de reemplazo de ceniza volante por cemento se obtuvo, para edad de 3 días, los siguientes valores de resistencia a la compresión: 110,81 Kg/cm², 112,75 Kg/cm² y 119,86 Kg/cm² y 114,47 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 7 días se obtuvo: 176,01 Kg/cm², 188,94 Kg/cm², 182,22 Kg/cm² y 182,39 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 14 días se obtuvo: 259,77 Kg/cm², 262,11 Kg/cm², 261,54 Kg/cm² y 261,14 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 21 días se obtuvo: 220,65 Kg/cm², 273,38 Kg/cm², 255,16 Kg/cm² y 249,73 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 28 días se obtuvo: 247,76 Kg/cm², 277,14 Kg/cm², 270,53 Kg/cm² y 265,14 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 60 días se obtuvo: 299,52 Kg/cm², 312,33 Kg/cm² y 324,57 Kg/cm² y 312,14 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias.

Para las mezclas de 20% de reemplazo de ceniza volante por cemento se obtuvo, para edad de 3 días, los siguientes valores de resistencia a la compresión: 83,65 Kg/cm², 85,41 Kg/cm², 89,63 Kg/cm² y 86,23 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 7 días se obtuvo: 138,83 Kg/cm², 140,82 Kg/cm², 139,51 Kg/cm² y 139,72 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 14 días se obtuvo: 181,82 Kg/cm², 205,61 Kg/cm², 198,90 Kg/cm² y 195,44 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 21 días se obtuvo: 227,49 Kg/cm², 201,82 Kg/cm², 220,60 Kg/cm² y 216,63 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 28 días se obtuvo: 245,37

Kg/cm², 231,41 Kg/cm², 249,07 Kg/cm² y 241,95 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 60 días se obtuvo: 273,27 Kg/cm², 286,14 Kg/cm², 267,29 Kg/cm² y 275,57 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias..

Para las mezclas de 25% de reemplazo de ceniza volante por cemento se obtuvo, para edad de 3 días, los siguientes valores de resistencia a la compresión: 96,92 Kg/cm², 105,51 Kg/cm², 99,63 Kg/cm² y 100,69 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 7 días se obtuvo: 128,18 Kg/cm², 122,14 Kg/cm², 133,13 Kg/cm² y 127,82 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 14 días se obtuvo: 159,44 Kg/cm², 178,29 Kg/cm², 185,86 Kg/cm² y 174,53 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 21 días se obtuvo: 213,02 Kg/cm², 212,40 Kg/cm², 226,97 Kg/cm² y 217,46 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 28 días se obtuvo: 223,50 Kg/cm², 215,30 Kg/cm², 226,46 Kg/cm² y 221,75 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 60 días se obtuvo: 246,45 Kg/cm², 246,85 Kg/cm², 240,75 Kg/cm² y 244,68 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias.

Para las mezclas de 30% de reemplazo de ceniza volante por cemento se obtuvo, para edad de 3 días, los siguientes valores de resistencia a la compresión: 50,27 Kg/cm², 55,46 Kg/cm², 53,462 Kg/cm² y 53,06 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 7 días se obtuvo: 86,55 Kg/cm², 92,19 Kg/cm², 86,04 Kg/cm² y 88,26 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 14 días se obtuvo: 179,43 Kg/cm², 177,26 Kg/cm², 187 Kg/cm² y 181,23 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 21 días se obtuvo: 206,82 Kg/cm², 194,69 Kg/cm², 186,771 Kg/cm² y 196,09 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 28 días se obtuvo: 203,85 Kg/cm², 197,42 Kg/cm², 208,35 Kg/cm² y 203,21 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias; para edades de 60 días se obtuvo: 235,29 Kg/cm², 233,18 Kg/cm², 233,07 Kg/cm² y 233,85 Kg/cm² como promedio de las tres resistencias.

9.3. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS CENIZAS VOLANTES Y DEL CARBÓN DE TERMOTASAJERO

Del análisis químico de las cenizas volantes, se establece que los siguientes compuestos: dióxido de silicio (SiO₂), trióxido de aluminio (Al₂O₃), óxido de hierro (FeO₃), óxido de sodio (Na₂O) y trióxido de azufre (SO₃); presentan valores (SiO₂ + Al₂O₃ + FeO₃ = 89,10; Na₂O = 0,16; y SO₃ = 0,01) dentro de los rangos (mínimo 70%, para la sumatoria de SiO₂ + Al₂O₃ + FeO₃; máximo 1,5% para Na₂O; y máximo 5% para SO₃) establecidos por la norma NCT 3493.

El porcentaje retenido (9%) en el tamiz No. 325, está entre los rangos establecidos en la norma NTC 3493, para el uso de las cenizas volantes en las mezclas de concreto hidráulico.

El porcentaje de inquemados (7,8%), presente en las cenizas volantes que se producen en la planta Termotasajero, supera el valor máximo admisible (6%), recomendado para el uso del material en las mezclas de concreto establecidos por la norma NTC 3493.

Del análisis próximo del carbón se obtiene que los parámetros de humedad residual (2,96%), materia volátil (38,36%) y el poder calorífico (12700 Btu/lb), están dentro de los rangos de la normas ASTM D388-92.

De los análisis químicos del carbón se obtiene que el dióxido de silicio ($\text{SiO}_2 = 62,17\%$), el trióxido de aluminio ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 27,22\%$), el óxido de hierro ($\text{FeO}_3 = 5,28\%$), el óxido de calcio ($\text{CaO} = 1,29\%$), el óxido magnésico ($\text{MgO} = 0,41\%$), el óxido de sodio ($\text{Na}_2\text{O} = 0,26\%$), el óxido de potasio ($\text{K}_2\text{O} = 0,86\%$), el trióxido de azufre ($\text{SO}_3 = 0,37\%$) y el óxido de titanio ($\text{TiO}_2 = 1,45\%$); cumplen con los valores establecidos (SiO_2 de 45 a 75; Al_2O_3 de 15 a 35; FeO_3 de 1 a 12; CaO de 0,1 a 2,3; MgO de 0,2 a 1,4; Na_2O de 0,1 a 0,9; K_2O de 0,8 a 2,6; SO_3 de 0,1 a 1,6; y TiO_2 de 0,4 a 2,2) por la norma ASTM D388-92.

10. CONCLUSIONES

Al aumentar la edad de los especímenes de concreto, la resistencia a la compresión se incrementa, en la mezcla patrón y en las mezclas con reemplazos (10%, 20%, 25% y 30%).

El análisis de las curvas de resistencia a la compresión versus edad, evidencia que al aumentar el porcentaje de reemplazo de cemento Pórtland por ceniza volante, la resistencia disminuye, para todas las edades.

Según la norma NTC 3493 y ASTM C 618-91, el porcentaje de inquemados máximo admisible para el uso de las cenizas volantes como adición en el concreto hidráulico es 6 %. Como se aprecia, el porcentaje de inquemados (7,8%) en las cenizas volantes de Termotasajero lo supera.

Los inquemados no reaccionan químicamente para formar compuestos cementantes, que contribuyan en la resistencia del hormigón.

Los inquemados generan debilidad en la pasta de cemento y deficiencia en la adherencia.

Las partículas de carbón que no se queman (inquemados) y que están presentes en las cenizas, disminuyen la resistencia a la compresión de las mezclas de hormigón.

Se concluye que las cenizas volantes de Termotasajero clasifican como tipo F, ya que su composición química es principalmente silicatos vítreos que contienen sílice y óxidos predominantes, que establece la norma NTC 3493.

Del análisis de las propiedades del carbón, se concluye que es un carbón bituminoso, alto en volátiles C y con probabilidades de fusión con las escorias.

11. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer una revisión detallada del estado del arte de los distintos métodos de dosificación del hormigón y posteriormente hacer uso de dichos métodos con el uso de las cenizas volantes de Termotasajero; pues algunos métodos como por ejemplo el De la Peña, han dado resultados positivos frente al tema de las mezclas de concreto con adiciones en ensayos de laboratorio.

Se sugiere a futuro, hacer un estudio comparativo de los diferentes métodos de dosificación del hormigón, donde se muestre la resistencia adquirida de los especímenes de concreto y su viabilidad como método para el diseño de mezclas de hormigón en los diferentes tipos de obras civiles. También, estudiar la durabilidad y la factibilidad económica de los diferentes métodos de dosificación, para poder determinar el impacto que tendría en proyectos de ingeniería.

Para establecer un mejor comportamiento del concreto, se recomienda hacer ensayos que puedan determinar el módulo de la elasticidad del material.

Con el fin de hacer un buen uso en las obras civiles y reducir la contaminación ambiental producida por las cenizas volantes de la planta Termotasajero, se recomienda hacer más investigaciones con este material y obtener beneficios técnico-económicos para las obras de ingeniería a nivel Colombiano e internacional, tanto en la tecnología del concreto, como en estabilización de suelos para obras viales.

Apoyando a la conservación del medio ambiente, se sugiere hacer investigaciones con diferentes tipos de cenizas volantes (ejemplo clase C, D, H o K) y sus efectos en el comportamientos en las mezclas de concreto hidráulico y otros materiales.

Es conveniente revisar y analizar en detalle, las condiciones en que operan las plantas termoeléctricas del país, evaluando aspectos como temperatura, nivel de oxígeno, condiciones de combustión, fuentes de carbón, etc.

12. BIBLIOGRAFÍA

- 📖 CHÁVEZ VELASQUEZ, Camilo Andrés y GUERRA MAESTRE, Yohana Liz. Producción, propiedades y usos de los residuos de la combustión del carbón de Termotasajero. Trabajo de grado en curso. Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá D.C.
- 📖 COOK, James E. Fly ash concrete – Technical considerations. En: Concrete International. Septiembre 1983.
- 📖 CORONA ZAZUETA, Miguel Angel. Concretos dosificados con cemento Portland y ceniza volante [online]. [cited 22 July 2014]. Available from Internet: <URL: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8788/Capitulo2.pdf>>.
- 📖 Diseño Racional de mezclas de hormigón – Método ICPA [online]. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, Facultad de ciencias Exactas, Físicas y Naturales. [cited 22 July 2014]. Available from Internet: <URL: www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/dosifica.pdf>.
- 📖 Dosificación de Hormigones [online]. Universidad de Cantabria, Santander, España. [cited 22 July 2014]. Available from Internet: <URL: <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/cementos-morteros-y-hormigones/otros-recursos-1/Dosificacion%20de%20Hormigones.pdf>>.
- 📖 ERLIN, Bernand y STARK, David. Petrographic Investigations of concrete and concrete Aggregates at the Bureau of Reclamation Editors. American Society for Testing and Materials. United States of America, Pennsylvania, Philadelphia, 1990.
- 📖 GONZÁLEZ ARIAS, Eduardo. Nueva técnica de dosificación de hormigones reciclados: Método del volumen de Mortero Equivalente. Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Catalunya, Facultad de Ingeniería de la Construcción. Barcelona, España. Junio 2012.

- 📖 GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Segunda Edición. 2003.

- 📖 HOBBS, D. W. Influence of fly ash upon the workability and early strength of concrete. 1979.

- 📖 KHATRI, R. P. y SIRIVIVATNANON, V. Durable concrete for marine and aggressive sulphate environments. 1996.

- 📖 LANE, R. O. y BEST, J. F. Properties and use of fly ash in Portland Cement Concrete. En: Concrete International. Juli 1982.

- 📖 NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas. Tomo 1. Tercera edición. ASOCRETO. 2010.

- 📖 OSSA M., Mauricio y JORQUERA S., Hector. Cementos con cenizas volantes, Materiales de construcción. Chile. Volumen 34. 1984.

- 📖 SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Quinta edición. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería. 2011.

- 📖 SCHULTZ, Harmut; JENSEN, Svend Aage y NEPPER, Christensen. Fly ash and concrete. En: FLS Review No. 16. Reimpresión del artículo publicado en Beton. Teknik. 1978.

- 📖 SNYDER, Kenneth A. y HARLAN. Effect of Continued Hydration on the Transport Properties of Cracks Through Portland Cement Pastes in a Saturated Environment: A Microstructural Model Study. National Institute of Standards and Technology (NISTIR). August 2005

- 📖 VALBUENA LEGUÍZAMO, Humberto. Petrografía de concretos hidráulicos con adición de ceniza volante de Termopaipa. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Ciencias. 2006.

👤 WINSLOW Y LIN. Percolation and pore structure in mortar and concrete. Cement and Concrete research. 1994.

ANEXOS

ANEXO A: REGISTRO FOTOGRÁFICO

Las siguientes fotos fueron tomadas por Andrés Felipe Romero Quintero (autor trabajo de grado: “Diseño de mezclas de hormigón por el método A.C.I. y efectos de la adición de cenizas volantes de Termotasajero en la resistencia a la compresión”) y Camilo Andrés Chávez Velásquez (autor trabajo de grado: “Producción, propiedades y usos de los residuos de la combustión del carbón de Termotasajero”).

Foto 1. Caldera planta Termotasajero



Foto 2. Planta de tratamiento de aguas



Foto 3. Acopio del carbón



Foto 4. Muestra de carbón triturado



Foto 5. Chimenea de Termotasajero



Foto 6. Depósito de ceniza volante



Foto 7. Muestra ceniza volante



Foto 8. Planta eléctrica – Termotasajero



Foto 9. Mezcla de materiales



Foto 10. Muestra de concreto fresco con adición de ceniza volante



Foto 11. Cilindro de concreto fresco



Foto 12. Acopio de los cilindros de concreto fresco - laboratorio USTA



Foto 13. Falla de un cilindro de concreto en la máquina de compresión - laboratorio USTA



Foto 14. Cilindro No. 20



Foto 15. Cilindro No. 19



Foto 16. Cilindro No. 21



Foto 17. Cilindro No. 37



Foto 18. Cilindro No. 38



Foto 19. Cilindro No. 39



Foto 20. Cilindro No. 43



Foto 21. Cilindro No. 44



Foto 22. Cilindro No. 45



Foto 23. Cilindro No. 50



Foto 24. Cilindro No. 49



Foto 25. Cilindro No. 51



Foto 26. Cilindro No. 55



Foto 27. Cilindro No. 56



Foto 28. Cilindro No. 57



Foto 29. Cilindro No. 61



Foto 30. Cilindro No. 62



Foto 31. Cilindro No. 63



Foto 32. Cilindro No. 16



Foto 33. Cilindro No. 17



Foto 34. Cilindro No. 18



Foto 35. Cilindro No. 34



Foto 36. Cilindro No. 35



Foto 37. Cilindro No. 36



Foto 38. Cilindro No. 40



Foto 39. Cilindro No. 41



Foto 40. Cilindro No. 42



Foto 41. Cilindro No. 46



Foto 42. Cilindro No. 47



Foto 43. Cilindro No. 48



Foto 44. Cilindro No. 52



Foto 45. Cilindro No. 53



Foto 46. Cilindro No. 54



Foto 47. Cilindro No. 58



Foto 48. Cilindro No. 59



Foto 49. Cilindro No. 60



Foto 50. Cilindro No. 64



Foto 51. Cilindro No. 65



Foto 52. Cilindro No. 66



Foto 53. Cilindro No. 67



Foto 54. Cilindro No. 68



Foto 55. Cilindro No. 69



Foto 56. Cilindro No. 70



Foto 57. Cilindro No. 71



Foto 58. Cilindro No. 72



Foto 59. Cilindro No. 22



Foto 60. Cilindro No. 23



Foto 61. Cilindro No. 24



Foto 62. Cilindro No. 25



Foto 63. Cilindro No. 26



Foto 64. Cilindro No. 27



Foto 65. Cilindro No. 28



Foto 66. Cilindro No. 29



Foto 67. Cilindro No. 30



Foto 68. Cilindro No. 31



Foto 69. Cilindro No. 32



Foto 70. Cilindro No. 33



Foto 71. Cilindro No. 73



Foto 72. Cilindro No. 74



Foto 73. Cilindro No. 75



Foto 74. Cilindro No. 76



Foto 75. Cilindro No. 77



Foto 76. Cilindro No. 78



Foto 77. Cilindro No. 82



Foto 78. Cilindro No. 83



Foto 79. Cilindro No. 84



Foto 80. Cilindro No. 79



Foto 81. Cilindro No. 80



Foto 82. Cilindro No. 81



Foto 83. Cilindro No. 85



Foto 84. Cilindro No. 86



Foto 85. Cilindro No. 87



Foto 86. Cilindro No. 88



Foto 87. Cilindro No. 89



Foto 88. Cilindro No. 90



Foto 89. Cilindro No. 1



Foto 90. Cilindro No. 2



Foto 91. Cilindro No. 3



Foto 92. Cilindro No. 4



Foto 93. Cilindro No. 5



Foto 94. Cilindro No. 6



Foto 95. Cilindro No. 7



Foto 96. Cilindro No. 8

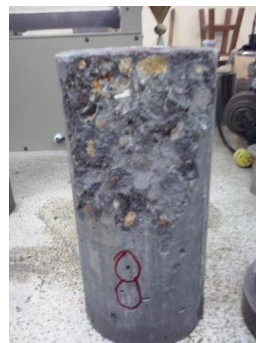


Foto 97. Cilindro No. 9



Foto 98. Cilindro No. 10



Foto 99. Cilindro No. 11



Foto 100. Cilindro No. 12



Foto 101. Cilindro No. 13



Foto 102. Cilindro No. 14



Foto 103. Cilindro No. 15



Foto 104. Ensayo de humedad –
Muestras húmedas



Foto 105. Ensayo de humedad –
Muestras secas



Foto 106. Ensayo de humedad –
Muestra de grava seca



ANEXO B: RESULTADOS ASOCRETO

Bogotá D.C. 11 de Abril de 2014
INF 365-14

Señor
ANDRÉS FELIPE ROMERO
Calle 46 Nº 14 – 74
Bogotá

Apreciado Señor Romero:

Anexo al presente se envía los resultados de los ensayos solicitados por ustedes el 03 de abril 2014, correspondientes a la orden de trabajo número 12236 Laboratorio del concreto-ASOCRETO.

Código del ensayo	Norma Aplicada	Nombre del ensayo	No. Total Ensayos
A01	NTC 127	Contenido de materia orgánica	1
A02	NTC 92	Masa unitaria suelta – apisonada y porcentaje de vacíos	2
A03	NTC 237	Densidad y absorción del agregado fino	1
A04	NTC 176	Densidad y absorción del agregado grueso	1
A06	NTC 93 NTC 98	Desgaste en la máquina de los ángeles sin trituración	1
A08	NTC 77 NTC 78	Granulometría por tamizado con lavado	2

Laboratorio
del Concreto:

NotiConcreto

Instituto
del Concreto

Laboratorio
del Concreto

Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80

Esta información no intenta suplir los conocimientos, técnicas y criterios de los profesionales responsables de la construcción de las obras.

Los resultados emitidos en este informe no deben ser utilizados en ningún tipo de campaña de información técnica o comercial.

El laboratorio del concreto Asocreto no se responsabiliza por el muestreo transporte y/o daños que se presenten en el transcurso del mismo.

Agradecemos la confianza depositada en nuestro laboratorio y estamos dispuestos a resolver cualquier tipo de inquietud.

Cordial saludo,



Ing. Nelson Hernández V.

Jefe de Laboratorio y calidad

(a) El presente informe no puede reproducirse sin la aprobación por parte del laboratorio

(b) Los resultados de los ensayos emitidos en este informe solo son aplicables a las muestras ensayadas

(c) El informe contiene 7 Páginas

Fecha de recibido

Nombre

Firma

**RESULTADO DE ENSAYO
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA**

COMPANIA:	ANDRÉS FELIPE ROMERO QUINTERO		
DIRECCIÓN:	Calle 46 N° 14 - 74	PLANTA:	---
CONTACTO:	Sr. Andrés Felipe Romero Quintero	DIRECCIÓN:	---
TELÉFONO:	---	TELÉFONO:	---
FAX:	---	FAX:	---

ORDEN DE TRABAJO

12236

INFORME N°

365-14

Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos. I.N.V. E-212-07.

LABORATORIO DE AGREGADOS

TEMPERATURA °C

22.0

HUMEDAD %

45

	MUESTRA	DESCRIPCIÓN	PROCEDECENCIA	FECHA RECEPCIÓN	FECHA ENSAYO	COLOR OBTENIDO
1	Arena	Arena	Cantera Cemex	14-04-03	14-04-10	2
-	---	---	---	---	---	---
-	---	---	---	---	---	---
-	---	---	---	---	---	---
-	---	---	---	---	---	---

OBSERVACIONES: **Ninguna.**

Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80
PBX: (571) 618 0018
PBX: (571) 756 0990

**Laboratorio
del Concreto:**
Calle 79B No. 51-45
PBX: (571) 610 0797
PBX: (571) 547 1700
Bogotá D.C., Colombia

Ejecutó:

INFORME ORIGINAL
Laboratorio

Wilmar Fredy Sierra

Coordinador de Laboratorio

Revisó:

Ing. Nelson Hernández V.

Jefe de Laboratorio y Calidad

Los resultados emitidos en este informe corresponden a las muestras entregadas al Laboratorio del Concreto. El informe no puede ser utilizado en ningún tipo de campaña de información, técnica o comercial. Prohibida su reproducción.

NotiCreto

**Instituto
del Concreto**

**Laboratorio
del Concreto**

**Biblioteca
del Concreto**

**Reunión
del Concreto**

**Premios Excelencia
en Concreto**

www.asocreto.co

**RESULTADO DE ENSAYO
GRANULOMETRÍA**

COMPANIA:	ANDRÉS FELIPE ROMERO QUINTERO		
DIRECCIÓN:	Calle 46 N° 14 - 74	PLANTA:	---
CONTACTO:	Sr. Andrés Felipe Romero Quintero	DIRECCIÓN:	---
TELÉFONO:	---	TELÉFONO:	---
FAX:	---	FAX:	---

MUESTRA:	Arena	PROCEDENCIA:	Cantera Cemex
DESCRIPCIÓN:	Arena		

FECHA DE RECEPCIÓN	14-04-03	FECHA DE ENSAYO	14-04-11
--------------------	----------	-----------------	----------

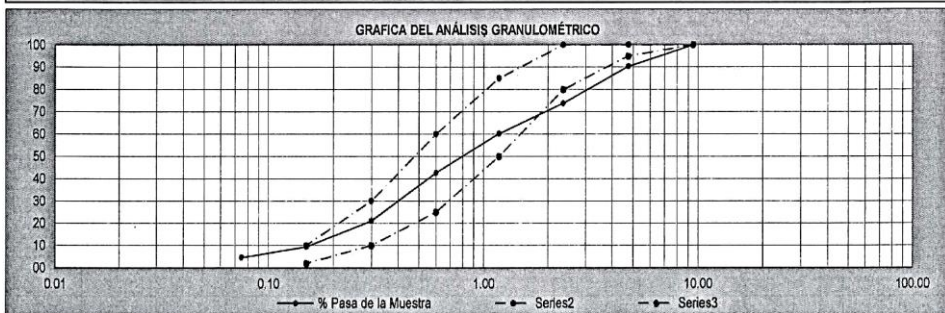
ORDEN DE TRABAJO	12236	INFORME N°	365-14
------------------	-------	------------	--------

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. I.N.V. E-213-07.

LABORATORIO DE AGREGADOS

TEMPERATURA °C	22.0	HUMEDAD %	50
----------------	------	-----------	----

Abertura del Tamiz mm	Pulg. (No.)	Masa Retenida (g)	(%) Retenido	(%) Retenido Acumulado	(%) Pasa	Criterios Según NTC 174	
						% Máximo	% Mínimo
150.00	6"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
125.00	5"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
100.00	4"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
75.00	3"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
63.00	2 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
50.00	2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
37.50	1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
25.00	1"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
19.00	3/4"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
12.50	1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
9.50	3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
4.75	Nº 4	95.9	9.6	9.6	90.4	100.0	95.0
2.36	Nº 8	165.9	16.6	26.2	73.8	100.0	80.0
1.18	Nº 16	135.3	13.5	39.7	60.3	85.0	50.0
0.60	Nº 30	176.0	17.6	57.3	42.7	60.0	25.0
0.30	Nº 50	216.6	21.7	79.0	21.0	30.0	10.0
0.15	Nº 100	116.3	11.6	90.6	9.4	10.0	2.0
0.08	Nº 200	47.8	4.8	95.4	4.6	---	---
Fondo	Fondo	0.9	0.1	95.5	4.5	---	---


Masa Inicial (g): **1000.0**
Módulo de Finura: **3.02**

Masa final (g): **954.8**
Pasa Tamiz 75mm (Nº 200) (%): **4.6**
OBSERVACIONES: **Ninguna.**
Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80
PBX: (571) 618 0018
PBX: (571) 756 0990

Laboratorio
del Concreto:

INFORME ORIGINAL
Laboratorio
Ejecutó: **Wilmar Freddy Sierra**
Coordinador de Laboratorio

Revisó: **Ing. Nelson Hernández V.**
Jefe de Laboratorio y Calidad

Laboratorio del Concreto

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
12-LAB-043

RESULTADO DE ENSAYO DENSIDAD Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO

COMPANÍA:	ANDRÉS FELIPE ROMERO QUINTERO		
DIRECCIÓN:	Calle 46 N° 14 - 74	PLANTA:	---
CONTACTO:	Sr. Andrés Felipe Romero Quintero	DIRECCIÓN:	---
TELÉFONO:	---	TELÉFONO:	---
FAX:	---	FAX:	---

FECHA DE RECEPCIÓN

14-04-03

FECHA DE ENSAYO

14-04-11

ORDEN DE TRABAJO

12236

INFORME N°

365-14

Gravedad específica y absorción de agregados finos. I.N.V. E-222-07.

LABORATORIO DE AGREGADOS

TEMPERATURA °C

23.0

HUMEDAD %

48

	1	-	-	-	-
MUESTRA	Arena	---	---	---	---
DESCRIPCIÓN	Arena	---	---	---	---
PROCEDENCIA	Cantera Cemex	---	---	---	---
S=Masa al aire muestra S.S.S. (g)	500.0	---	---	---	---
A=Masa al aire muestra seca (g)	496.3	---	---	---	---
B=Masa Picnómetro Lleno con agua (g)	707.0	---	---	---	---
C=Masa Picnómetro + Agua + Material (g)	1010.3	---	---	---	---
DENSIDAD APARENTE (g/cm³)	2.52	---	---	---	---
DENSIDAD APARENTE (SSS) (g/cm³)	2.54	---	---	---	---
DENSIDAD NOMINAL (g/cm³)	2.57	---	---	---	---
ABSORCIÓN (%)	0.7	---	---	---	---

OBSERVACIONES: Ninguna.

Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80
PBX: (571) 618 0018
PBX: (571) 756 0990

**Laboratorio
del Concreto:**
Calle 79B No. 51-45
PBX: (571) 618 0018

Ejecutó:

INFORME ORIGINAL
Wilmar Felipe Sierra
Coordinador de Laboratorio

Revisó:

Ing. Nelson Hernández V.
Jefe de Laboratorio y Calidad

Los resultados emitidos en este informe corresponden a las muestras entregadas al Laboratorio del Concreto. El informe no puede ser utilizado en ningún tipo de campaña de información, técnica o comercial. Prohibida su reproducción.

**RESULTADO DE ENSAYO
GRANULOMETRÍA**

COMPANÍA:	ANDRÉS FELIPE ROMERO QUINTERO		
DIRECCIÓN:	Calle 46 N° 14 - 74	PLANTA:	---
CONTACTO:	Sr. Andrés Felipe Romero Quintero	DIRECCIÓN:	---
TELÉFONO:	---	TELÉFONO:	---
FAX:	---	FAX:	---

MUESTRA:	Grava	PROCEDENCIA:	Comercializadora Quiroga
DESCRIPCIÓN:	Grava		

FECHA DE RECEPCIÓN	14-04-03	FECHA DE ENSAYO	14-04-11
--------------------	----------	-----------------	----------

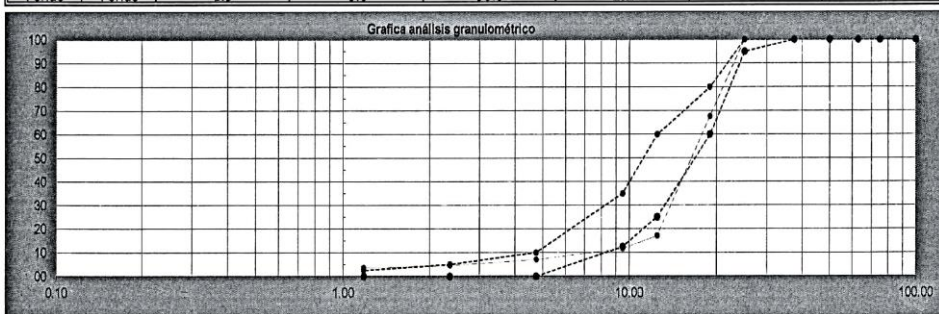
ORDEN DE TRABAJO	12236	INFORME N°	365-14
------------------	-------	------------	--------

Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. NTC 77 Y NTC 78. Primera Actualización 1994-11-23.

LABORATORIO DE AGREGADOS

TEMPERATURA °C 22.0 HUMEDAD % 51

Abertura del Tamiz mm	Pulg (No.)	Masa Retenida (g)	(%) Retenido	(%) Retenido Acumulado	(%) Pasa	Criterios NTC 174	
						% Máximo	% Mínimo
150.00	6"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
125.00	5"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
100.00	4"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
75.00	3"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
63.00	2 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
50.00	2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
37.50	1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
25.00	1"	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	95.0
19.00	3/4"	1618.1	32.3	32.3	67.7	80.0	60.0
12.50	1/2"	2530.7	50.6	82.9	17.1	60.0	25.0
9.50	3/8"	270.9	5.4	88.3	11.7	35.0	12.5
4.75	Nº 4	229.5	4.6	92.9	7.1	10.0	0.0
2.36	Nº 8	125.2	2.5	95.4	4.6	5.0	0.0
1.18	Nº 16	49.9	1.0	96.4	3.6	2.5	0.0
0.60	Nº 30	19.3	0.4	96.8	3.2	---	---
0.30	Nº 50	19.7	0.4	97.2	2.8	---	---
0.15	Nº 100	47.3	0.9	98.1	1.9	---	---
0.08	Nº 200	33.5	0.7	98.8	1.2	---	---
Fondo	Fondo	1.9	0.0	98.8	1.2	---	---


Masa inicial (g): 5005.0
Módulo de Finura: 5.77
Tamaño Máximo: 25.00 mm

Masa final (g): 4946.1
Pasa Tamiz 75mm (Nº 200) (%): 1.2
Tamaño Máximo Nominal: 25.00 mm

OBSERVACIONES: Ninguna.

Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80
PBX: (571) 618 0018
PBX: (571) 756 0990

Laboratorio

Ejecutó:

INFORME ORIGINAL
Laboratorio
Wilmar Fredy Sierra
Coordinador de Laboratorio

Revisó:

Ing. Nelson Hernández V.
Jefe de Laboratorio y Calidad

Laboratorio del Concreto



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
12-LAB-043

RESULTADO DE ENSAYO DENSIDAD Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO

COMPANÍA:	ANDRÉS FELIPE ROMERO QUINTERO		
DIRECCIÓN:	Calle 46 N° 14 - 74	PLANTA:	---
CONTACTO:	Sr. Andrés Felipe Romero Quintero	DIRECCIÓN:	---
TELÉFONO:	---	TELÉFONO:	---
FAX:	---	FAX:	---

FECHA DE RECEPCIÓN	14-04-03	FECHA DE ENSAYO	14-04-11
--------------------	----------	-----------------	----------

ORDEN DE TRABAJO

12236

INFORME N°

365-14

Gravedad específica y absorción de agregados gruesos. I.N.V. E-223-07.

LABORATORIO DE AGREGADOS

TEMPERATURA °C

22.0

HUMEDAD %

52

	2	-	-	-	-
MUESTRA	Grava	---	---	---	---
DESCRIPCIÓN	Grava	---	---	---	---
PROCEDENCIA	Comercializador a Quiroga	---	---	---	---
A=Masa al aire muestra seca (g)	4609.5	---	---	---	---
B=Masa al aire muestra S.S.S.	4802.1	---	---	---	---
C=Masa muestra sumergida en agua (g)	2753.0	---	---	---	---
DENSIDAD APARENTE (g/cm³)	2.24	---	---	---	---
DENSIDAD APARENTE (SSS) (g/cm³)	2.34	---	---	---	---
DENSIDAD NOMINAL (g/cm³)	2.48	---	---	---	---
ABSORCIÓN (%)	4.2	---	---	---	---

OBSERVACIONES: Ninguna.

Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80
PBX: (571) 618 0018
PBX: (571) 756 0990

Laboratorio
del Concreto:
Calle 79B No. 51-45
PBX: (571) 610 0707

Ejecutó:

INFORME ORIGINAL
Laboratorio
Wilmar Fredy Sierra
Coordinador de Laboratorio

Revisó:

Ing. Nelson Hernández V.
Jefe de Laboratorio y Calidad

Los resultados emitidos en este informe corresponden a las muestras entregadas al Laboratorio del Concreto. El informe no puede ser utilizado en ningún tipo de campaña de información, técnica o comercial. Prohibida su reproducción.

**RESULTADO DE ENSAYO
DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

COMPANIA:	ANDRÉS FELIPE ROMERO QUINTERO		
DIRECCION:	Calle 46 N° 14 - 74	PLANTA:	---
CONTACTO:	Sr. Andrés Felipe Romero Quintero	DIRECCION:	---
TELÉFONO:	---	TELÉFONO:	---
FAX:	---	FAX:	---

FECHA DE RECEPCION	14-04-03	FECHA DE ENSAYO	14-04-10
--------------------	----------	-----------------	----------

ORDEN DE TRABAJO

12236

INFORME N°

365-14

Resistencia al desgaste de los agregados por medio de la máquina de los Ángeles, I.N.V. E-218-07 y I.N.V. E-219-07

LABORATORIO DE AGREGADOS

TEMPERATURA °C

22.0

HUMEDAD %

53

	2	-	-	-	-	-	-
MUESTRA	Grava	---	---	---	---	---	---
DESCRIPCIÓN	Grava	---	---	---	---	---	---
PROCEDECENCIA	Comercializadora Quiroga	---	---	---	---	---	---
Gradación Usada	B	---	---	---	---	---	---
N° de Esferas	11	---	---	---	---	---	---
N° de Revoluciones	500	---	---	---	---	---	---
Pa=Masa muestra seca antes del ensayo (g)	5000.3	---	---	---	---	---	---
Pb=Masa muestra seca después del ensayo y lavada sobre Tamiz 1,70 mm (g)	3200.8	---	---	---	---	---	---
% Desgaste	36.0	---	---	---	---	---	---

TAMANOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
(mm)	Pulg.(#)	(mm)	Pulg.(#)							
76.1	3"	64.0	2-2½"					2500 ± 50		
64.0	2-2½"	50.8	2"					2500 ± 50		
50.8	2"	38.1	1-1½"					5000 ± 50	5000 ± 50	
38.1	1-1½"	25.4	1"	1250 ± 25					5000 ± 25	5000 ± 25
25.4	1"	19.0	¾"	1250 ± 25						5000 ± 25
19.0	¾"	12.7	½"	1250 ± 10	2500 ± 10					
12.7	½"	9.5	⅜"	1250 ± 10	2500 ± 10					
9.5	⅜"	6.4	(#3)			2500 ± 10				
6.4	(#3)	4.8	(#4)			2500 ± 10				
4.8	(#4)	2.4	(#8)				5000 ± 10			
No. de esferas				12	11	8	6	12	12	12
No. de revoluciones				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES : Ninguna.

Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80
PBX: (571) 618 0018
PBX: (571) 756 0990

Laboratorio
del Concreto:
Calle 79B No. 51-45

Ejecutó:

INFORME ORIGINAL
Laboratorio
Wilmar Freddy Sierra
Coordinador de Laboratorio

Revisó:

Ing. Nelson Hernández V.
Jefe de Laboratorio y Calidad

Los resultados emitidos en este informe corresponden a las muestras entregadas al Laboratorio del Concreto. El informe no puede ser utilizado en ningún tipo de campaña de información, técnica o comercial. Prohibida su reproducción.

Laboratorio del Concreto

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
12-LAB-043

RESULTADO DE ENSAYO MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS

COMPANIA:	ANDRÉS FELIPE ROMERO QUINTERO		
DIRECCIÓN:	Calle 46 N° 14 - 74	PLANTA:	---
CONTACTO:	Sr. Andrés Felipe Romero Quintero	DIRECCIÓN:	---
TELÉFONO:	---	TELÉFONO:	---
FAX:	---	FAX:	---

FECHA DE RECEPCIÓN	14-04-03	FECHA DE ENSAYO	14-04-09
--------------------	----------	-----------------	----------

ORDEN DE TRABAJO

12236

INFORME N°

365-14

Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados compactados o sueltos. I.N.V. E-217-07.

LABORATORIO DE AGREGADOS

TEMPERATURA °C

22.0

HUMEDAD %

44

	1	2	-	-	-
MUESTRA	Arena	Grava	---	---	---
DESCRIPCIÓN	Arena	Grava	---	---	---
PROCEDENCIA	Cantera Cemex	Comercializadora Quiroga	---	---	---
Masa Unitaria Suelta					
Masa de la muestra + Molde (kg)	1	8.043	20.997	---	---
	2	8.098	20.954	---	---
	3	8.137	20.966	---	---
Promedio Muestra + Molde (kg)		8.093	20.972	---	---
Masa Molde (kg)		3.761	8.659	---	---
Masa Muestra (kg)		4.332	12.313	---	---
Volumen Molde (m³)		0.002800	0.009440	---	---
MASA UNITARIA SUELTA (kg/m³)		1547	1304	---	---
% DE VACÍOS		38.6	41.8	---	---
Masa Unitaria Compacta					
Masa de la muestra + Molde (kg)	1	8.505	21.878	---	---
	2	8.581	21.963	---	---
	3	8.586	21.954	---	---
Promedio Muestra + Molde (kg)		8.557	21.932	---	---
Masa Molde (kg)		3.761	8.659	---	---
Masa Muestra (kg)		4.797	13.272	---	---
Volumen Molde (m³)		0.002800	0.009440	---	---
MASA UNITARIA COMPACTA (kg/m³)		1713	1406	---	---

OBSERVACIONES: Ninguna.

Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80
PBX: (571) 618 0018
PBX: (571) 756 0990

Laboratorio
del Concreto:
Calle 798 No. 51-45
PBX: (571) 618 0018

Ejecutó:

INFORME ORIGINAL
Laboratorio
del Concreto

Wilmar Fredy Sierra
Coordinador de Laboratorio

Revisó:

Ing. Nelson Hernández V.
Jefe de Laboratorio y Calidad

Los resultados emitidos en este informe corresponden a las muestras entregadas al Laboratorio del Concreto. El informe no puede ser utilizado en ningún tipo de campaña de información técnica o comercial. Prohibida su reproducción.