

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE MATERIALES CEMENTANTES
SUPLEMENTARIOS EN LAS PROPIEDADES DE UNA MEZCLA DE
CONCRETO**

Trabajo de graduación presentado por Valeria Sequeira Aragón para optar al
grado académico Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE MATERIALES CEMENTANTES
SUPLEMENTARIOS EN LAS PROPIEDADES DE UNA MEZCLA DE
CONCRETO**

Trabajo de graduación presentado por Valeria Sequeira Aragón para optar al
grado académico Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2021

Vo. Bo.

(f) _____

Ing. Gamaliel Zambrano

Terna examinadora

(f) _____

Ing. Gamaliel Zambrano

(f) Ana Regina Cruz

Inga. Ana Regina Cruz

(f) _____

Ing. Luis Núñez

Fecha de aprobación: Guatemala, 7 de mayo de 2021

CONTENIDO

CONTENIDO	i
LISTADO DE CUADROS	iv
LISTADO DE FIGURAS	v
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
A. General	3
B. Específicos	3
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. MARCO TEÓRICO.....	6
A. FUNDAMENTOS DEL CONCRETO	6
1. Historia.	6
2. Producción de concreto.....	7
B. Propiedades del concreto.....	8
1. Propiedades en estado fresco	8
2. Propiedades en estado endurecido	10
C. Constituyentes del concreto	13
1. Cemento portland.....	13
2. Agregados	24
3. Agua de mezcla.....	27
4. Aditivos químicos.....	27
D. Materiales cementantes suplementarios	29
1. Cenizas volantes	29
2. Humo de sílice	32
3. Ceniza de cascarilla de arroz	35
4. Ceniza de bagazo de caña de azúcar	37
5. Clasificación según ASTM C618 - 03.....	38
E. Aplicación de materiales cementantes suplementarios en mezclas de concreto	39

1.	Efectos en el concreto fresco	39
2.	Efectos en concreto endurecido	40
3.	Principales barreras en la utilización de MSC	41
V.	ANTECEDENTES	43
VI.	MARCO METODOLÓGICO.....	46
A.	Experimentación.....	46
B.	Materiales	46
C.	Diseño de mezcla	48
D.	Caracterización materiales cementantes suplementarios	48
1.	Composición química.	48
2.	Humedad.....	49
3.	Pérdida por calcinación.....	49
4.	Finura (tamiz 45 μ m).....	49
5.	Índice de actividad puzolánica.....	49
E.	Ensayos mezclas de concreto en estado fresco	50
1.	Asentamiento del concreto.	50
2.	Contenido de aire.....	50
3.	Masa unitaria.	50
4.	Temperatura del concreto.	51
F.	Ensayos mezclas de concreto en estado endurecido	51
1.	Resistencia a la compresión.....	51
2.	Resistencia a la penetración del ion cloruro.	51
3.	Profundidad de penetración de agua bajo presión.	52
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
A.	Evaluación propiedades químicas y físicas de los MCS según norma ASTM C311-05	53
B.	Evaluación influencia de MCS en las propiedades en estado fresco de las mezclas	54
C.	Evaluación influencia de MCS en resistencia a la compresión de las mezclas en estado endurecido	55
D.	Evaluación influencia MCS en durabilidad de las mezclas en estado endurecido	57
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60

A.	Evaluación propiedades químicas y físicas de los MCS según norma ASTM C311-06	60
B.	Evaluación influencia de MCS en las propiedades en estado fresco de las mezclas	62
C.	Evaluación influencia de MCS en resistencia a la compresión de las mezclas en estado endurecido	62
D.	Evaluación influencia MCS en durabilidad de las mezclas en estado endurecido	65
E.	Factibilidad de uso de los MSC en mezclas de concreto	68
IX.	CONCLUSIONES	70
X.	RECOMENDACIONES	71
XI.	BIBLIOGRAFÍA	72
XII.	ANEXOS	75
A.	Difractogramas de rayos X	75
B.	Respaldos análisis resultados	77
1.	Humo de sílice	77
2.	Ceniza Volante 1	79
3.	Ceniza Volante 2	81
4.	Cascarilla de arroz	83
5.	Ceniza de bagazo de caña	85
C.	Durabilidad de las mezclas	87
1.	Humo de sílice	87
2.	Ceniza volante 1	88
3.	Ceniza volante 2	90
4.	Ceniza de cascarilla de arroz	91
5.	Ceniza de bagazo de caña	93
D.	Imágenes experimentación	94
E.	Certificados resultados experimentales	97
F.	Normas técnicas guatemaltecas	133

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Resistencias especificadas para mezclas de concreto según su uso.	11
Cuadro 2. Constituyentes del compuesto portland (ACI Committee E-701, 2013a).....	15
Cuadro 3. Clasificación de ceniza volante y puzolanas naturales según ASTM C618 - 03	38
Cuadro 4. Composición química de ceniza volante y puzolanas naturales según (ASTM C618, 2003).....	38
Cuadro 5. Requerimientos físicos de ceniza volante y puzolanas naturales según (ASTM C618, 2003).....	38
Cuadro 6. Requerimiento de ceniza volante según BS EN 206.....	38
Cuadro 7. Materiales cementantes suplementarios utilizados.	46
Cuadro 8. Granulometría y propiedades físicas agregados utilizados.	47
Cuadro 9. Propiedades físicas y químicas del cemento utilizado.	47
Cuadro 10. Diseños de mezcla utilizados.	48
Cuadro 11. Composición química materiales cementantes suplementarios por fluorescencia de rayos X.	53
Cuadro 12. Composición mineralógica de la ceniza volante 1.	53
Cuadro 13. Composición mineralógica de la ceniza volante 2.	53
Cuadro 14. Composición mineralógica de la ceniza de cascarilla de arroz.....	53
Cuadro 15. Composición mineralógica ceniza de bagazo de caña.	54
Cuadro 16. Propiedades físicas de materiales cementantes suplementarios.....	54
Cuadro 17. Características de las mezclas de concreto en estado fresco.....	54
Cuadro 18. Resumen resistencia a la compresión todas las mezclas a diferentes edades..	56
Cuadro 19. Eficiencia resistencia a la compresión del cemento a diferentes edades.....	57
Cuadro 20. Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de cloruro de las diferentes mezclas a diferentes edades.	57
Cuadro 21. Profundidad de penetración de agua bajo presión de las diferentes mezclas a diferentes edades.	59

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de la reacción de hidratación del cemento.	20
Figura 2. Ilustración de gel formado en etapa inicial rodeando partículas de cemento.	21
Figura 3. Fase de inducción, agua se satura con iones Ca^{2+} y OH^- provenientes principalmente de la dilución de $C3S$	22
Figura 4. Formación de productos de hidratación.	23
Figura 5. Crecimiento de productos de hidratación en fase de difusión.	24
Figura 6. Resistencia a la compresión de todas las mezclas a diferentes edades.	55
Figura 7. Eficiencia resistencia a la compresión del cemento a diferentes edades.	56
Figura 8. Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de cloruro de las diferentes mezclas a diferentes edades.	58
Figura 9. Profundidad máxima de penetración de agua bajo presión de las diferentes mezclas a diferentes edades.	58
Figura 10. Difracción de rayos X ceniza volante 1.	75
Figura 11. Difracción de rayos X ceniza volante 2.	75
Figura 12. Difracción de rayos X ceniza de cascárilla de arroz.	76
Figura 13. Difracción de rayos X ceniza de bagazo de caña.	76
Figura 14. Desarrollo resistencia a la compresión con la edad mezcla patrón versus mezclas con humo de sílice.	77
Figura 15. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con humo de sílice.	78
Figura 16. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por humo de sílice.	78
Figura 17. Desarrollo resistencia a la compresión mezcla patrón versus mezclas con ceniza volante 1.	79
Figura 18. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con ceniza volante 1.	80
Figura 19. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por ceniza volante 1.	80
Figura 20. Desarrollo resistencia a la compresión mezcla patrón versus mezclas con ceniza volante 2.	81
Figura 21. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con ceniza volante 2.	82

Figura 22. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por ceniza volante 2.	82
Figura 23. Desarrollo resistencia a la compresión mezcla patrón versus mezclas con ceniza de cascarilla de arroz.	83
Figura 24. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con ceniza cascarilla de arroz.	84
Figura 25. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por ceniza de cascarilla de arroz.	84
Figura 26. Desarrollo resistencia a la compresión mezcla patrón versus mezclas con ceniza de bagazo de caña.	85
Figura 27. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con ceniza de bagazo de caña.	86
Figura 28. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña.	86
Figura 29. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con humo de sílice.	87
Figura 30. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con humo de sílice.	87
Figura 31. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con humo de sílice.	88
Figura 32. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 1.	88
Figura 33. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 1.	89
Figura 34. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 1.	89
Figura 35. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo cemento con ceniza volante 2.	90
Figura 36. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 2.	90
Figura 37. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 2.	91
Figura 38. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de cascarilla de arroz.	91
Figura 39. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de cascarilla de arroz.	92

Figura 40. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de cascarilla de arroz.	92
Figura 41. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de bagazo de caña.	93
Figura 42. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de bagazo de caña.	93
Figura 43. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de bagazo de caña.	94
Figura 44. Ensayo peso unitario del concreto en estado fresco.	94
Figura 45. Ensayo temperatura del concreto en estado fresco.	95
Figura 46. Ensayo contenido de aire de concreto en estado fresco.	95
Figura 47. Ensayo asentamiento del concreto en estado fresco.	96
Figura 48. Ensayo resistencia a la compresión.	96
Figura 49. Ensayo profundidad penetración de agua a presión.	97
Figura 50. Ensayo permeabilidad del ion cloruro.	97
Figura 51. Certificado análisis químico de MSC.	98
Figura 52. Certificado determinación de humedad libre MSC.	99
Figura 53. Certificado ensayos físicos MSC.	100
Figura 54. Certificado ensayo difracción de rayos X MSC.	109
Figura 55. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla patrón.	113
Figura 55. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla SF 5%.	114
Figura 56. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla SF 10%.	115
Figura 57. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla FA1 15%.	116
Figura 58. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla FA 1 25%.	117
Figura 59. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla FA2 15%.	118
Figura 60. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla FA2 25%.	119
Figura 61. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla RHA 15%.	120
Figura 62. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla RHA 25%.	121
Figura 63. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla SBA15%.	122
Figura 64. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla SBA 25%.	123
Figura 65. Certificado indicación eléctrica a 28 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%.	124
Figura 66. Certificado indicación eléctrica a 56 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%.	125

Figura 67. Certificado indicación eléctrica a 56 días mezcla RHA 15%, RHA 25%, SBA 15%, SBA 25%	126
Figura 68. Certificado indicación eléctrica a 90 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%	127
Figura 69. Certificado indicación eléctrica a 90 días RHA 15%, RHA 25%, SBA 15%, SBA 25%	128
Figura 70. Certificado profundidad de agua a presión a 28 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%	129
Figura 71. Certificado profundidad de agua a presión a 56 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%	130
Figura 72. Certificado profundidad de agua a presión a 56 días mezcla RHA 15%, RHA 25%, SBA 15%, SBA 25%	131
Figura 73. Certificado profundidad de agua a presión a 90 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%	132
Figura 74. Certificado profundidad de agua a presión a 90 días mezcla RHA 15%, RHA 25%, SBA 15%, SBA 25%	133

RESUMEN

La atención a los impactos ambientales cada día es un tema de mayor relevancia. La industria cementera es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero, se estima que contribuye con el 5% de CO_2 emitido a la atmósfera (Durastani & Moretti, 2020). Como medida de mitigación en los últimos años se ha estudiado el reemplazo parcial de cemento en las mezclas de concreto por materiales con propiedades puzolánicas llamados materiales cementantes suplementarios (MSC). En este estudio se evaluaron las propiedades físicas y químicas y la influencia en la resistencia mecánica y durabilidad del concreto de algunos MCS disponibles en Guatemala. Se utilizó ceniza volante producida en dos generadoras eléctricas distintas de las cuáles no se tiene información, ceniza de cascarilla de arroz producida en arrocería Los Corrales y ceniza de bagazo de caña producida en Ingenio San Diego Trinidad. Se reemplazó un 15% y 25% de cemento con cada MSC. Como referencia teórica, se utilizó humo de sílice, un MSC comercial, marca Sika en el porcentaje recomendado por el fabricante e investigadores anteriores (5% y 10%). A los materiales cementantes suplementarios se les realizaron análisis de fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, humedad, pérdida por ignición, actividad puzolánica y finura. A las mezclas de concreto se les evaluó resistencia a la compresión a los 3, 7, 28, 56 y 90 días, permeabilidad del ion cloruro a los 56 y 90 días y profundidad de penetración de agua a presión a 56 y 90 días. Se concluyó que la ceniza de cascarilla de arroz influye positivamente en la resistencia y la durabilidad de la mezcla. Mientras que la ceniza volante 1 únicamente influye positivamente en la resistencia y no en la durabilidad y la ceniza de bagazo de caña únicamente influye positivamente en la durabilidad. La ceniza volante 2 influyó negativamente tanto en resistencia como durabilidad y se descartó su uso como MSC. Se recomienda ampliar la investigación utilizando RHA a un nivel industrial y SBA como reemplazo de arena y no de cemento.

I. INTRODUCCIÓN

A mediados del siglo XX se empezó a estudiar la adición de puzolanas naturales al cemento como reemplazo del clínker, descubrieron que no solo representaba un ahorro económico, sino que aportaba resistencia y durabilidad a las mezclas de concreto. Con el tiempo empezó a evaluarse la posibilidad de reemplazar una parte del cemento en las mezclas de concreto por estas puzolanas. Las puzolanas naturales se encuentran únicamente en ciertos yacimientos y deben pasar por un proceso de molienda por lo que se empezó a buscar reemplazos. Se descubrió que algunos materiales, la mayoría desechos o subproductos de otras industrias, también tienen propiedades puzolánicas y se les puede dar el mismo uso. Algunos son la ceniza volante, ceniza de cascarilla de arroz, ceniza de bagazo de caña, humo de sílice, metacaolín, escoria de alto horno, entre otros, se les llamó materiales cementantes suplementarios.

Según investigaciones anteriores los materiales cementantes suplementarios que cumplen con ciertas especificaciones físicas y químicas mejoran en gran medida algunas propiedades del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Mejoran la trabajabilidad, tiempo de fraguado, segregación y aumentan resistencia mecánica y durabilidad. Incluso, en la actualidad, el sector construcción es más exigente y hay algunos requerimientos de diseño que son imposibles de lograr utilizando únicamente cemento.

La ceniza volante es uno de los subproductos provenientes de la quema de carbón para producción de energía eléctrica. A pesar de que el uso de alternativas renovables está aumentando, en 2020 la combustión de carbón todavía representó un 20.5% de la matriz energética (CNEE, 2021). Actualmente operan 6 centrales térmicas: San José, La Libertad, Arizona Vapor, Las Palmas II, Generadora Costa Sur y Jaguar Energy, que producen más de 2000 GW (INCYT, 2018). La mayoría de ceniza resultante de esta actividad se almacena en depósitos al aire libre y todavía no se conocen usos factibles y concretos para esta.

La ceniza de bagazo de caña proviene de la quema del bagazo de caña residual de la producción de azúcar. En los últimos años se ha aprovechado el calor generado de este proceso para la producción de energía eléctrica, participando hasta en un 35% en la matriz energética en el tiempo de zafra (CNEE, 2021). En el país operan 11 ingenios, en la zafra 2019-2020 se produjeron 2.3 toneladas métricas de azúcar y se generaron 1.991 GW (Cengicaña, 2021). Por cada tonelada de azúcar, se producen 0.01 toneladas de ceniza (1%). Algunos ingenios utilizan esta ceniza como fertilizante es los campos de caña.

La ceniza de cascarilla de arroz proviene de la quema de la cáscara que cubre el grano de arroz. En Guatemala hay 11 arrocera, la Arrocera Los Corrales S.A. una de las más grandes procesa aproximadamente 60,000 toneladas de arroz al año de las cuales 10% es producido en Guatemala y 90% es importado de Estados Unidos. En promedio el procesamiento de 1 tonelada de arroz produce 0.04 toneladas de ceniza (4%) (Bapat, 2013). Almacenan la ceniza en depósitos, sin embargo, representa un problema para ellos y en algunas ocasiones pagan a terceros para que las retiren.

Para ampliar la investigación en las posibles aplicaciones de estos materiales se obtuvieron muestras de cenizas volantes de dos generadoras eléctricas distintas, de un ingenio y de una arrocera y se evaluaron las propiedades químicas y físicas de estas y su influencia en las propiedades mecánicas y durabilidad de mezclas de concreto.

II. OBJETIVOS

A. General

Evaluar la influencia de la sustitución parcial de cemento por 4 tipos de materiales cementantes suplementarios: humo de sílice, ceniza volante, ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de bagazo de caña en las propiedades mecánicas y la durabilidad de una mezcla de concreto.

B. Específicos

- Evaluar materiales cementantes suplementarios según norma ASTM C311-05 y caracterizar según norma ASTM C618 – 03 (15) para determinar factibilidad de uso.
- Sustituir parcialmente cemento por materiales cementantes suplementarios en el diseño de la mezcla patrón para evaluar su influencia en las propiedades en estado fresco de esta.
- Evaluar resistencia a la compresión a 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días basándose en norma ASTM C39 – COGUANOR NTG 41017 h1 para determinar la influencia material cementante suplementario en el desarrollo de esta a través del tiempo.
- Evaluar permeabilidad del ion cloruro de las mezclas a 56 y 90 días basándose en norma ASTM C1202 – COGUANOR NTG 41017 h41 para determinar la influencia material cementante suplementario en la durabilidad del concreto.
- Evaluar profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido a 56 y 90 días según norma UNE-EN 12390-8 – COGUANOR NTG 41017 h42 para determinar la influencia del material cementante suplementario en la durabilidad del concreto.

III. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo surge a partir de la solicitud por parte de un representante del sector energético de encontrar una aplicación a las cenizas volantes generadas por las distintas termoeléctricas en Guatemala, ya que a lo largo de los años estas únicamente han sido acumuladas en pilas generando un impacto ambiental considerable y desperdiciando el potencial de sus características fisicoquímicas. Según la bibliografía las cenizas volantes pueden utilizarse como abono para suelos, como geopolímeros, como rellenos, pueden tratarse para utilizarse como medios filtrantes, pueden utilizarse como reemplazo parcial de Clinker en el cemento puro o como reemplazo de cemento en el concreto. Se decidió ampliar la investigación en este último tema.

Según American Concrete Institute, la ceniza volante es el residuo resultante de la quema de carbón pulverizado a altas temperaturas, siendo la fuente más común, las generadoras eléctricas. La ceniza volante se ha convertido en la puzolana más utilizada en el sector de construcción debido a la influencia en las propiedades del concreto. Según ACI 232-2R-03 la ceniza volante puede mejorar la trabajabilidad, disminuir la demanda de agua, mejorar bombeabilidad, aumentar el tiempo de fraguado, disminuir sangrado, mejorar consolidado, disminuir calor de reacción del concreto en estado fresco y puede aumentar la resistencia, disminuye permeabilidad, mejorar durabilidad y reducir la expansión álcali-agregado del concreto en estado sólido. Debido a estos efectos, la utilización en mezclas de concreto a nivel mundial es extensa.

Además de los efectos positivos que la FA aporta a las mezclas de concreto, su uso también representa un beneficio ambiental. El proceso de producción de cemento requiere muchísima energía, casi 4GJ por tonelada de cemento producido para la clinkerización, molienda de materia prima, molienda de clinker, entre otras operaciones. Además, el proceso de combustión y la descomposición de la piedra caliza libera una cantidad enorme de CO_2 , aproximadamente se liberan 0.87 kg de CO_2 por kg de cemento producido. Se estima que la industria cementera genera del 5 al 7% del CO_2 total a nivel mundial (Durastani & Moretti, 2020). El reemplazo parcial de cemento por FA significa una disminución en el uso y por lo tanto producción de cemento Portland.

Existen otros materiales residuales que también tienen propiedades puzolánicas conocidos como materiales cementantes suplementarios. Entre los más utilizados en el mundo están la escoria de alto horno, humo de sílice, metacaolín, puzolanas naturales, ceniza de bagazo de caña, ceniza de cascarilla de arroz, entre otras.

En Guatemala se pueden encontrar puzolanas naturales en algunas canteras, ceniza de bagazo de caña proveniente de ingenios, ceniza de cascarilla de arroz, proveniente de las arroceras. y humo de sílice, disponible de manera comercial.

A partir de una revisión bibliográfica y una serie de entrevistas a expertos se identificó que en Guatemala aún no se utilizan los MSC disponibles, esto debido a dos factores importantes, la mala calidad de las cenizas y la falta de investigación. Las cenizas generadas en el país no cumplen con las especificaciones químicas y físicas necesarias debido a la falta de regulaciones ambientales nacionales. Tomando en consideración esto se decide ampliar el alcance de la investigación y evaluar y comparar los distintos materiales cementantes suplementarios disponibles en el país para determinar la factibilidad de uso en mezclas de concreto y aportar a la ciencia de materiales y la industria de la construcción.

IV. MARCO TEÓRICO

A. FUNDAMENTOS DEL CONCRETO

El concreto u hormigón es el material de construcción más utilizado a nivel mundial. Consiste básicamente en una mezcla de cemento portland, agua, agregados finos y gruesos y algunos aditivos. En estado fresco tiene características que facilitan su colocación o moldeado y en estado endurecido soporta grandes esfuerzos de compresión y es resistente al ataque de sulfatos, cloruros, entre otros y a la abrasión. Además, es relativamente económico y los materiales son comunes y disponibles localmente (Bansal, 2007).

1. Historia.

El uso de yeso, piedra caliza, arena, entre otros materiales en la construcción viene de muchos años atrás. Se tiene registrado que por el año 6500 a.C. los Nabateos, tribu nómada que recorría el desierto de Arabia, construyeron pisos, viviendas y cisternas subterráneas con un material parecido al concreto. Por el año 3000 a.C. En Egipto se empezó a utilizar barro mezclado con paja para elaborar ladrillos y yeso y cal como mortero, con esto construyeron las Pirámides de Giza. Por otro lado, en China se utilizó una forma similar para la construcción de la Gran Muralla. Años después (600 a.C.) los romanos empezaron a utilizar una mezcla de ceniza volcánica, cal y agua de mar de manera generalizada y para el año 200 a.C. ya habían implementado esta forma de concreto en la mayoría de sus construcciones (Giatec Scientific Inc, 2017).

Con la caída del Imperio Romano en el año 476 d.C. las técnicas antiguas para hacer cemento puzolánico se perdieron y la tecnología de concreto retrocedió. Hasta 1000 años después se encontraron manuscritos con esta información y con esto el interés por el material volvió a empezar (Giatec Scientific Inc, 2017).

En 1793 John Smeaton descubrió un método más efectivo para producir cal hidráulica. Coció la piedra caliza con arcilla hasta convertirla en Clínker y luego la molió hasta convertirla en fino polvo. Este fue el primer antecedente formal del cemento. En 1824, Joseph Aspdin inventó el cemento Portland. Molió arcilla y yeso y los quemó hasta eliminar el dióxido de carbono presente. Le dio este nombre debido a que la materia prima fue extraída en Portland, Inglaterra (Giatec Scientific Inc, 2017).

En el siglo XIX el concreto se utilizó principalmente en obras industriales, se empezó a utilizar de manera generalizada en viviendas entre 1850 y 1880 en Inglaterra y Francia. Por esta época, Francois Coignet inició con el concreto reforzado agregando varilla de acero.

A partir de este año la tecnología del concreto se fue desarrollando. En 1889 se construyó el primer puente con concreto reforzado y en 1904 se construyó el Ingalls building en Ohio, primer edificio de gran altura hecho con concreto. Para 1930 empezaron a formularse aditivos químicos y en 1970 los concretos reforzados con fibras (Giatec Scientific Inc, 2017).

2. Producción de concreto.

El proceso de producción de concreto se puede dividir en dos actividades importantes, una relacionada a los materiales y la otra a los procesos. Es necesario poner atención a ambas etapas para obtener la mejor calidad del concreto (Bansal, 2007).

a. Dosificación de materiales.

Se pesa la cantidad de materiales calculados previamente en el diseño de mezcla (Bansal, 2007).

b. Mezclado.

Los materiales se mezclan hasta obtener una pasta homogénea y uniforme en color y consistencia. El mezclado puede ser manual o con máquina. Manualmente no se obtiene homogeneidad por lo que se suele realizar con máquinas. Con máquina se puede categorizar en mezclado por batch dónde la mezcla se va realizando por lotes o mezclado continuo donde la mezcla se realiza continuamente sin parar.

La secuencia para agregar los materiales suele ser la siguiente. La mitad de la cantidad de agregado grueso, la mitad de agregado fino, todo el cemento, la otra mitad de agregado grueso, la otra mitad de agregado fino y por último el agua y aditivos (Bansal, 2007).

c. Transporte.

El transporte del concreto de la planta de producción al lugar de colocación es una actividad importante. El tiempo de tránsito debe tomarse en cuenta como parámetro de diseño ya que de esto depende el tiempo de fraguado inicial y la pérdida de trabajabilidad (Bansal, 2007).

d. Compactado.

La compactación se realiza para expulsar el aire atrapado. Mientras mayor porcentaje de aire atrapado contenga la mezcla, menor será su resistencia. Según estudios, por cada 1% de aire, la resistencia mecánica se reduce aproximadamente en un 6%. Existen dos métodos de compactación: compactación manual y compactación mecánica.

La compactación manual se utiliza para estructuras ordinarias y sin tanta importancia. Se puede realizar por medio de varillaje o sellado con palas o bayonetas. Para la compactación mecánica se utilizan sistemas mecánicos de vibración (vibradores). Estos provocan una licuefacción temporal de modo que las burbujas de aire suben a la superficie y finalmente se expulsan. Puede ser vibración interna o externa (Bansal, 2007).

e. Curado.

El curado es un procedimiento para promover la reacción de hidratación del cemento para el desarrollo de la resistencia del concreto y control de la temperatura. Una buena práctica de curado resulta en mayores resistencias y menores permeabilidades. En un inicio la mezcla contiene la cantidad de agua suficiente para hidratar el cemento, sin embargo, con el tiempo esta se puede perder por evaporación o consumirse completamente y detener la reacción. El curado se puede realizar ya sea reponiendo el agua perdida con inmersión, aspersión o revestimientos saturados o previniendo la pérdida de humedad con compuestos de curado o membranas impermeables (Bansal, 2007).

B. Propiedades del concreto

1. Propiedades en estado fresco

a. Trabajabilidad.

Según The American Concrete Institute la trabajabilidad es la propiedad del concreto fresco que determina la facilidad con la que se puede mezclar, colocar, consolidar y terminar sin que este pierda su homogeneidad o se segregue. La ASTM la define como el esfuerzo necesario para manipular una cantidad recién mezclada de concreto con una pérdida mínima de homogeneidad. Los requerimientos de trabajabilidad varían según la aplicación del concreto. La pérdida de trabajabilidad se define como la pérdida de consistencia del concreto con el tiempo y está relacionada con el agotamiento de agua libre con el tiempo (Bapat, 2013).

La trabajabilidad se puede ver afectada por el contenido de agua de mezclado, la fluidez de la pasta, el contenido de aire, la finura y forma de partícula de los agregados, condiciones de temperatura y algunas condiciones de producción y colocación (Gutierrez, 2003).

b. Segregación.

Es la tendencia de los materiales a separarse luego de mezclarlos, producto de muy poca o mucha agua (Bansal, 2007).

c. Sangrado.

Es el proceso en el que el agua de mezcla asciende a la superficie del concreto recién colocado. Esto sucede porque los constituyentes sólidos no logran retener toda el agua mientras se asientan en el proceso de fraguado (Bansal, 2007).

d. Masa unitaria.

Es la masa contenida en cierto volumen. Depende del tamaño y granulometría de los agregados, aire atrapado, densidad de los constituyentes, entre otras (Bansal, 2007).

e. Contenido de aire.

Aire localizado en los poros no saturables de los agregados (Bansal, 2007).

2. Propiedades en estado endurecido

a. Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión es una característica muy importante del concreto y se utiliza para juzgar su calidad y capacidad.

La resistencia se puede ver afectadas por la calidad y cantidad de materia prima (agregados, cemento, agua) o por la calidad de las etapas del proceso: mezclado, transporte, colocación, compactación y curado. Los factores más importantes para tomar en cuenta en el momento de la mezcla son

1) Contenido de cemento.

La calidad y características del cemento utilizado tienen una gran influencia en la resistencia del concreto. La proporción de cemento en la mezcla es importante, mientras mayor es, mayor es la resistencia. Sin embargo, en algunos casos altas cantidades de cemento (más de 470 kg por m^3) pueden disminuir la resistencia (Bansal, 2007).

2) Relación agua-cemento.

La relación agua cemento influye de gran manera en la resistencia final, mientras más agua se le agregue menor será la resistencia (Bansal, 2007).

3) Influencia de los agregados.

La caracterización de los agregados influye en la resistencia de forma importante, la granulometría o finura aumenta o disminuye la densidad y la forma y textura inciden en la resistencia a la flexión (Bansal, 2007).

La resistencia especificada es determinada por el ingeniero estructural para cumplir con los requerimientos de la obra. Por lo general se utiliza 5,000 a 6,000 psi en elementos estructurales, el estándar ACI 318 indica una resistencia especificada mínima de 2,500 psi para concreto estructural.

Cuadro 1. Resistencias especificadas para mezclas de concreto según su uso.

Tipo o locación de la construcción de concreto	Resistencia a la compresión especificada (PSI)
Rellenos de concreto	Abajo 2,000
Caminamientos, patios, gradas, fundiciones	2,500 – 3,500
Carreteras, garaje y losas para pisos industriales	3,000 – 4,000
Losas, columnas, vigas y muros reforzados	3,000 – 7,000
Concreto prefabricado y pretensado	4,000 – 7,000
Columnas de rascacielos	10,000 - 15,000

b. Durabilidad.

Es la garantía a largo plazo de la capacidad de servicio de la estructura. La resistencia a la compresión únicamente indica la resistencia o capacidad de carga de la estructura en el momento de la construcción, mientras que la durabilidad es la garantía a largo plazo de que se mantendrán la resistencia y capacidad de carga de la estructura. Los factores que más comúnmente afectan la durabilidad son la corrosión del acero de refuerzo y la carbonatación del concreto (Bansal, 2007).

1) Mecanismo de corrosión.

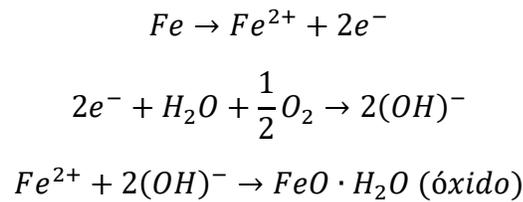
El concreto proporciona un entorno protector ideal contra la corrosión del acero de refuerzo. Inicialmente la alcalinidad del concreto es tan alta que automáticamente se forma una pequeña capa de óxido férrico en la superficie del acero, esta capa a pesar de ser delgada protege de manera eficaz el acero. Esta protección únicamente es eficaz si el medio se mantiene alcalino, esto se puede lograr disminuyendo la permeabilidad del concreto (Bansal, 2007).

La corrosión es un proceso electromecánico en el que una parte del acero se comporta como ánodo y la otra como cátodo. La reacción anódica se evita con la película pasiva de óxido férrico, sin embargo, esta puede ser destruida por un medio ácido o por la acción de los iones cloruro. De manera similar, la reacción del catódica no puede comenzar hasta que haya suficiente suministro de oxígeno y agua disponible en la superficie del acero. Por lo tanto, la corrosión puede evitarse si el concreto es lo suficientemente impermeable para mantener aire, agua y otros agentes fuera del alcance del acero (Bansal, 2007).

Inicialmente, el cemento en forma hidratada es de naturaleza alcalina debido a la producción de $Ca(OH)_2$. Normalmente, el cemento portland ordinario contiene aproximadamente un 20% de álcali, lo que es suficiente para mantener un valor de pH entre

12-13. Este valor puede disminuir por neutralización o carbonatación. La corrosión del acero empieza a valor de pH menores a 11.5. Los agentes atmosféricos que son responsables de la reducción del valor del pH son el CO₂ disponible en la atmósfera en un rango de 0.04% en áreas rurales a 0.4% en áreas urbanas. Este CO₂ penetra en el hormigón hidratado y neutraliza el medio alcalino bajando el valor del pH. Cuando la carbonatación penetra en toda la profundidad de cobertura, ataca el refuerzo y se destruye la película pasiva de óxido férrico (Bansal, 2007).

La reacción electromecánica de corrosión del acero es la siguiente:



Estas reacciones inician cuando el concreto es permeable y permite que el oxígeno, la humedad, el CO₂, el SO₃⁻ y el Cl⁻, etc. lleguen hasta el acero de refuerzo. El óxido formado se oxida progresivamente y su volumen va aumentando hasta que no se puede acomodar en el concreto fraguado y comienza el agrietamiento de la estructura (Bansal, 2007). Por lo tanto, si el concreto se impermeabiliza lo suficiente para evitar que estos agentes lleguen a la armadura de la estructura se puede evitar la oxidación de esta.

2) Mecanismo de carbonatación.

La carbonatación es la reacción del CO₂ con el concreto hidratado. Esta reacción neutraliza el concreto, abriendo paso a la corrosión del acero de refuerzo. La reacción comienza en la superficie del concreto y luego penetra en este. La tasa de penetración depende de la permeabilidad.

$$D = k\sqrt{t}$$

D = profundidad de penetración

k = constante de carbonatación

t = tiempo de exposición del concreto a CO₂

El tiempo necesario para que la carbonatación alcance el nivel del acero de refuerzo depende de la permeabilidad y del espesor del recubrimiento que tenga el acero (Bansal, 2007).

C. Constituyentes del concreto

1. Cemento portland

a. Producción

1) Preparación de la materia prima.

La materia prima se extrae de canteras calcáreas y arcillosas. Se transporta a un primer triturador donde se reduce el tamaño de las piedras, luego pasa por un segundo triturador donde se lleva a un tamaño menor de 25 mm. Los materiales se proporcionan cuidadosamente y se llevan a un molino de bola o rodillos donde se muele hasta formar un polvo muy fino. Este proceso asegura que la alimentación a los hornos sea de composición constante, este finamente dividida y químicamente balanceada (ACI Committee E-701, 2013a).

2) Piroprocesamiento.

La producción del clínker consiste en 3 etapas, la primera es la deshidratación, donde toda el agua de la materia prima se evapora en una torre de precalentamiento. La segunda etapa es la calcinación donde se pierde todo el dióxido de carbono contenido, empieza en el precalentamiento y termina dentro del horno rotatorio. Por último, se da la clínkerización donde los óxidos se convierten a clínker, esta se da en la parte más caliente del horno a 1400-1600°C (ACI Committee E-701, 2013a).

3) Procesamiento final.

El Clínker se enfría con aire y se muele en molinos de bola, donde se le agrega pequeñas cantidades de yeso para controlar el fraguado, desarrollo de resistencia y estabilidad del volumen. El resultado final es un polvo gris oscuro muy fino (ACI Committee E-701, 2013a).

b. Propiedades del cemento portland

1) Finura.

La Finura del cemento tiene un efecto directo en la velocidad de reacción de hidratación. Mientras más fino es, más rápido se hidrata por lo que desarrolla generación de calor y ganancia de resistencia más rápido. Generalmente concretos con cemento más fino van a tener una demanda de agua mayor y la velocidad de sangrado será menor (ACI Committee E-701, 2013a).

2) Fraguado.

El comportamiento de endurecimiento del cemento se mide en tiempo de fraguado inicial y final. El tiempo inicial define el momento en el que la pasta comenzará a endurecerse y perderá trabajabilidad mientras que el tiempo final indica cuando la pasta ya se endureció lo suficiente para soportar cierta carga. Generalmente el tiempo de fraguado inicial es de 1 a 4 horas y el final de 3 a 6 horas. El tiempo de fraguado se ve afectado por constituyentes menores en el cemento como álcalis y sulfatos, finura, relación agua/cemento, temperatura ambiente y adición de materiales cementicios suplementarios (ACI Committee E-701, 2013a).

3) Calor de hidratación.

La reacción de hidratación es exotérmica por lo que libera calor. El aumento de temperatura del concreto dependerá de la cantidad de cemento, su composición y finura, el volumen de agregados, el espesor de la estructura y la velocidad de pérdida de calor al ambiente (ACI Committee E-701, 2013a).

4) Resistencia a sulfatos.

El concreto puede ser atacado por los sulfatos presentes en suelo o agua o por erosión por cristalización de sales. Los sulfatos penetran el concreto y reaccionan con los compuestos hidratados formando productos de mayor tamaño que producen la expansión y agrietamiento. Las sales penetran el concreto, cristalizan y producen el mismo efecto (ACI Committee E-701, 2013a).

c. Compuestos del cemento portland

Cuadro 2. Constituyentes del compuesto portland (ACI Committee E-701, 2013a).

Nombre	Fórmula química	Abreviación
Silicato tricálcico (alita)	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S
Silicato dicálcico (belita)	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A
Aluminoferrito tetracálcico	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF

1) Silicato tricálcico o alita.

Su fórmula química es $3CaO \cdot SiO_2$ por lo que se conoce como C_3S . El C_3S del cemento no es puro, contiene otros óxidos como MgO , Al_2O_3 y Fe_2O_3 . Se presenta como sistemas cristalinos triclinicos (3 ejes desiguales todos intersecados con ángulos oblicuos), monoclinicos (3 ejes desiguales, 2 perpendiculares y una intersecando con ángulos oblicuos) y romboédricos (3 ejes iguales intersecando en ángulos oblicuos) (Bapat, 2013). Estas 3 conformaciones son similares en cuanto a la posición de los iones Ca^{2+} y O^{2-} y los átomos de silicio, pero difieren en la orientación del tetraedro SiO_4^{4-} (Monteagudo, 2014). Se encuentra entre un 40% y 60% en el cemento, es el responsable del fraguado inicial y la resistencia temprana (Taylor *et. al.*, 2019).

2) Silicato dicálcico o Belita.

Junto con la alita es uno de los compuestos más importantes en el cemento. Su fórmula química es $2CaO \cdot SiO_2$, por lo que se conoce como C_2S . El cemento contiene entre 13% y 30% de C_2S . En la naturaleza se encuentra en 4 polimorfias: β , γ , α' y α , el cemento normalmente contiene β . Contribuye a la resistencia a edades tardías y a la baja permeabilidad del concreto (Taylor *et. al.*, 2019).

3) Aluminato tricálcico.

El aluminato tricálcico representa la mayor fase de alúmina en el cemento, este contiene entre 3% y 14% de aluminato. Su fórmula química es $3CaO \cdot Al_2O_3$ y se conoce como C_3A . Se presenta como sistemas cristalinos cúbicos u ortorrómbicos (Taylor *et. al.*, 2019).

4) Ferrito aluminato tetracálcico o ferrito.

El ferrito aluminato tetracálcico es un sistema de tres componentes, su fórmula química es $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$, se conoce como C_4AF y reacciona de forma muy similar al aluminato tricálcico en presencia de yeso. Su estructura cristalina está conformada por tetraedros de $(Al, Fe)O_4$, por octaedros de $(Al, Fe)O_6$ e iones de calcio, dependiendo la temperatura. Al igual que el aluminato el ferrito posee impurezas por lo que es necesario determinar la presencia de álcalis o CO_2 . El cemento contiene entre 7% y 16% de C_4AF (Monteagudo, 2014).

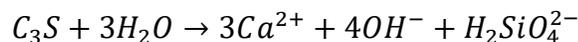
5) Sulfato cálcico o yeso.

El yeso o sulfato cálcico se le agrega al cemento con el objetivo principal de retardar la hidratación de C_3A y C_4AF y evitar fraguados relámpago. Se obtiene de tres formas: Yeso dihidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) que tiene forma de prisma monoclinico y es ligeramente soluble en agua, Yeso hemihidratado ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$) que tiene estructura hexagonal y es soluble en agua y yeso anhidro ($CaSO_4$), puede ser soluble en agua que es una variante del hemihidratado con estructura hexagonal-trapeozodrica e insoluble en agua con estructura rómbica piramidal. El yeso reacciona con los productos de hidratación de C_3A y C_4AF y forma entringita, esta puede dar problemas de expansividad por lo que el contenido de yeso se limita a 2.5% - 4% (Monteagudo, 2014).

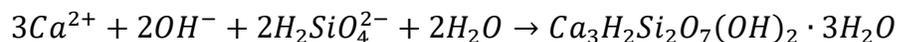
d. Reacción de los compuestos del cemento portland

1) Alita.

Al entrar en contacto con agua el $3CaO \cdot SiO_2$ se disuelve y libera iones Ca^{2+} y OH^- según la ecuación (Bernal, 2012):



Los iones reaccionan con más agua y con los silicatos para forma silicato de calcio hidratado según la ecuación (Bernal, 2012; Taylor *et. al.*, 2019) que precipita rápidamente.

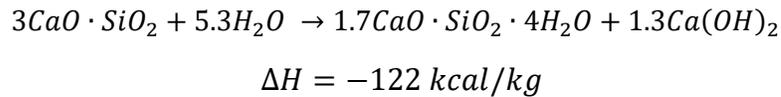


La relación Ca/Si del silicato anhidro es 3 mientras que la del silicato hidratado es 1.5 por lo cual el balance global corresponde a la liberación de iones OH^- y Ca^{2+} que se acumulan hasta saturar la solución en relación con la portlandita ($Ca(OH)_2$) (Taylor *et. al.*, 2019).

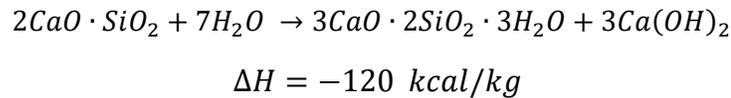
Taylor *et. al.*, (2019) propone de forma general la siguiente ecuación



Mientras que Bapat (2013) propone de manera más específica:



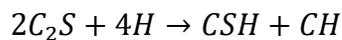
Y Monteagudo (2014):



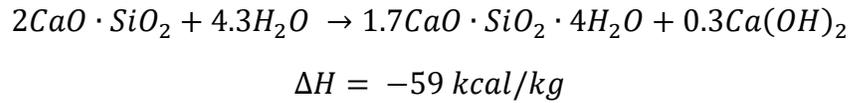
2) Belita.

La belita es menos reactiva que la alita por lo que el radio de reacción es menor. La reacción de hidratación produce de igual manera portlandita y gel CHS pero en menor proporción. La belita se diluye en agua a una velocidad mucho menor por lo que empieza a reaccionar hasta algunos días e incluso años después (Bapat, 2013; Taylor *et. al.*, 2019)

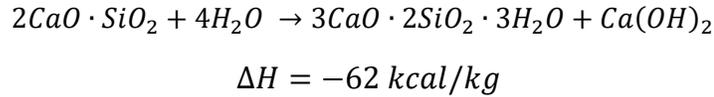
Taylor *et. al.* (2019) propone de manera general la siguiente ecuación:



Mientras que Bapat (2013) propone:



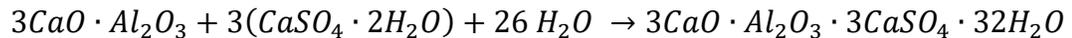
Y Monteagudo (2014):



3) Aluminato tricálcico.

El C_3A puro reacciona con el agua a una velocidad de hidratación muy rápida y el calor de reacción es elevado lo que produce un fraguado relámpago que no es beneficioso para el concreto. Por esta razón se le agrega yeso al cemento, este reacciona y forma etringita ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) y disminuye la velocidad de reacción. La etringita sigue reaccionando con el C_3A y forma sulfoaluminato de calcio hidratado. La cantidad de C_3A tiene una gran influencia en la durabilidad del material ya que aumenta la vulnerabilidad al ataque por sulfatos (Bapat, 2013; Monteagudo, 2014).

El aluminato reacciona con el agua y el yeso formando etringita siguiendo la ecuación propuesta por Bapat (2013):



Los iones sulfato comienzan a ser limitados con el tiempo. Por lo que la etringita comienza a reaccionar con los aluminatos formando monosulfoaluminato cálcico hidratado, ecuación #.



e. Productos de la reacción de hidratación

1) Silicatos cálcicos hidratados.

Los silicatos cálcicos hidratados provienen de la hidratación de C_3S y C_2S . Constituyen de 50%-60% de los productos de la hidratación. Aun no se conoce con exactitud la estructura de este, pero se sabe que es cristalina y que varía a lo largo del tiempo formando un gel. Es el producto responsable del endurecimiento del cemento y la resistencia mecánica. La composición química se ha relacionado con la tobermorita $5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 9H_2O$ conocida como CHS (I) y con la jenita $9CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 11H_2O$ conocida como CHS (II). En el CHS (I) la relación Ca/Si es menor a 1 y en el CHS (II) la relación Ca/Si es mayor a 1 (Bapat, 2013; Monteagudo, 2014).

2) Portlandita o hidróxido de calcio.

Al igual que el CHS la portlandita proviene de la hidratación de C_3S y C_2S . La fórmula química es $Ca(OH)_2$ y se conoce como CH. Puede presentar tres morfologías, laminar hexagonal, prismática en placas y prismática cúbica. Sus enlaces son débiles por lo que no aporta a las propiedades mecánicas del cemento en nada. Aporta a la alcalinidad del concreto lo que es positivo para la protección a la corrosión de los metales embebidos en la estructura de concreto pero negativo si la estructura está expuesta a ataques de compuestos ácidos. Además, el CH es soluble en agua por lo que se podría producir la lixiviación del mismo en lugares donde esté en contacto con agua (Monteagudo, 2014).

3) Etringita.

Es el producto de la reacción de la alita (C_3A) con los sulfatos ($C\bar{S}$). Son cristales en forma de aguja. Es el responsable de empezar el periodo de inducción o durmiente con brevedad. Limita el acceso de agua a las demás partículas. Contribuye ligeramente a la resistencia temprana, pero tiene un rol muy pequeño en la resistencia final (Taylor *et. al.*, 2019).

4) Monosulfatos.

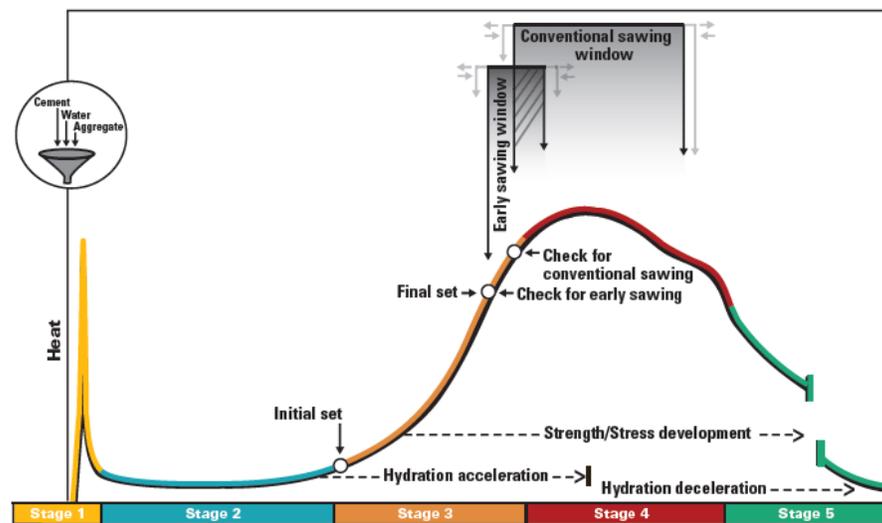
Cuando los $C\bar{S}$ se agotan el C_3A empieza a reaccionar con la entringita formando cristales de monosulfato. Este producto tiene muy poco efecto en las características físicas del concreto (Taylor *et. al.*, 2019).

5) Aluminato de calcio hidratado.

Si no hay sulfato de calcio presente el C_3A reacciona con agua y forma aluminato de calcio hidratado que produce un fraguado instantáneo e irreversible (Taylor *et. al.*, 2019).

f. Etapas de la hidratación

Figura 1. Etapas de la reacción de hidratación del cemento.



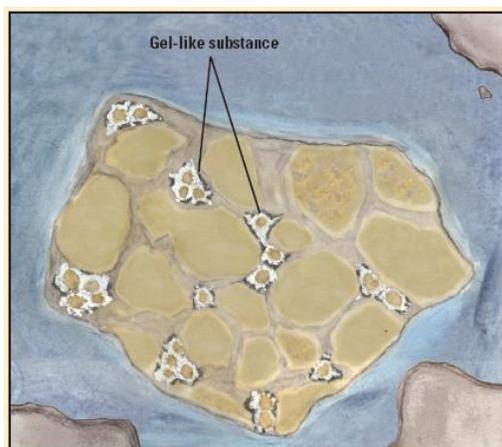
Extraído de “Integrated materials and construction practices for concrete pavement” (Taylor *et. al.*, 2019)

1) Etapa inicial o de pre – inducción.

En el momento de agregar agua al cemento, el silicato tricálcico se disuelve inmediatamente, generando calor y empezando el proceso de endurecimiento. Para retardar este proceso se agrega el yeso que se disuelve rápidamente en agua y reacciona con el C_3A y forma una sustancia tipo gel que recubre las partículas de cemento. Esta capa reduce la reacción de los aluminatos y disminuye el calor de reacción y fraguado (Taylor *et. al.*, 2019).

Es la primera etapa de la reacción de hidratación. En el momento de mezclar el cemento con agua los silicatos tricálcicos reaccionan inmediatamente. Dura entre 15 y 20 minutos, se caracteriza por un comportamiento cinético rápido y un desprendimiento de calor grande.

Figura 2. Ilustración de gel formado en etapa inicial rodeando partículas de cemento.



Extraído de “Integrated materials and construction practices for concrete pavement” (Taylor *et. al.*, 2019).

2) Etapa de inducción o durmiente.

Las reacciones de los aluminatos son controladas de 2 a 4 horas, durante este periodo el concreto se comporta como un fluido plástico y no genera calor por lo que se puede transportar y colocar con facilidad. En este periodo los compuestos del cemento se siguen disolviendo en el agua y esta se satura de iones Ca^{2+} y OH^- cuando el agua se sobre satura de iones de calcio empieza la siguiente etapa (Taylor *et. al.*, 2019).

3) Periodo de inducción.

En este periodo la velocidad de reacción de hidratación disminuye hasta ser casi inactiva. El consumo de agua y la cantidad de hidratos formados es muy pequeña por lo que es el momento en el que el concreto presenta plasticidad y trabajabilidad. Dura aproximadamente 2 horas (Bernal, 2012). Una posible hipótesis para este fenómeno es la formación de una barrera metaestable de difusión de hidratos. El CSH producido inicialmente forma una barrera alrededor de la partícula de C_3S por donde los iones de OH^- y Ca^{2+} tiene que salir, esta capa retarda la velocidad de reacción porque el agua tiene que pasar a contracorriente con la portlandita. Existen otras teorías como la disolución lenta, defectos de red y doble capa eléctrica.

Figura 3. Fase de inducción, agua se satura con iones Ca^{2+} y OH^- provenientes principalmente de la dilución de C_3S .



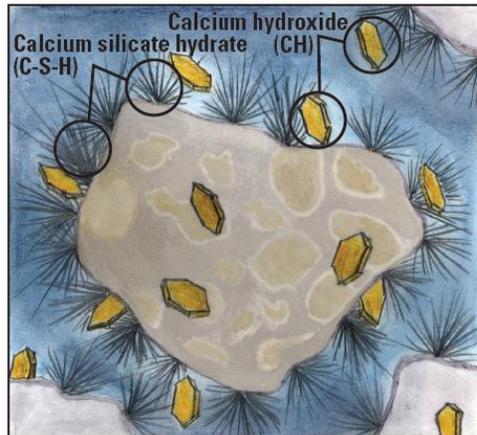
Extraído de “Integrated materials and construction practices for concrete pavement” (Taylor *et. al.*, 2019).

4) Etapa de aceleración o endurecimiento.

En el momento de la super saturación los productos de la reacción de hidratación se empiezan a formar, se genera calor y la mezcla empieza a endurecerse. El fraguado inicial ocurre poco después de que este proceso comienza, en este periodo el concreto pierde trabajabilidad y cualquier segregación es irreversible. Se debe empezar el proceso de curado para evitar pérdida de agua de hidratación y que la reacción sea incompleta, también se debe evitar pérdida de calor para que la reacción sea más rápida. Estos pasos son esenciales para asegurar la calidad del concreto final. Los productos de hidratación se empiezan a formar en sitios de nucleación. Estos compuestos rodean los agregados provocando que la mezcla se vuelva más rígida y eventualmente se solidifique (Taylor *et. al.*, 2019).

Después del periodo de inducción empieza la solidificación o fraguado inicial, el C_3S empieza a hidratarse nuevamente rápidamente. La velocidad de reacción alcanza un máximo. Luego de 2 a 8 horas finaliza el fraguado y comienza el endurecimiento (Bernal, 2012).

Figura 4. Formación de productos de hidratación.



Extraído de “Integrated materials and construction practices for concrete pavement” (Taylor *et. al.*, 2019).

5) Etapa de desaceleración o enfriamiento.

La velocidad de reacción disminuye y el calor generado empieza a disminuir. Debido a la aceleración de reacción el espesor de CHS crece hasta que llega un momento en que la velocidad de reacción es igual a la velocidad de difusión. La velocidad de reacción empieza a disminuir hasta llegar a un estado estable. Esto dura de 12 a 24 horas (Bernal, 2012). También intervienen factores como la pérdida de agua y la falta de espacio (Monteagudo, 2014).

6) Etapa de difusión.

La velocidad de reacción continúa disminuyendo, generando casi nada de calor. Los productos de hidratación continúan creciendo (Taylor *et. al.*, 2019).

Esta última etapa se caracteriza por fenómenos de difusión y transporte dentro de la matriz porosa. El gel CSH sigue formándose y se forman estructuras más densas por falta de espacio (Monteagudo, 2014).

Figura 5. Crecimiento de productos de hidratación en fase de difusión.



Extraído de “Integrated materials and construction practices for concrete pavement” (Taylor *et. al.*, 2019).

2. Agregados

Los agregados son materiales granulares como arena, pedrín, roca triturada, cemento triturado, etc. Se consideran agregados gruesos aquellos retenidos por el tamiz 4.75 mm (No. 4) y finos los que pasan por el tamiz 4.75 mm (No. 4) y quedan retenidos generalmente en el tamiz 75 μm (No. 200). Representan el 60% a 70% del volumen del concreto y el 70% a 80% del peso.

Los agregados se clasifican de acuerdo con la fuente de la que provienen y el método de preparación. Las naturales son producto de la intemperie y la acción del viento o el agua mientras que los fabricados se producen triturando piedra natural (ACI Committee E-701, 2016).

a. Propiedades

1) Granulometría.

Se refiere a la distribución de los tamaños de partícula presentes en los agregados. Se determina a través del método ASTM C136/C136M/NTG 41010 h1 en el que una muestra representativa se agita a través de una serie de tamices colocados uno sobre el otro en orden de tamaño (ACI Committee E-701, 2016).

El tamaño máximo del agregado se refiere a la abertura de tamiz más pequeña a través de la cual se requiere que pase toda la cantidad de agregado (ACI Committee E-701, 2016).

El módulo de finura es la suma del porcentaje retenido por una serie de tamices específicos dividida entre cien. Para los agregados gruesos los tamices son 75.0, 37.5, 19.0 y 9.5 mm y para los agregados finos 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 600 μm , 300 μm y 150 μm . Generalmente la arena utilizada en el concreto tiene un módulo de Finura de 2.3 a 3.1 (ACI Committee E-701, 2016).

La granulometría de los agregados influye directamente en las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido. Es necesario ajustar la curva de la mejor manera. Si se utiliza mucha arena o arena muy fina el área superficial aumenta, lo que significa que se necesita más cemento para cubrir toda la superficie, las capas muy delgadas alrededor de los agregados dan como resultado un concreto más rígido que es más difícil de colocar y compactar. Si la pasta de cemento se fluidiza agregando agua la resistencia y durabilidad del concreto se ve afectado y si se agrega más cemento, el costo del concreto se eleva por lo que se recomienda evitar el uso de cantidades muy grandes de arena o de arena con módulo de Finura muy bajo (ACI Committee E-701, 2016).

El tamaño máximo de agregado grueso tiene un efecto sobre el área superficial y la economía. Si el tamaño máximo del agregado bien graduado aumenta, la cantidad de pasta para obtener un revenimiento específico disminuye. El tamaño nominal máximo se determina según la aplicación del concreto y el espacio entre los refuerzos. El uso de agregado grueso de mayor tamaño es recomendable para disminuir la cantidad de pasta y disminuir la contracción; sin embargo, esto puede afectar a la resistencia. Concretos con agregados de diferente tamaño máximo pueden dar diferentes resistencias, aunque tengan la misma relación agua/cemento. Si se desea una mezcla de resistencia mayor a los 5,100 psi se recomienda utilizar agregados de 3/4" o 3/8" (ACI Committee E-701, 2016).

2) Densidad relativa.

La masa del agregado en aire dividida la masa de un volumen igual de agua. La densidad relativa se determina a humedad constante. La densidad relativa de los agregados no es un parámetro de calidad sin embargo es importante conocerla para determinar el volumen absoluto que una masa específica de material va a ocupar en la mezcla en el momento del diseño. El volumen absoluto se refiere al espacio ocupado únicamente por las partículas, sin tomar en cuenta los espacios entre ellas. Los cambios en la densidad relativa de los agregados repercuten directamente en la densidad del concreto por ende en el volumen final de la mezcla (ACI Committee E-701, 2016).

3) Absorción y humedad superficial.

Los agregados se pueden encontrar en 4 distintos estados.

- a. Húmedo: Los poros están llenos de agua y tiene agua libre superficial.
- b. Superficie seca saturada (SSD): Los poros están llenos de agua, pero no tienen agua libre superficial.
- c. Secado al aire: La superficie está seca sin embargo los poros tienen un poco de agua.
- d. Secado al horno: No contiene nada de agua ni en los poros ni en la superficie.

La absorción se considera un porcentaje resultante de la resta de la masa del agregado SSD menos la masa del agregado secado al horno dividido la masa del agregado secado al horno. La humedad superficial es el resultado del porcentaje de humedad total menos la absorción. Es sumamente importante tomar en cuenta la humedad de los agregados ya que influye directamente en las propiedades del concreto. Si el porcentaje de humedad es mayor al porcentaje de absorción significa que hay agua superficial, esta agua se vuelve parte del agua de mezcla por lo que hay que considerarla en el momento del diseño para no afectar el revenimiento y resistencia. De igual manera si el porcentaje de humedad es menor al % de absorción hay que considerar que los agregados van a absorber parte del agua de mezcla (ACI Committee E-701, 2016).

4) Densidad de bulo o a granel.

Es la masa del agregado dividido el volumen de las partículas y los espacios entre ellas. Se puede ver afectada por el contenido de humedad. La densidad de bulo de los agregados gruesos generalmente aumenta si el contenido de humedad aumenta mientras que la de los agregados finos disminuye si el contenido de humedad aumenta. Otras propiedades que influyen son la granulometría, densidad relativa, textura, forma y angularidad. Se suelen utilizar densidades de bulo entre 1200 7 1760 kg/m³ (ACI Committee E-701, 2016).

5) Forma de partícula y textura.

La forma de partícula se mide de dos maneras. La primera es la compacidad que indica si la partícula se acerca más a una forma cúbica o esférica o plana (como un disco) o alargada (como una aguja). La segunda es la angularidad que se refiere al filo o angularidad de los bordes y esquinas de las partículas. Mientras más cúbica o esférica es la partícula, menor es su área superficial, por lo tanto, menor es su demanda de agua y menor es la cantidad de arena necesaria en la mezcla para proporcionar el mismo revenimiento. Los agregados gruesos más angulares y menos esféricos requerirán mayor agua de mezcla y mayor contenido de finos de para lograr una trabajabilidad dada. La textura de la superficie se refiere al grado de rugosidad o irregularidad de la superficie de la partícula agregada. Por lo general, la textura se describe utilizando términos como áspero, granular, cristalino, liso o vítreo. Las partículas lisas requerirán menos agua de mezcla y, por lo tanto, menos materiales cementicios a para producir concreto con una trabajabilidad dada, pero también tendrán menos área de unión con la pasta de cemento que las partículas más ásperas (ACI Committee E-701, 2016).

3. Agua de mezcla

El agua es un componente básico en el concreto, su función principal es la hidratación de los componentes reactivos del cemento, además de lubricar la muestra para aumentar la trabajabilidad y crear espacios para los productos resultantes de la hidratación. Es importante estudiar a profundidad la cantidad de agua a utilizar ya que un exceso podría provocar una alta porosidad y un defecto podría impedir que los componentes cementicios se hidraten por completo (Monteagudo, 2014).

En el momento de determinar la cantidad de agua, tomar en cuenta el agua dosificada, el hielo, agua libre contenida en agregados (humedad) y agua en aditivos (si fueran necesarios). El agua debe cumplir con ciertas especificaciones según la norma NTG 41073. Si el agua es potable (apta para el ser humano) se puede utilizar para mezcla de concreto sin necesidad de realizar ensayos. Si el agua es no potable o una mezcla se deben realizar ensayos de desempeño al concreto y ensayos al agua que deben cumplir con los requisitos de la norma COGUANOR NTG 41073.

4. Aditivos químicos

a. Tipos de aditivo

1) Tipo A: Reductores de agua.

Estos aditivos reducen el agua de mezcla en un 5 a 12%. Se suelen utilizar cuando se necesita mayor trabajabilidad del concreto para colocar. Las dosis son variables y dependen de la cantidad y tipo de materiales utilizados. Generalmente se agrega entre 130 y 390 mL por 100 kg de cementicios. Cantidades muy altas pueden aumentar considerablemente los tiempos de fraguado. Esto se puede modificar agregando acelerantes clorados o no clorados, teniendo cuidado de no exceder los límites de iones cloruro (ACI Committee E-701, 2013b).

2) Tipo B: retardadores.

Estos aditivos se utilizan para compensar los efectos de altas temperaturas en las mezclas, como aceleración de fraguado y reducción de la resistencia y para mantener la trabajabilidad del concreto en todo el periodo de consolidación y colocación. El retardo depende de la concentración de aditivo, la dosificación, las proporciones de la mezcla y la temperatura del concreto y del ambiente. Un exceso en la cantidad de aditivo utilizado puede resultar en un endurecimiento rápido, pérdida de revenimiento y dificultades para colocar y consolidar (ACI Committee E-701, 2013b).

3) Tipo C: acelerador.

Estos aditivos se utilizan para disminuir el tiempo de fraguado y para un desarrollo temprano de resistencia. Esto trae beneficios como reducción de sangrado, acabado temprano, uso temprano de la estructura, reducción del tiempo de protección para lograr una calidad dada. El mejor acelerante es el cloruro de calcio pero su potencial de corrosión del refuerzo de metal limita su uso (ACI Committee E-701, 2013b).

4) Tipo F: Super plastificantes.

Estos aditivos pueden reducir el contenido de agua de mezcla hasta un 30% o más sin efectos de retardo. Se utilizan para producir concreto de trabajabilidad normal con relación a/c menor que ocasiona mayor resistencia o para producir concretos de alta fluidez y autocompactables sin afectar la relación a/c. Suelen estar formados por compuestos orgánicos, actualmente los más utilizados son poliéter-policarboxilatos. Actúan de manera similar a los reductores de agua convencionales, pero son más eficientes en la dispersión de partículas finas como cemento, ceniza volante, humo de sílice, puzolanas naturales, etc. Los HRWR no son inclusores de aire pero pueden afectar el sistema de vacíos de aire. Se

suelen utilizar para la producción de concreto autocompactable. La resistencia de las mezclas de concreto suele ser mayor a la esperada debido al efecto de dispersión. Además, ayudan a disminuir la permeabilidad y aumentar la durabilidad (ACI Committee E-701, 2013b).

D. Materiales cementantes suplementarios

1. Cenizas volantes

a. Producción.

Según la norma ASTM C618-03 las cenizas volantes son residuos finamente divididos que resultan de la combustión de carbón y son transportados por los gases de combustión y recuperados en las chimeneas. Actualmente existen diversos procesos de combustión, mucho más eficientes y amigables con el medio ambiente que hace algunos años. Las características de las cenizas producidas dependen mucho del proceso utilizado.

El proceso de combustión de lecho fluidizado (CFB por sus siglas en inglés) desarrollado recientemente proporciona una mayor eficiencia de generación de energía y una menor emisión de gases contaminantes. Permite utilizar combustibles de baja calidad (alto contenido de ceniza y azufre) sin dejar de cumplir los requisitos de emisiones o afectar la eficiencia de combustión. En comparación con el sistema convencional de combustión de carbón pulverizado, el sistema CFB trabaja a temperaturas de combustión relativamente bajas (800 – 900°C). Actualmente se utilizan dos tipos de procesos de CFB, el proceso de combustión de lecho fluidizado circulante atmosférico y de lecho fluidizado circulante presurizado (Bapat, 2013).

Las partículas producidas en un sistema CFB tienen forma irregular y son menos esféricas en comparación con las cenizas producidas en un sistema convencional de carbón pulverizado. El tamaño de partícula varía según su forma, las esféricas están entre 1 y 150 μm y las de forma irregular o angular suelen ser más grandes. Esta irregularidad en la forma y tamaño de partícula no ayuda a la disminución del requerimiento de agua o de la relación agua-cemento que se esperaría al agregarlas al concreto. Las cenizas obtenidas en este tipo de sistemas raramente se pueden clasificar como Clase F o C, ya que tiene bajo contenido de óxido de hierro, alúmina y sílice y alto contenido de SO_3 (Bapat, 2013).

Co-combustión de carbón bituminoso y coque de petróleo. El coque de petróleo es un subproducto de la industria de refinamiento. Tiene un valor calorífico más alto, un

contenido volátil más bajo y niveles de azufre y nitrógeno más altos que el carbón bituminoso tradicional. Se suele utilizar en la industria del cemento debido a que su precio es más bajo lo que puede reducir sustancialmente el costo de producción y el alto poder calorífico es útil para el horno de clinckerizado. Cuando se utiliza en conjunto con carbón proporciona estabilidad a la llama y reduce el costo operativo de las unidades de combustión. El carbón bituminoso tradicional es reemplazado parcialmente por coque de petróleo hasta en un 70%. Las características físicas de la ceniza volante producida después de la co-combustión de carbón bituminoso y coque de petróleo son diferentes (Bapat, 2013).

Luego de la combustión se forman dos tipos de ceniza, la ceniza de fondo que es la que se queda en el fondo de la caldera y se recupera a través de purgas en el fondo de la caldera, en el economizador y el precalentador y la ceniza volante que sale junto con los gases de combustión hasta la chimenea y se recupera con un sistema precipitador electrostático (ESP). El ESP tiene varios campos y cada campo tiene un número de tolvas de recolección. La ceniza más gruesa se recupera en el primer campo y la Finura va aumentando en los siguientes.

La ceniza de fondo, la ceniza del economizador, precalentador de aire se transporta a una serie de silos intermedios y luego la ceniza volante se transporta a silos a granel donde se envía a la unidad de procesamiento de cenizas (Bapat, 2013). Este procedimiento únicamente se realiza en centrales con avances tecnológicos considerables.

La calidad de la ceniza varía dependiendo del combustible utilizado, el diseño e ingeniería de la planta, los parámetros operativos y el proceso de recolección. La utilización de PFA como aditivo en cemento y concreto requiere que su calidad se mantenga consistentemente según los estándares por lo que algunas centrales tratan las cenizas (Bapat, 2013). Existen tres alternativas:

1) Alternativa A

El PFA descargado del precipitador electrostático se lleva directamente al silo de almacenamiento para su posterior descarga. Esto es posible si la segregación entre lo grueso y lo fino se realiza en la etapa de recolección en la central térmica, recolectando los PFA a través del flujo de gas y cuando no contiene partículas de carbón en niveles indeseables (Bapat, 2013).

2) Alternativa B

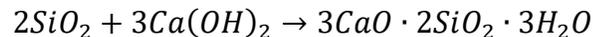
La ceniza volante se lleva a un silo intermedio y después a un clasificador de aire de alta eficiencia. Los finos del clasificador se llevan al silo de almacenamiento principal para su envío. El sobredimensionado grueso se lleva a otro silo de almacenamiento, para su envío al sitio de construcción o planta RMC, donde podría ser utilizado como reemplazo parcial del agregado fino en mortero y concreto (Bapat, 2013).

3) Alternativa C

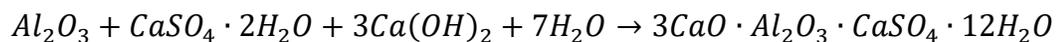
La ceniza se lleva a una unidad de molienda, luego pasa por un clasificador, la ceniza fina se lleva al silo de almacenamiento desde donde se envía posteriormente al sitio del usuario. El PFA grueso del clasificador se puede utilizar como agregado fino en el concreto o se puede retroalimentar al circuito de molienda para reducir el tamaño (Bapat, 2013).

b. Reacción de hidratación de cemento con cenizas volantes.

Las cenizas volantes producidas a partir de antracita o carbón bituminoso normalmente contienen silicio (SiO_2), aluminio (Al_2O_3) y hierro (Fe_2O_3) y tienen menos del 10% de óxido de calcio, reaccionan con la portlandita formada en la reacción de hidratación formando productos que ayudan a la resistencia. Las cenizas producidas a partir de lignita o carbón subbituminoso consisten en aluminio silicatos con grandes cantidades de calcio y magnesio por lo que no se pueden utilizar como suplemento mineral. El silicio presente en las cenizas reacciona con el hidróxido de calcio y forma CSH siguiendo la ecuación propuesta por Bapat (2013):



Mientras que el aluminio reacciona con el yeso y portlandita para formar entringita que luego se convierte en monosulfato siguiendo la ecuación propuesta por Bapat (2013):



La fase ferrosa no reacciona con nada ya que se encuentra en forma cristalina. La ceniza volante empieza a reaccionar hasta los 7 días debido a que la disolución de la fase vidriosa de esta comienza hasta que la solución es alcalina (Bapat, 2013).

2. Humo de sílice

El humo de sílice es de naturaleza puzolánica, lo que significa que no gana fuerza cuando se mezcla con agua. Cuando se agrega al concreto, actúa de dos maneras: Como relleno mejora la estructura física, ocupando el espacio entre las partículas de cemento hidratado y como puzolana reacciona químicamente con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, formando compuestos reforzantes que le dan mayor resistencia y durabilidad al concreto endurecido. La construcción de puentes, estructuras marinas, estructuras de estacionamiento, suministro de agua e instalaciones de alcantarillado se benefician del uso de SF. Las propiedades especiales de SF mejoran la reología del hormigón fresco beneficiando el bombeo de hormigón y la estabilidad de la mezcla. Las variedades especiales de hormigón como el hormigón de alta resistencia, el hormigón ligero y el hormigón proyectado son mejores cuando se fabrican con SF (Bapat, 2013).

a. Producción.

El humo de sílice (SF) es una mezcla mineral, principalmente compuesta de partículas submicrónicas de dióxido de silicio amorfo. Es un subproducto del proceso de fundición en la producción de aleaciones de silicio metálico y ferrosilicio, que contienen más de un 75% de silicio. El humo del horno de fundición contiene monóxido de silicio ($SiO_{(g)}$). Se oxida en el aire durante la condensación y se acumula en los colectores de polvo como SF ($SiO_{2(s)}$). Según el proceso de producción existen distintos tipos:

1) Humo de sílice sin densificar (densidad aparente, hasta 350 kg / m³)

Polvo obtenido directo de producción, no se le da ningún tratamiento y se almacena en un silo separado en la unidad de fabricación. Ocupa un gran volumen debido a su baja densidad aparente. Es pegajoso y se autoaglomera, por lo que no es conveniente manipularlo y transportarlo neumáticamente. También genera más polvo. El SF sin densificar suele estar disponible a granel o en sacos cerca de las fundiciones donde se produce. Se utiliza principalmente en la fabricación de productos preenvasados como lechadas o morteros de reparación (Bapat, 2013).

2) SF densificado (480-720 kg / m³)

La densificación de SF se realiza en silos de almacenamiento instalados en la planta de fundición. Se sopla aire a través de la rejilla que se encuentra en la parte inferior del silo. Este aire sube suavemente a través del lecho de SF haciendo que las partículas individuales de sílice se froten entre sí. A medida que las partículas se frotan, las fuerzas de Van der Waals que ocurren naturalmente en su superficie causan adherencia entre sí. Cuanto más tiempo se deja fluir el aire a través del lecho de humos, mayor es el grado de aglomeración y, en consecuencia, la densidad. Una vez que se alcanza la densidad deseada, se detiene el flujo de aire al silo. El SF recién densificado puede enviarse a granel en camiones neumáticos, en bolsas jumbo o en pequeñas bolsas de papel (25 kg). Las partículas de SF densificado parecen pequeñas perlas, fluyen como agua y producen muy poco polvo (Bapat, 2013).

3) SF peletizado (unos 1000 kg / m³)

Los pellets de 10-25 mm de diámetro se forman añadiendo agua a SF en un peletizador de discos. La forma peletizada no es apta para uso directo en hormigón, ya que los pellets duros no se rompen ni se dispersan en una mezcladora. Se puede triturar con clínker de cemento Portland para producir cemento SF mezclado (Bapat, 2013).

4) Lechada de SF (densidad aparente 1300-1400 kg / m³)

El transporte de SF como lechada a base de agua es a veces más económico. La lechada contiene 50% -25% SF (base en masa) disperso en agua y transportado en camiones cisterna a granel. Los tanques de almacenamiento pueden requerir agitación para evitar que la lechada se endurezca y protección contra la congelación. Es fácil de usar en la unidad de dosificación, una vez que el equipo de dispensación requerido está disponible. El equipo de dispensación utilizado para este propósito es más grande y más complejo en comparación con el utilizado para los aditivos químicos, debido a la naturaleza y la cantidad de lechada requerida (Bapat, 2013).

b. Características físicas y químicas.

Las partículas de SF no densificadas tienen forma esférica y un promedio de 0.02-0.25 μm de diámetro (casi 100 veces más pequeñas que la partícula promedio de cemento).

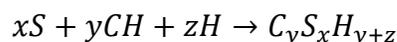
Son amorfas (85% -98%) y vidriosas. Sin embargo, el humo de sílice casi siempre se presenta en forma de esferas fusionadas o aglomeradas. Estos grupos de partículas fuertemente unidas se forman en la fuente, durante los procesos de oxidación y condensación de SF en el horno de fundición. Como resultado de la aglomeración, el tamaño medio real de partículas de SF dispersado en agua varía entre 1 y 50 μm , dependiendo de la fuente, la densidad aparente y la edad (Bapat, 2013).

El SF densificado es una colección de partículas gruesas aglomeradas, con un tamaño de grano de hasta varios mm. Se supone que la aglomeración es reversible, lo que requiere que las partículas de SF se mezclen con otros constituyentes en presencia de un aditivo química, cuando se agregan al concreto. Sin embargo, se ha informado que el SF densificado, como se suministra comúnmente, no es dispersable en esferas individuales (Bapat, 2013).

Menos del 1% de las partículas de SF son cristalinas. Las partículas cristalinas en forma de aguja son típicamente de tamaño nanométrico, aproximadamente 200 nm de largo y 20 nm de ancho. Las partículas de sílice amorfa tienen forma esférica con un diámetro en la escala nanométrica. Por lo tanto, el SF no densificado puede clasificarse como ultrafino a efectos prácticos. El color varía de gris claro a gris oscuro, El SiO_2 es incoloro, por lo que los componentes no silicios como carbón y óxido de hierro determinan el color (Portugal, 2007).

La composición química del humo de sílice es muy constante, aunque puede tener algunos cambios dependiendo de la aleación de silicio que se está produciendo y la naturaleza de las materias primas. El principal componente es el SiO_2 que representa de 90 a 96% (Portugal, 2007).

c. Reacción de hidratación del cemento con humo de sílice. El humo de sílice contiene entre 85% y 98% de sílice en amorfa y el resto es materia cristalina (cuarzo, cristobalita y carburo de silicio) y pequeñas cantidades de carbono. La materia cristalina y el carbono no intervienen en la reacción de hidratación cemento, por lo que esta se puede generalizar como:



Se han realizado estudios que muestran que la reacción se da sin ningún enlace de agua adicional a los del CH y que se puede considerar una relación C/S de 1.5. Así que la reacción se reduce a:



El efecto del humo de sílice en el concreto en la edad temprana se puede estudiar en términos de la tasa de hidratación del cemento y la reacción puzolánica. La adición de SF acelera la tasa de hidratación en las primeras horas, como resultado de una mayor precipitación de los productos de hidratación en las partículas de SF finas e inicialmente inertes. La reacción puzolánica entre el cemento y el SF comienza a una edad relativamente temprana y avanza a un ritmo más rápido que con los otros aditivos minerales (Bapat, 2013).

d. Mecanismo de acción.

La resistencia a la compresión en la sección de transición entre el agregado y la pasta de concreto suele ser menor a la sección donde solo hay pasta. La zona de transición contiene más vacíos debido a la acumulación del agua de exudación y la dificultad de acomodar partículas sólidas cerca de la superficie, más hidróxido de calcio se forma en esta región, si hay alto contenido de vacíos, el $Ca(OH)_2$ crece a un tamaño mayor, generando una zona más débil. El humo de sílice incrementa la resistencia del concreto fuertemente, principalmente debido a que disminuye vacíos y aumenta la adherencia entre la pasta y las partículas de agregado, reduce la exudación y aumenta cohesividad (Portugal, 2007).

3. Ceniza de cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria arrocera. Suele ser utilizado como combustible de calderas en las mismas plantas. De la combustión se obtienen cenizas que debido a su naturaleza contienen sílice en forma amorfa y poco carbono no quemado, además tienen área superficial elevada y características puzolánicas. Debido a estas características se ha estudiado que la cascarilla de arroz tiene potencial para reemplazar o complementar el contenido de humo de sílice en mezclas de concreto de alta resistencia y alto desempeño. Aumenta la resistencia y reduce la permeabilidad. El principal impedimento para el uso de estas cenizas es su aspereza y alta demanda de agua, esto se puede controlar moliendo la ceniza y agregando superplastificante a la mezcla (Bapat, 2013).

a. Producción.

El tratamiento del arroz cultivado en el campo tiene dos subproductos importantes: cascarilla de arroz y salvado de arroz. La cascarilla de arroz es la cáscara exterior que cubre el grano de arroz. Se obtiene cuando se trilla el arrozal para separar el arroz y la cáscara. Antes de triturar es de color marrón grisáceo, resistente, leñoso y abrasivo. Contiene agua, ceniza, lignina, celulosa, pentosanos, poca proteína y una cantidad muy pequeña de vitaminas. Tiene un peso específico de aproximadamente 0,75 y una densidad aparente de aproximadamente 100 kg/m³. La sílice amorfa en la cáscara se forma cuando el ácido ortosilícico ingerido del agua subterránea se polimeriza en la planta de arroz. La sílice amorfa se encuentra principalmente en la superficie externa de la cáscara y en menor concentración en la superficie interna. El porcentaje de sílice depende de la ubicación, tipo de arrozal y factores geográficos. En promedio, 1000 kg de arroz producen alrededor de 200 kg de cascarilla, que después de la combustión producen alrededor de 40 kg de ceniza lo que significa que el arrozal tiene potencial para producir un 4% de su masa de ceniza. La ceniza de cascarilla de arroz contiene el mayor porcentaje de sílice, de todos los residuos vegetales (Bapat, 2013).

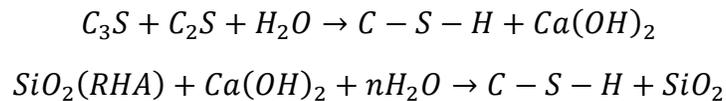
La combustión controlada de cascarilla de arroz produce ceniza con sílice en forma amorfa. Para obtener la actividad puzolánica deseada la ceniza pasa por un proceso de molienda. Las características físicas y mineralógicas de RHA más importantes (contenido de sílice amorfa, área superficial, contenido de carbono, etc.) dependen de la temperatura, el ambiente y la duración de la combustión. La combustión es un proceso exotérmico en el que las cenizas se queman para producir energía en forma de calor, el poder calorífico de la cascarilla de arroz oscila entre 12.8×10^6 y 15×10^6 J/kg. El proceso de combustión se divide en cuatro etapas marcadas por el rango de temperatura, las pérdidas de peso y los correspondientes cambios fisicoquímicos y de otro tipo. Se requiere calentamiento isotérmico, a un mínimo de 402 ° C, para la destrucción completa de la materia orgánica de la cáscara de arroz y para liberar sílice. En la combustión, la matriz de celulosa-lignina se quema, dejando un esqueleto de sílice poroso, que al triturar da partículas finas que tienen una gran superficie (Bapat, 2013).

Para obtener sílice en forma amorfa, generalmente se recomienda que la temperatura de combustión se mantenga en el rango de 500 ° C-700 ° C, con una duración de tiempo óptima apropiada para el proceso. A una temperatura más alta, la sílice amorfa se convierte en su forma cristalina, cuarzo, cristobalita y tridimita, dependiendo de la temperatura, la duración de la combustión y las condiciones de enfriamiento. El tamaño de los cristales de sílice aumenta con el tiempo de combustión (Bapat, 2013).

b. Características físicas y químicas.

A diferencia de SF o FA, las partículas de RHA son angulares y permanecen porosas incluso después de la reducción de tamaño. Tienen un área superficial muy alta debido a su naturaleza porosa. El tamaño de partícula depende del enfriamiento luego de la combustión, un enfriamiento lento resulta en partículas de mayor tamaño. Es necesario moler el RHA hasta la finura deseada antes de agregarlo al cemento o concreto. El RHA producido en condiciones de combustión incontroladas tiene generalmente unas características físicas y químicas inferiores a las producidas en condiciones controladas (Bapat, 2013).

c. Reacción de hidratación de cemento con RHA



d. Mecanismo de acción.

La sílice amorfa en el RHA reacciona con el hidróxido de calcio generado durante la hidratación del cemento y forma más gel CSH que aumenta la resistencia. El tamaño de partícula o el área superficial específica juegan un papel importante en la actividad puzolánica. La disolución de sílice amorfa en la portlandita depende de la estructura de la superficie, la carga de la superficie depende de la unión o liberación de protones en los grupos silanol, mientras mayor sea la concentración de grupos silanol, mayor será la actividad puzolánica. Se ha estudiado que esto se logra a temperaturas de combustión mayores a 500 °C. La actividad puzolánica de RHA es alta cuando esta contiene el máximo de sílice en forma amorfa, área superficial alta y la presencia de muchos grupos silanol en la superficie (Bapat, 2013).

4. Ceniza de bagazo de caña de azúcar

La ceniza de bagazo de caña de azúcar es un producto de desecho de la producción de azúcar y alcohol. En los ingenios azucareros el bagazo obtenido luego de la extracción del jugo se utiliza como combustible de calderas. Aproximadamente, se producen 0.3 toneladas de bagazo húmedo por cada tonelada de caña de azúcar triturada que producen del 1% -4% de ceniza. Por su naturaleza la ceniza tiene un alto contenido de sílice, una parte de este en forma amorfa. El reemplazo de cemento por SBA en las mezclas de concreto no produce un efecto adverso en la resistencia a la compresión y presenta una evolución de calor reducida y una baja permeabilidad al agua (Bapat, 2013).

5. Clasificación según ASTM C618 - 03

Según la norma ASTM C618-03 los materiales cementantes suplementarios se pueden clasificar en puzolanas naturales y artificiales o sub-productos de otros materiales (ACI Committee E-701, 2013a).

Cuadro 3. Clasificación de ceniza volante y puzolanas naturales según ASTM C618 - 03

Clase N	Clase F	Clase C
Puzolanas naturales puras o calcinadas. Tierras diatomáceas, materiales opalinos, esquistos, cenizas volcánicas o pomacitas, tufas, arcillas y esquistos calcinados.	Ceniza volante proveniente de la combustión de antracita o carbón bituminoso. Propiedades puzolánicas.	Ceniza volante proveniente de lignito o carbón subbituminoso. Tienen propiedades puzolánicas y cementicias.

Los materiales cementantes suplementarios deben cumplir con la composición química y características físicas especificadas en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 4. Composición química de ceniza volante y puzolanas naturales según (ASTM C618, 2003).

Parámetro	Clase		
	N	F	C
Contenido dióxido de silicio (SiO_2) + óxido de aluminio (Al_2O_3) + óxido de hierro (Fe_2O_3) (%)	70	70	50
Contenido de SO_3 (%)	4.0	5.0	5.0
Contenido máximo de humedad (%)	3.0	3.0	3.0
Contenido máximo de inquemados de carbón (%)	10.0	6.0	6.0

Cuadro 5. Requerimientos físicos de ceniza volante y puzolanas naturales según (ASTM C618, 2003).

Parámetro	Clase		
	N	F	C
Finura, máximo (% retenido en tamiz 45 μm)	34	34	34
Actividad puzolánica 7 días, mínimo (% del control)	75	75	75
Actividad puzolánica 28 días, mínimo (% del control)	75	75	75
Requerimiento de agua, máximo (% del control)	115	105	105

La norma europea BS EN 206 estipula los siguientes requisitos para poder utilizar la ceniza volante (Bapat, 2013).

Cuadro 6. Requerimiento de ceniza volante según BS EN 206.

Parámetro	FA
------------------	-----------

Finura, máximo (% retenido en tamiz 45 μm)	40
Actividad puzolánica 7 días, mínimo (% del control)	75
Actividad puzolánica 28 días, mínimo (% del control)	85
Contenido máximo de inquemados de carbón (%).	5

E. Aplicación de materiales cementantes suplementarios en mezclas de concreto

1. Efectos en el concreto fresco

a. Mejorar trabajabilidad.

Generalmente los MCS ocupan aproximadamente 25% más volumen que la misma masa de cemento. Cuando una parte del cemento se sustituye por una parte igual de MSC, esta reemplaza una parte de agregados finos y llena espacios vacíos brindando más cohesión y plasticidad. Además, la forma esférica de la ceniza volante y humo de sílice proporciona un efecto de rodamiento de bolas (ACI Committee E-701, 2013a).

b. Menor demanda de agua.

El reemplazo de una parte de cemento con MSC usualmente reduce la cantidad de agua necesaria para lograr el mismo revenimiento. Esta reducción depende de la proporción, forma y finura de los materiales (ACI Committee E-701, 2013a).

c. Contenido de aire.

Debido a su naturaleza, las ceniza tanto volantes como de cascarilla de arroz y bagazo de caña contienen un porcentaje de inquemados. Una cantidad excesiva de carbón no quemado puede adsorber aire e influir en la cantidad de aditivo incorporador de aire (ACI Committee E-701, 2013a).

d. Bombeo.

Los MSC son beneficiosos en mezclas de concreto lanzado ya que reducen la segregación y aumentan la cohesividad. La ceniza llena espacios entre agregados, además por su forma esférica funciona como un lubricante. Esta lubricación se puede aprovechar

ya sea para disminuir la presión de bombeo a flujo constante o aumenta el flujo a presión constante (ACI Committee E-701, 2013a).

e. Tiempo de fraguado.

Los MSC pueden influir en el tiempo de fraguado ya que pueden reaccionar químicamente con los compuestos del concreto (ACI Committee E-701, 2013a).

f. Sangrado.

El uso de MSC generalmente reduce el sangrado en la superficie del concreto debido a que el área superficial de estos es mayor y produce la disminución del contenido de agua (ACI Committee E-701, 2013a).

g. Consolidación.

Los MSC disminuyen los esfuerzos para consolidar el concreto debido a su finura, capacidad de llenado y forma esférica (ACI Committee E-701, 2013a).

h. Calor de hidratación.

La reacción puzolánica de los MSC también genera calor pero en menor cantidad (ACI Committee E-701, 2013a).

2. Efectos en concreto endurecido

a. Resistencia mecánica.

El uso de MSC puede proporcionar mayor o menor resistencia mecánica. Generalmente, la resistencia en edades tempranas es menor a la desarrollada por un concreto sin reemplazo de cemento, mientras que la desarrollada a edades tardías es mayor. Esto se debe a que la reacción química de la ceniza es más lenta que la del cemento (ACI Committee E-701, 2013a).

b. Permeabilidad.

La permeabilidad del concreto con adición de MSC disminuye considerablemente debido al refinamiento de los poros que se produce como resultado de la acción puzolánica a largo plazo. La reducción de la permeabilidad puede disminuir la cantidad de agua, químicos corrosivos, oxígeno y dióxido de carbono que entran al concreto (ACI Committee E-701, 2013a).

c. Ataque de sulfatos.

El uso de MSC disminuye la cantidad de aluminato tricálcico en el concreto por lo que lo hace más resistente al ataque de sulfatos (ACI Committee E-701, 2013a).

d. Resistencia ácida.

Al disminuir la permeabilidad ayudan a proteger el concreto de un ataque ácido (ACI Committee E-701, 2013a).

e. Resistencia a la corrosión.

Al disminuir la permeabilidad del concreto ayudan a retardar la corrosión del refuerzo metálico por ataque de cloruros (ACI Committee E-701, 2013a).

3. Principales barreras en la utilización de MSC

a. Alto carbón inquemado.

Para cumplir con los límites de emisiones de NOx establecidos por la enmienda de la ley de aire limpio de los EE. UU. De 1990 y regulaciones similares, se utilizan calderas de bajo NOx que tienen dimensiones y tiempos de residencia del combustible menores. Como resultado de esto el contenido de carbón no quemado aumenta. Un LOI alto en las cenizas aumenta la demanda de agua y la cantidad de aditivo incorporador de aire (Bapat, 2013).

b. Contaminación con carbón activado y mercurio en PFA.

El carbón mineral a veces contiene una gran cantidad de mercurio. Con el fin de reducir la emisión de CO₂, el carbón mineral a veces se quema en conjunto con un 20-25% de combustibles secundarios. Aunque el contenido de mercurio de los combustibles secundarios es insignificante en comparación con el del carbón, la adición de combustibles secundarios al carbón tiene un impacto importante en la especiación de mercurio en los gases de combustión, así como en las cenizas de combustible. El mercurio aumenta la toxicidad. Cuando dicho carbón se quema en las plantas de energía, se agrega carbón activado a los gases de combustión para adsorber el mercurio vaporizado y evitar su emisión a la atmósfera. El carbón activado, junto con el mercurio adsorbido queda en la ceniza. El carbón activado es mucho más alto en porosidad y área de superficie interna y es mucho más reactivo que el carbón no quemado convencional. Incluso cantidades muy pequeñas de carbón activado convierten cenizas de alta calidad en inaceptables para los fabricantes de concreto, debido a su impacto negativo en las propiedades de arrastre de aire, es decir, adsorción no deseada de aditivo incorporador de aire sobre carbón activado (Bapat, 2013).

c. Adición de PFA al cemento y al concreto.

El tipo y la cantidad de PFA agregado al cemento y al concreto, como reemplazo parcial del cemento, se rige por las disposiciones de las normas nacionales. El PFA se agrega directamente al concreto premezclado en la unidad de dosificación, se tritura con clínker de cemento o se mezcla con PC en la unidad de fabricación de cemento para producir cemento mezclado. La nueva Especificación estándar de ASTM sobre cemento mezclado, C 595.06 se publicó en agosto de 2006 con algunos cambios importantes en la nomenclatura. la especificación se simplificó con la intención de facilitar su uso. El nuevo cemento Portland-puzolana, tipo IP (X) puede incluir entre 0 y 40% de puzolanas en sustitución de los tipos olt IP y I (PM). La letra X representa el porcentaje nominal del material cementoso suplementario incluido en el cemento mezclado (Bapat, 2013).

d. Normativa.

La ASTM C618 define dos clases de FA para uso en concreto: Clase F y Clase C. La norma también delinea los requisitos de las propiedades físicas, químicas y mecánicas para estos dos valores, mientras que la clase C tiene propiedades cementosas y puzolánicas. El alcance de la sustitución del cemento por PFA se rige por los requisitos de rendimiento del hormigón. Los procedimientos de diseño de mezcla estipulados en ACI 211.1 proporcionan detalles, instrucciones paso a paso con respecto a la dosificación de la mezcla de prueba del agua, cemento y materiales agregados. El PFA tiene un peso específico más bajo que el PC, lo que debe tenerse en cuenta en el proceso de dosificación de la mezcla (Bapat, 2013).

V. ANTECEDENTES

En 2015 Jalal, M; Pouladkhan, A; Fasihi, O y Jafari, D. estudiaron los efectos de nanopartículas de sílice, humo de sílice y ceniza volante tipo F en las propiedades de una mezcla de concreto autocompactante de alto desempeño. Sustituyeron entre 15% y 25% de cemento por materiales cementantes suplementarios y evaluaron propiedades reológicas del concreto en estado fresco, propiedades térmicas, propiedades mecánica y propiedades de transporte. Según los resultados obtenidos concluyeron que la ceniza volante mejora la reología de la mezcla, el humo de sílice mejora las propiedades mecánicas y propiedades de transporte y que una combinación de adiciones minerales con nanopulvos pueden mejorar las características de la mezcla completa (Jalal *et. al.*, 2015).

En 2017 Ríos-Parada, Jiménez-Quero, Valdez-Tamez y Montes-García estudiaron los efectos de la adición de ceniza de bagazo de caña a una mezcla de concreto binario preparado con cemento portland y cenizas volantes. La ceniza se utilizó como se recibió, únicamente se tamizó a través de una malla No. 75 μ m por 4 minutos. La caracterización de los materiales se realizó utilizando RXFE, XRD y SEM/EDS, y los métodos BET. Se realizaron 4 mezclas, un control con 100% CP, una con 80% CP y 20% FA, una con 70% CP, 20% FA y 10% SBA y una con 60% CP, 20% FA y 20% SBA. Se estudiaron las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. En estado fresco se evaluó asentamiento, peso volumétrico, contenido de aire y temperatura, mientras que en estado endurecido se evaluó estado de la microestructura, fases minerales, resistencia a la compresión, módulos de elasticidad y relaciones de Poisson. Los resultados indicaron que aunque el contenido de LOI en la SBA es superior al máximo permitido por la norma esta se puede considerar una puzolana. Las partículas de SBA son heterogéneas en forma y tamaño y tienen una superficie específica similar a la del cemento portland. Son muy porosas por lo que producen una reducción de la trabajabilidad y peso volumétrico de las mezclas, sin embargo, el contenido de aire y temperatura no se vieron afectados.

A edades tempranas las cenizas afectan negativamente la resistencia a la compresión por un efecto físico de dilución del CP y el alto contenido de carbono. Sin embargo, la reacción puzolánica del SBA es beneficioso en edades posteriores. La combinación de 10% de SBA y 20% de FA no afectó ni el desarrollo de la resistencia o el módulo de elasticidad. Por otro lado, la adición de 20% de SBA disminuyó la resistencia del concreto en edades tempranas, pero después de 90 días alcanzó a la mezcla control (Ríos-Parada *et. al.*, 2017).

Silva y Delvasto estudiaron la influencia de diferentes porcentajes de sustitución de cemento Portland por ceniza volante y escoria en diferentes mezclas de concreto autocompactante (CAC) ajustadas para dar permanencia a las propiedades en estado fresco del

concreto. Evaluaron la trabajabilidad, resistencia a la compresión, tracción indirecta, absorción y porosidad de las mezclas. Para poder mantener la capacidad de llenado adecuada, el concreto con ceniza volante requirió un incremento en la relación agua/finó. Obtuvieron como resultado que sustituyendo el 35% de cemento por escoria se obtiene una resistencia de 59,5 MPa a los 90 días de curado bajo agua. Con un reemplazo con ceniza volante hasta en un 50% también se obtuvieron resistencias a la compresión importantes, aunque un poco inferiores. Concluyeron que es factible obtener concretos autocompactantes de elevadas prestaciones usando elevadas proporciones de escoria y ceniza volante de la combustión de carbón en reemplazo de cemento Portland (Silva & Delvasto, 2013).

En el año 2000 se inició un proyecto en la Universidad Federal de Río de Janeiro (Brasil) con la intención de evaluar el uso de residuos de la industria de generación de energía con biomasa en mezclas de concreto. En la primera fase del estudio se evaluó las propiedades físicas y químicas de mezclas de concreto de alto rendimiento con ceniza de bagazo de caña ultrafina. Los resultados mostraron que es posible la producción de concreto de alto rendimiento con hasta un 20% de reemplazo de cemento por ceniza con la misma respuesta mecánica. Esta adición también resultó en mejoras en la reología de la mezcla en estado fresco (Cordeiro *et. al.*, 2012).

En la segunda fase del estudio se evaluó la influencia de un RHA con alto contenido de carbono en mezclas producidas con 0%, 10%, 15% y 20% de cemento reemplazado por ceniza. Para todos los niveles de reemplazo de cemento, especialmente para el 20% las mezclas alcanzaron resistencias mecánicas superiores a la mezcla patrón y mejoraron su durabilidad. Sin embargo, la trabajabilidad disminuyó con el aumento del reemplazo (Cordeiro *et. al.*, 2012).

En 2011 Cordeiro, Toledo, Tavares y Fairbairn continuaron con el proyecto, y estudiaron la influencia tanto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, como la de la ceniza de cascarilla de arroz y la mezcla de ambas en las propiedades del concreto. Ambos tipos de ceniza fueron tratados mediante trituración vibratoria. Utilizaron mezclas de concreto convencional y de alto rendimiento con un 20% de reemplazo de cemento por ceniza. También produjeron mezclas ternarias con cemento, SBA y RHA (0.6–0.2–0.2) para estudiar los beneficios del uso simultáneo de ambas cenizas. Evaluaron la reología (límite elástico y viscosidad plástica), resistencia a la compresión (a 7, 28, 90 y 180 días), módulo de Young (a los 28 días) y la penetración de iones cloruro. La aplicación de ambas cenizas tuvo efectos positivos en la reología de las mezclas y la resistencia a la compresión se mantuvo constante o aumentó en comparación con las mezclas de referencia. Las mezclas ternarias presentaron menores cargas eléctricas y la sustitución del cemento por 40% de SBA y RHA disminuyó significativamente el aumento máximo de temperatura adiabática del concreto convencional (Cordeiro *et. al.*, 2012).

En 2011, Valderrama, Torres y Mejía analizaron la resistencia mecánica a compresión, absorción capilar y permeabilidad a cloruros de un concreto adicionado con cenizas volantes y compararon su comportamiento respecto a mezclas adicionadas con humo de sílice. Para el caso de las cenizas volantes, encontraron un porcentaje máximo de reemplazo del 10% para mejorar las resistencias mecánicas; sin embargo, incrementos en la adición dan lugar a efectos positivos en las propiedades de durabilidad. En comparación con el humo de sílice, las cenizas volantes mostraron un desempeño inferior para todas las propiedades evaluadas (Torres *et. al.*, 2011).

En 2011 Bui, Chen, Hwang y Wu evaluaron las propiedades de resistencia y durabilidad de mezclas de concreto con tres tipos de RHA, amorfo, cristalino parcial y cristalino. Los tres tipos de RHA se agregaron al concreto a un nivel de reemplazo del 20%. La actividad puzolánica del RHA amorfo fue mayor que la del RHA cristalino parcial y el RHA cristalino. El concreto con RHA amorfo mostró excelentes características en sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Mientras mayor es la cantidad de sílices cristalina, menor es la resistencia de la mezcla. La incorporación de los tres tipos de RHA redujo significativamente la penetración de cloruros. Según los resultados, el RHA se puede utilizar como aditivo mineral y puzolánico para concreto (Bui *et. al.*, s. f.).

En 2013 Srinivasreddy, A., McCarthy, T. y Lume, E. investigaron las propiedades químicas y morfológicas de cenizas de cascarilla de arroz y humo. Realizaron pruebas de distribución de tamaño de partícula, pérdida por ignición (LOI), difracción de rayos X y microscopía de barrido electrónica. Evaluaron el efecto de la sustitución de cemento por 5%, 10% y 15% en peso de SF y RHA en la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto con 30% cenizas volantes. Sus resultados mostraron que el concreto mezclado con RHA alcanzó resistencia similar a la mezcla con humo de sílice. Las mezclas con RHA requirieron cantidades adicionales de superplastificante para mejorar la trabajabilidad. Concluyeron que las RHA se pueden considerar como puzolanas debido a su alto contenido de sílice amorfa y su finura (2.5 veces más pequeña que el humo de sílice). La forma irregular de las partículas tuvo efectos negativos en la trabajabilidad del concreto y la demanda de agua. El concreto con reemplazo de cemento de 30% FA y 10% RHA puede utilizarse en la práctica sin restricción, mientras que el concreto con 30% FA y 15% RHA únicamente se recomienda para construcciones no estructurales donde la resistencia no sea un factor importante (Srinivasreddy *et. al.*, s. f.).

VI. MARCO METODOLÓGICO

A. Experimentación

Toda la fase experimental fue realizada en el Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso S.A. El CI+D está certificado bajo la Norma ISO 17025, con 32 ensayos acreditados, son el único laboratorio en el país y región que cuenta con el equipo, instrumentación y personal adecuado para realizar este tipo de ensayos. Para disminuir el error humano y acercarse lo más posible a la práctica las mezclas y ensayos fueron realizados por técnicos certificados por el Instituto de Cemento y Concreto y el Capítulo ACI Guatemala.

B. Materiales

Se utilizó cemento Portland tipo IV (ARI Plus Cementos Progreso) el Cuadro #9 resume las características físicas y químicas de este. Como agregado grueso se utilizó pedrín premium 3/4" y 3/8" y como agregado fino se utilizó polvo de piedra premium, ambos agregados de Agreca en el Cuadro #8 se presenta la granulometría y propiedades de los agregados. Se utilizó el aditivo superplastificante MasterGlenium 3020 de la marca BASF. Como material cementicio patrón se utilizó humo de sílice comercial Sikacrete-950 DP. En el Cuadro #7 se detalla la abreviatura utilizada para cada material referente a su nombre en inglés y el lugar de obtención de cada uno.

Cuadro 7. Materiales cementantes suplementarios utilizados.

Material	Abreviatura	Obtenido de
Ceniza de cascarilla de arroz	RHA	Arrocera los corrales
Ceniza de bagazo de caña	SBA	Ingenio San Diego Trinidad
Ceniza volante	FA1	Carboeléctrica #1
Ceniza volante	FA2	Carboeléctrica #2

Cuadro 8. Granulometría y propiedades físicas agregados utilizados.

Tamiz (mm)	Agregado fino (% pasa)	Agregado grueso ³ / ₄ (% pasa)	Agregado grueso 3/8 (% pasa)
50.0	100	100	100
37.5	100	100	100
25.0	100	100	100
19.0	100	100	100
12.5	100	52	100
9.5	100	9	94.00
4.75	100	1	20.00
2.36	78	1	2
1.18	58	0	1
0.6	43	0	0
0.3	30	0	0
0.15	19	0	0
0.37	12	0	0
Densidad aparente suelta (kg/ m3)	1327	1475	1399
Gravedad específica (g/m3)	2.68	2.69	2.66
Absorción (%)	1.20	0.90	0.90
Módulo de finura	2.72	6.90	5.78

La granulometría y propiedades físicas de los agregados fueron proporcionados por el fabricante.

Cuadro 9. Propiedades físicas y químicas del cemento utilizado.

Análisis químico	Cemento 19/10/2020	Cemento 16/12/2020
<i>SiO₂</i>	20.24	19.21
<i>Al₂O₃</i>	4.74	4.57
<i>Fe₂O₃</i>	2.17	2.11
<i>CaO</i>	61.57	62.56
<i>MgO</i>	3.31	3.42
<i>K₂O</i>	0.73	0.66
<i>Na₂O</i>	0.58	0.42
<i>SO₃</i>	3.89	4.54
P.F.	3.36	3.10
Finura tamiz 325 (% que pasa)	99.40	99.14
Superficie de Blaine (cm²/g)	4,303	4,189
Resistencia a la compresión 7d (psi)	6,382	7,541
Resistencia a la compresión 28 d (psi)	6,549	7,751

Composición expresada en porcentaje masa/masa. El cemento producido el 19/10/2020 se utilizó para las mezclas: Patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25% y el producido el 16/12/2020 para las mezclas: RHA 15%, RHA 25%, SBA 15% y SBA 25%.

C. Diseño de mezcla

Como mezcla patrón se utilizó un diseño predeterminado de concreto convencional de resistencia especificada 5000 psi y 7" de revenimiento con una relación agua/cemento de 0.56. Se diseñaron un total de 11 mezclas manteniendo constante la relación agua/material cementicio. Se reemplazó un 15% y 25% de cemento por cada uno de los materiales cementantes suplementarios, a excepción del humo de sílice que se reemplazó por 5% y 10% por recomendación del fabricante. En el Cuadro #10 se presentan los diseños de mezcla utilizados. La nomenclatura de cada mezcla hace referencia al material y cantidad de reemplazo.

Cuadro 10. Diseños de mezcla utilizados.

Material Mezcla	Cemento (kg/m ³)	Adición (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)	Grava No.1 (kg/m ³)	Grava No.2 (kg/m ³)	Arena (kg/m ³)	Aditivo (kg/kg cemento)	Relación agua/cemento
Patrón	310	0	175	625	325	945	2	0.56
RHA 15%	263.5	46.5	175	625	325	945	2	0.56
RHA 25%	232.4	77.5	175	625	325	945	2	0.56
SBA 15%	263.5	46.5	175	625	325	945	2	0.56
SBA 25%	232.4	77.5	175	625	325	945	2	0.56
SF 5%	294.5	15.5	175	625	325	945	2	0.56
SF 10%	279	31	175	625	325	945	2	0.56
FA1 15%	263.5	46.5	175	625	325	945	2	0.56
FA1 25%	232.4	77.5	175	625	325	945	2	0.56
FA2 15%	263.5	46.5	175	625	325	945	2	0.56
FA2 25%	232.4	77.5	175	625	325	945	2	0.56

D. Caracterización materiales cementantes suplementarios

1. Composición química.

Análisis realizado mediante fluorescencia de rayos X y difracción de rayos X. La cuantificación de las fases minerales se realizó mediante la técnica analítica Difracción de rayos X con afinamiento Rietveld en un equipo Empyrean de PANalytical, la identificación de las fases cristalinas presentes en las muestras se realizó mediante un barrido del goniómetro del equipo comprendido entre los ángulos de $5^\circ \leq 2\theta \leq 90^\circ$, con una duración de 4 minutos por barrido.

2. Humedad

Análisis realizado según norma internacional “ASTM C311-05 – Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete”. El ensayo consiste en llevar una muestra de material hasta peso constante en un horno entre 105 y 110°C y determinar el porcentaje de humedad como la masa perdida entre la masa inicial (ASTM C 311, 2005).

3. Pérdida por calcinación

Análisis realizado según norma internacional “ASTM C311-05 – Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete”. El ensayo consiste en colocar 1 g de muestra remanente del ensayo de humedad en un crisol de porcelana descubierto y quemar en una mufla a 950 ± 50 °C hasta llegar a peso constante. Determinar la pérdida por calcinación como la masa perdida dividida entre la masa inicial (ASTM C 311, 2005).

4. Finura (tamiz 45 μm).

Análisis realizado según norma técnica guatemalteca “NTG 41003 h6 – Método de ensayo. Determinación de la finura del cemento hidráulico usando un tamiz de 45 μm (No. 325)” equivalente a norma internacional ASTM C430-08. El análisis consiste en colocar una muestra de 1.000 g de material en un tamiz 45 μm (No. 325). El tamiz se coloca bajo una boquilla aspersora de agua con la presión ajustada a 69 ± 4 kPa (10 ± 0.5 psi) por 1 min, moviendo el tamiz en forma de círculo en un plano horizontal a velocidad de un movimiento por segundo de rociado. Se remueve el tamiz del rociado e inmediatamente se lava una sola vez con aproximadamente 50 mL de agua destilada o des ionizada y se seca el tamiz y el residuo en un horno. Se enfría el tamiz y luego se cepilla el residuo del tamiz y se pesa en una balanza analítica capaz de reproducir los resultados con una aproximación de 0.0005g (NTG 41003 h6, 2013).

5. Índice de actividad puzolánica.

Análisis realizado según norma internacional “ASTM C311-05 – Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete”. El análisis consiste en evaluar la resistencia a la compresión de especímenes patrón y especímenes de prueba a 7 y 28 días. En la mezcla de prueba, se reemplaza el 20% de la cantidad de cemento utilizada en la mezcla de control por material cementante suplementario. La mezcla patrón tiene 500 g de cemento Portland, 1375 g de

arena estándar graduada y 242 mL de agua y se mide su fluidez, la mezcla de prueba contiene 400 g de cemento Portland, 100 g de muestra, 1375 g de arena estándar graduada y los ml de agua necesarios para obtener la misma fluidez de la mezcla de control. El índice de actividad puzolánica se expresa como la resistencia a la compresión de la muestra patrón dividida la resistencia a la compresión de la muestra de prueba (ASTM C 311, 2005, p. 311).

E. Ensayos mezclas de concreto en estado fresco

1. Asentamiento del concreto.

Análisis realizado según norma guatemalteca “NTG 41017 h4 – Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico”, basado en norma internacional ASTM C143-08. El método de ensayo consiste en colocar y consolidar por varillado una muestra de concreto recién mezclado en un molde en forma de cono truncado. El molde se levanta dejando que el concreto se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la desplazada en el centro de la superficie superior del concreto (NTG 41017 h4, s. f.).

2. Contenido de aire.

Análisis realizado según norma técnica guatemalteca “NTG 41017 h7 – Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión”, equivalente a la norma internacional ASTM C231-14. El ensayo consiste en colocar y consolidar una muestra de concreto recién mezclado en un recipiente de medición y enrasar la superficie. El aparato se ensambla, se cierra la válvula principal, y se inyecta agua con una jeringa por una de las válvulas de paso hasta que salga por la opuesta. Se cierra una de las válvulas y se bombea aire hasta que la aguja del medidor de presión este en la línea de presión inicial. Se abre la válvula principal, se golpean los lados del recipiente y se lee el porcentaje de aire en la carátula del indicador de presión (NTG 41017 h7, 2015) .

3. Masa unitaria.

Análisis realizado según norma técnica guatemalteca “NTG 41017 h5 – Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto. Basado en norma internacional ASTM C138/C138M. El método consiste en colocar y consolidar una muestra de concreto recién mezclado en un recipiente de medida asegurando una distribución pareja y acabado liso. El exterior del recipiente se limpia y se pesa para determinar la masa del

concreto. La masa unitaria se determina dividiendo la masa unitaria entre el volumen del recipiente (NTG 41017h5, s. f.).

4. Temperatura del concreto.

Análisis realizado según norma técnica guatemalteca “NTG 41053 – Método de ensayo. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado”, equivalente a norma internacional ASTM C1064/C1064M. El ensayo consiste en sumergir un dispositivo medidor de temperatura al menos 75 mm en el concreto recién mezclado, presionar suavemente la superficie del concreto alrededor para cerrar los vacíos y que la temperatura del aire circundante afecte la medición. Dejar entre 2 y 5 minutos y leer temperatura (NTG 41053, s. f.).

F. Ensayos mezclas de concreto en estado endurecido

1. Resistencia a la compresión.

Análisis realizado según norma técnica guatemalteca “NTG 41017 h1 - Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”, basada en la norma internacional ASTM C39/C39M-17b. El método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra una falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo dentro del área de la sección transversal del espécimen. El ensayo se realizó a 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días (NTG 41017 h1, 2017).

2. Resistencia a la penetración del ion cloruro.

Análisis realizado según norma técnica guatemalteca “NTG 41017 h41 – Método de ensayo para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro”, basada en la norma internacional ASTM C1202-17. Este método de ensayo consiste en monitorear la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de secciones de 50 mm de espesor de núcleos de 100 mm de diámetro nominal o cilindros durante un período de 6 horas. Se mantiene una diferencia de potencial de 60 V de corriente directa en los extremos de la muestra, uno de los cuales se sumerge en una solución de cloruro de sodio y el otro en una solución de hidróxido de sodio. La carga total que atraviesa la sección, en coulomb, presenta una relación con la resistencia de la muestra a la penetración de iones cloruro. El ensayo se realizó a 56 y 90 días (NTG 41017 h41, 2018).

3. Profundidad de penetración de agua bajo presión.

Análisis realizado según norma técnica guatemalteca “NTG 41017 h42- Método de ensayo para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido. Basado en norma internación UNE-EN 12390-8. El método de ensayo consiste en aplicar agua a una presión de 500 ± 50 kPa por 72 ± 2 h a la superficie del concreto endurecido. Luego se divide el espécimen o núcleo por rotura en dos mitades y se mide la profundidad de la penetración del frente de agua. El ensayo se realizó a 56 y 90 días (NTG 41017 h42, 2018).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Evaluación propiedades químicas y físicas de los MCS según norma ASTM C311-05

Cuadro 11. Composición química materiales cementantes suplementarios por fluorescencia de rayos X.

Muestra	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	SO_3	SiO_2	TiO_2	LOI	Humedad
RHA	0.43	0.81	2.21	1.28	0.24	0.24	0.00	0.00	84.98	0.09	9.74	1.16
SBA	18.61	1.55	7.82	1.58	1.08	0.10	0.80	0.14	61.06	0.85	5.75	12.23
FA 1	13.15	6.61	8.63	3.98	3.65	0.24	1.96	0.05	57.40	0.74	2.32	1.68
FA 2	1.22	48.33	0.35	0.10	0.92	0.00	0.00	18.37	4.55	0.07	26.36	0.30

* Resultados expresados como porcentaje en masa.

** Procedimiento interno de CID.

*** Humedad determinada a 110°C durante 2h.

**** Ensayos realizados por Centro de Investigación y Desarrollo Cementos Progreso, certificado original en anexo E.

Cuadro 12. Composición mineralógica de la ceniza volante 1.

Fase mineral	Fórmula	Concentración en % p/p
Cuarzo	SiO_2	54.6
Manganita	$MnO(OH)$	2.20
Mullita	$Al_6Si_2O_{13}$	35.90
Sillimanita	Al_2SiO_5	7.30

*Las fases minerales cuantificadas mediante la técnica analítica de difracción de Rayos X son las que se encuentran disponibles en ICSD.

** Ensayos realizados por Centro de Investigación y Desarrollo Cementos Progreso, certificado original en anexo E.

Cuadro 13. Composición mineralógica de la ceniza volante 2.

Fase mineral	Fórmula	Concentración en % p/p
Anhidrita	$CaSO_4$	22.70
Portlandita	$Ca(OH)_2$	62.00
Calcita	$CaCO_3$	15.30

*Las fases minerales cuantificadas mediante la técnica analítica de difracción de Rayos X son las que se encuentran disponibles en ICSD.

** Ensayos realizados por Centro de Investigación y Desarrollo Cementos Progreso, certificado original en anexo E.

Cuadro 14. Composición mineralógica de la ceniza de cascarilla de arroz.

Fase mineral	Fórmula	Concentración en % p/p
Cristobalita	SiO_2	100.00

*Las fases minerales cuantificadas mediante la técnica analítica de difracción de Rayos X son las que se encuentran disponibles en ICSD.

** Ensayos realizados por Centro de Investigación y Desarrollo Cementos Progreso, certificado original en anexo E.

Cuadro 15. Composición mineralógica ceniza de bagazo de caña.

Fase mineral	Fórmula	Concentración en % p/p
Andesina	$Al_{1.488}Ca_{0.491}Na_{0.499}O_8Si_{2.506}$	55.30
Anortoclasa	$Al_{1.1}Ca_{0.1}K_{0.27}Na_{0.63}O_8Si_{2.9}$	32.60
Magnetita	Fe_3O_4	2.70
Zeolita	$(AlO_2)(SiO_2)n(H_2O)$	9.30

*Las fases minerales cuantificadas mediante la técnica analítica de difracción de Rayos X son las que se encuentran disponibles en ICSD.

** Ensayos realizados por Centro de Investigación y Desarrollo Cementos Progreso, certificado original en anexo E.

Cuadro 16. Propiedades físicas de materiales cementantes suplementarios.

Ensayo	Fluidez (% w/w cemento)	Relación agua cementante para la fluidez obtenida	Resistencia a compresión (psi) 7d	Resistencia a compresión (psi) 28d	Índice de actividad puzolánica (%) 7d	Índice de actividad puzolánica (%) 28d	Finura tamiz No.325 (%) pasa)
Mezcla							
Cemento	116	0.49	5398	6279			97.07
RHA	110	0.49	5661	7803	105	124	98.93
SBA	109	0.48	4284	5466	79	87	98.18
FA1	109	0.49	4667	6401	86	102	96.06
FA2	116	0.47	5104	7029	95	112	99.01

*Las fases minerales cuantificadas mediante la técnica analítica de difracción de Rayos X son las que se encuentran disponibles en ICSD.

** Ensayos realizados por Centro de Investigación y Desarrollo Cementos Progreso, certificado original en anexo E.

B. Evaluación influencia de MCS en las propiedades en estado fresco de las mezclas

Cuadro 17. Características de las mezclas de concreto en estado fresco.

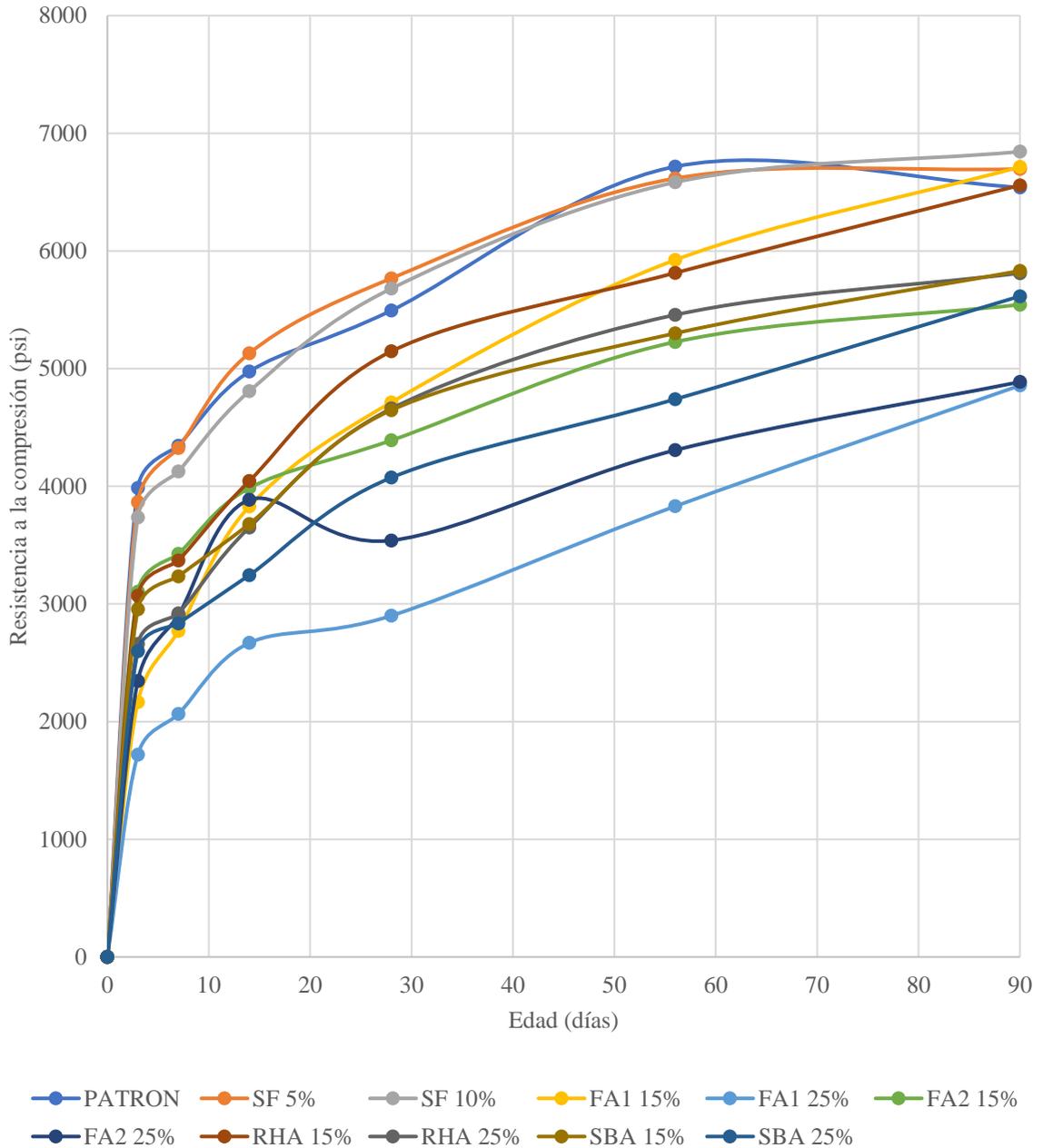
	Masa unitaria (kg/m ³)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura concreto (°C)	Revenimiento (in)	Aire (%)
Patrón	2372	23.00	23.00	7.25	1.40
RHA 15%	2350	23.0	23.50	5.00	1.30
RHA 25%	2348	24.00	24.00	3.50	1.40
SBA 15%	2357	24.00	24.50	7.50	2.00
SBA 25%	2349	24.50	25.00	7.00	1.60
SF 5%	2366	23.50	23.50	6.00	2.00
SF 10%	2348	24.00	23.40	5.00	2.00
FA1 15%	2360	24.00	23.50	6.25	1.30
FA1 25%	2367	24.00	23.50	5.00	1.30
FA2 15%	2362	24.00	23.50	7.50	1.50
FA2 25%	2360	24.50	24.00	8.00	1.50

* Mezclas y ensayos elaborados a temperatura ambiente y presión atmosférica.

** Mezclas y ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

C. Evaluación influencia de MCS en resistencia a la compresión de las mezclas en estado endurecido.

Figura 6. Resistencia a la compresión de todas las mezclas a diferentes edades.



* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Velocidad de movimiento de la carga aplicada correspondiente a 0.25 ± 0.05 MPa/S.

*** Ensayos realizados por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Cuadro 18. Resumen resistencia a la compresión todas las mezclas a diferentes edades.

Edad	Resistencia mecánica (psi)					
	3	7	14	28	56	90
Mezcla						
Patrón	3990	4350	4980	5490	6720	6540
SF 5%	3870	4330	5130	5770	6620	6700
SF 10%	3740	4130	4810	5680	6580	6840
FA1 15%	2170	2770	3830	4710	5920	6710
FA1 25%	1720	2070	2670	2900	3830	4860
FA2 15%	3110	3430	3990	4390	5230	5540
FA2 25%	2350	2910	3890	3540	4310	4890
RHA 15%	3070	3370	4050	5150	5810	6660
RHA 25%	2660	2920	3650	4660	5460	5810
SBA 15%	2950	3240	3680	4647	5300	5830
SBA 25%	2600	2840	3250	4073	4740	5620

* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 100 mm.

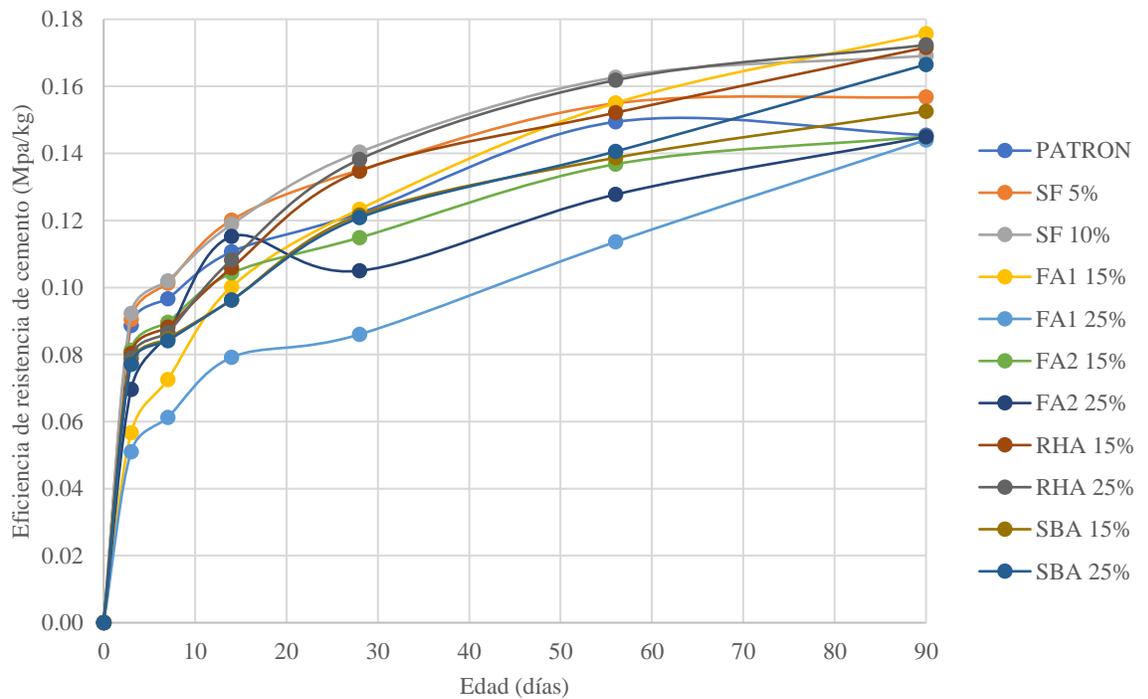
** Velocidad de movimiento de la carga aplicada correspondiente a 0.25 ± 0.05 MPa/S.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel I, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

**** La resistencia a 14 días de las mezclas patrón, SF 5%, SF10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25% se estimaron con un pronóstico lineal.

***** La resistencia a 3 días de las mezclas RHA 15%, RHA 25%, SBA 15%, SBA 25% se estimaron con un pronóstico lineal.

Figura 7. Eficiencia resistencia a la compresión del cemento a diferentes edades.



Cuadro 19. Eficiencia resistencia a la compresión del cemento a diferentes edades.

Eficiencia resistencia a la compresión del cemento (MPa/kg)							
Días	0	3	7	14	28	56	90
Patrón	0.00	0.09	0.10	0.11	0.12	0.15	0.15
SF 5%	0.00	0.09	0.10	0.12	0.14	0.15	0.16
SF 10%	0.00	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17
FA1 15%	0.00	0.06	0.07	0.10	0.12	0.15	0.18
FA1 25%	0.00	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.14
FA2 15%	0.00	0.08	0.09	0.10	0.11	0.14	0.15
FA2 25%	0.00	0.07	0.09	0.12	0.10	0.13	0.14
RHA 15%	0.00	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17
RHA 25%	0.00	0.08	0.09	0.11	0.14	0.16	0.17
SBA 15%	0.00	0.08	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15
SBA 25%	0.00	0.08	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17

*Resistencia proporcionada por kg de cemento utilizado.

D. Evaluación influencia MCS en durabilidad de las mezclas en estado endurecido

Cuadro 20. Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro de las diferentes mezclas a diferentes edades.

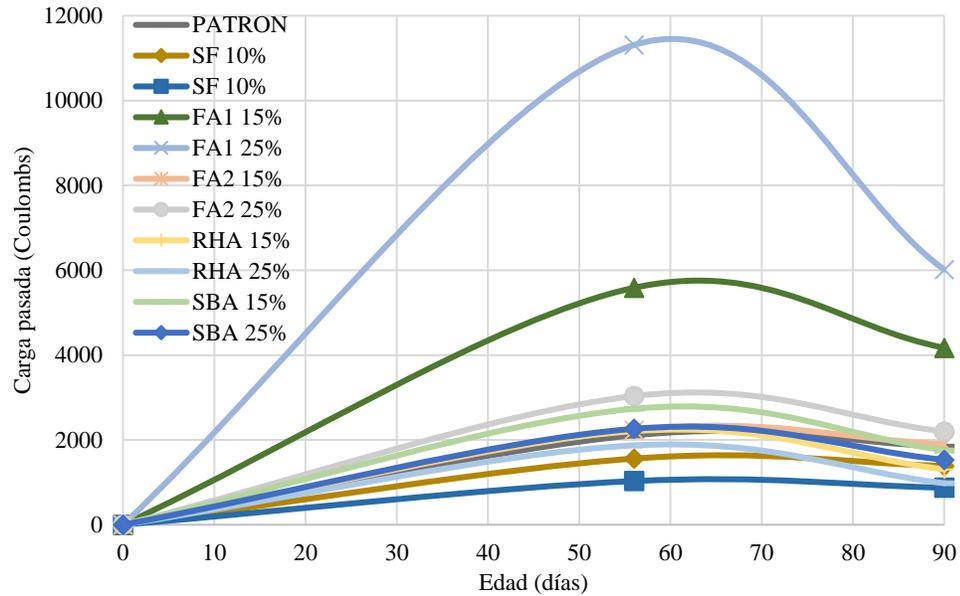
Edad (días)	28		56		90	
Mezcla	Carga pasada (Coulomb)	Penetrabilidad iones de cloruro	Carga pasada (Coulomb)	Penetrabilidad iones de cloruro	Carga pasada (Coulomb)	Penetrabilidad iones de cloruro
Patrón	3610	Moderado	2110	Moderado	1840	Bajo
SF 5%	2370	Moderado	1560	Bajo	1390	Bajo
SF 10%	1890	Bajo	1030	Bajo	870	Muy bajo
FA1 15%	11260	Alto	5590	Alto	4170	Alto
FA1 25%	12080	Alto	11310	Alto	6020	Alto
FA2 15%	4710	Alto	2240	Moderado	1900	Bajo
FA2 25%	5730	Alto	3030	Moderado	2200	Moderado
RHA 15%	-	-	2210	Moderado	1305	Bajo
RHA 25%	-	-	1870	Bajo	979	Muy bajo
SBA 15%	-	-	2730	Moderado	1756	Bajo
SBA 25%	-	-	2260	Moderado	1532	Bajo

* Ensayos realizados con secciones de 50 mm de espesor de especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Diferencia de potencial eléctrico de 60 V de corriente por 6 horas.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 8. Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro de las diferentes mezclas a diferentes edades.

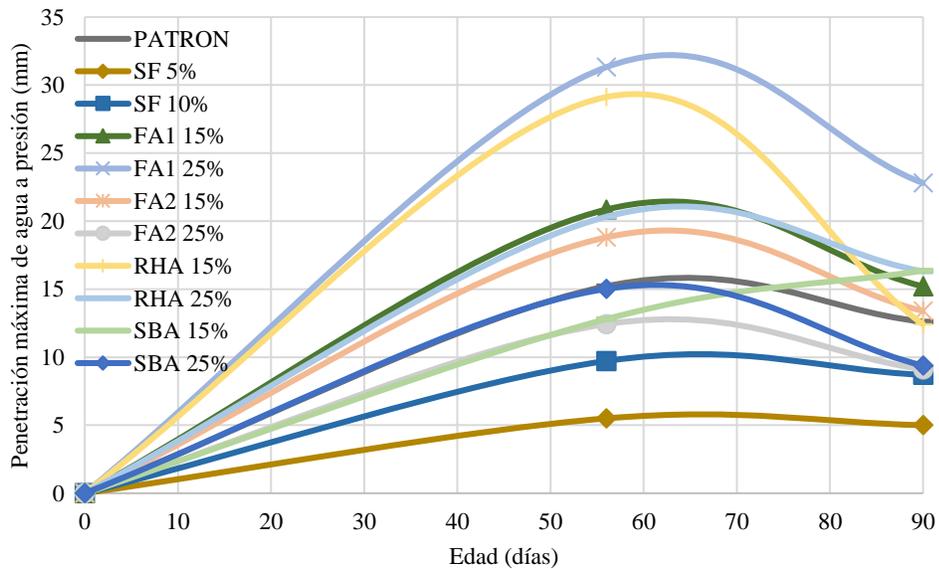


* Ensayos realizados con secciones de 50 mm de espesor de especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Diferencia de potencial eléctrico de 60 V de corriente por 6 horas.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 9. Profundidad máxima de penetración de agua bajo presión de las diferentes mezclas a diferentes edades.



* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm. Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Cuadro 21. Profundidad de penetración de agua bajo presión de las diferentes mezclas a diferentes edades.

Edad (días)	28		56		90	
Mezcla	Promedio de penetración (mm)	Profundidad máxima de penetración (mm)	Promedio de penetración (mm)	Profundidad máxima de penetración (mm)	Promedio de penetración (mm)	Profundidad máxima de penetración (mm)
Patrón	18	27	13	15	9	13
SF 5%	15	19	4	6	3	5
SF 10%	14	16	7	10	5	9
FA1 15%	31	35	12	21	10	15
FA1 25%	44	55	18	31	16	23
FA2 15%	27	36	8	19	7	13
FA2 25%	32	39	9	12	7	9
RHA 15%	-	-	16	29	11	12
RHA 25%	-	-	14	20	11	16
SBA 15%	-	-	11	13	12	16
SBA 25%	-	-	15	15	8	9

* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Evaluación propiedades químicas y físicas de los MCS según norma ASTM C311-06

En el Cuadro 11 se observan los resultados de la composición química de los materiales cementantes suplementarios.

La ceniza volante 1 tiene un contenido de óxidos principales de 79.18%, un porcentaje de CaO de 6.61%, de SO_3 de 0.05%, contenido de LOI de 2.32% y de humedad de 1.68%. Se puede considerar sin problema como una ceniza clase F con propiedades puzolánicas. No se tiene suficiente información sobre el origen y producción de estas cenizas, pero se puede inferir por la cantidad de inquemados y humedad que la tecnología de quema de carbón y de recuperación es de calidad y que el carbón utilizado es bituminoso. Según el espectrograma de difracción de rayos X mostrado en la Figura 10 (anexos) y el Cuadro 12, la ceniza volante 1 posee cuarzo (SiO_2) en un 54.6%, Manganita ($MnO(OH)$) en un 2.20%, Mullita ($Al_6Si_2O_{13}$) en un 35.90% y Sillimanita (Al_2SiO_5) en un 7.30%. El cuarzo se encuentra en fase cristalina por lo que es muy difícil que participe en la reacción puzolánica, sin embargo, en la mullita y sillimanita se encuentra sílice en fase amorfa que puede tener propiedades puzolánicas. Se puede observar en el difractograma una tendencia llana y picos agudos y en pequeña cantidad.

La ceniza volante 2 tiene un contenido de óxidos principales de 6.12%, un porcentaje de CaO de 48.33%, de SO_3 de 18.37%, contenido de LOI de 26.36% y humedad de 0.30%. Esta ceniza no cumple con ninguna de las especificaciones de la norma ASTM C618-03. La diferencia tan marcada con la ceniza volante tipo 1 podría deberse a una diferencia de tecnología de combustión y recuperación y el origen y calidad del carbón. Se podría inferir que utilizan un carbón subbituminoso. El alto valor de LOI es el resultado de una combustión incompleta por temperatura de calcinación baja o un período de calcinación prolongado producto de las pocas regulaciones que hay en el país de acuerdo con este tema. Según el difractograma de la Figura 11 y el Cuadro 13, la ceniza volante 2 tiene 62% de portlandita ($Ca(OH)_2$), 15.30% de calcita ($CaCO_3$) y 22.70 de Anhidrita ($CaSO_4$), se pueden notar muchos picos que representan fases cristalinas lo que confirma que bajo ningún punto de vista este material podría considerarse ceniza volante o material puzolánico.

Para la ceniza de cascarilla de arroz la suma de los óxidos principales ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) es de 87.62%, el porcentaje de CaO de 0.81%, el de SO_3 de 0.0%,

contenido de LOI 9.74% y humedad 1.16%. Considerando que proviene de la combustión de un material natural y que cumple con las especificaciones de la norma ASTM C618 - 03, se podría clasificar como una puzolana clase N. La Figura 12 presenta la difracción de rayos X y el Cuadro 14, la composición mineralógica de este material, según estos resultados el 100% del contenido de sílice se encuentra en forma de Cristobalita, una fase del óxido de silicio semi amorfa, se puede observar en el difractograma una tendencia llana y únicamente un pico muy fino en 22° , esto representa que el material tiene muy poca fase cristalina y por lo tanto podría tener propiedades puzolánicas casi al 100%.

Para la ceniza de bagazo de caña la suma de óxidos principales fue de 87.49%, el porcentaje de CaO de 1.55, el de SO_3 de 0.14%, el contenido de LOI de 5.75% y la humedad de 12.23%. Al igual que la RHA esta ceniza proviene de la combustión de un material natural y cumple con las especificaciones de la norma ASTM C618-03 para clasificarla como puzolana clase N. El contenido de humedad alto puede deberse a que la ceniza no se obtuvo directamente del sistema de recuperación de la caldera del ingenio si no se recogió en una finca en la que iba a ser utilizada como fertilizante y estaba a la intemperie. La Figura 13 y el Cuadro 15 presentan la difracción de rayos X y composición mineralógica de la ceniza de bagazo de caña, según este análisis la ceniza posee 55.30% de Andesina, 32.60% Anortoclasa, 2.70 de magnesita y 9.30% de Zeolita. A pesar de que en el difractograma se observan muchos picos que representan fases cristalinas, la zeolita presente podría reaccionar con la portlandita y aumentar la resistencia. La andesina y anortoclasa también podrían tener propiedades puzolánicas, pero depende mucho de la calidad de estas. Aunque el contenido de magnesita es bajo, este podría representar un impedimento para la reacción y retardar el desarrollo de la resistencia.

En el Cuadro 16 se presentan las características físicas de los materiales cementantes suplementarios. Según la norma ASTM C618-03 la cantidad retenida en el tamiz No. 325 debería ser 34% por lo que la ceniza volante 1 y 2 cumplen. La ceniza de bagazo de caña y la ceniza de cascarilla de arroz se trataron utilizando un molino de bolas y se molieron hasta alcanzar una finura similar a la del cemento, con la intención de mejorar su actividad hidráulica.

El índice de actividad puzolánica es una medida del grado de reacción con el tiempo entre el material cementante suplementario y la cal (Ca^{2+} , $Ca(OH)_2$) proveniente de la reacción de hidratación del cemento. Es importante ya que da un parámetro de la capacidad de los MSC de reaccionar y formar compuestos hidráulicos. Sin embargo, también hay que tomar en cuenta que la resistencia mecánica de mezclas de concreto con reemplazo parcial de cemento por MSC no solo depende de la capacidad de reaccionar de los materiales, sino, del tipo, forma, dimensión y distribución de los productos de reacción junto con los otros componentes del concreto.

Todos los materiales utilizados en esta investigación cumplen con la especificación de la norma ASTM C618-03 de alcanzar más de un 75% del control a los 7 y 28 días. El material con mayor índice puzolánico a 28 días fue la ceniza de cascarilla de arroz con 128% y el que menor tuvo fue la ceniza de bagazo de caña con 87%.

B. Evaluación influencia de MCS en las propiedades en estado fresco de las mezclas

El Cuadro 17 presenta los resultados de las mezclas en estado fresco. El revenimiento de la muestra patrón fue 7 ¼”, el de las mezclas de prueba se mantuvo en un rango de 3 ½” a 8 “. Siendo la mezcla con menor slump la RHA25% y la mezcla con mayor slump la FA2 25%. Las mezclas con ceniza de cascarilla de arroz, ceniza volante I y humo de sílice tuvieron un slump menor a la mezcla patrón, lo que en la práctica significaría una mayor demanda de agua que se vería reflejada en una pérdida de resistencia o en aumento de costos por uso de aditivos extras. Las mezclas con ceniza de bagazo de caña presentaron un revenimiento similar a la mezcla patrón y las mezclas con ceniza volante II un revenimiento mayor, lo que representaría menor demanda de agua y aumento de resistencia esto es debido a que la forma esférica de la ceniza volante provoca un efecto de rodamiento de bolas y mejora la trabajabilidad. La adición de materiales finos en la pasta generalmente mejora la viscosidad, sin embargo, el humo de sílice y la ceniza de cascarilla de arroz no cumplen con esto ya que son muy porosas lo que aumenta el área superficial y aumenta la demanda de agua. Ninguna mezcla presentó segregación o sangrado.

El contenido de aire de las 11 mezclas se mantuvo en el rango de 1 a 2%, que es válidos para mezclas de concreto sin aire incorporado. La masa unitaria de la mezcla patrón fue 2372 kg/m³ y la de las mezclas con adiciones minerales se mantuvo entre 2348 kg/m³ y 2366 kg/m³ la disminución de la masa unitaria está directamente relacionada con la densidad de los materiales, ya que la densidad del cemento portland es mayor que la densidad de los materiales cementantes suplementarios.

C. Evaluación influencia de MCS en resistencia a la compresión de las mezclas en estado endurecido

La resistencia mecánica de las mezclas se midió a 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días. El Cuadro 18 presenta los resultados promedio y la Figura 6 representa el desarrollo de la resistencia a la compresión con la edad de las 11 mezclas. Se puede observar que a 28 días únicamente las mezclas con humo de sílice superaron a la muestra patrón, sin embargo, a 90 días la mezcla con 15% de RHA la alcanzó y la mezcla con 15% de FA1 la superó. Las

demás mezclas quedaron muy por debajo de la mezcla patrón. En anexos se presentan gráficas detalladas para el análisis de cada material que se hará a continuación.

El humo de sílice se utilizó como material cementante suplementario patrón, ya que es el material que más se ha estudiado y desarrollado y sus resultados son garantizados. Se vende y distribuye de manera comercial como un aditivo en polvo. Por recomendación del fabricante y bibliografía consultada se reemplazó un 5% y 10% de cemento por humo de sílice.

En la Figura 14 se puede observar el desarrollo de resistencia a la compresión de la mezcla patrón versus las mezclas con reemplazo parcial de cemento por humo de sílice. No se observan diferencias significativas, en la Figura 15 se puede visualizar de mejor manera que la mezcla con reemplazo del 5% alcanzó en resistencia a la mezcla patrón a los 7 días, a los 28 días la superó en un 5%, a los 56 días la alcanzó en un 99% y a los 90 días la superó en un 2%. La mezcla con 10% de reemplazo alcanzó un 95% de la resistencia de la mezcla patrón a los 7 días, la superó en 3% a los 28 días, alcanzó un 98% a los 56 días y superó a la mezcla patrón en 5% a los 90 días. Este es el comportamiento que se esperaría con las otras adiciones, la mayoría de los constructores solicitan alcanzar la resistencia especificada a los 28 días.

Se puede observar en la Figura 16 que la variación en la resistencia alcanzada por cantidad de reemplazo no fue significativa a ninguna edad. Según la teoría el reemplazo de cemento por humo de sílice debería ser entre 3% a 5% ya que la producción de gel por la reacción puzolánica llega a un límite con estas cantidades porque no hay suficiente portlandita para seguir reaccionando. Posiblemente la resistencia con un reemplazo del 10% sea mayor a edades mayores. Considerando el precio del aditivo y la poca variación en la resistencia, el reemplazo más recomendable sería un 5% del cemento.

Según su caracterización química y física esta ceniza volante es de tipo F por lo que en teoría debería reaccionar con la portlandita formada en la reacción de hidratación y desarrollar mayor resistencia. Se puede observar en la Figura 17 que antes de los 90 días tanto la mezcla con 15% como la mezcla con 25% de reemplazo se mantuvieron muy por debajo de la mezcla patrón. A 28 días, la mezcla con 15% de reemplazo únicamente alcanzó 5,923 psi, lo que representa un 86% de la muestra patrón, se infiere que esta resistencia fue desarrollada por el cemento presente en la mezcla y que la ceniza se mantuvo inerte. Por otro lado, la mezcla con 25% de reemplazo alcanzó los 3,830 psi, 50% de la muestra patrón, en este caso la ceniza no solo no aportó nada, si no perjudicó a la evolución de la resistencia proporcionada por la pasta de cemento.

A los 90 días ya se vio una mejora en la mezcla FA1 15%, superando en un 3% la resistencia a la muestra patrón, lo que confirma que la reacción puzolánica se da a edades tardías. El efecto tardío podría deberse a que las partículas de FA1 no están lo suficientemente finas y tardan mucho tiempo en reaccionar. Este es un factor importante para tomar en cuenta ya que en el sector no suelen aceptar que la resistencia especificada se alcance después de los 90 días.

Definitivamente el reemplazo por 25% de FA1 no es factible, se puede notar en la Figura 19 y 20 que la resistencia a todas las edades cae casi en un 50% y los 90 días únicamente llegar al 70%, se alcanzarían mayores resistencias utilizando la misma cantidad de cemento sin agregar la ceniza.

Las mezclas con ceniza volante 2 no estuvieron ni cerca de la resistencia de la muestra patrón a ninguna edad. A los 90 días la mezcla con 15% de reemplazo alcanzó en un 85% la resistencia de la mezcla patrón y la mezcla con 25% de reemplazo alcanzó en un 75% la resistencia patrón, lo que significa que fueron totalmente inertes. Y en edades más tempranas perjudicaron a la resistencia brindada por la pasta de cemento. Estos resultados eran de esperarse ya que el contenido de cal era demasiado alto y el de sílice muy bajo, a pesar de que según la teoría las cenizas con porcentajes de $Ca(OH)_2$ altos podrían tener propiedades cementicias, este no fue el caso.

En la Figura 23 se puede observar el desarrollo de resistencia a la compresión de la mezcla patrón versus las mezclas con reemplazo parcial de cemento por ceniza de cascarilla de arroz. Se puede observar que la mezcla con 15% de reemplazo de RHA se mantuvo relativamente cercana a la muestra patrón, alcanzando el 94% de la resistencia a los 28 días y el 100% a los 90 días. Esto era de esperarse ya que esta ceniza tenía alto contenido de sílice amorfo que reacciona con la portlandita formando más gel.

La mezcla con 25% de reemplazo no mostró resultados tan negativos como con los otros materiales, a los 28 días alcanzó un 85% de la resistencia de la muestra patrón y a los 90 días un 89%, aunque no fue el 100% se podría considerar que si aportó y que quizá a edades más tardías podría alcanzar o superar a la mezcla patrón. Tomando en cuenta que esto no es certero y que no hay muchos constructores y obras que puedan esperar tanto tiempo, se determina que el reemplazo con mejores resultados es 15%.

Se puede observar en la Figura 27 que la resistencia mecánica tanto de la mezcla con 15% de reemplazo de ceniza de bagazo de caña como la de 25% se mantuvieron muy por debajo de la mezcla patrón. En la Figura 28 se nota claramente que la ceniza hasta los

56 días no solo no aportó nada de resistencia si no que perjudicó a la mezcla, utilizando la misma cantidad de cemento y sin agregar la ceniza se hubieran obtenido mayores resistencias. A los 90 días se puede notar ya un aumento, pero no fue tan significativo. Un factor que pudo influir fue la cantidad de humedad de las cenizas, resultado que podría disminuir si estas se recolectaran directo de la caldera. Considerando que hay que hacer un proceso de molienda adicional y que actualmente los ingenios si la utilizan como fertilizante no se considera valioso su uso en mezclas de concreto.

La eficiencia de resistencia del cemento mide la resistencia cedida por kg de cemento utilizado y se denota en MPa/kg cemento. Es útil como una medida de costo/efectividad en construcciones y también da un parámetro de las emisiones de CO_2 (protocolo Kyoto). La Figura 7 muestra que la eficiencia de resistencia del cemento a 90 días de casi todas las muestras, exceptuando la mezcla FA1 25%, FA2 25% alcanzó o superó la de la mezcla patrón, lo que representa que desde un punto de vista ambiental, es posible una disminución del contenido de cemento en el diseño de mezcla que a su vez representa una disminución en el consumo de energía y emisiones de CO_2 además de problemas típicos como agrietamiento, expansión y degradación química.

D. Evaluación influencia MCS en durabilidad de las mezclas en estado endurecido

La Figura 8 y el Cuadro 20 presentan los resultados de la indicación eléctrica de la capacidad de las diferentes mezclas para resistir la penetración del ion cloruro y la Figura 9 y Cuadro 21 los resultados de la profundidad máxima de penetración de agua a presión. Estos ensayos se realizaron a 28, 56 y 90 días para las mezclas con humo de sílice y ceniza volante y a 56 y 90 días para las mezclas con ceniza de cascarilla de arroz y de bagazo de caña. Se puede observar en ambos ensayos que todas las mezclas siguen la tendencia de disminución de carga pasada con la edad a los 90 días, las mezclas con humo de sílice, ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de bagazo de caña quedaron por debajo de la mezcla patrón y las mezclas con ceniza volante 1 y 2 por arriba. A continuación, se hace un análisis más detallado de cada material.

Para el humo de sílice en términos de durabilidad se obtuvieron buenos resultados. Se puede observar en el Cuadro 20 que para la mezcla con 5% de reemplazo la carga pasada a 28 días fue de 2,370 C, a 56 días de 1,560 C y a 90 días de 1,390 C, lo que representa una baja penetrabilidad de iones cloruros. En el ensayo de penetración de agua bajo a presión se obtuvo un promedio de penetración de 18 mm a 28 días, 13 mm a 56 días y 9 mm a 90 días y profundidad máxima de 27 mm, 15 mm y 13 mm, valores aceptables para una estructura de concreto expuesta a ambientes extremos.

Para la mezcla con 10% de reemplazo la carga pasada a 28 días fue de 1,890 C, a 56 días de 1030 C y a 90 días de 870 C lo que representa una penetrabilidad de iones cloruro muy baja. La profundidad de penetración de agua bajo presión promedio fue de 14 mm a 28 días, 7 mm a 56 días y 5 mm a 90 días y la profundidad máxima de penetración fue de 16 mm, 10 mm y 9 mm respectivamente. Al igual que la primera mezcla esta podría ser utilizada en cualquier ambiente y proteger el acero de refuerzo sin problema.

A diferencia de la resistencia a la compresión, en términos de durabilidad si se puede notar una diferencia entre la mezcla con 5% y 10% de reemplazo. A 90 días la carga pasada de la mezcla SF 10% fue 40% menos que la de la SF 5%, sin embargo, la carga pasada con 5% de reemplazo entra en la categoría de “bajo” por lo que no hay problema en utilizar esta cantidad a menos que por requerimientos estructurales específicos fuera necesario.

Para la ceniza volante 1 tanto el ensayo de permeabilidad de iones cloruro como el ensayo de penetración de agua a presión fueron negativos. Se puede notar en la Figura 32 que a 28 días la carga pasada fue excesivamente alta, la carga pasada de la mezcla con 15% de reemplazo fue 11,259 C, 3.1 veces mayor que la de la mezcla patrón y la carga pasada para la mezcla con 25% de reemplazo fue 12,084 C, 3.3 veces mayor que la muestra patrón. A pesar de que estos valores disminuyeron con la edad, a los 90 días ambas mezclas se mantuvieron en el rango clasificado como “alto”.

Este comportamiento se observa también en la prueba de penetración de agua a presión, la profundidad máxima de penetración a 28 días de la mezcla con 15% fue de 35 mm, 1.3 veces más que la mezcla patrón y la de la mezcla con 25% fue de 55 mm, 2 veces más que la mezcla patrón. A 90 días la profundidad de penetración de la mezcla con 15% de reemplazo disminuyó a 15 mm, casi lo mismo que los 13 mm de la mezcla patrón, este comportamiento no se observa en la prueba de permeabilidad por lo que podría deberse a un error del método, por consiguiente, no se puede concluir que la ceniza volante 1 ayuda a la durabilidad del concreto.

Este comportamiento es atípico, la matriz de CHS generada por la reacción puzolánica no solo aumenta la resistencia si no vuelve mucho más impermeable la mezcla y esto mejora la durabilidad. Esta ceniza a pesar de que aumentó la resistencia hasta superar a la mezcla patrón, perjudicó de gran manera a la durabilidad. No se puede asegurar con certeza la razón por la cual se obtuvieron estos resultados, podría ser por las fases mineralógicas de la ceniza, la finura y la presencia de carbón o cloruros pero serían necesarios más estudios para confirmarlo.

Los resultados de durabilidad con la ceniza volante 2 fueron mejores que con la ceniza volante 1. Se puede observar en la Figura 35 que a los 56 días la carga pasada de la mezcla con 15% de reemplazo fue 4,710 C y para la mezcla con 25% de reemplazo fue 5,729 C. A los 90 días disminuyó hasta 1900 la de 15% y 2200 la de 25%, valores muy cercanos a la muestra patrón (1840). El mismo comportamiento se observa en el ensayo de penetración de agua a presión. A 90 días la profundidad de penetración de la mezcla con 15% de reemplazo disminuyó a 13 mm y la mezcla con 25% disminuyó a 9 mm, valores igual y menor que la mezcla patrón con 13 mm. Este era el comportamiento esperado, en este caso se cree que la ceniza aportó a la permeabilidad de la mezcla llenando vacíos por su finura y tamaño.

Los resultados de permeabilidad de las mezclas con cascarilla de arroz fueron muy buenos, la Figura 38 presenta que a los 56 días la mezcla con 15% de reemplazo llegó a 2210 C, valor muy cercano a la mezcla patrón (2110 C) y la mezcla con 25% a 1870 C, 12% menos que la muestra patrón. A los 90 días la mezcla con 15% disminuyó a 1305, un valor 30% menor que la mezcla patrón y considerado como “bajo” y la mezcla con 25% llegó a 979 C, un valor casi 50% menor que la mezcla patrón y considerado como muy bajo.

La Figura 39 muestra que a los 56 días con 15% de reemplazo se obtuvieron resultados altos en la prueba de penetración de agua a presión, con 15% de adición se obtuvo una profundidad máxima de 29 mm y con 25% 20 mm, mientras que la de la mezcla patrón fue de 15 mm, sin embargo, en la Figura 40 se puede observar que la profundidad promedio fue 16 y 14 respectivamente, valores más cercanos a la mezcla patrón, por lo que posiblemente la profundidad máxima fue un dato atípico en el ensayo. A los 90 días ya se obtuvo una profundidad máxima de penetración de 12 y 16 respectivamente, valores cercanos a los de la mezcla patrón con 13. Según la bibliografía la prueba de indicación eléctrica es más certera y confiable que la de penetración de agua a presión. Por lo que se concluye que el reemplazo de cemento con RHA no solo es posible, si no sería de gran ayuda para la durabilidad.

Con la ceniza de bagazo de caña se obtuvieron buenos resultados respecto a la durabilidad. Se puede observar en la Figura 41 que a los 56 días la muestra con 15% de reemplazo llegó 2730 C, un 30% más que la muestra patrón y la muestra con 25% de reemplazo llegó a los 2260 C, un 7% más que la mezcla patrón. A los 90 días se pudo notar una disminución muy notoria, alcanzando los 1756 C y 1532 C, lo que significa 5% y 17% menos que la muestra patrón.

Con la prueba de penetración de agua a presión se pudo observar el mismo comportamiento, a los 56 días se obtuvo 13 mm de profundidad máxima con la mezcla con reemplazo del 15% y 15 mm con la muestra con 25% de reemplazo, mientras que con la patrón se tuvo 15 mm y a los 90 días se obtuvo 16 mm y 9 mm respectivamente mientras que con la patrón 13 mm. Con esta adición se puede confirmar lo que dice la teoría de que el % de reemplazo es inversamente proporcional a la permeabilidad de la mezcla, mientras mayor sea el porcentaje, menor será esta.

E. Factibilidad de uso de los MSC en mezclas de concreto

La ceniza volante 1 mostró una excelente composición química y mineralógica y una alta actividad puzolánica. Con las pruebas de desarrollo de resistencia se comprobó que influye positivamente a la resistencia de las mezclas de concreto, sin embargo, impactó de manera negativa a la durabilidad de este. Para poder utilizar esta ceniza como reemplazo parcial de cemento a nivel industrial se tendría que implementar algunas operaciones extras en los procesos. Una posibilidad sería: agregar un precipitador electrostático en la salida de gases de combustión de la caldera en la termoeléctrica para recuperar la ceniza, transportarla por medio de sistemas neumáticos a un clasificador de aire o ciclón para separarla por tamaño de partícula, enviar la ceniza fina a un silo de almacenamiento y la ceniza menos fina a un sistema de molienda para aumentar su actividad puzolánica y así corregir su influencia negativa en las mezclas de concreto y aumentar su eficiencia en cuanto a resistencia. Otra alternativa sería agregar un tratamiento de lixiviación para eliminar cloruros. Ambas alternativas implicarían una inversión económica alta y un aumento en el consumo de energía y recursos. Posiblemente el impacto medio ambiental terminaría siendo mayor y la implementación del tratamiento una pérdida para la termoeléctrica.

La ceniza volante 2 definitivamente no se puede considerar para la aplicación en concreto, ya que su influencia tanto en la resistencia como en la durabilidad es negativa. A diferencia de la ceniza volante 1, el problema tendría que abordarse desde la materia prima, origen, calidad, tipo de carbón, etc. y los tiempos y temperaturas de combustión. Para ambas cenizas se recomienda ampliar la investigación en otros campos, posiblemente se podría realizar un tratamiento para utilizarlo como geo polímero o utilizarlo como fertilizante en el sector agricultor.

La ceniza de cascarilla de arroz, desde un punto de vista medio ambiental y técnico es el material más interesante y valioso para ampliar la investigación. Representa un gran problema para la arrocera ya que todavía no ha encontrado ninguna aplicación para esta, actualmente almacenan toda la ceniza en pilas y pagan por deshacerse de ella ya que no

tienen suficiente espacio. Se comprobó que esta ceniza influye positivamente en las propiedades mecánicas y durables de las mezclas de concreto, alcanzando valores a 90 días mejores que los de la mezcla patrón. Para poder escalarlo a nivel industrial inicialmente la arrocera tendría que modificar sus tiempos y temperaturas de combustión, para mejorar la composición química y mineralógica de la ceniza, mejorar su actividad puzolánica y aumentar su valor. Además, tendría que implementar un sistema de transporte para movilizar la ceniza de los sistemas de recuperación a camiones y estos transportarlo directo a las concreteras o constructoras.

Las concreteras tendrían que invertir en un molino de bolas para disminuir el tamaño de partícula, aumentar la actividad hidráulica y obtener mejores resultados en las mezclas finales. Considerando esto se recomendaría ampliar la investigación a un nivel industrial y evaluar cómo se comporta la ceniza en productos de concreto o estructuras. Luego hacer un estudio de factibilidad económica y de precio/beneficio.

La ceniza de bagazo de caña influyó de manera negativa en la resistencia a la compresión de las mezclas, sin embargo, en la durabilidad aportó de manera muy positiva. Una opción interesante sería evaluar la posibilidad de utilizar la ceniza como reemplazo de arena y no como reemplazo de cemento en las mezclas como método de eliminación de estos residuos, aunque es importante tomar en cuenta que los ingenios ya la utilizan como fertilizante en los campos de caña.

IX. CONCLUSIONES

- 1) Se confirmó que el humo de sílice tiene efectos positivos en la resistencia y durabilidad del concreto, se determinó que el reemplazo máximo es 5%, superando la resistencia de la mezcla patrón en un 2% a 90 días y disminuyendo la permeabilidad del ion cloruro y agua a presión más de un 50%.
- 2) La ceniza volante correspondiente a la carboeléctrica #1 se puede clasificar como tipo F. A un nivel de reemplazo del 15% influyó positivamente en la resistencia mecánica de la mezcla, superando a la mezcla patrón a los 90 días en un 3%. En términos de durabilidad no se notó ningún efecto positivo. Un nivel de reemplazo de 25% perjudicó tanto a la resistencia como a la durabilidad.
- 3) La ceniza volante correspondiente a la carboeléctrica #2 no se puede clasificar como ceniza volante. El reemplazo parcial en 15% y 25% perjudicó a la mezcla tanto en resistencia como en durabilidad.
- 4) La ceniza de cascarilla de arroz se puede clasificar como una puzolana natural clase N. Un reemplazo del 15% influyó positivamente en la resistencia mecánica, alcanzando un 94% de la mezcla patrón a los 28 días y un 100% a los 90 días. Influyó positivamente en la durabilidad disminuyendo la permeabilidad del ion cloruro y agua a presión un 30%.
- 5) La ceniza de bagazo de caña se puede clasificar como una puzolana natural clase N. En términos de resistencia a la compresión no aportó nada y se mantuvo inerte hasta los 90 días. En términos de durabilidad se observaron resultados positivos.

X. RECOMENDACIONES

- 1) Hacer un análisis económico tomando en cuenta el manejo, transporte y tratamiento de los materiales ya que en esta investigación únicamente se evaluó la aplicación de materiales cementantes suplementarios desde un punto de vista técnico y ambiental. Se recomienda
- 2) Ampliar la investigación sobre la aplicación de ceniza de cascarilla de arroz y su influencia en las propiedades del concreto y escalarlo a un nivel industrial.
- 3) Evaluar la influencia en la resistencia y durabilidad de las mezclas de la ceniza de bagazo de caña recuperada directamente de las calderas para determinar si el efecto de la humedad es significativo.
- 4) Evaluar la influencia de la ceniza de bagazo de caña en las mezclas de concreto al utilizarla como reemplazo de arena y no de cemento.
- 5) Ampliar la investigación de la ceniza volante 1 y realizar ensayos de cloruros para evaluar si la presencia de estos afecta la durabilidad de las mezclas. Además, se podría evaluar un pretratamiento para mejorar la actividad hidráulica.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- ACI Committee E-701. (2013a). *Cementitious Materials for Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI Committee E-701. (2013b). *Chemical Admixtures for Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI Committee E-701. (2016). *Aggregates for Concrete*. American Concrete Institute.
- ASTM C 311. (2005). *Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete*. ASTM International.
- ASTM C618. (2003). *Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use in Concrete*. ASTM International.
- Bansal, G. (2007). *Concrete Technology*. Indian Railways Institute of Civil Engineering.
- Bapat, J. (2013). *Mineral Admixtures in Cement and Concrete*. Taylor & Francis Group.
- Bernal, A. (2012). *Proceso de Hidratacion*. <https://sites.google.com/site/cemyhor/el-cemento-portland-componentes/proceso-de-hidratacion>
- Bui, L., Chen, C., Hwang, C., & Wu, W. (s. f.). Effect of silica forms in rice husk ash on the properties of concrete. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials.*, 19(3), 252-258.
- Cengicaña. (2021). *Producción de Azúcar de Guatemala*. <https://cengicana.org/>
- CNEE. (2021). *Monitoreo Mensual de Mercado Eléctrico*. <https://www.cnee.gob.gt/wp/monitoreo-mensual-de-mercado-electrico-nacional-2020/>
- Cordeiro, G. C., Toledo, R. D., Tavares, L. M., & Fairbairn, E. M. R. (2012). Experimental characterization of binary and ternary concretes containing ultrafine residual rice

- husk and sugar cane bagasse ashes. *Construction and Building Materials*, 29, 641-646.
- Durastani, C., & Moretti, L. (2020). Environmental Impacts of Cement Production: A Statical Analysis. *Applied Sciences*, 10(2812), 1-25.
- Giatec Scientific Inc. (2017). *The history of Concrete*. Giatec. <https://www.giatecscientific.com/education/the-history-of-concrete/>
- Gutierrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia.
- INCYT. (2018). *Perfi Energético de Guatemala*. Universidad Rafael Landivar. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>
- Jalal, M., Pouladkhan, A., Harandi, O., & Jafari, D. (2015). Comparative study on effects of Class F fly ash, nano silica and silica fume on properties of high performance self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 94, 90-104.
- Monteagudo, S. (2014). *Estudio Microestructural y de los Procesos de Hidratación de Cementos con Adiciones* [Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.
- NTG 41003 h6. (2013). *Método de ensayo. Determinación de la finura del cemento hidráulico usando un tamiz de 45mm (No. 325)*. COGUANOR.
- NTG 41017 h1. (2017). *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. COGUANOR.
- NTG 41017 h4. (s. f.). *Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico*. COGUANOR.
- NTG 41017 h7. (2015). *Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión*. COGUANOR.

- NTG 41017 h41. (2018). *Método de ensayo para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro*. COGUANOR.
- NTG 41017 h42. (2018). *Método de ensayo para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido*. COGUANOR.
- NTG 41017h5. (s. f.). *Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto*. COGUANOR.
- Portugal, P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. YURA S.A.
- Ríos-Parada, V., Jiménez-Quero, V., Valdez-Tamez, P., & Montes-García, P. (2017). *Characterization and use of an untreated MExican sugarcane bagasse ash as supplementary material for the preparation of ternary concretes*. 157, 83-95.
- Silva, Y., & Delvasto, S. (2013). Concreto Autocompactante con diferentes niveles de ceniza volante y escoria de combustión de carbón. *Revista Colombiana de Materiales*, 5, 1-9.
- Srinivasreddy, A., McCarthy, T., & Lume, E. (s. f.). Effect of Rice Husk Ash on workability and strength of concrete. *26th Biennial Concrete Institute of Australia's National Conference (Concrete 2013)*, 1-10.
- Taylor, P., Van Dam, T., Sutter, L., & Fick, G. (2019). *Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State of the Practice Manual*. National Concrete Pavement Technology Center.
- Torres, J., Mejía, R., & Valderrama, C. (2011). Características de desempeño de un concreto adicionado con cenizas volante de alto nivel de inquemados. *Ingeniería e Investigación*, 31(1), 39-46.

XII. ANEXOS

A. Difractogramas de rayos X

Figura 10. Difracción de rayos X ceniza volante 1.

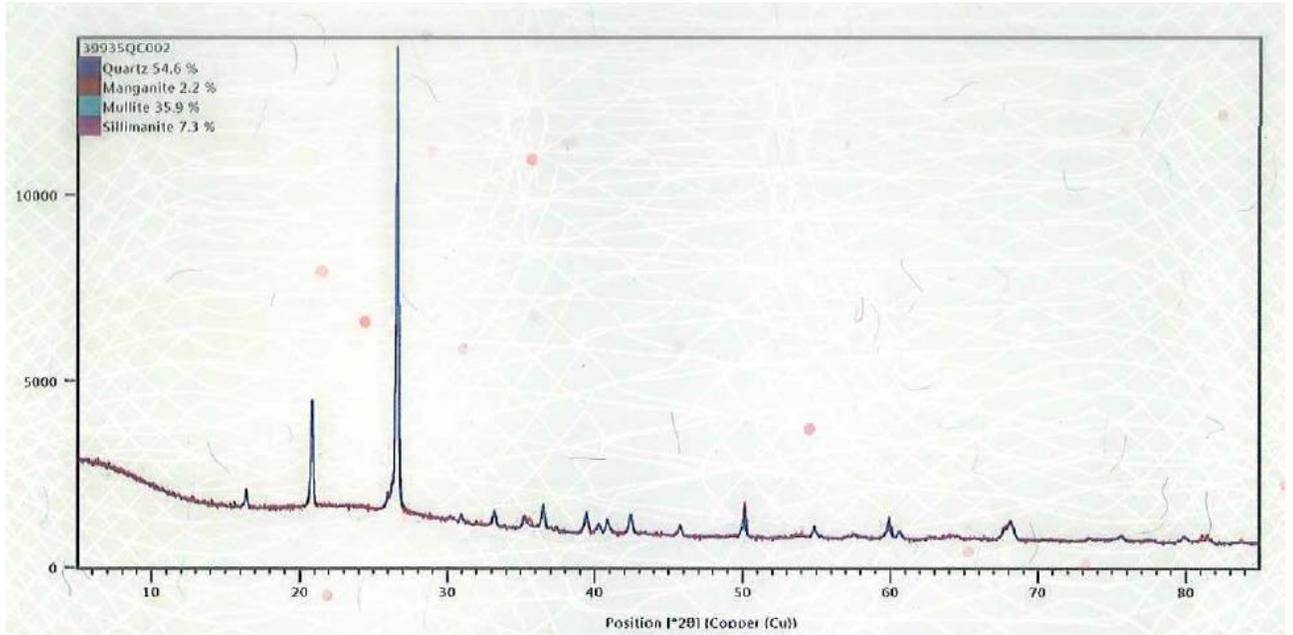


Figura 11. Difracción de rayos X ceniza volante 2.

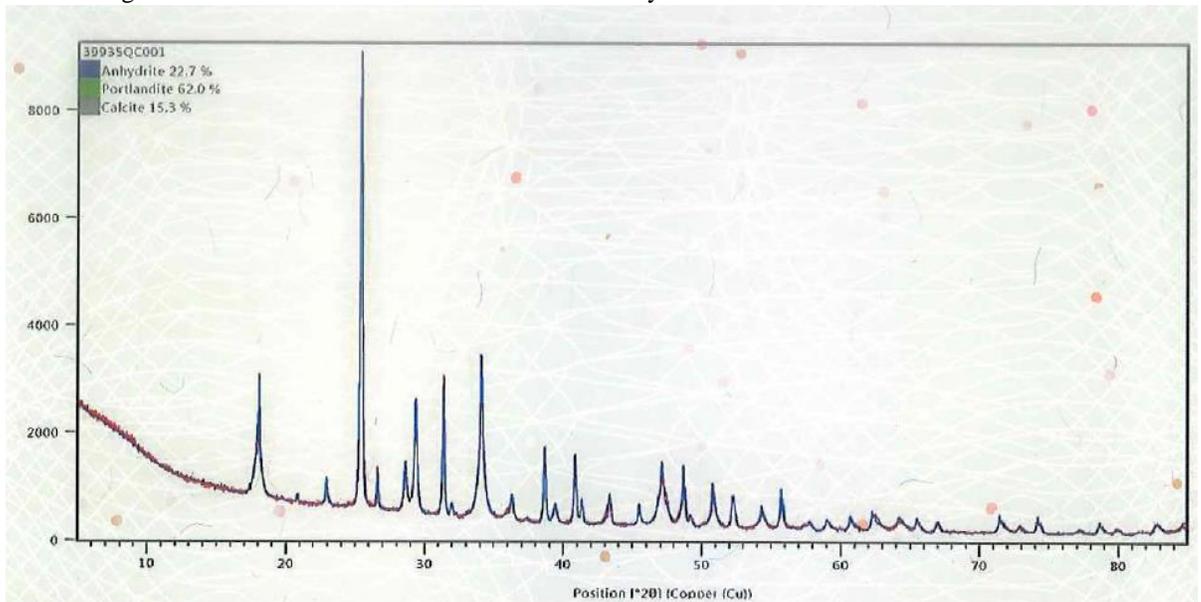


Figura 12. Difracción de rayos X ceniza de cascarilla de arroz.

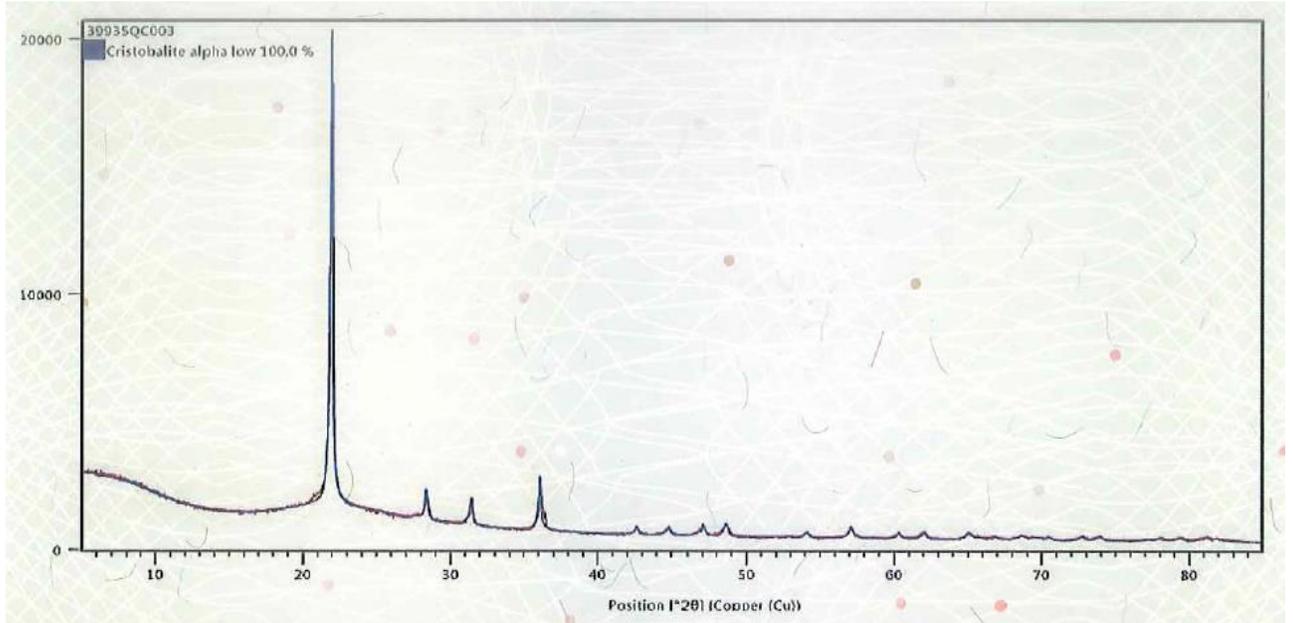
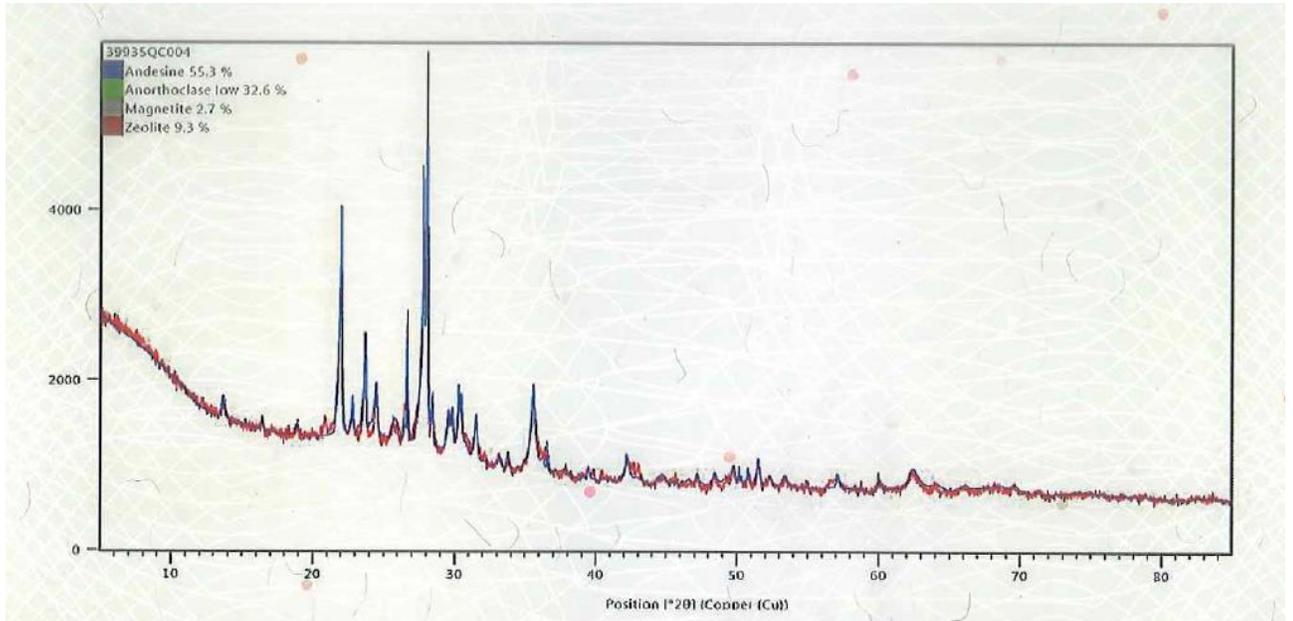


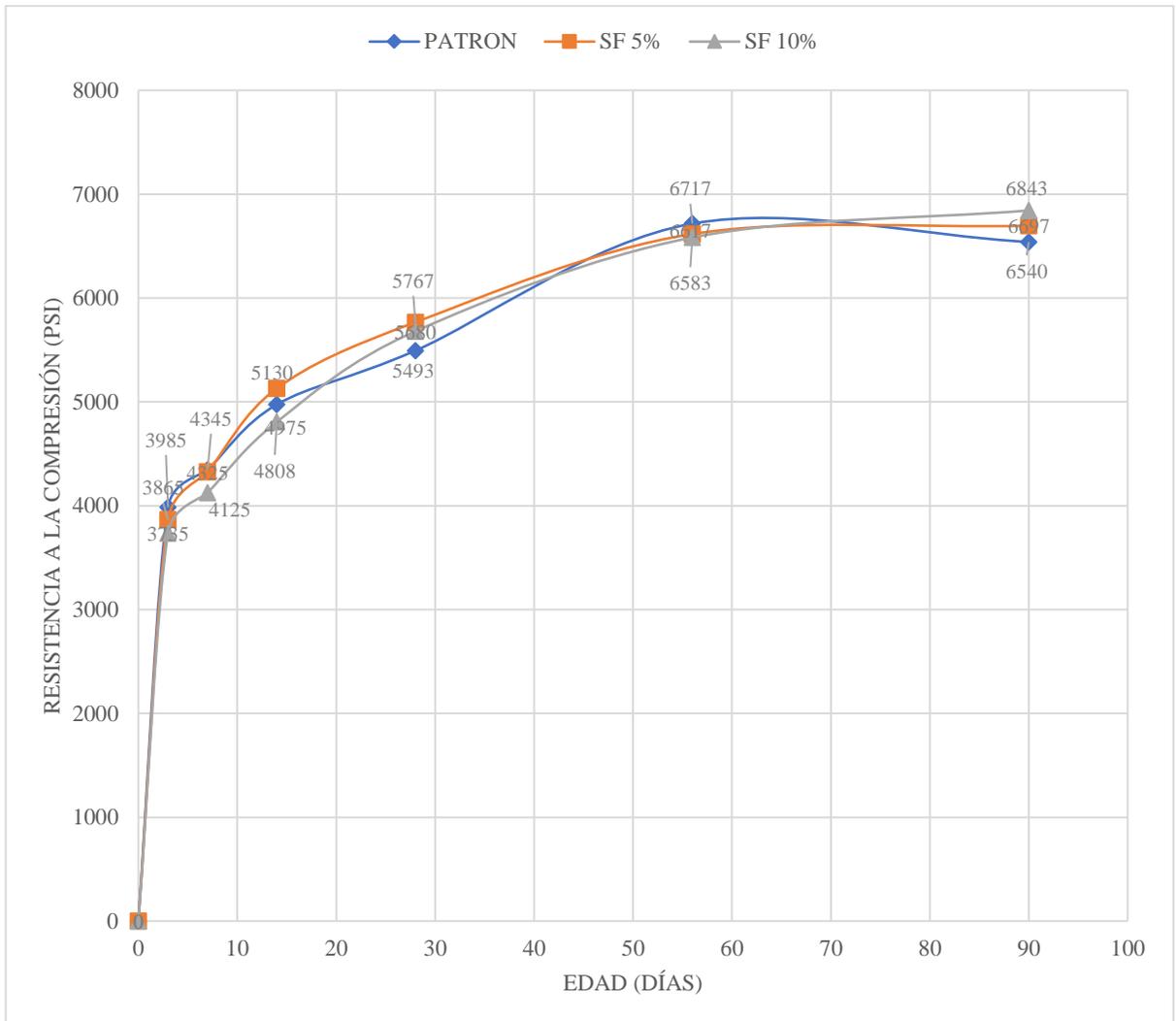
Figura 13. Difracción de rayos X ceniza de bagazo de caña.



B. Respaldo análisis resultados

1. Humo de sílice

Figura 14. Desarrollo resistencia a la compresión con la edad mezcla patrón versus mezclas con humo de sílice.

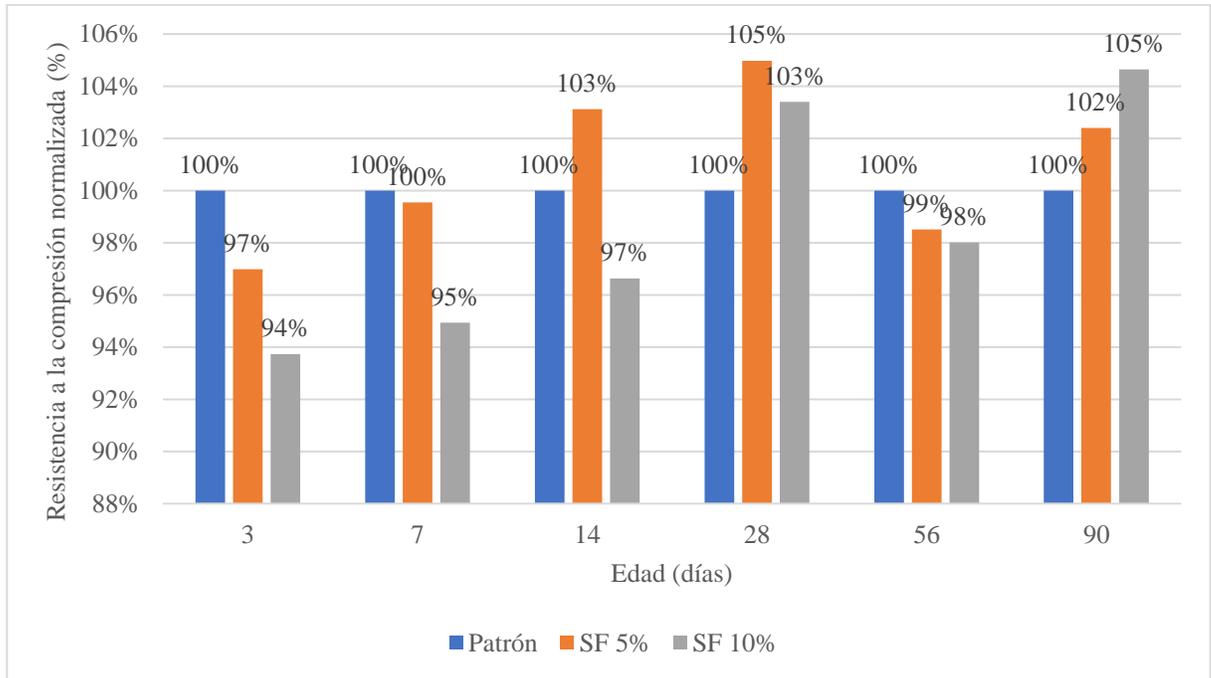


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Velocidad de movimiento de la carga aplicada correspondiente a 0.25 ± 0.05 MPa/S.

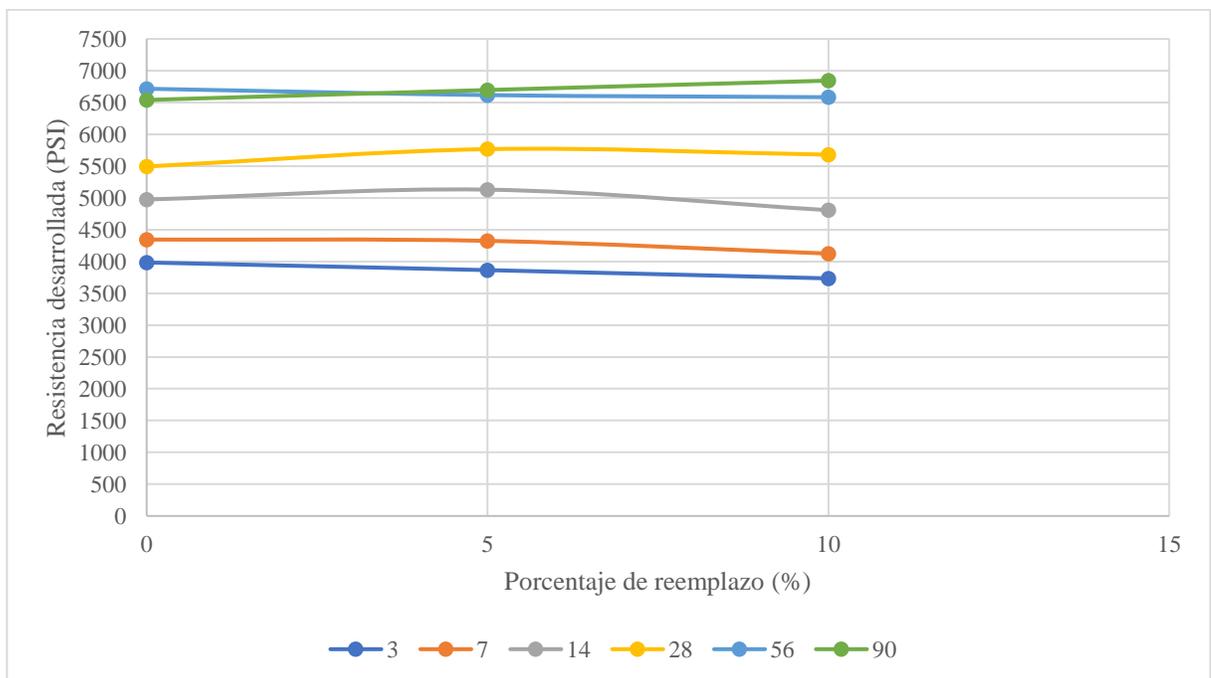
*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 15. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con humo de sílice.



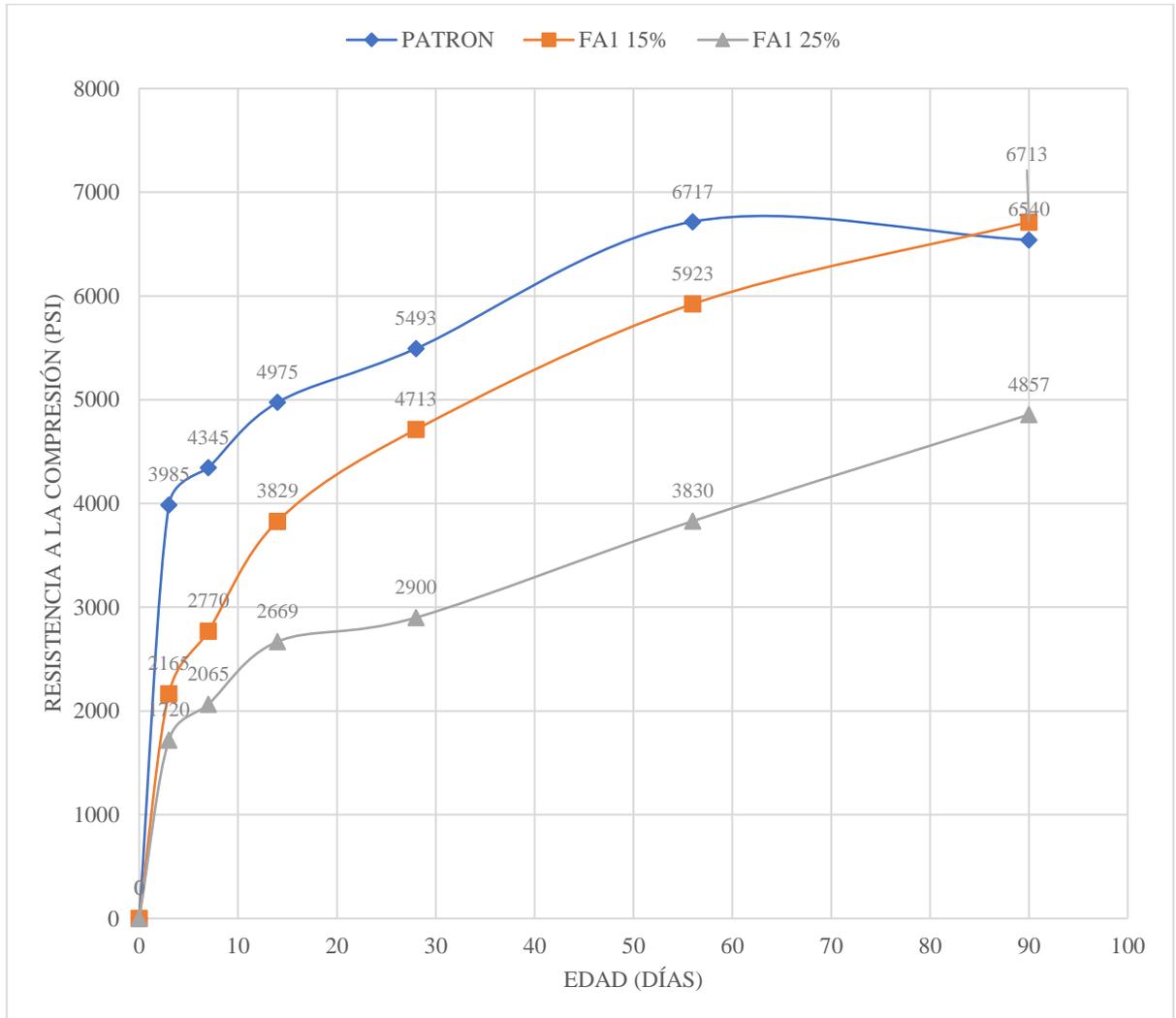
*Resistencia alcanza por la muestra sobre resistencia mezcla patrón.

Figura 16. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por humo de sílice.



2. Ceniza Volante 1

Figura 17. Desarrollo resistencia a la compresión mezcla patrón versus mezclas con ceniza volante 1.

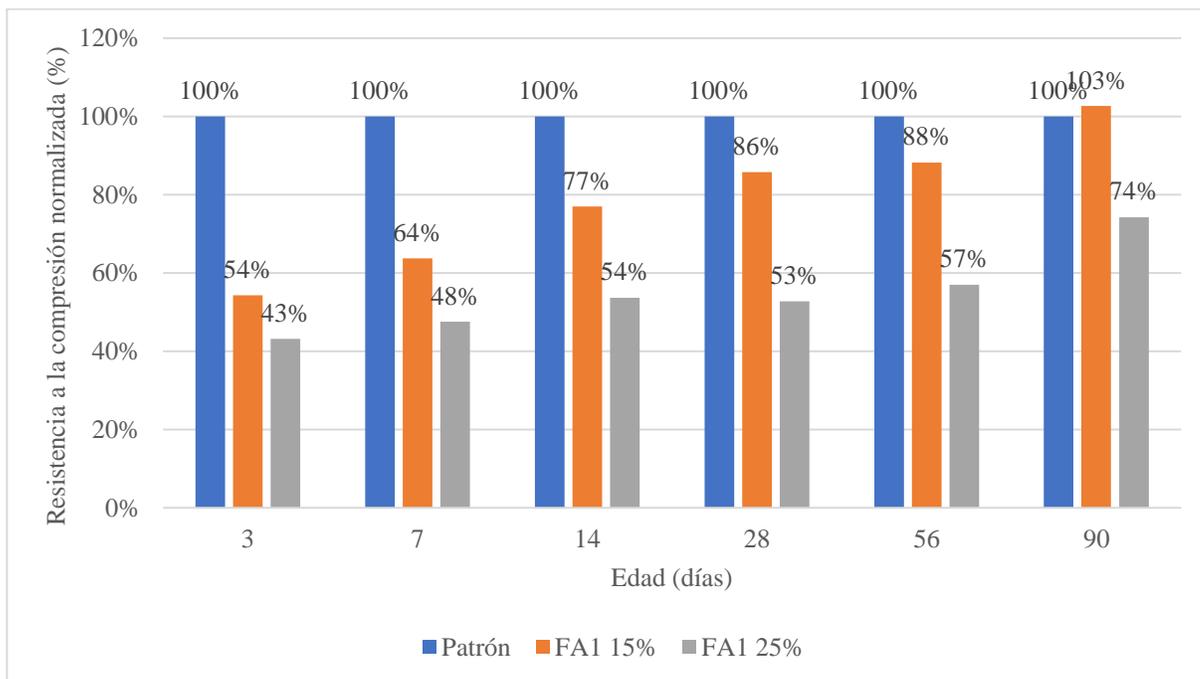


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Velocidad de movimiento de la carga aplicada correspondiente a 0.25 ± 0.05 MPa/S.

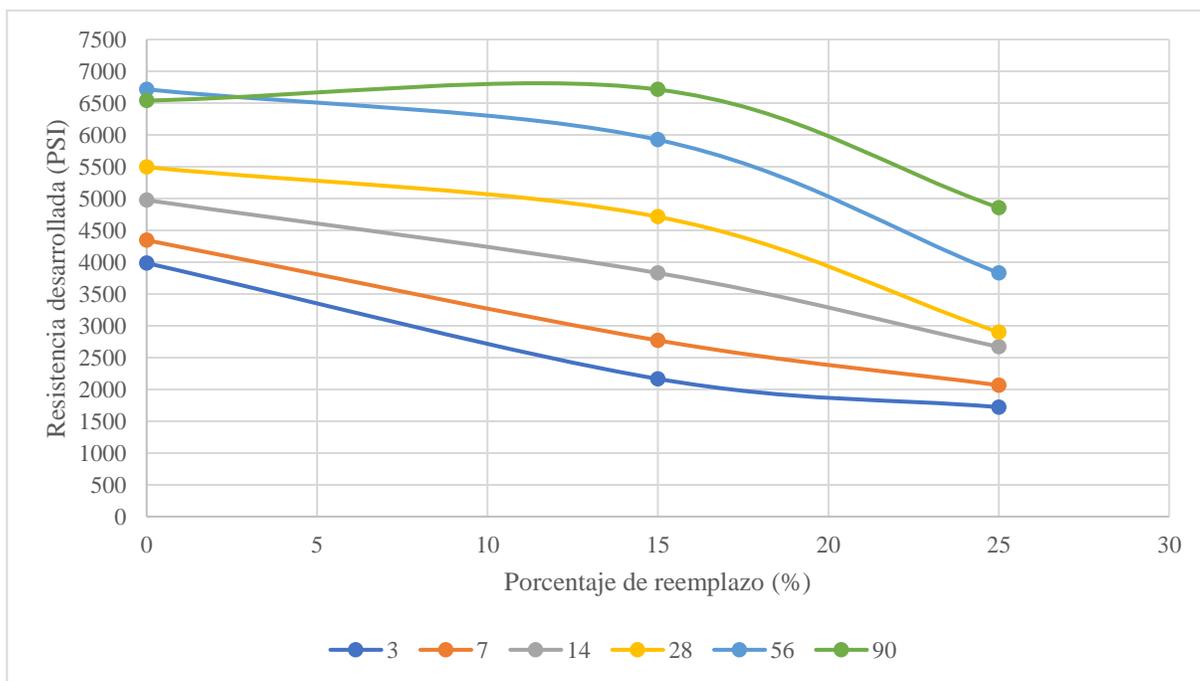
*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 18. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con ceniza volante 1.



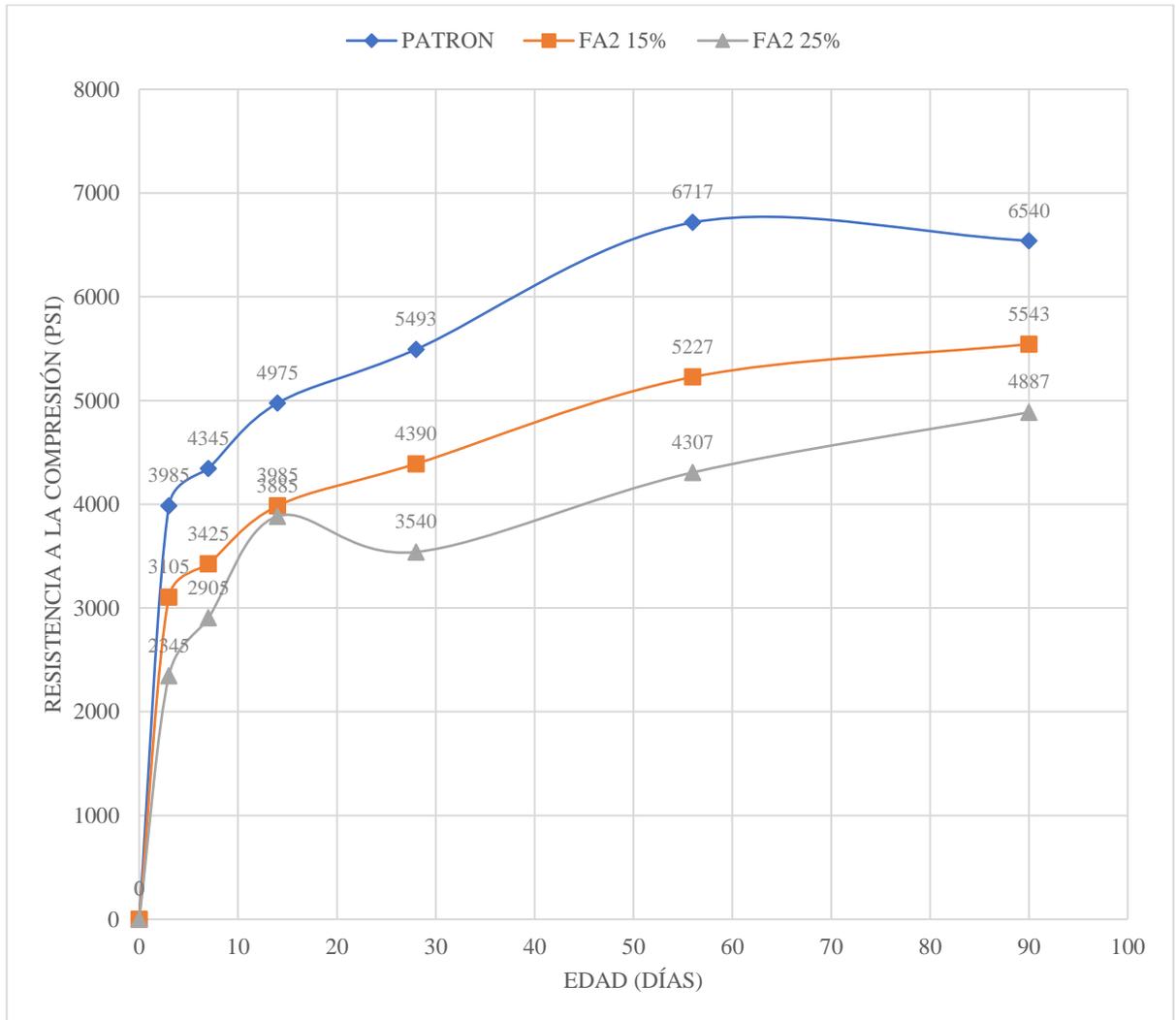
*Resistencia alcanza por la muestra sobre resistencia mezcla patrón.

Figura 19. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por ceniza volante 1.



3. Ceniza Volante 2

Figura 20. Desarrollo resistencia a la compresión mezcla patrón versus mezclas con ceniza volante 2.

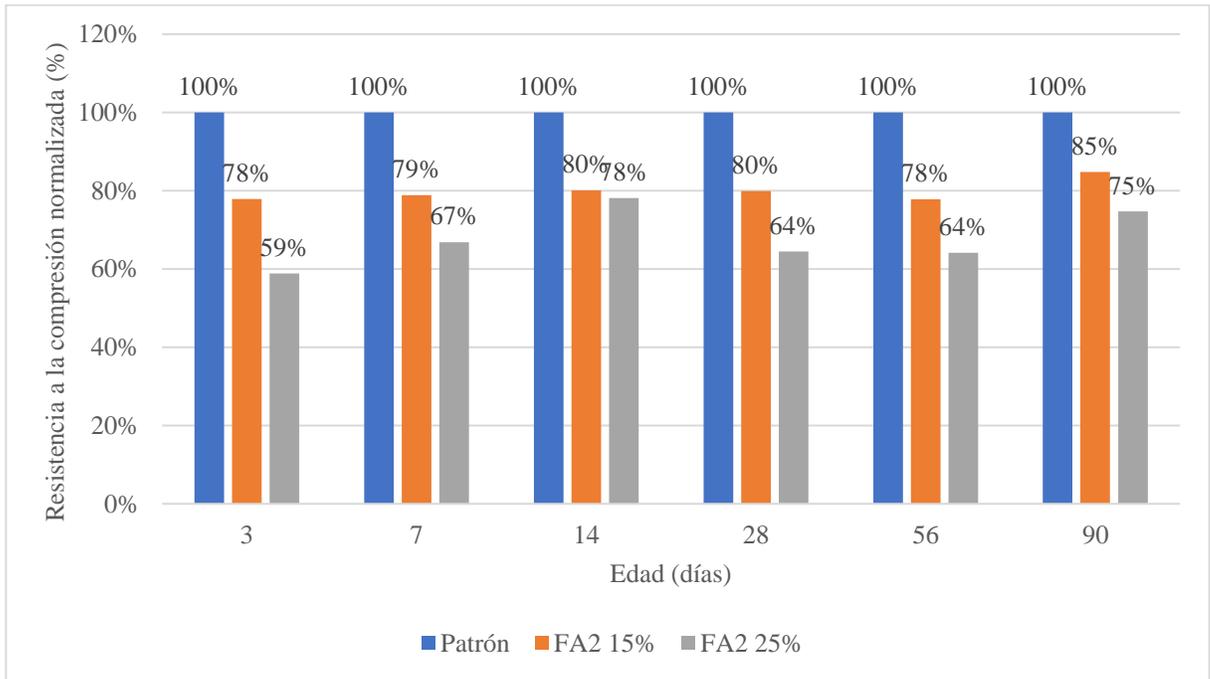


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Velocidad de movimiento de la carga aplicada correspondiente a 0.25 ± 0.05 MPa/S.

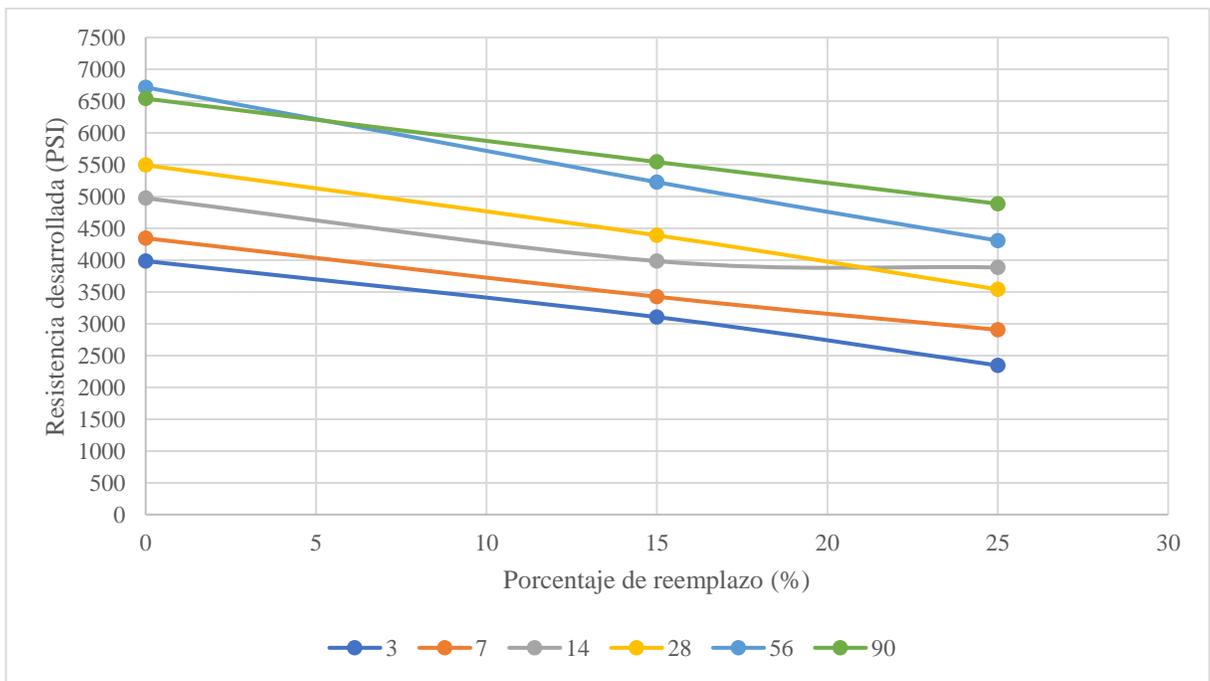
*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 21. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con ceniza volante 2.



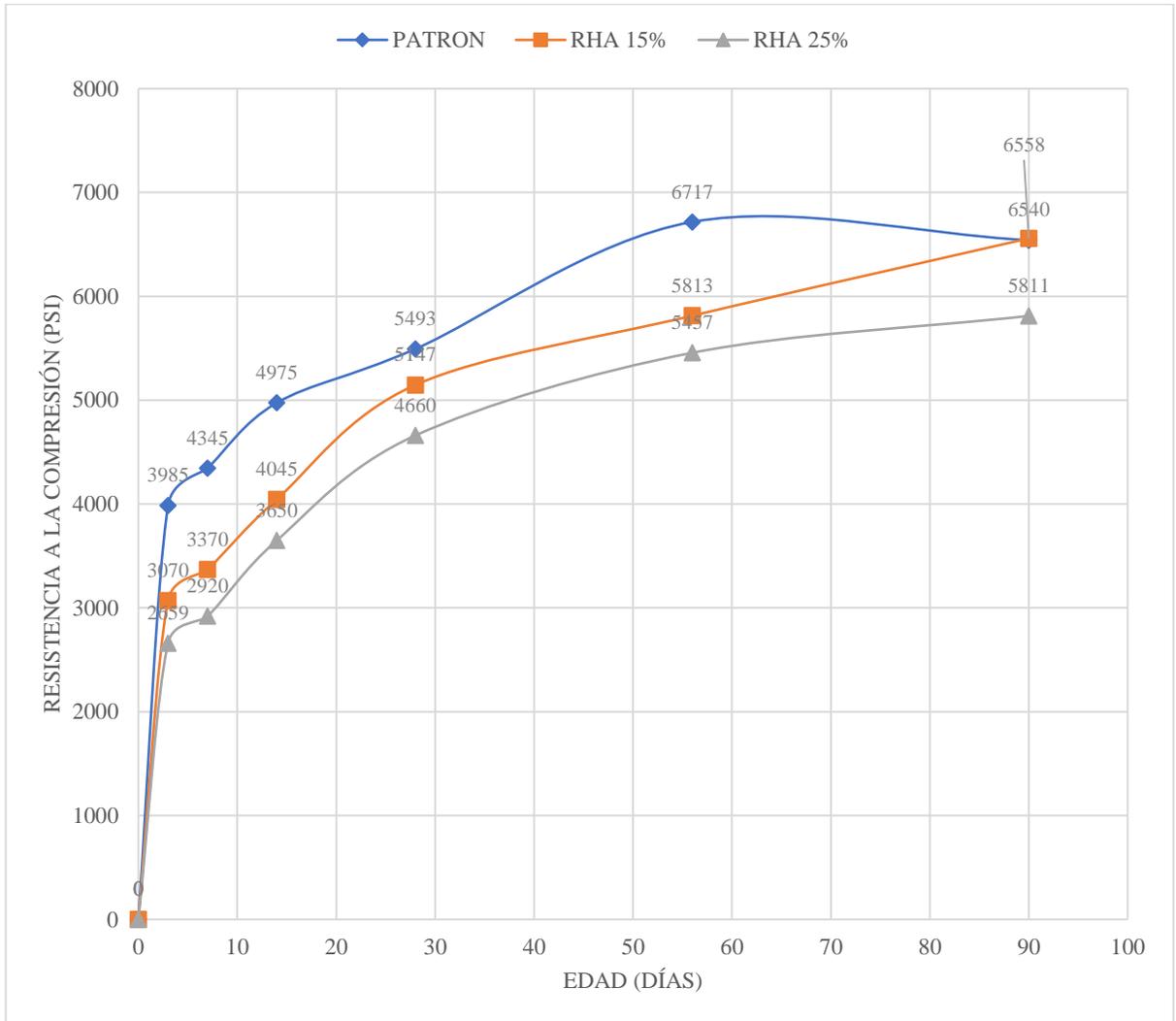
*Resistencia alcanza por la muestra sobre resistencia mezcla patrón.

Figura 22. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por ceniza volante 2.



4. Cascarilla de arroz

Figura 23. Desarrollo resistencia a la compresión mezcla patrón versus mezclas con ceniza de cascarilla de arroz.

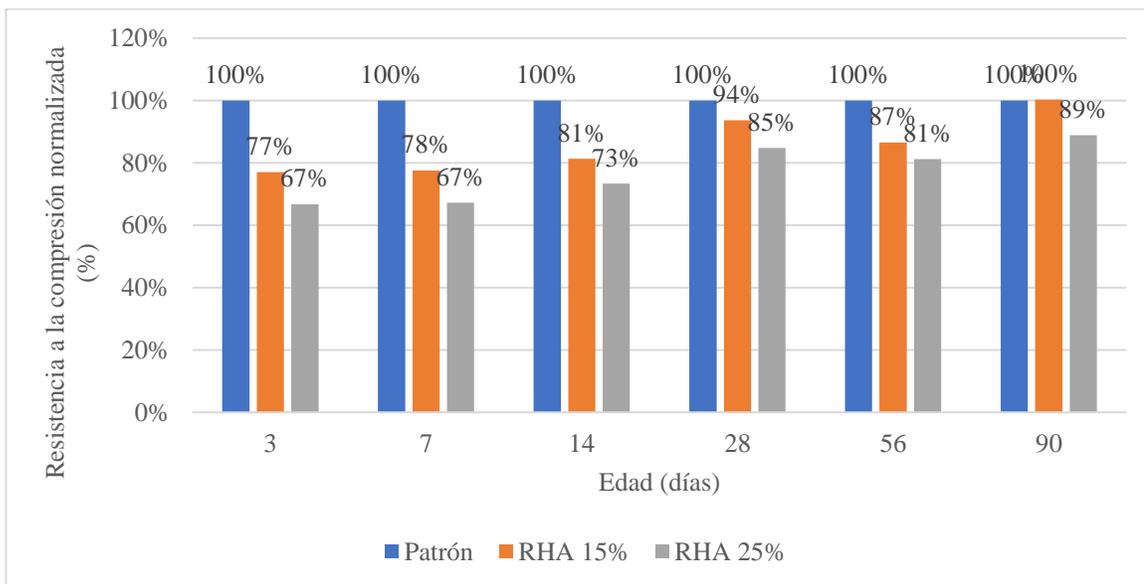


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Velocidad de movimiento de la carga aplicada correspondiente a 0.25 ± 0.05 MPa/S.

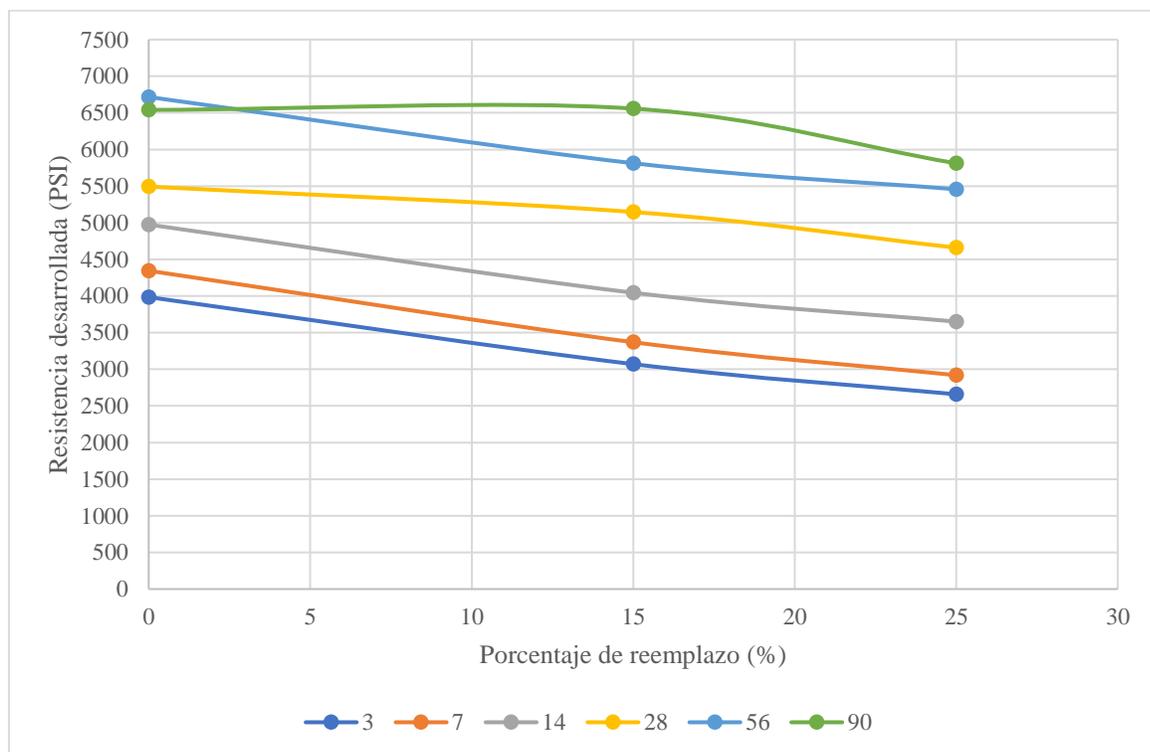
*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 24. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con ceniza cascarilla de arroz.



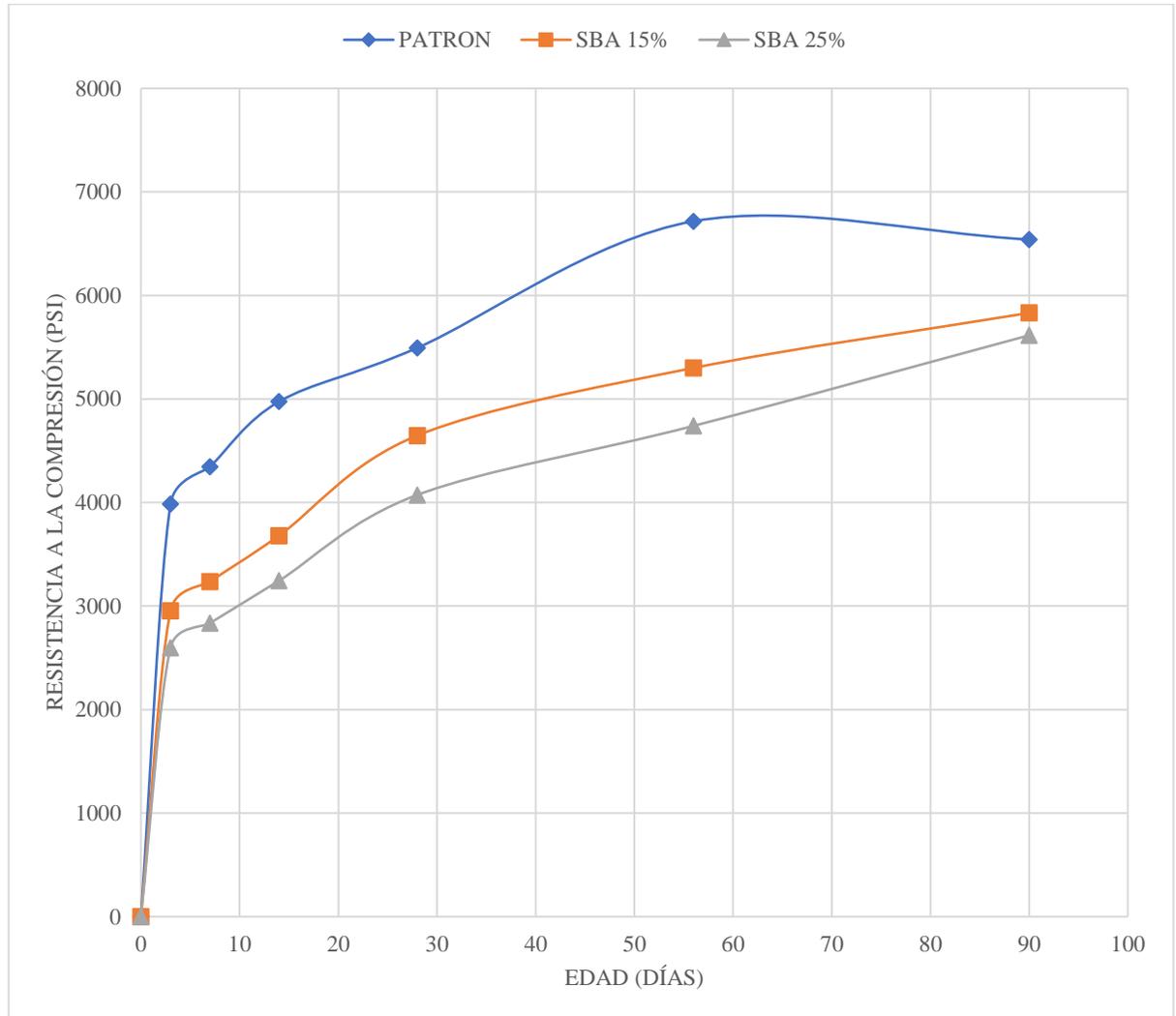
*Resistencia alcanza por la muestra sobre resistencia mezcla patrón.

Figura 25. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por ceniza de cascarilla de arroz.



5. Ceniza de bagazo de caña

Figura 26. Desarrollo resistencia a la compresión mezcla patrón versus mezclas con ceniza de bagazo de caña.

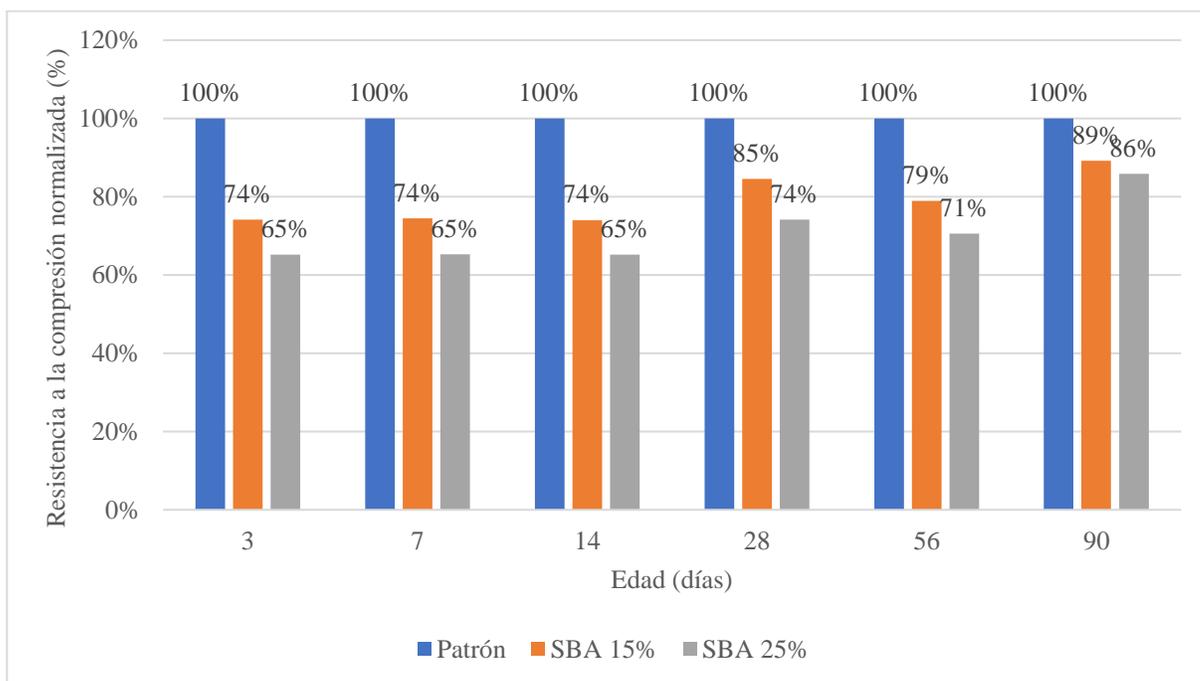


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Velocidad de movimiento de la carga aplicada correspondiente a 0.25 ± 0.05 MPa/S.

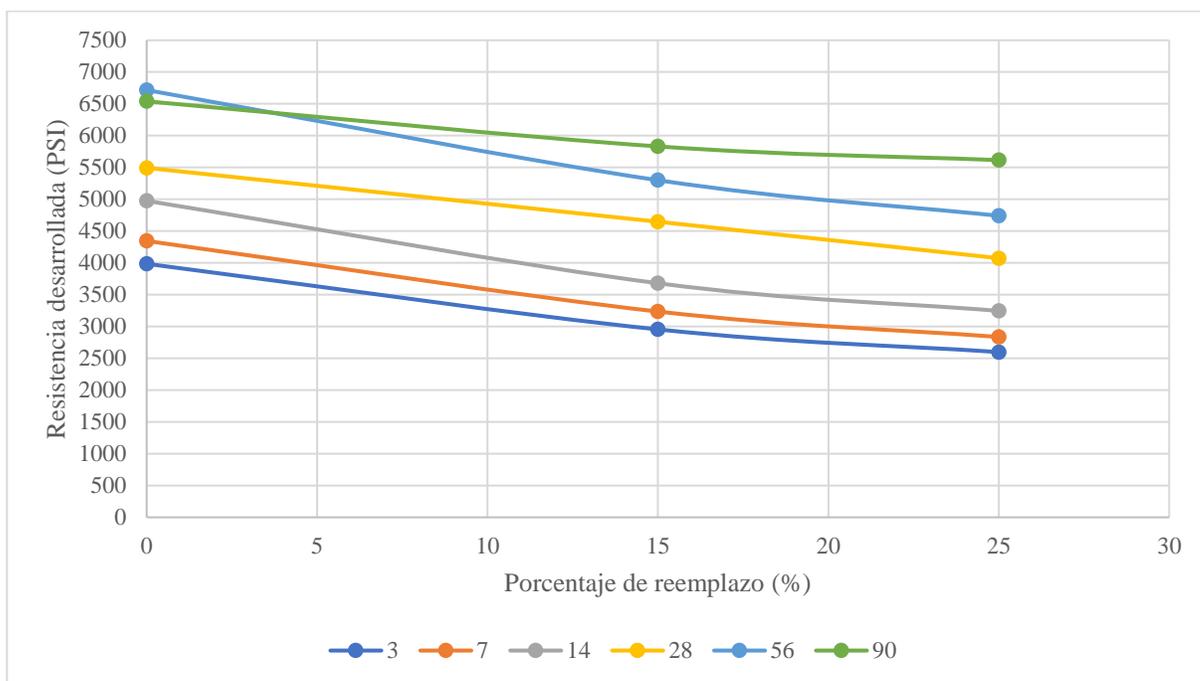
*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 27. Resistencia normalizada por edades, comparación muestra patrón y mezclas con ceniza de bagazo de caña.



*Resistencia alcanza por la muestra sobre resistencia mezcla patrón.

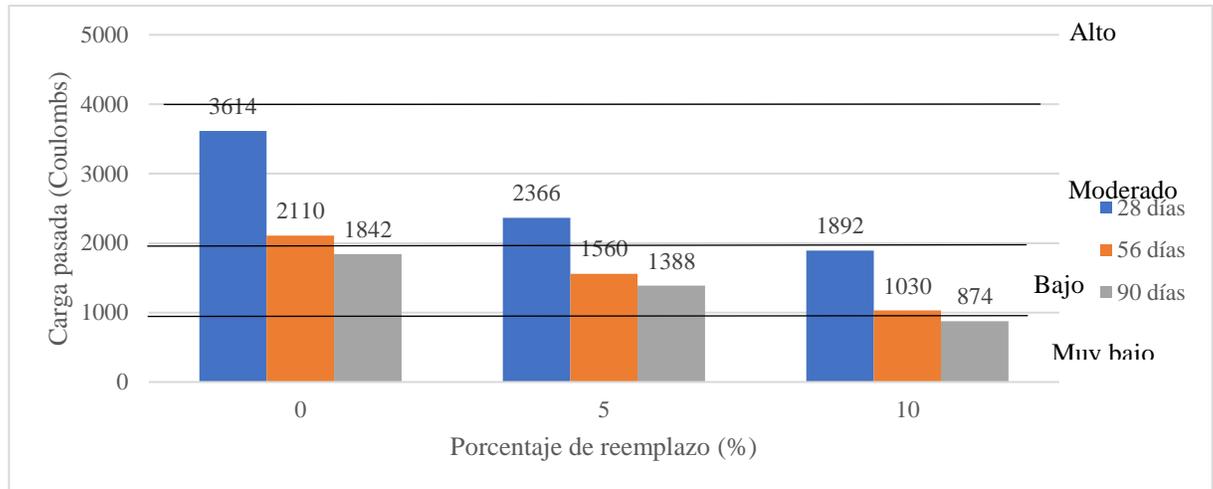
Figura 28. Resistencia alcanzada a diferentes edades según nivel de reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña.



C. Durabilidad de las mezclas

1. Humo de sílice

Figura 29. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con humo de sílice.

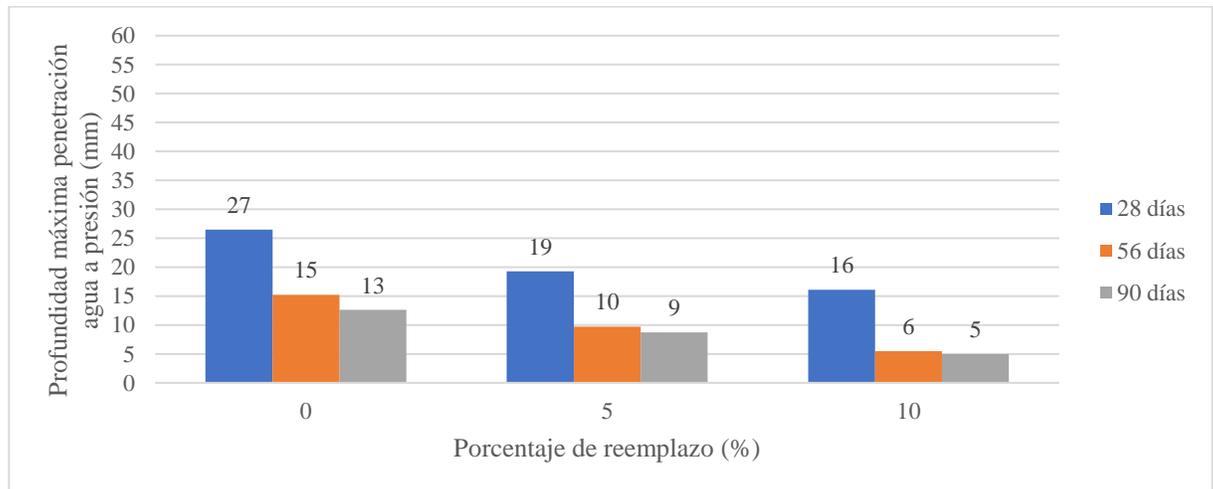


* Ensayos realizados con secciones de 50 mm de espesor de especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Diferencia de potencial eléctrico de 60 V de corriente por 6 horas.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 30. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con humo de sílice.

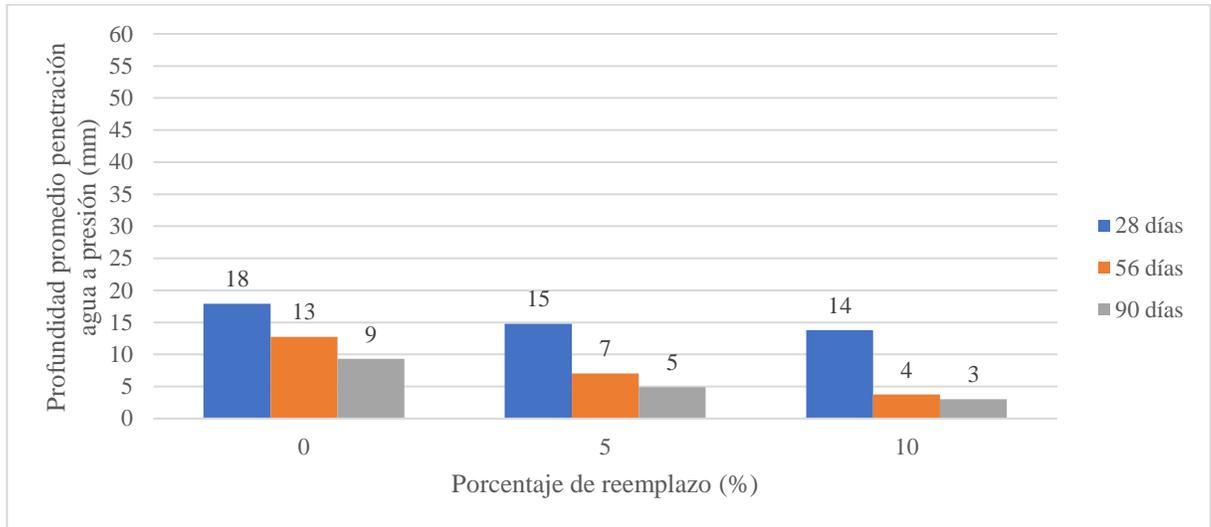


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 31. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con humo de sílice.



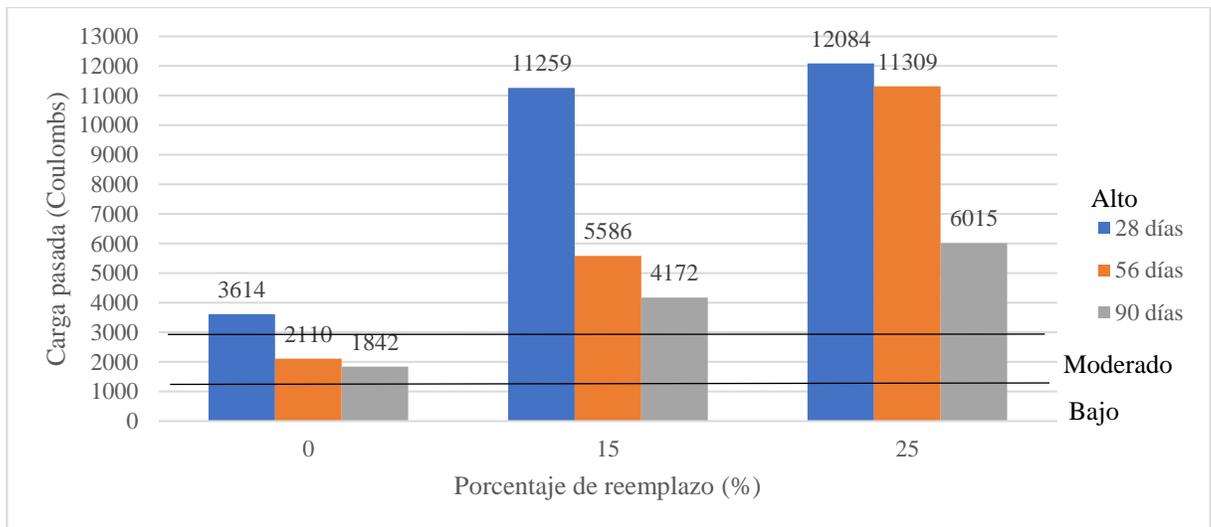
* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizados por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

2. Ceniza volante 1

Figura 32. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 1.

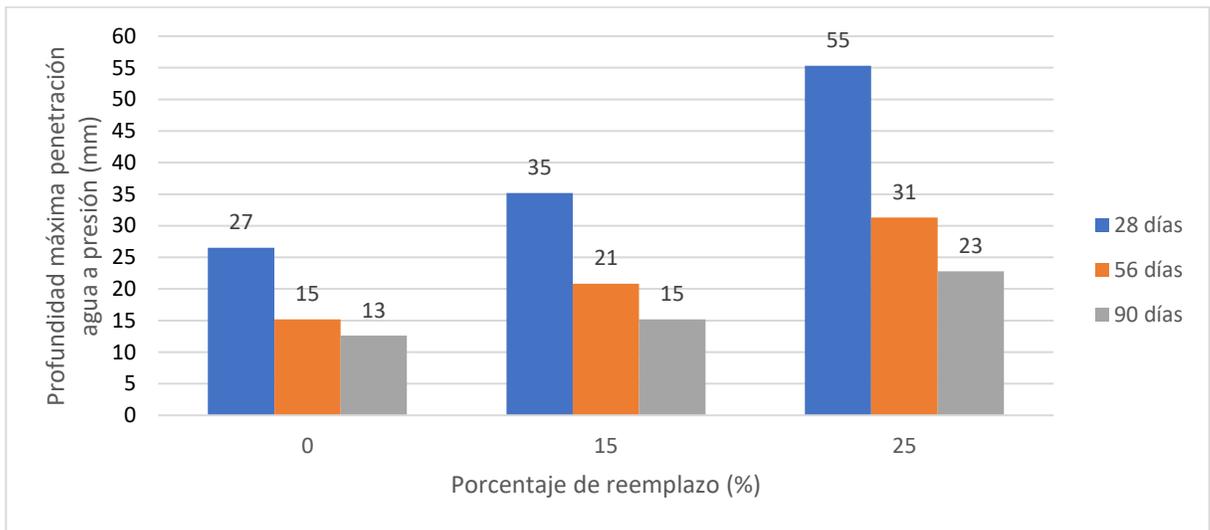


* Ensayos realizados con secciones de 50 mm de espesor de especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Diferencia de potencial eléctrico de 60 V de corriente por 6 horas.

*** Ensayos realizados por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 33. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 1.

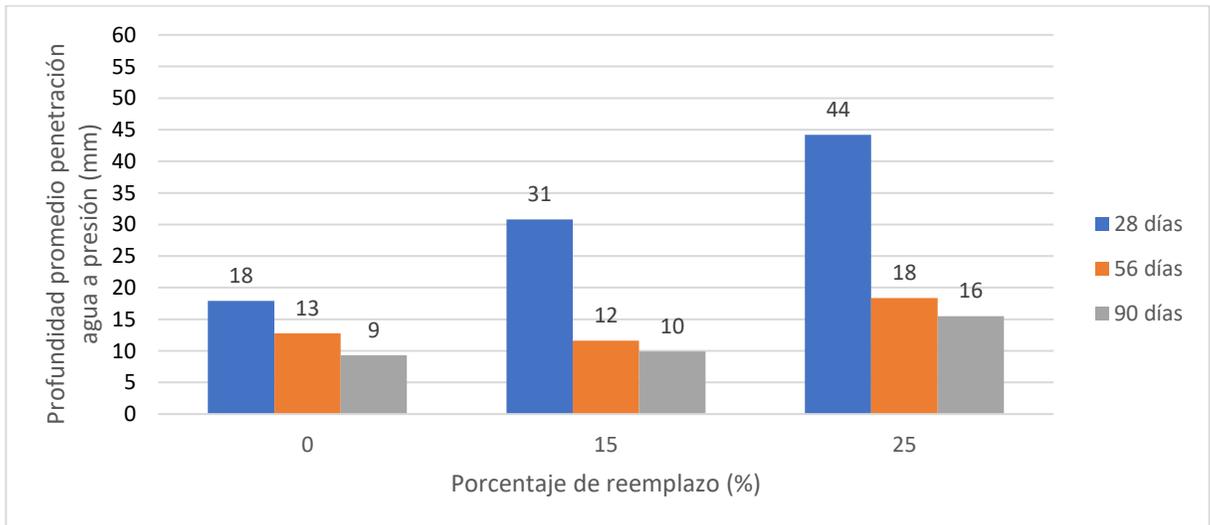


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 34. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 1.



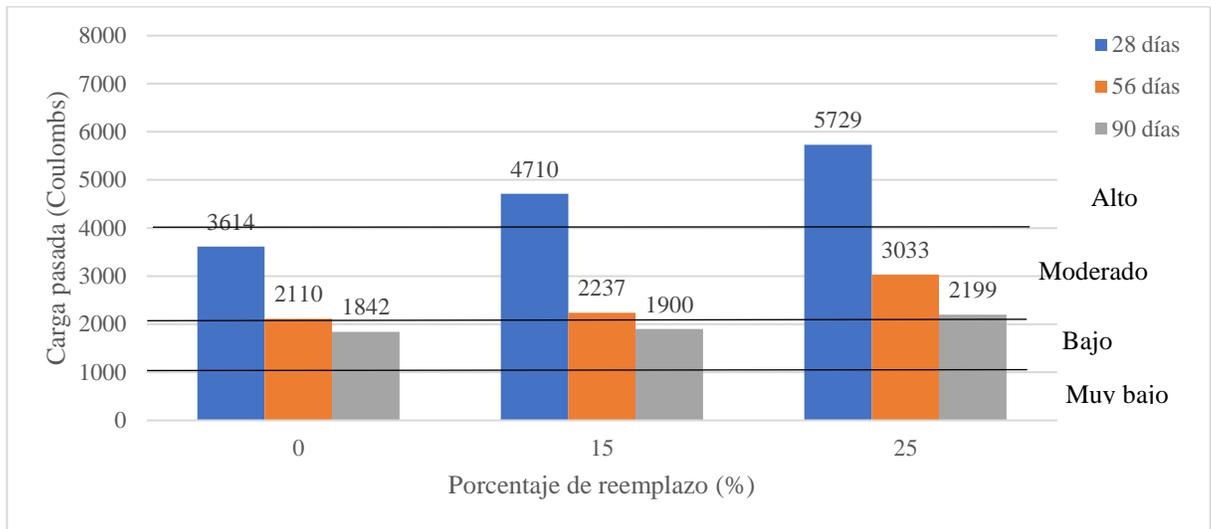
* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

3. Ceniza volante 2

Figura 35. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo cemento con ceniza volante 2.

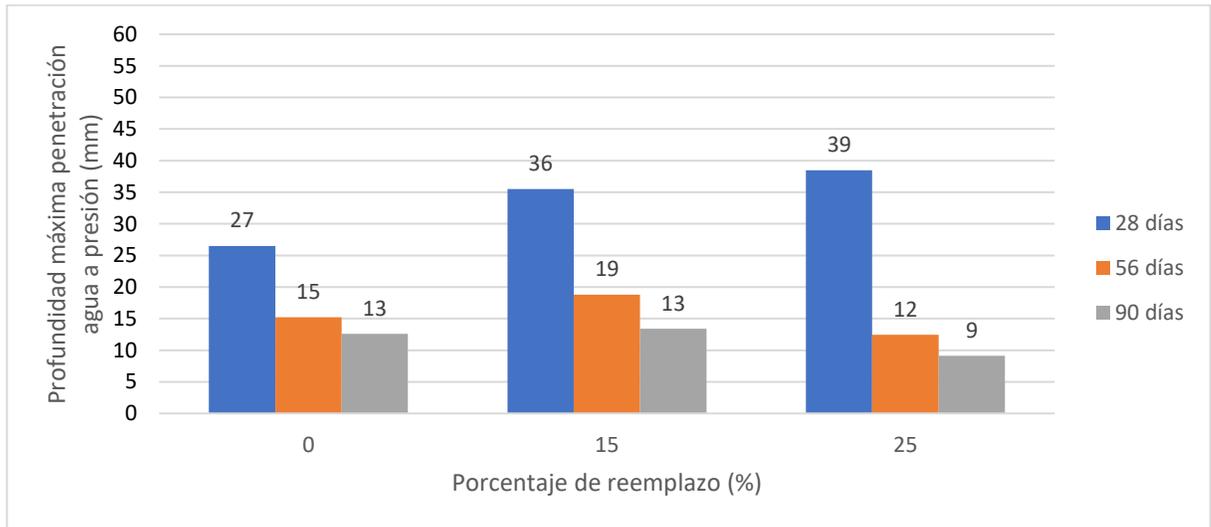


* Ensayos realizados con secciones de 50 mm de espesor de especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Diferencia de potencial eléctrico de 60 V de corriente por 6 horas.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 36. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 2.

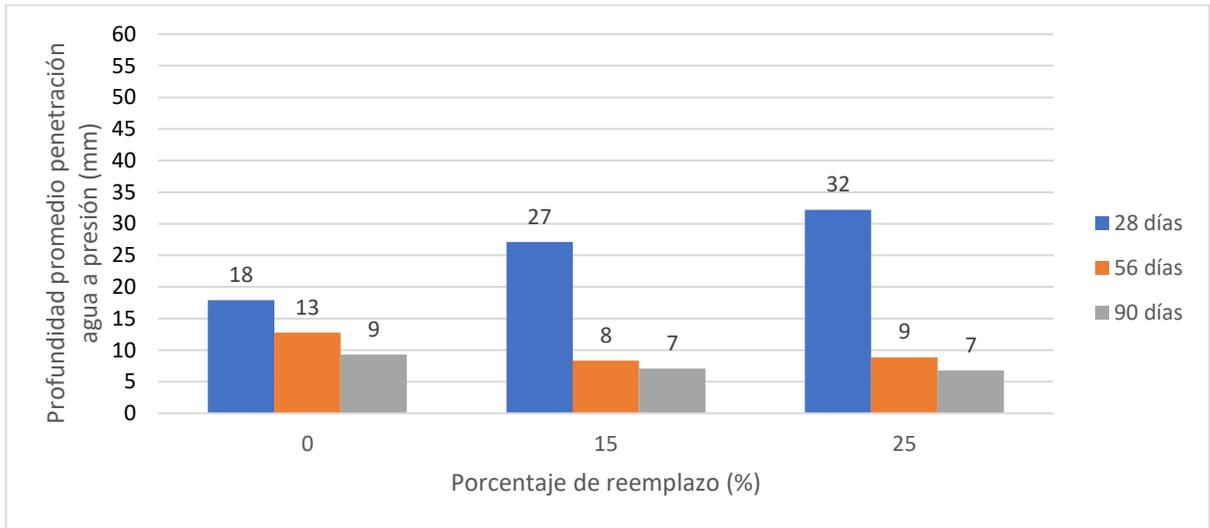


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 37. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza volante 2.



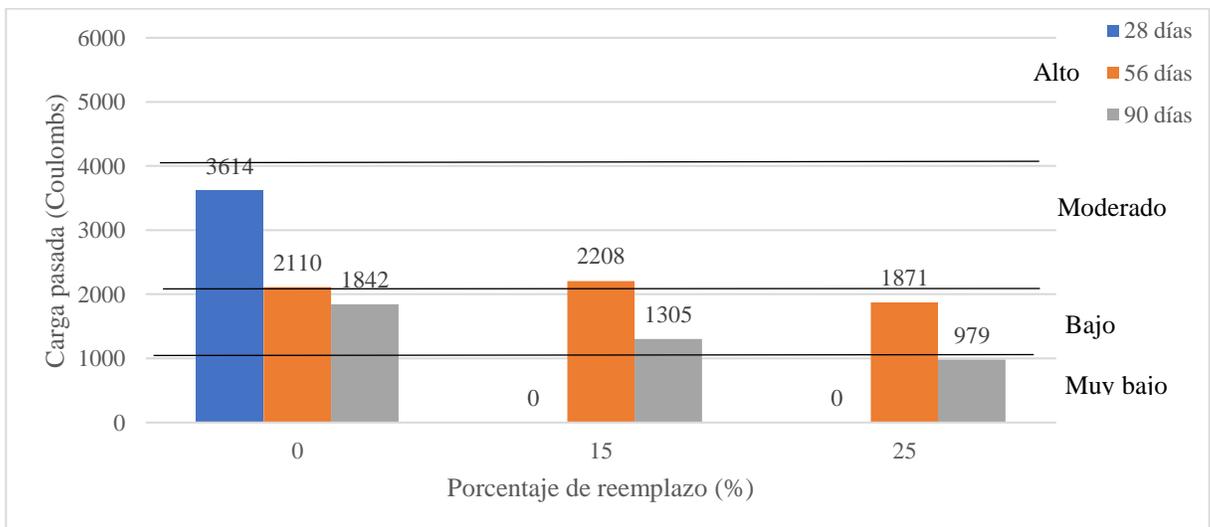
* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

4. Ceniza de cascarilla de arroz

Figura 38. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de cascarilla de arroz.

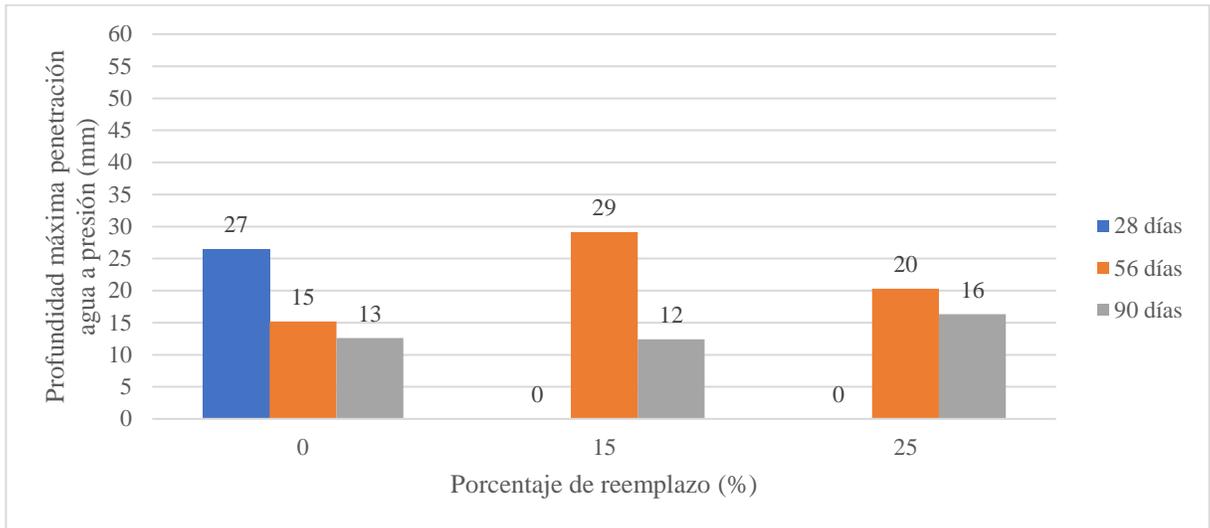


* Ensayos realizados con secciones de 50 mm de espesor de especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Diferencia de potencial eléctrico de 60 V de corriente por 6 horas.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 39. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de cascarilla de arroz.

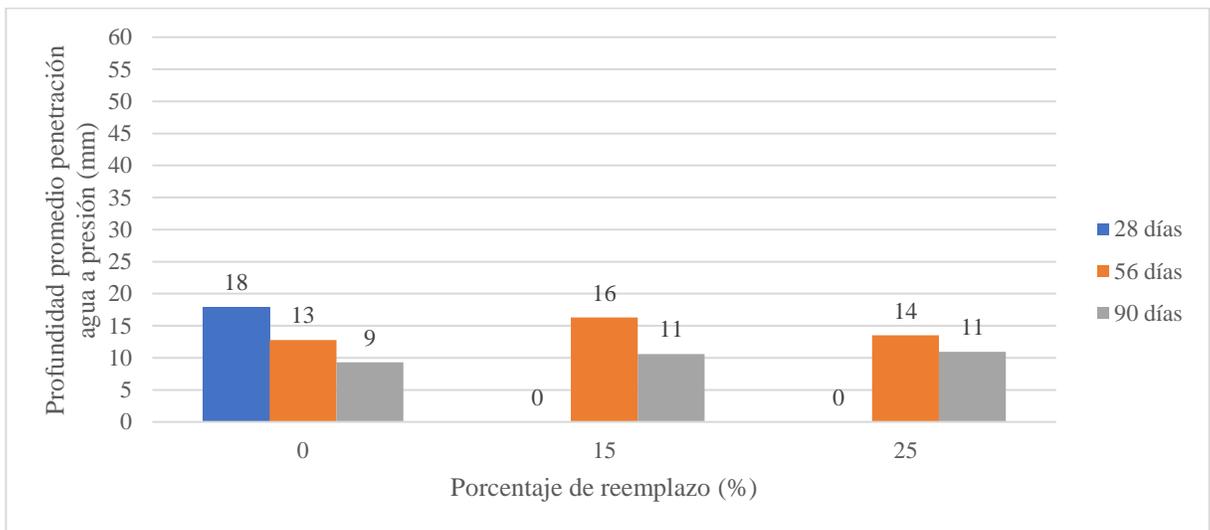


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 40. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de cascarilla de arroz.



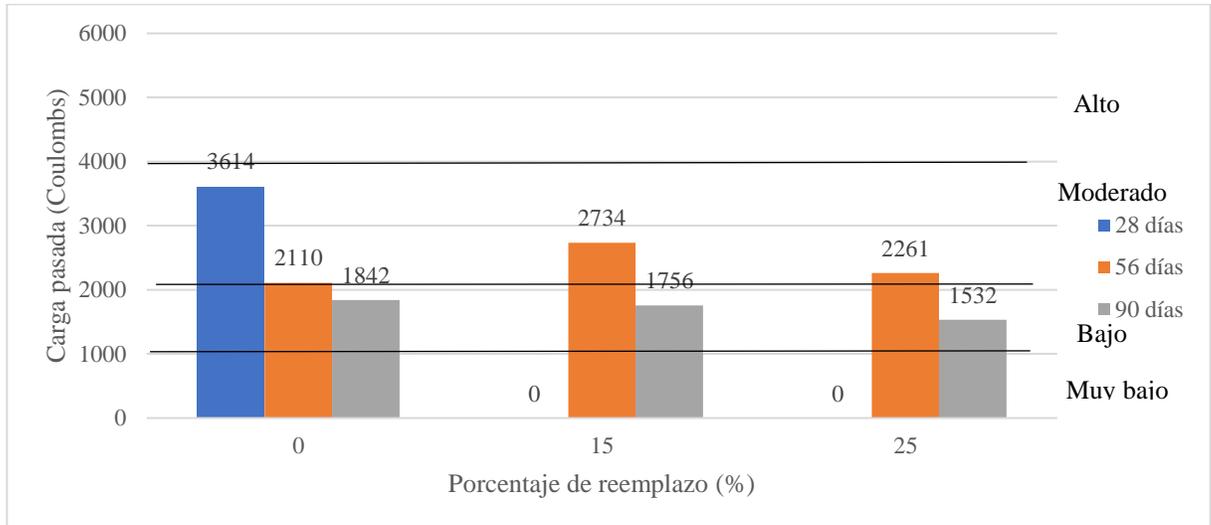
* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

5. Ceniza de bagazo de caña

Figura 41. Carga pasada a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de bagazo de caña.

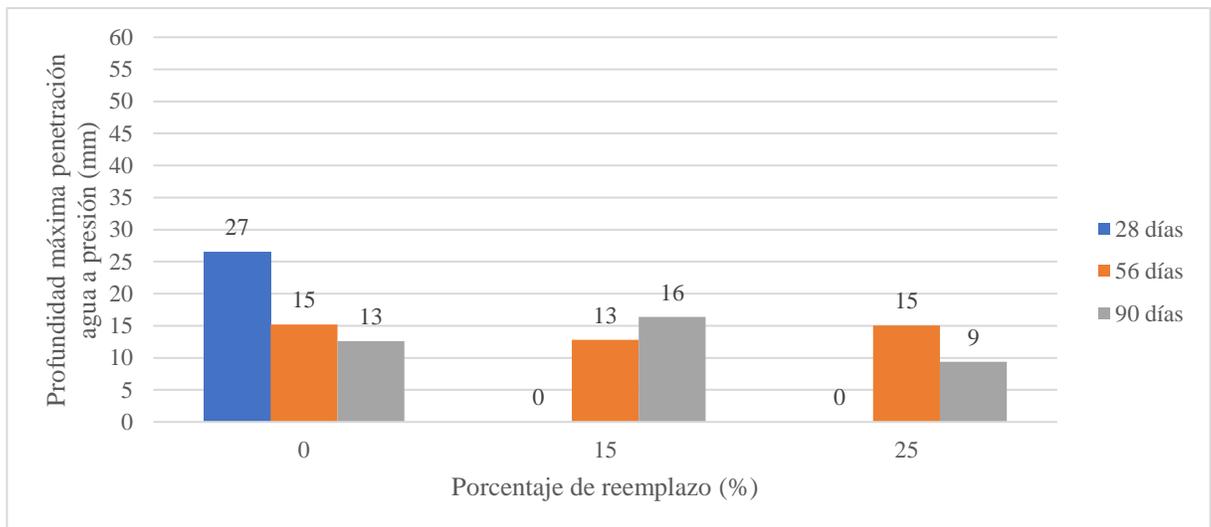


* Ensayos realizados con secciones de 50 mm de espesor de especímenes cilíndricos de 100 mm.

** Diferencia de potencial eléctrico de 60 V de corriente por 6 horas.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 42. Profundidad máxima de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de bagazo de caña.

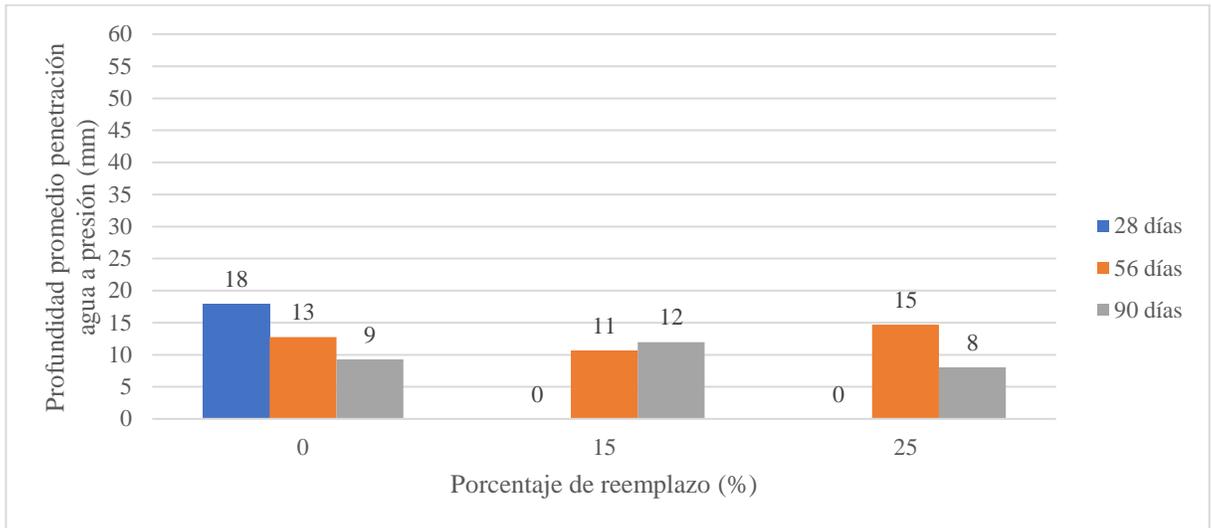


* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizado por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

Figura 43. Profundidad promedio de penetración de agua a presión a diferentes edades según porcentaje de reemplazo de cemento con ceniza de bagazo de caña.



* Ensayos realizados con especímenes cilíndricos de 150 mm.

** Agua a presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 h.

*** Ensayos realizados por técnicos certificados de ensayos de laboratorio de concreto nivel 1, en centro de Investigación y Desarrollo, Cemento Progreso, S.A. Certificado original en anexo E.

D. Imágenes experimentación

Figura 44. Ensayo peso unitario del concreto en estado fresco.



Figura 45. Ensayo temperatura del concreto en estado fresco.



Figura 46. Ensayo contenido de aire de concreto en estado fresco.



Figura 47. Ensayo asentamiento del concreto en estado fresco.



Figura 48. Ensayo resistencia a la compresión.



Figura 49. Ensayo profundidad penetración de agua a presión.



Figura 50. Ensayo permeabilidad del ion cloruro.



E. Certificados resultados experimentales

Figura 51. Certificado análisis químico de MSC.



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 22864178 Fax: 22864181 laboratorioCETEC@cempro.com



ACREDITADO
001-11-9513

OT: 39103
FECHA: 2020-10-05
PÁGINA: 1 de 1
ÁREA DE LAB.: QC

Cliente	C/HD / Catec / Tesis	Procedencia	UVG
Dirección / Teléfono	15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera / 2286-4100	Muestra	Varias
Contacto	Ing. Estuardo Herrera / Valeria Sequelira	Análisis	OSANTELIZ
Proyecto	Aplicación de masasricas complementarias en masclas de concreto	Fecha de Ensayo	2020-10-17

INFORME DE ENSAYO
ANÁLISIS QUÍMICO
MEDIANTE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

* COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)												
Muestra	Al2O3	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	Na2O	P2O5	SO3	SiO2	TiO2	Total
1 Ceniza Cascarrilla de Arcos (RHA)	0.43	0.81	0.27	2.21	1.28	0.24	0.00	0.06	0.00	84.98	0.09	100.35
2 Ceniza bagazo de Cañe (SBA)	16.61	1.55	0.07	7.82	1.58	1.08	0.10	0.00	0.14	61.06	0.85	99.41
3 Ceniza Volante No.1	13.15	6.61	0.14	8.63	3.98	3.65	0.24	0.51	0.05	57.40	0.74	99.38
4 Ceniza Volante No.2	1.22	48.33	0.03	0.35	0.10	0.92	0.00	0.07	18.37	4.55	0.07	100.37
---Última Línea---												

* Expresada como porcentaje en masa (w/w).

Analista



Jefe de Laboratorio / Coordinador



OBSERVACIONES: [INGRESO ESPECIAL] LECTURA REALIZADA EN PLANTA SAN MIGUEL

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, a menos que se haga integralmente.



DOCUMENTO ORIGINAL

No. 32895

Figura 52. Certificado determinación de humedad libre MSC.

 <p>CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 30 Av. 18-01, zona 6 La Piedad Tel: 2384178 Fax: 2384181 selec@compro.com</p>	OT	39103	
	FECHA	2025-10-25	
	PÁGINA	1 de 1	
	ÁREA DE LAB.	QC	
Cliente	CHD Caso / Tasa	Procedente	LUG
Dirección	18 Av. 18-01 Zona 6 Piedad La Piedad	Muestra	Valde
Contacto	Ing. Carolina Herrera / Valeria Sosa	Asociación	OSANTELE
Teléfono	2384-4180	Fecha de Emisión	2025-10-17

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD LIBRE
ASTM C 25

% Humedad Libre		
No.	Id. De Muestra	%
1	Ceniza Cascarilla de Arroz (RHA)	1.16
2	Ceniza bagazo de Caña (SBA)	12.23
3	Ceniza Volante No.1	1.68
4	Ceniza Volante No.2	0.30
---Última Línea---		

Determinado a 110 °C durante 2h.

[Signature]
Analista

[Signature]

OBSERVACIONES

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a los especímenes presentados por el cliente. No debe reproducirse este informe, a menos que se haga integramente. Este informe es original vinculando al cliente con holograma de seguridad, en caso esta identificado con un código QR, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 2384-4178 o al correo laboratorio@compro.com.

BOL-CT-00-16-019REV 03

Figura 53. Certificado ensayos físicos MSC.

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18 - 01 Zona 6, La Pedrera Telf: 2286 - 4178 Fax: 2286 - 4181 informacion@cementos.com		 ACREDITADO OGA.LB.001.11	OT	38187
				FECHA	2020-10-06
				PÁGINA	1 DE 1
				IMPRESIÓN	2020-11-04
CLIENTE	ESVO / CETEC / TESIS	CONTACTO	Ing. Estuardo Herrera / Valeria Soquesa		
DIRECCION	15 Av. 18 - 01 Zona 6, La Pedrera	TELEFONO	2286 4180		
PROYECTO	Aplicación de materiales cementantes suplementarios en mezcla de concreto	ANALISTA(S)	RG	LABORATORIO	CE

INFORME DE ENSAYOS FISICOS DE CENIZA VOLANTE Y PUZOLANAS

PRUEBA	MUESTRA	Cemento	Ceniza Volante	Ceniza Volante	Ceniza	Ceniza
		Tipo 1	No. 1	No. 2	cascarilla de Anzo (RHA)	bagazo de Caña (SBA)
Fecha Ensayo		2020-10-19	2020-10-19	2020-10-19	2020-10-19	2020-10-19
ASTM C 140	FCM (P. en Cemento)	116	109	116	110	109
	% H ₂ O para FLOW	48.5	48.5	47	49.2	48.0
COAGULACIONES ASTM C 415M (100)	Resistencia a Compresión (psi)	5398	4957	5104	5851	4284
		7d	-	-	-	-
ASTM C 411	Índice de Actividad Puzolánica %		85	95	105	79
		7d	-	-	-	-
ASTM C 411	Finza Tamiz No. 315 (% Pass)	97.07	96.06	99.01	98.93	98.18

Este informe es original si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un comprobante único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 2286-4178 o al correo laboratorio@cementos.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.


Analista


Jefe de Laboratorio / Coordinador

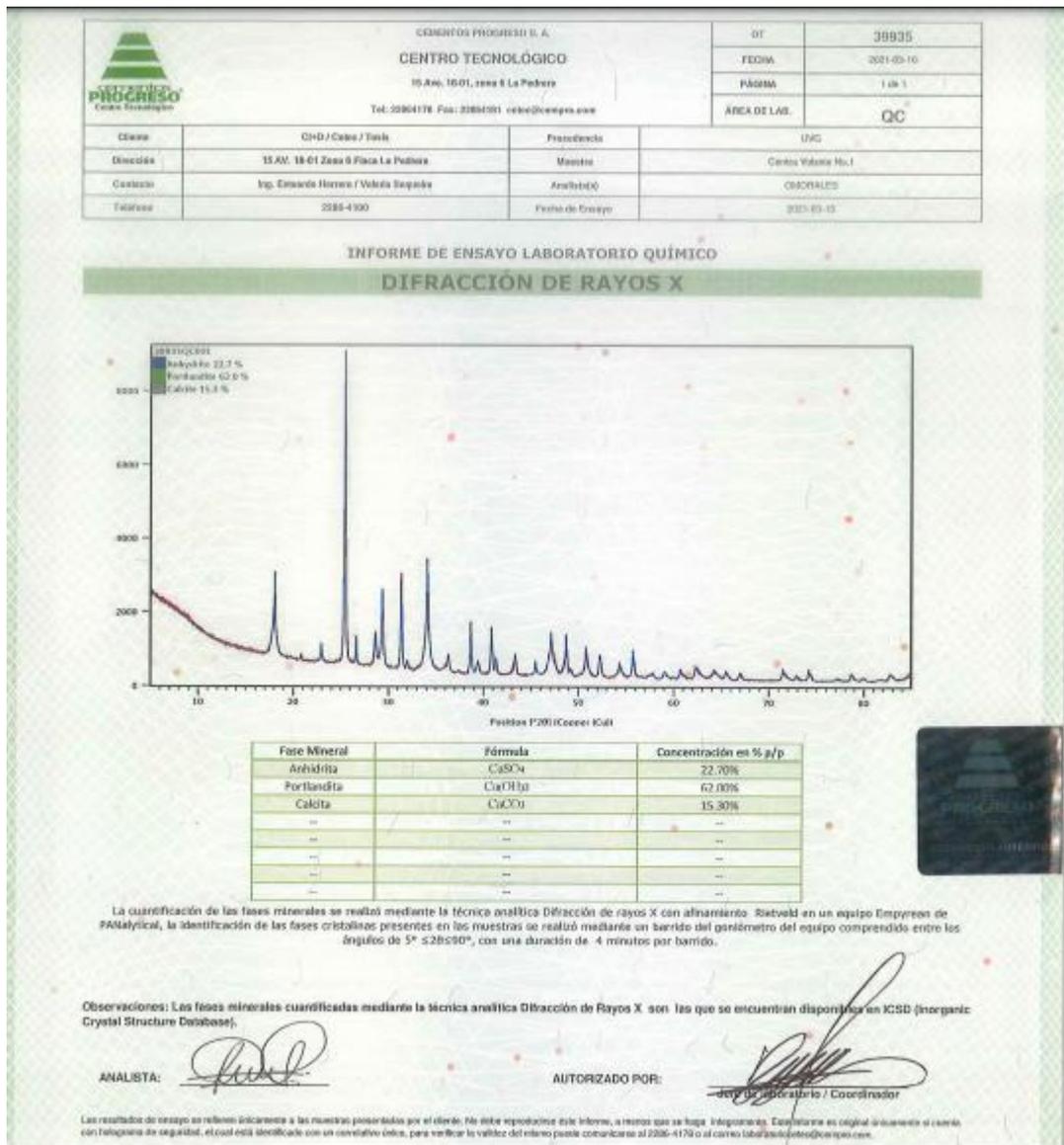


OBSERVACIONES: Informe Preliminar

BGA-CT-CE-IC-08 / Rev. 02

No. **32760** CETEC

Figura 54. Certificado ensayo difracción de rayos X MSC.



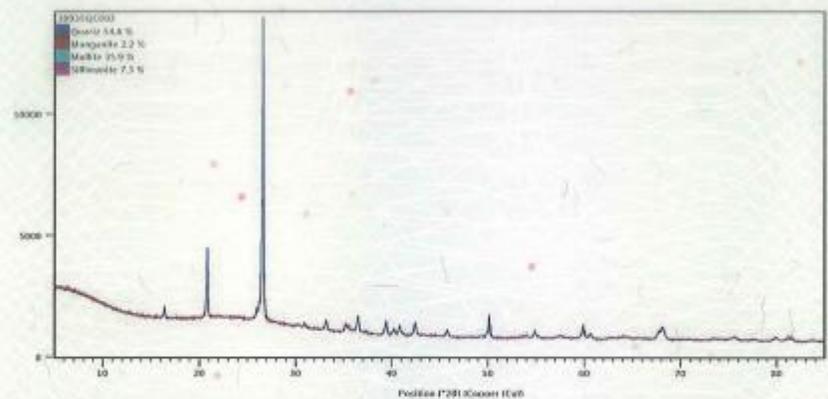


CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Av. 15-01, zona 6 La Piedad
 Tel: 2284170 Fax: 2284181 info@centropro.com

OT	39035
FECHA	2014-03-18
PÁGINA	1 de 1
ÁREA DE LAB.	QC

Clase	CHO / Oblea / Teilo	Procedencia	UVS
Dirección	15 Av. 15-01 Zona 6 Piedad La Piedad	Procesa	Coniza Volcán No.2
Contacto	Ing. Esteban Herrera / Valeria Negrete	Análisis(es)	QUÍMICOS
Teléfono	2284-1100	Fecha de Emisión	2014-03-18

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO
DIFRACCIÓN DE RAYOS X



Fase Mineral	Fórmula	Concentración en % p/p
Cuarzo	SiO ₂	54.80%
Mangarita	Mn ₂ (CO ₃) ₂	2.20%
Muilita	Al ₂ SiO ₅	35.90%
Silimanita	Al ₂ SiO ₅	7.30%
--	--	--
--	--	--
--	--	--

La cuantificación de las fases minerales se realizó mediante la técnica analítica Difracción de rayos X con afinamiento. Retveld es un equipo Engreen de PANalytical, la identificación de las fases cristalinas presentes en las muestras se realizó mediante un barrido del goniómetro/el equipo comprendido entre los ángulos de 3° $\leq 2\theta \leq 90^\circ$, con una duración de 4 minutos por muestra.

Observaciones: Las fases minerales cuantificadas mediante la técnica analítica Difracción de rayos X son las que se encuentran disponibles en ICSD (Inorganic Crystal Structure Database).

ANALISTA:

AUTORIZADO POR:
 DIR. COORDINADOR

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, a menos que se haga íntegramente. Este informe es original únicamente el emitido con holograma de seguridad, el cual está identificado con un consecutivo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 2284-1170 o al correo laboratorio@centropro.com.



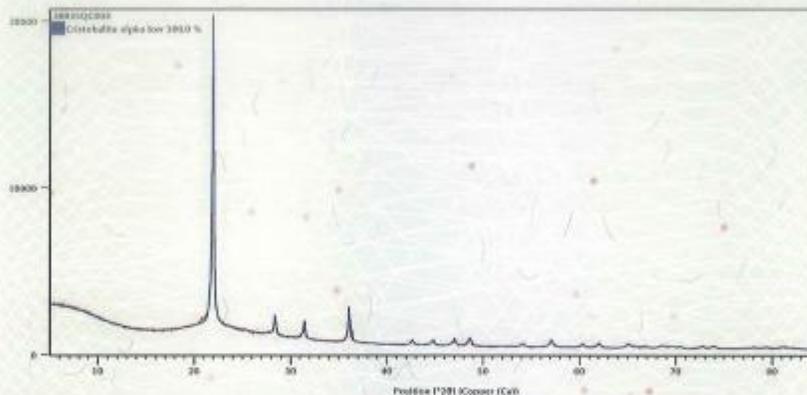
CEMENTOS PROGRESO S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
18 Av. 18-81, zona 6 La Pedrera

Tel: 2064170 Fax: 2064181 cotec@compro.com

OT	39935
FECHA	2021-03-18
NÚMERO	1 de 1
ÁREA DE LAB.	QC

Cliencia	CHD / Catón / Teala	Procedencia	UNO
Dirección	15 Av. 18-81 Zona 6 Pinar La Pedrera	Muestra	Centro Cascaña de Avos (RRA)
Coordinador	Ing. Estuardo Herrera / Valeria Sepúlveda	Análisis de	CENSALES
Teléfono	2290-4100	Fecha de Envío	2021-03-10

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO
DIFRACCIÓN DE RAYOS X



Fase Mineral	Fórmula	Concentración en % p/p
Cristobalita	SiO ₂	100.00%
..
..
..
..
..
..
..

La cuantificación de las fases minerales se realizó mediante la técnica analítica Difracción de rayos X con afinamiento Rietveld en un equipo Empyrean de PANalytical, la identificación de las fases cristalinas presentes en las muestras se realizó mediante un barrido del goniómetro del equipo comprendido entre los ángulos de 5° a 2θ a 90°, con una duración de 4 minutos por barrido.

Observaciones: Las fases minerales cuantificados mediante la técnica analítica Difracción de Rayos X son las que se encuentran disponibles en ICSD (Inorganic Crystal Structure Database).

ANALISTA:

AUTORIZADO POR:

Jefe de Laboratorio / Coordinador

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, o menos que se haga integración. Este informe es original únicamente si cuenta

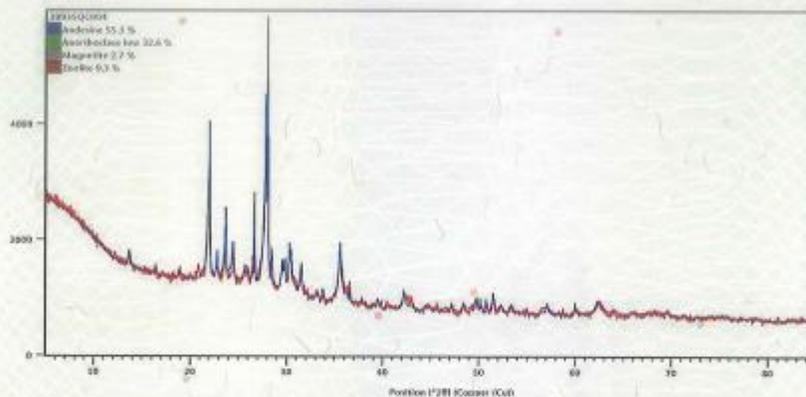


CENTRO TECNOLÓGICO S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
 18 Av. 18-81 Zona 6 Plaza La Pedrera
 Tel: 2286-4178 Fax: 2286-6181 info@centroprogreso.com

OT	39935
FECHA	2021-03-16
PÁGINA	1 de 1
ÁREA DE LAB.	QC

Cliente	CHD / Cajas / Yaca	Procedencia	UVG
Dirección	18 Av. 18-81 Zona 6 Plaza La Pedrera	Muestra	Centros logoro de Dalia (SDA)
Contacto	Ing. Esteban Herrera / Valeria Sepulveda	Análisis de	ORGANICOS
Teléfono	2286-4168	Fecha de Envío	2021-03-15

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO
DIFRACCIÓN DE RAYOS X



Fase Mineral	Fórmula	Concentración en % p/p
Analcime	$Al_2.48Si_2.52Ca_2.09Na_0.49K_0.82Si_2.98O_{12}$	55.30%
Anortoclasa	$Al_2Si_2O_7Ca_2K_2Na_0.97Si_2.93O_{12}$	32.60%
Magnetita	Fe_3O_4	2.70%
Zeolita	$(AlK_2Si_2O_7) \cdot n(H_2O)$	9.30%
--	--	--
--	--	--
--	--	--

La cuantificación de las fases minerales se realizó mediante la técnica analítica Difracción de rayos X con afilamiento Rietveld en un equipo Emrys de PANalytical, la identificación de las fases cristalinas presentes en las muestras se realizó mediante un barrido del goniómetro del equipo comprendido entre los ángulos de $5^\circ \leq 2\theta \leq 90^\circ$, con una duración de 4 minutos por barrido.

Observaciones: Las fases minerales cuantificadas mediante la técnica analítica Difracción de Rayos X son las que se encuentran disponibles en ICSD (Inorganic Crystal Structure Database).

ANALISTA:

AUTORIZADO POR:

Jefa de Laboratorio Coordinador

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, a menos que se haga un pago adicional. Este informe es original únicamente el que va con los registros de seguridad, el cual está identificado con un código único, para verificar el número del informe puede comunicarse al 2286-4178 o al correo laboratorio@centroprogreso.com.

Figura 55. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla patrón.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

OGA
ACREDITADO
OGA-LE-052-13

Fecha Impresión: 2021.01.28
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 39253-1
Fecha OT: 2020.10.30

Proyecto: APLICACION DE MAT. CEMENTANTES MEZCLAS DE C.
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Muestra: CILINDROS
Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA DE CONC.	39253-1-01	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.95	8012	217.3	27.12	3930.	2
2	MEZCLA DE CONC.	39253-1-02	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.96	8091	225.3	27.84	4040.	2
3	MEZCLA DE CONC.	39253-1-03	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.97	8091	248.5	30.71	4450.	2
4	MEZCLA DE CONC.	39253-1-04	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.96	8091	236.3	29.20	4240.	2
5	MEZCLA DE CONC.	39253-1-05	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.99	8091	304.9	37.68	5470.	2
6	MEZCLA DE CONC.	39253-1-06	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.98	8091	311.5	38.49	5580.	2
7	MEZCLA DE CONC.	39253-1-07	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.99	8091	302.8	37.42	5430.	2
8	MEZCLA DE CONC.	39253-1-08	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.98	8091	379.7	46.92	6810.	3
9	MEZCLA DE CONC.	39253-1-09	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.99	8091	369.7	45.69	6630.	3
10	MEZCLA DE CONC.	39253-1-10	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.98	8091	374.5	46.28	6710.	3
11	MEZCLA DE CONC.	39253-1-11	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.97	8091	363.7	44.94	6520.	2
12	MEZCLA DE CONC.	39253-1-12	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	4.00	8091	345.3	42.67	6190.	2
13	MEZCLA DE CONC.	39253-1-13	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.99	8091	385.2	47.60	6910.	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntilagudo

FINAL Observaciones:

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorioctec@campro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

Jefe Laboratorio/Coordinador
SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

Analista

No. 34684 **CETEC**

Figura 55. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla SF 5%.



CEMENTOS PROGRESO S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

Fecha impresión: 2021.01.28
Página: 1 de 1
Usuario: DV/LLATORO
OT: 39253-2
Fecha OT: 2020.10.30

ACREDITADO
OGA-LE-052-13



PROYECTO: APLICACION DE MAT. CEMENTANTES MEZCLAS DE C.

DIRECCIÓN: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA

MUESTRA: CILINDROS

ANALISTA: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA DE CONC.	39253-2-01	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.95	8012	216.5	27.02	3970.	2
2	MEZCLA DE CONC.	39253-2-02	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.96	8012	210.6	26.28	3810.	3
3	MEZCLA DE CONC.	39253-2-03	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.98	8091	240.6	29.73	4310.	2
4	MEZCLA DE CONC.	39253-2-04	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.95	8091	242.0	29.90	4340.	2
5	MEZCLA DE CONC.	39253-2-05	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.96	8091	321.2	39.69	5760.	2
6	MEZCLA DE CONC.	39253-2-06	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.97	8091	318.6	39.37	5710.	2
7	MEZCLA DE CONC.	39253-2-07	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.96	8091	325.2	40.19	5830.	2
8	MEZCLA DE CONC.	39253-2-08	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.98	8091	371.3	45.88	6660.	3
9	MEZCLA DE CONC.	39253-2-09	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.96	8052	360.6	44.78	6500.	3
10	MEZCLA DE CONC.	39253-2-10	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.96	8052	371.1	46.09	6690.	3
11	MEZCLA DE CONC.	39253-2-11	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.98	8091	369.2	45.62	6620.	2
12	MEZCLA DE CONC.	39253-2-12	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.97	8091	349.8	43.23	6270.	2
13	MEZCLA DE CONC.	39253-2-13	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.97	8091	401.4	49.60	7200.	2

FINAL Observaciones:

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorio@cepro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

CLIENTE: CID + CETEC

DIRECCIÓN: 15 AV. 18-01 ZONA 6 INT. FINCA LA PEDRERA

CONTACTO: ESTUARDO HERRERA/VALERIA SEQUEIRA

TELÉFONO: 2286-4100

PROYECTO: APLICACION DE MAT. CEMENTANTES MEZCLAS DE C.

DIRECCIÓN: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA

MUESTRA: CILINDROS

ANALISTA: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

T. Rot: 1 = Cónica y vertical; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntilegado

ANALISTA: 

JEFE LABORATORIO/COORDINADOR: 

NO. 34685 **CETEC**

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

Figura 56. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla SF 10%.



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

Fecha impresión: 2021.01.28
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 39253-3
Fecha OT: 2020.10.30



ACREDITADO
OGA-LE-052-13

Cliente: CID+CETEC	Proyecto: APLICACION DE MAT. CEMENTANTES MEZCLAS DE C.
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 INT. FINCA LA PEDRERA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ESTUARDO HERRERA/VALERIA SEQUEIRA	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 2286-4100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA DE CONC.	39253-3-01	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.92	8012	207.1	25.84	3750.	2.
2	MEZCLA DE CONC.	39253-3-02	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.92	8012	205.7	25.67	3720.	2
3	MEZCLA DE CONC.	39253-3-03	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.95	8091	225.5	27.86	4040.	2
4	MEZCLA DE CONC.	39253-3-04	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.95	8171	237.3	29.04	4210.	2
5	MEZCLA DE CONC.	39253-3-05	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.95	8091	318.5	39.36	5710.	2
6	MEZCLA DE CONC.	39253-3-06	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.93	8012	313.9	39.17	5680.	2
7	MEZCLA DE CONC.	39253-3-07	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.93	8012	312.3	38.98	5650.	2
8	MEZCLA DE CONC.	39253-3-08	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.94	8091	369.0	45.60	6610.	3
9	MEZCLA DE CONC.	39253-3-09	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.94	8091	363.1	44.87	6510.	3
10	MEZCLA DE CONC.	39253-3-10	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.94	8091	369.9	45.71	6630.	3
11	MEZCLA DE CONC.	39253-3-11	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.96	8091	372.2	46.00	6670.	2
12	MEZCLA DE CONC.	39253-3-12	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.96	8091	381.8	47.18	6840.	2
13	MEZCLA DE CONC.	39253-3-13	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.96	8091	391.6	48.39	7020.	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

FINAL Observaciones:



Analista



Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

No. 34686 CETEC

Figura 57. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla FA1 15%.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

PROGRESO
Compartimos Sueños. Construimos Realidades.

Fecha impresión: 2021.01.28
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 39253-4
Fecha OT: 2020.10.30

OGA
ACREDITADO
OGA-LE-052-13

Cemento Progreso
Proyecto: APLICACION DE MAT. CEMENTANTES MEZCLAS DE C.
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Muestra: CILINDROS
Analista: DELBERT VILLATORO

OGA

Ciente: CID + CETEC
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 INT. FINCA LA PEDRERA
Contacto: ESTUARDO HERRERA/VALERIA SEQUEIRA
Teléfono: 2286-4100

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA DE CONC.	39253-4-01	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.97	8012	123.5	15.41	2240.	3
2	MEZCLA DE CONC.	39253-4-02	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.94	8012	115.3	14.39	2090.	3
3	MEZCLA DE CONC.	39253-4-03	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.98	8091	156.5	19.34	2810.	2
4	MEZCLA DE CONC.	39253-4-04	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.97	8012	151.0	18.84	2730.	2
5	MEZCLA DE CONC.	39253-4-05	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.97	8091	263.9	32.61	4730.	2
6	MEZCLA DE CONC.	39253-4-06	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.96	8091	263.7	32.59	4730.	2
7	MEZCLA DE CONC.	39253-4-07	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.98	8012	258.6	32.27	4680.	2
8	MEZCLA DE CONC.	39253-4-08	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.97	8091	335.3	41.43	6010.	3
9	MEZCLA DE CONC.	39253-4-09	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.97	8091	324.7	40.12	5820.	3
10	MEZCLA DE CONC.	39253-4-10	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.99	8091	331.1	40.92	5940.	3
11	MEZCLA DE CONC.	39253-4-11	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.99	8091	382.6	47.28	6860.	2
12	MEZCLA DE CONC.	39253-4-12	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.98	8091	382.8	47.31	6860.	2
13	MEZCLA DE CONC.	39253-4-13	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.97	8091	358.4	44.29	6420.	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

FINAL Observaciones:

Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

No. 34687 **CETE**

Figura 58. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla FA 1 25%.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

PROGRESO
Compartimos Sueños. Construimos Realidades.

Fecha impresión: 2021.01.28
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 39253-5
Fecha OT: 2020.10.30



ACREDITADO
OGA-LE-052-13

Proyecto: APLICACION DE MAT. CEMENTANTES MEZCLAS DE C.

Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA

Muestra: CILINDROS

Analista: DELBERT VILLATORO

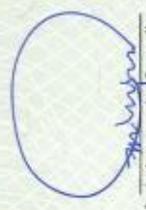
INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (fm)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA DE CONC.	39253-5-01	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.95	8012	96.30	12.02	1740.	2
2	MEZCLA DE CONC.	39253-5-02	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.95	8012	94.00	11.73	1700.	3
3	MEZCLA DE CONC.	39253-5-03	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.95	8091	116.0	14.33	2080.	2
4	MEZCLA DE CONC.	39253-5-04	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.95	8091	114.1	14.10	2050.	2
5	MEZCLA DE CONC.	39253-5-05	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.95	8012	156.2	19.49	2830.	2
6	MEZCLA DE CONC.	39253-5-06	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.93	8091	160.2	19.79	2870.	2
7	MEZCLA DE CONC.	39253-5-07	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.97	8012	165.9	20.70	3000.	2
8	MEZCLA DE CONC.	39253-5-08	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.95	8091	215.0	26.57	3850.	2
9	MEZCLA DE CONC.	39253-5-09	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.96	8091	213.0	26.32	3820.	3
10	MEZCLA DE CONC.	39253-5-10	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.97	8091	213.2	26.34	3820.	3
11	MEZCLA DE CONC.	39253-5-11	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.98	8091	271.4	33.54	4870.	2
12	MEZCLA DE CONC.	39253-5-12	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.98	8091	269.2	33.27	4830.	2
13	MEZCLA DE CONC.	39253-5-13	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.96	8091	271.4	33.54	4870.	2

FINAL Observaciones:

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la veracidad del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorioctec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga integramente.

Analista: 

Jefe Laboratorio/Coordinador: 

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

No. **34688** **CETEC**

Figura 59. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla FA2 15%.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

PROGRESO
Comparisons Suelen. Construimos Realidades.

Fecha impresión: 2021.01.28
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 39253-6
Fecha OT: 2020.10.30



ACREDITADO
OGA-LE-052-13

Proyecto: APLICACION DE MAT. CEMENTANTES MEZCLAS DE C.

Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA

Muestra: CILINDROS

Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA DE CONC.	39253-6-01	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.94	8012	173.9	21.70	3150.	3
2	MEZCLA DE CONC.	39253-6-02	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.96	8012	168.8	21.06	3060.	2
3	MEZCLA DE CONC.	39253-6-03	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.96	8012	193.8	24.18	3510.	2
4	MEZCLA DE CONC.	39253-6-04	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.96	8012	184.7	23.05	3340.	2
5	MEZCLA DE CONC.	39253-6-05	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.97	8012	255.8	31.92	4630.	2
6	MEZCLA DE CONC.	39253-6-06	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.96	8012	227.2	28.35	4110.	2
7	MEZCLA DE CONC.	39253-6-07	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.96	8012	244.6	30.53	4430.	2
8	MEZCLA DE CONC.	39253-6-09	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.97	8052	289.0	35.89	5210.	3
9	MEZCLA DE CONC.	39253-6-10	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.97	8091	297.7	36.79	5340.	3
10	MEZCLA DE CONC.	39253-6-08	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.98	8091	286.1	35.35	5130.	3
11	MEZCLA DE CONC.	39253-6-11	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.97	8091	311.3	38.47	5580.	2
12	MEZCLA DE CONC.	39253-6-12	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.96	8091	299.2	36.97	5360.	2
13	MEZCLA DE CONC.	39253-6-13	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.97	8091	317.4	39.22	5690.	2

FINAL Observaciones:

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos; 6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Analista: 

APALISTA

Jefe Laboratorio/Coordinador



SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

No. 34689 **CETEC**

Figura 60. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla FA2 25%.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

PROGRESO
Compartimos Sueños. Consumimos Realidades.

Fecha impresión: 2021.01.28
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 39253-7
Fecha OT: 2020.10.30

OGA
ACREDITADO
OGA-LE-052-13

Proyecto: APLICACION DE MAT. CEMENTANTES MEZCLAS DE C.

Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA

Muestra: CILINDROS

Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA DE CONC.	39253-7-01	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.95	8012	126.6	15.80	2290.	3
2	MEZCLA DE CONC.	39253-7-02	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.02	3	—	—	3.96	8012	132.3	16.51	2400.	3
3	MEZCLA DE CONC.	39253-7-03	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.93	8012	159.6	19.92	2890.	2
4	MEZCLA DE CONC.	39253-7-04	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.06	7	—	—	3.97	8012	161.5	20.15	2920.	2
5	MEZCLA DE CONC.	39253-7-05	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.96	8091	198.7	24.55	3560.	2
6	MEZCLA DE CONC.	39253-7-06	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.97	8091	199.9	24.70	3580.	2
7	MEZCLA DE CONC.	39253-7-07	CILINDROS	2020.10.30	2020.11.27	28	—	—	3.94	8012	192.2	23.98	3480.	2
8	MEZCLA DE CONC.	39253-7-08	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.97	8131	242.4	29.81	4320.	3
9	MEZCLA DE CONC.	39253-7-09	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.96	8052	240.4	29.85	4330.	3
10	MEZCLA DE CONC.	39253-7-10	CILINDROS	2020.10.30	2020.12.25	56	—	—	3.96	8012	236.0	29.45	4270.	3
11	MEZCLA DE CONC.	39253-7-11	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.95	8091	266.1	32.88	4770.	3
12	MEZCLA DE CONC.	39253-7-12	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.96	8091	268.0	33.12	4800.	3
13	MEZCLA DE CONC.	39253-7-13	CILINDROS	2020.10.30	2021.01.28	90	—	—	3.97	8091	284.1	35.11	5090.	2

FINAL Observaciones:

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiguado

Cliente: CID + CETEC

Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 INT. FINCA LA PEDRERA

Contacto: ESTUARDO HERRERA/VALERIA SEQUEIRA

Teléfono: 2286-4100

Jefe Laboratorio/Coordinador

Analista

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

No. 34690 CETE

Figura 61. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla RHA 15%.



CEMENTOS PROGRESO
 Compartimos Sueños. Construimos Realidades.



OGA
 OGA-LE-052-13

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
 CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

Fecha impresión: 2021.03.17
 Página: 1 de 1
 Usuario: DVILLATORO
 OT: 39522-1
 Fecha OT: 2020.12.22

Proyecto: APLICACION DE SUPLEMENTARIOS EN MEZCLAS DE C.

Dirección: 15 AV. 18-01, Z.6 FCA. LA PEDRERA

Muestra: CILINDROS

Analista: MARVIN ZAMORA

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	CEMENTO ARI	39522-1-01	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.24	7	—	—	3.94	8052	196.1	24.35	3530.	5
2	CEMENTO ARI	39522-1-02	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.24	7	—	—	3.94	8052	178.2	22.13	3210.	5
3	CEMENTO ARI	39522-1-03	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.31	14	—	—	3.94	8091	226.2	27.95	4060.	3
4	CEMENTO ARI	39522-1-04	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.31	14	—	—	3.94	8091	225.0	27.80	4030.	3
5	CEMENTO ARI	39522-1-05	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	—	—	3.95	8091	286.2	35.37	5130.	2
6	CEMENTO ARI	39522-1-06	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	—	—	3.96	8091	286.7	35.43	5140.	2
7	CEMENTO ARI	39522-1-07	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	—	—	3.95	8171	291.4	35.66	5170.	2
8	CEMENTO ARI	39522-1-08	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	—	—	3.96	8091	323.5	39.98	5800.	2
9	CEMENTO ARI	39522-1-09	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	—	—	3.96	8091	314.2	38.83	5630.	2
10	CEMENTO ARI	39522-1-10	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	—	—	3.94	8091	335.5	41.46	6010.	2
11	CEMENTO ARI	39522-1-11	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	—	—	3.97	8091	349.6	43.20	6270.	2
12	CEMENTO ARI	39522-1-12	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	—	—	3.96	8012	363.8	45.40	6590.	3
13	CEMENTO ARI	39522-1-13	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	—	—	3.96	8012	376.8	47.03	6820.	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
 6 = Similar tipo 5 pero extremo puntificado

FINAL Observaciones:



Analista



Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorioct@cempro.com. Los resultados de ensayos se reflejan únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

Cliente: CID + CETEC
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 INT. FINCA LA PEDRERA
Contacto: ESTUARDO HERRERA/VALERIA SEQUEIRA
Teléfono: 2286-4100

Proyecto: APLICACION DE SUPLEMENTARIOS EN MEZCLAS DE C.
Dirección: 15 AV. 18-01, Z.6 FCA. LA PEDRERA
Muestra: CILINDROS
Analista: MARVIN ZAMORA

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	CEMENTO ARI	39522-2-01	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.24	7	—	—	3.91	8052	164.1	20.38	2960.	2
2	CEMENTO ARI	39522-2-02	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.24	7	—	—	3.91	8052	160.1	19.88	2880.	2
3	CEMENTO ARI	39522-2-03	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.31	14	—	—	3.92	8012	201.6	25.16	3650.	3
4	CEMENTO ARI	39522-2-04	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.31	14	—	—	3.92	8012	201.7	25.17	3650.	2
5	CEMENTO ARI	39522-2-05	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	—	—	3.92	8091	260.7	32.22	4670.	2
6	CEMENTO ARI	39522-2-06	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	—	—	3.91	8091	260.9	32.24	4680.	2
7	CEMENTO ARI	39522-2-07	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	—	—	3.93	8091	258.1	31.89	4630.	2
8	CEMENTO ARI	39522-2-08	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	—	—	3.92	8091	301.0	37.20	5400.	2
9	CEMENTO ARI	39522-2-09	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	—	—	3.92	8091	306.8	37.91	5500.	2
10	CEMENTO ARI	39522-2-10	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	—	—	3.93	8091	305.0	37.69	5470.	2
11	CEMENTO ARI	39522-2-11	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	—	—	3.92	8012	317.6	39.64	5750.	2
12	CEMENTO ARI	39522-2-12	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	—	—	3.91	8012	321.3	40.10	5820.	4
13	CEMENTO ARI	39522-2-13	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	—	—	3.92	8012	324.2	40.46	5870.	2

T. Rot: 1 = Cónicas; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntisgado

FINAL Observaciones:

[Signature]
Analista

[Signature]
Jefe Laboratorio/Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorio@compro.com. Los resultados de ensayos se reflejan únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

Figura 63. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla SBA15%.



CEMENTOS PROGRESO S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

Compartimos Sueños. Construimos Realidades.

Fecha impresión: 2021.03.17
Páginas: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 39522-3
Fecha OT: 2020.12.22



OGA-LE-052-13
ACREDITADO

Cliente: CID + CETEC	Proyecto: APLICACION DE SUPLEMENTARIOS EN MEZCLAS DE C.		
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 INT. FINCA LA PEDRERA	Dirección: 15 AV. 18-01, Z.6 FCA. LA PEDRERA		
Contacto: ESTUARDO HERRERA/VALERIA SEQUEIRA	Muestra: CILINDROS		
Teléfono: 2286-4100	Analista: MARVIN ZAMORA		

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm²)	Carga (KW)	Resis -tencia (N/mm²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	CEMENTO ARI	39522-3-01	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.24	7	-	-	3.95	8091	184.3	22.77	3300.	2
2	CEMENTO ARI	39522-3-02	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.24	7	-	-	3.94	8091	176.8	21.85	3170.	2
3	CEMENTO ARI	39522-3-03	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.31	14	-	-	3.94	8091	203.0	25.08	3640.	3
4	CEMENTO ARI	39522-3-04	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.31	14	-	-	3.94	8091	207.4	25.63	3720.	3
5	CEMENTO ARI	39522-3-05	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	-	-	3.95	8091	259.2	32.03	4650.	2
6	CEMENTO ARI	39522-3-06	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	-	-	3.94	8091	251.9	31.13	4520.	2
7	CEMENTO ARI	39522-3-07	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	-	-	3.95	8091	266.2	32.89	4770.	2
8	CEMENTO ARI	39522-3-08	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	-	-	3.95	8091	301.7	37.28	5410.	2
9	CEMENTO ARI	39522-3-09	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	-	-	3.94	8091	293.1	36.22	5250.	2
10	CEMENTO ARI	39522-3-10	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	-	-	3.95	8091	292.3	36.12	5240.	2
11	CEMENTO ARI	39522-3-11	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	-	-	3.95	8091	328.4	40.58	5890.	2
12	CEMENTO ARI	39522-3-12	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	-	-	3.93	8091	319.1	39.43	5720.	3
13	CEMENTO ARI	39522-3-13	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	-	-	3.96	8091	328.2	40.56	5880.	2

T. Rot. 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntilegado

FINAL Observaciones:



Analista



Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

Figura 64. Certificado ensayo resistencia a la compresión mezcla SBA 25%.



CEMENTOS PROGRESO
Compartimos Sueños. Construimos Realidades.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

Fecha impresión: 2021.03.17
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 39522-4
Fecha OT: 2020.12.22



OGA
ACREDITADO
OGA-LE-052-13

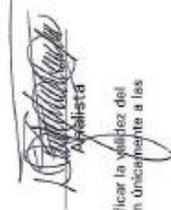
<p>Cliente: CID + CETEC</p> <p>Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 INT. FINCA LA PEDRERA</p> <p>Contacto: ESTUARDO HERRERA/VALERIA SEQUEIRA</p> <p>Teléfono: 2286-4100</p>	<p>Proyecto: APLIACION DE SUPLEMENTARIOS EN MEZCLAS DE C.</p> <p>Dirección: 15 AV. 18-01, Z.6 FCA. LA PEDRERA</p> <p>Muestra: CILINDROS</p> <p>Analista: MARVIN ZAMORA</p>
---	--

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Área (mm²)	Carga (KW)	Resis -tencia (N/mm²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	CEMENTO ARI	39522-4-01	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.24	7	-	-	3.93	8091	158.1	19.53	2830.	2
2	CEMENTO ARI	39522-4-02	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.24	7	-	-	3.93	8091	158.2	19.55	2840.	2
3	CEMENTO ARI	39522-4-03	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.31	14	-	-	3.93	8012	185.6	23.16	3360.	2
4	CEMENTO ARI	39522-4-04	CILINDROS	2020.12.17	2020.12.31	14	-	-	3.92	8091	174.7	21.59	3130.	2
5	CEMENTO ARI	39522-4-05	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	-	-	3.93	8091	225.7	27.89	4050.	2
6	CEMENTO ARI	39522-4-06	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	-	-	3.93	8091	224.3	27.72	4020.	2
7	CEMENTO ARI	39522-4-07	CILINDROS	2020.12.17	2021.01.14	28	-	-	3.92	8091	231.3	28.58	4150.	2
8	CEMENTO ARI	39522-4-08	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	-	-	3.93	8012	251.6	31.40	4560.	2
9	CEMENTO ARI	39522-4-09	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	-	-	3.93	8012	271.3	33.86	4910.	2
10	CEMENTO ARI	39522-4-10	CILINDROS	2020.12.17	2021.02.11	56	-	-	3.93	8012	262.4	32.75	4750.	2
11	CEMENTO ARI	39522-4-11	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	-	-	3.94	8091	324.6	40.11	5820.	2
12	CEMENTO ARI	39522-4-12	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	-	-	3.93	8091	313.1	38.69	5610.	2
13	CEMENTO ARI	39522-4-13	CILINDROS	2020.12.17	2021.03.17	90	-	-	3.93	8091	302.1	37.33	5420.	3

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos; 6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

FINAL Observaciones:



Analista



Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-JE-02/Rev.06

Figura 65. Certificado indicación eléctrica a 28 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%.

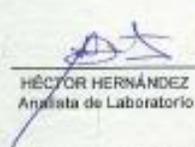
	CEMENTOS PROGRESO S.A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 16-01 zona 5, Finca La Pedrera Tel: 2284-4178 Fax: 2284-4181 laboratorio@cepro.com		Orden de Trabajo:	35301
			Fecha:	2020-10-30
			Página:	1 De 1
			Impresión:	2020-12-01
Cliente:	CHD/ CETEC	Contacto:	ING. ESTUARDO HERRERA / VALERIA SEQUEIRA	
Dirección:	15 AV. 16-01 ZONA 5 FINCA LA PEDRERA	Teléfono:	2284-4100	
Procedencia:	CETEC	Proyecto:	APLICACION DE MATERIALES CEMENTANTES SUPLENIMIENTOS EN MEZCLA DE CONCRETO	

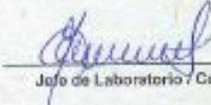
INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE CONCRETO

Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.
ASTM C1202

No.	ID. Cliente	Tipo de concreto	Ubicación de elemento	Fecha de Hecura	Fecha de Ensayo	Edad	Carga pesada Coulomb	Penetrabilidad Iones de cloruro
1	MEZCLA 1	---	MEZCLA 1	2020-10-30	2020-11-27	28	3614	Moderado
2	MEZCLA 2	---	MEZCLA 2	2020-10-30	2020-11-27	28	2968	Moderado
3	MEZCLA 3	---	MEZCLA 3	2020-10-30	2020-11-27	28	1892	Bajo
4	MEZCLA 4	---	MEZCLA 4	2020-10-30	2020-11-27	28	11259	Alto
5	MEZCLA 5	---	MEZCLA 5	2020-10-30	2020-11-27	28	12084	Alto
6	MEZCLA 6	---	MEZCLA 6	2020-10-30	2020-11-27	28	4710	Alto
7	MEZCLA 7	---	MEZCLA 7	2020-10-30	2020-11-27	28	5729	Alto


HÉCTOR HERNÁNDEZ
 Analista de Laboratorio


 Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un consecutivo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22844178 o al correo laboratorio@cepro.com.

La reducción de la muestra se llevó a cabo en base al método planteado en norma CDGUANOR NTG-41010 h-1.

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

ENSAYOS REALIZADO POR CETEC.

981_G1-CC-E-03 Rev 0

No. 35301 CETEC

Figura 66. Certificado indicación eléctrica a 56 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%.

	CEMENTOS PROGRESO S.A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 16-01 zona B Finca La Pedrera Tel: 2284-4178 Fax: 2284-4181 laboratorioctec@cepro.com		Unidad de trabajo:	30253
			Fecha:	2020-10-30
			Página:	1 De 1
			Impresión:	2021-01-12
Cliente:	GRUPO CETEC	Contacto:	ING. ESTUARDO HERRERA / VALERIA SEQUEIRA	
Dirección:	15 AV. 16-01 ZONA B FINCA LA PEDRERA	Teléfono:	2284-4100	
Procedencia:	CETEC	Proyecto:	APLICACIÓN DE MATERIALES CEMENTICIOS SUPLEMENTARIOS EN MEZCLA DE CONCRETO	

INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE CONCRETO

Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.
ASTM C1202

Nº	ID. Cliente	Tipo de concreto	Ubicación de elemento	Fecha de Recepción	Fecha de ensayo	Edad	Carga pasada Coulombs	Penetrabilidad iones de cloruro
1	MEZCLA 1	---	MEZCLA 1	2020-10-30	2020-12-25	56	2110	Moderado
2	MEZCLA 2	---	MEZCLA 2	2020-10-30	2020-12-25	56	1560	Bajo
3	MEZCLA 3	---	MEZCLA 3	2020-10-30	2020-12-25	56	1030	Bajo
4	MEZCLA 4	---	MEZCLA 4	2020-10-30	2020-12-25	56	5585	Alto
5	MEZCLA 5	---	MEZCLA 5	2020-10-30	2020-12-25	56	11309	Alto
6	MEZCLA 6	---	MEZCLA 6	2020-10-30	2020-12-25	56	2237	Moderado
7	MEZCLA 7	---	MEZCLA 7	2020-10-30	2020-12-25	56	3033	Moderado



HÉCTOR HERNÁNDEZ
Analista de Laboratorio



Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un consecutivo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22844178 o al correo laboratorioctec@cepro.com.

La reducción de la muestra se llevó a cabo en base al método planteado en norma COGUANOR NTG-41010 11.1.

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga integramente.

Observaciones:

ENSAYOS REALIZADO POR CETEC.

Figura 67. Certificado indicación eléctrica a 56 días mezcla RHA 15%, RHA 25%, SBA 15%, SBA 25%.

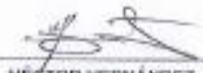
	CEMENTOS PROGRESO, S.A. GENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01 ZONA 8 FIRDA LA PEÑERA Tel: 2285-4178 Fax: 2285-4181 laboratorio@cempro.com			Orden de Trabajo: 39522	
				Fecha: 2020-12-16	
				Páginas: 1 De 1	
				Impresión: 2021-02-12	
Cliente:	CHO / CETEC	Contacto:	ING. ESTUARDO HERRERA / VALERIA SOLÍS		
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 8 FIRDA LA PEÑERA	Teléfono:	2285 4100		
Procedencia:	CETEC	Proyecto:	APLICACIÓN DE BARRERAS QUÍMICAS EN SUPERFICIES DE CONCRETO		

INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE CONCRETO

Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.
ASTM C1202

No.	ID. Cliente	Tipo de concreto	Ubicación de elemento	Fecha de Recepción	Fecha de Ensayo	Carga pasada (kN)	Carga pasada (Coulombs)	Penetrabilidad iones de cloruro
1	MEZCLA 1	---	MEZCLA 1	2020-12-17	2021-02-11	56	2200	Moderado
2	MEZCLA 2	---	MEZCLA 2	2020-12-17	2021-02-11	56	1571	Bajo
3	MEZCLA 3	---	MEZCLA 3	2020-12-17	2021-02-11	56	2734	Moderado
4	MEZCLA 4	---	MEZCLA 4	2020-12-17	2021-02-11	56	2261	Moderado
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---



HÉCTOR HERNÁNDEZ
Analista de Laboratorio



Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede contactarse al 22854178 o al correo laboratorio@cempro.com.
La reducción de la muestra se llevó a cabo en base al método planteado en norma COGUANOR NTG-41010 h11.
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

ENSAYOS REALIZADO POR CETEC.

Figura 68. Certificado indicación eléctrica a 90 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%.

	CEMENTOS PROGRESO, S.A. CENTRO TECNOLÓGICO 95 Av. 18-01 ZONA 8, Fincas La Pedrera Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4184 laboratorioceotec@cempro.com			Orden de Trabajo: 30253				
				Fecha: 2020-10-30				
				Página: 1 De 1				
				Impresión: 2021-02-10				
Cliente:	CI-DI CETEC	Contacto:	ING. ESTUARDO HERRERA / VALERIA SEQUEIRA					
Dirección:	15 Av. 18-01 ZONA 8 FINCA LA PEDRERA		Teléfono:	2286-4180				
Procedencia:	CETEC	Proyecto:	APLICACION DE MATERIALES CEMENTARIOS EN PLACAS Y ARCS DE CONCRETO					
<h2>INFORME DE ENSAYO</h2> <h3>LABORATORIO DE CONCRETO</h3>								
<p>Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro. ASTM C1202</p>								
No.	ID. Cliente	Tipo de concreto	Ubicación de elemento	Fecha de fecha	Fecha de Ensayo	Edad	Carga pesada Coulombs	Penetrabilidad Iones de cloruro
1	MEZCLA 1	---	MEZCLA 1	2020-10-30	2021-01-28	90	1842	Bajo
2	MEZCLA 2	---	MEZCLA 2	2020-10-30	2021-01-28	90	1388	Bajo
3	MEZCLA 3	---	MEZCLA 3	2020-10-30	2021-01-28	90	874	Muy bajo
4	MEZCLA 4	---	MEZCLA 4	2020-10-30	2021-01-28	90	4172	Alto
5	MEZCLA 5	---	MEZCLA 5	2020-10-30	2021-01-28	90	6015	Alto
6	MEZCLA 6	---	MEZCLA 6	2020-10-30	2021-01-28	90	1900	Bajo
7	MEZCLA 7	---	MEZCLA 7	2020-10-30	2021-01-28	90	2100	Moderado
		 HÉCTOR HERNÁNDEZ Analista de Laboratorio		 Jefe de Laboratorio / Coordinador				
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un código único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorioceotec@cempro.com.								
La reducción de la muestra se llevó a cabo en base al método planteado en norma COGUANOR NTG-61010 N11.								
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, salvo que en su totalidad.								
Observaciones:								
ENSAYOS REALIZADO POR CETEC.								

Figura 69. Certificado indicación eléctrica a 90 días RHA 15%, RHA 25%, SBA 15%, SBA 25%.

	CEMENTOS PROGRESO, S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera Tel: 2288-4178 Fax: 2286-4181 laboratoriocefec@cenpro.com			Unidad de Trabajo:	30023			
				Fecha:	2020-12-18			
				Página:	1 De 1			
				Impresión:	2021-03-26			
Cliente:	CMD/CETEC	Contacto:	ING. ESTUARDO HERRERA / VALERIA SOLÍSITA					
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Teléfono:	2286-4180					
Procedencia:	CETEC	Proyecto:	APLICACIÓN DE BETONES LEVANTADOS SUPLEMENTARIOS EN MEZCLAS DE CONCRETO					
<h2>INFORME DE ENSAYO</h2> <h3>LABORATORIO DE CONCRETO</h3>								
<p>Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro. ASTM C1202</p>								
No.	ID Cliente	Tipo de concreto	Ubicación de elemento	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad	Carga por metro cuadrado	Penetrabilidad Iones de cloruro
1	MEZCLA 1	---	MEZCLA 1	2020-12-17	2021-03-17	90	1305	Bajo
2	MEZCLA 2	---	MEZCLA 2	2020-12-17	2021-03-17	90	979	Muy bajo
3	MEZCLA 3	---	MEZCLA 3	2020-12-17	2021-03-17	90	1756	Bajo
4	MEZCLA 4	---	MEZCLA 4	2020-12-17	2021-03-17	90	1032	Bajo
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
 HECTOR HERNÁNDEZ Analista de Laboratorio		 Jefe de Laboratorio / Coordinador						
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un código único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocefec@cenpro.com. La reducción de la muestra se llevo a cabo en base al método planificado en norma COGUANOR NTG-41010 HTL. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.								
Observaciones: <p style="text-align: center;">ENSAYOS REALIZADO POR CETEC.</p>								

Figura 70. Certificado profundidad de agua a presión a 28 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%.



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 2286-4100 Fax: 2286-4178 cepro@cepro.com

OT: 39253
 FECHA OT: 2020-10-30
 PÁGINA: 1 de 1

OT: 39253
 FECHA OT: 2020-10-30
 PÁGINA: 1 de 1

Clientes:	C/D / Octec / Tesia	Telefono:	2286-1100
Dirección:	15 Av. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera	Análisis:	HERRANDOZ
Contacto:	Ing. Estuardo Herrera / Valeria Sequin	Fecha de Impresión:	2020-12-01
Proyecto:	Aplicación de materiales cementantes suplementarios en mallas de concreto		

INFORME DE ENSAYO PROFUNDIDAD DE PENETRACION DE AGUA BAJO PRESIÓN AL CONCRETO ENDURECIDO
 NORMA NTG 41017 h42

No.	ID. De muestra	Fecha de hechura	Edad en dias.	Fecha de ensayo	Tipo de concreto:	Diametro (mm)	Hora inicio de ensayo	Ubicación elemento fundido	Promedio de penetración (mm)	Profundidad de maxima penetración (mm)
1	MEZCLA 1	2020-10-30	28	2020-11-27	MEZCLA 1	152.5	09:40 a.m.	CILINDRO	17.9	26.5
2	MEZCLA 2	2020-10-30	28	2020-11-27	MEZCLA 2	152.5	09:40 a.m.	CILINDRO	14.8	19.3
3	MEZCLA 3	2020-10-30	28	2020-11-27	MEZCLA 3	152.5	09:40 a.m.	CILINDRO	13.8	16.1
4	MEZCLA 4	2020-10-30	28	2020-11-27	MEZCLA 4	152.5	09:40 a.m.	CILINDRO	30.8	35.2
5	MEZCLA 5	2020-10-30	28	2020-11-27	MEZCLA 5	152.5	09:40 a.m.	CILINDRO	44.2	55.3
6	MEZCLA 6	2020-10-30	28	2020-11-27	MEZCLA 6	152.5	09:40 a.m.	CILINDRO	27.1	35.5
7	MEZCLA 7	2020-10-30	28	2020-11-27	MEZCLA 7	152.5	09:40 a.m.	CILINDRO	32.2	38.5

Figura 71. Certificado profundidad de agua a presión a 56 días mezcla patrón, SF 5%, SF 10%, FA1 15%, FA1 25%, FA2 15%, FA2 25%.

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 2386-4100 Fax: 2386-4178 cetec@cempro.com		OT: 39253 FECHA OT: 2020-10-30 PÁGINA: 1 DE 1
	Cliente: CI-D / CETEC Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA Contacto: ING. ESTUARDO HERRERA / VALERIA SEQUEIRA	Telefono: 2386-4100 Analista: HÉCTOR HERNÁNDEZ Fecha de impresión: 2021-01-13	Proyecto: APLICACIÓN DE MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS EN MEZCLAS DE CONCRETO

INFORME DE ENSAYO PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN AL CONCRETO ENDURECIDO
NORMA NTG 41017 h42

No.	ID. De muestra.	Fecha de hechura	Edad en días	Fecha de ensayo	Tipo de concreto	Diámetro (mm)	Hora inicio de ensayo	Ubicación elemento fundido	Profundidad penetración (mm)	Profundidad máxima penetración (mm)
1	MEZCLA No. 1	2020-10-30	56	2020-12-25	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	12.76	15.21
2	MEZCLA No. 2	2020-10-30	56	2020-12-25	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	3.75	5.5
3	MEZCLA No. 3	2020-10-30	56	2020-12-25	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	7.00	9.72
4	MEZCLA No. 4	2020-10-30	56	2020-12-25	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	11.64	20.85
5	MEZCLA No. 5	2020-10-30	56	2020-12-25	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	18.36	31.32
6	MEZCLA No. 6	2020-10-30	56	2020-12-25	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	8.36	18.81
7	MEZCLA No. 7	2020-10-30	56	2020-12-25	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	8.86	12.43

NOTA.

Figura 72. Certificado profundidad de agua a presión a 56 días mezcla RHA 15%, RHA 25%, SBA 15%, SBA 25%.

		CEMENTOS PROGRESO S. A.		OT:	39522
		CENTRO TECNOLÓGICO		FECHA OT:	2020-12-18
		15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera		PÁGINA:	1 DE 1
		Tel: 2286-4100 Fax: 2286-4178 cetsc@compro.com			
Cliente:	CI-D / CETEC			Telefono:	2286-4100
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA			Analista:	HÉCTOR HERNÁNDEZ
Contacto:	ING. ESTUARDO HERRERA / VALERIA SEQUEIRA			Fecha de impresión:	2021-02-16
Proyecto:	APLICACIÓN DE MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS EN MEZCLAS DE CONCRETO				

INFORME DE ENSAYO PROFUNDIDAD DE PENETRACION DE AGUA BAJO PRESIÓN AL CONCRETO ENDURECIDO NORMA NTC 41017 h42										
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

No.	ID. De muestra	Fecha de hechura	Edad en días	Fecha de ensayo	Tipo de concreto	Diámetro (mm)	Hora inicio de ensayo	Ubicación elemento fundido	Promedio de penetración (mm)	Profundidad máxima penetración (mm)
1	MEZCLA No. 1	2020-12-17	56	2021-02-11	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	16.3	29.12
2	MEZCLA No. 2	2020-12-17	56	2021-02-11	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	13.5	20.32
3	MEZCLA No. 3	2020-12-17	56	2021-02-11	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	10.65	12.8
4	MEZCLA No. 4	2020-12-17	56	2021-02-11	-	152.5	10:00	CILINDRO 6X12	14.68	15.02
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NOTA:



Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 618; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope *

1.1 This specification covers coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete where cementitious or pozzolanic action, or both, is desired, or where other properties normally attributed to fly ash or pozzolans may be desired, or where both objectives are to be achieved.

NOTE 1—Finely divided materials may tend to reduce the entrained air content of concrete. Hence, if a fly ash or natural pozzolan is added to any concrete for which entrainment of air is specified, provision should be made to ensure that the specified air content is maintained by air content tests and by use of additional air-entraining admixture or use of an air-entraining admixture in combination with air-entraining hydraulic cement.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes, which provide explanatory information. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates²

C 311 Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete²

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 The terms used in this specification are defined in Terminology C 125.

3.1.2 *fly ash*—the finely divided residue that results from the combustion of ground or powdered coal and that is transported by flue gasses.

NOTE 2—This definition of fly ash does not include, among other things, the residue resulting from: (1) the burning of municipal garbage or any other refuse with coal; (2) the injection of lime directly into the boiler for sulfur removal; or (3) the burning of industrial or municipal garbage in incinerators commonly known as “incinerator ash.”

4. Classification

4.1 *Class N*—Raw or calcined natural pozzolans that comply with the applicable requirements for the class as given herein, such as some diatomaceous earths; opaline cherts and shales; tuffs and volcanic ashes or pumicites, calcined or uncalcined; and various materials requiring calcination to induce satisfactory properties, such as some clays and shales.

4.2 *Class F*—Fly ash normally produced from burning anthracite or bituminous coal that meets the applicable requirements for this class as given herein. This class of fly ash has pozzolanic properties.

4.3 *Class C*—Fly ash normally produced from lignite or subbituminous coal that meets the applicable requirements for this class as given herein. This class of fly ash, in addition to having pozzolanic properties, also has some cementitious properties.

NOTE 3—Some Class C fly ashes may contain lime contents higher than 10 %.

5. Ordering Information

5.1 The purchaser shall specify any supplementary optional physical requirements.

5.2 The purchaser shall indicate which procedure, A or B, shall be used when specifying requirements for effectiveness in contribution to sulfate resistance under Table 3.

6. Chemical Composition

6.1 Fly ash and natural pozzolans shall conform to the requirements as to chemical composition prescribed in Table 1.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.24 on Supplementary Cementitious Materials.

Current edition approved Jan. 10, 2003. Published February 2003. Originally approved in 1968. Last previous edition approved in 2002 as C 618–02.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

TABLE 1 Chemical Requirements

	Class		
	N	F	C
Silicon dioxide (SiO ₂) plus aluminum oxide (Al ₂ O ₃) plus iron oxide (Fe ₂ O ₃), min, %	70.0	70.0	50.0
Sulfur trioxide (SO ₃), max, %	4.0	5.0	5.0
Moisture content, max, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0 ^A	6.0

^AThe use of Class F pozzolan containing up to 12.0 % loss on ignition may be approved by the user if either acceptable performance records or laboratory test results are made available.

TABLE 2 Physical Requirements

	Class		
	N	F	C
<i>Fineness:</i>			
Amount retained when wet-sieved on 45 µm (No. 325) sieve, max, % ^A	34	34	34
<i>Strength activity index:</i> ^B			
With portland cement, at 7 days, min, percent of control	75 ^C	75 ^C	75 ^C
With portland cement, at 28 days, min, percent of control	75 ^C	75 ^C	75 ^C
Water requirement, max, percent of control	115	105	105
<i>Soundness:</i> ^D			
Autoclave expansion or contraction, max, %	0.8	0.8	0.8
<i>Uniformity requirements:</i>			
The density and fineness of individual samples shall not vary from the average established by the ten preceding tests, or by all preceding tests if the number is less than ten, by more than:			
Density, max variation from average, %	5	5	5
Percent retained on 45-µm (No. 325), max variation, percentage points from average	5	5	5

^A Care should be taken to avoid the retaining of agglomerations of extremely fine material.

^B The *strength* activity index with portland cement is not to be considered a measure of the compressive strength of concrete containing the fly ash or natural pozzolan. The mass of fly ash or natural pozzolan specified for the test to determine the *strength* activity index with portland cement is not considered to be the proportion recommended for the concrete to be used in the work. The optimum amount of fly ash or natural pozzolan for any specific project is determined by the required properties of the concrete and other constituents of the concrete and is to be established by testing. *Strength* activity index with portland cement is a measure of reactivity with a given cement and may vary as to the source of both the fly ash or natural pozzolan and the cement.

^C Meeting the 7 day or 28 day *strength* activity index will indicate specification compliance.

^D If the fly ash or natural pozzolan will constitute more than 20 % by weight of the cementitious material in the project mix design, the test specimens for autoclave expansion shall contain that anticipated percentage. Excessive autoclave expansion is highly significant in cases where water to fly ash or natural pozzolan and cement ratios are low, for example, in block or shotcrete mixes.

NOTE 4—The chemical component determinations and the limits placed on each do not predict the performance of the fly ash or natural pozzolan with hydraulic cement in concrete, but collectively help describe composition and uniformity of the material.

7. Physical Properties

7.1 Fly ash and natural pozzolans shall conform to the physical requirements prescribed in Table 2. Supplementary optional physical requirements are shown in Table 3.

8. Methods of Sampling and Testing

8.1 Sample and test the fly ash or natural pozzolan in accordance with the requirements of Test Methods C 311.

8.2 Use cement of the type proposed for use in the work and, if available, from the mill proposed as the source of the cement, in all tests requiring the use of hydraulic cement.

9. Storage and Inspection

9.1 The fly ash or natural pozzolan shall be stored in such a manner as to permit easy access for proper inspection and identification of each shipment.

9.2 Inspection of the material shall be made as agreed upon by the purchaser and the seller as part of the purchase contract.

10. Rejection

10.1 The purchaser has the right to reject material that fails to conform to the requirements of this specification. Rejection shall be reported to the producer or supplier promptly and in writing.

10.2 The purchaser has the right to reject packages varying more than 5 % from the stated weight. The purchaser also has the right to reject the entire shipment if the average weight of the packages in any shipment, as shown by weighing 50 packages taken at random, is less than that specified.

10.3 The purchaser has the right to require that material in storage prior to shipment for a period longer than 6 months after testing be retested. The purchaser has the right to reject such material if it fails to meet the fineness requirements.

11. Packaging and Package Marking

11.1 When the fly ash or natural pozzolan is delivered in packages, the class, name, and brand of the producer, and the

TABLE 3 Supplementary Optional Physical Requirements

NOTE 1—These optional requirements apply only when specifically requested.

	Class		
	N	F	C
Multiple factor, calculated as the product of loss on ignition and fineness, amount retained when wet-sieved on 45- μm (No. 325) sieve, max, % ^A	255
Increase of drying shrinkage of mortar bars at 28 days, max, difference, in %, over control ^B	0.03	0.03	0.03
Uniformity Requirements: In addition, when air-entraining concrete is specified, the quantity of air-entraining agent required to produce an air content of 18.0 vol % of mortar shall not vary from the average established by the ten preceding tests or by all preceding tests if less than ten, by more than, %	20	20	20
Effectiveness in Controlling Alkali-Silica Reaction: ^C Expansion of test mixture as percentage of low-alkali cement control, at 14 days, max, %	100	100	100
Effectiveness in Contributing to Sulfate Resistance: ^D Procedure A: Expansion of test mixture: For moderate sulfate exposure after 6 months exposure, max, % For high sulfate exposure after 6 months exposure, max, %	0.10 0.05	0.10 0.05	0.10 0.05
Procedure B: Expansion of test mixture as a percentage of sulfate resistance cement control after at least 6 months exposure, max,%	100	100	100

^A Applicable only for Class F fly ash since the loss on ignition limitations predominate for Class C.

^B Determination of compliance or noncompliance with the requirement relating to increase in drying shrinkage will be made only at the request of the purchaser.

^C Fly ash or natural pozzolans meeting this requirement are considered as effective in controlling alkali aggregate reactions as the use of the low-alkali control cement used in the evaluation. However, the fly ash or natural pozzolan shall be considered effective only when used at percentages by mass of the total cementitious material equal to or exceeding that used in the tests and when the alkali content of the cement to be used does not exceed that used in the tests by more than 0.05 %. See Appendix XI, Test Methods C 311.

^D Fly ash or natural pozzolan shall be considered effective only when the fly ash or natural pozzolan is used at percentages, by mass, of the total cementitious material within 2 % of those that are successful in the test mixtures or between two percentages that are successful, and when the C_3A content of the project cement is less than, or equal to, that which was used in the test mixtures. See Appendix X2 of Test Method C 311.

weight of the material contained therein, shall be plainly marked on each package. Similar information shall be provided in the shipping invoices accompanying the shipment of packaged or bulk material.

12. Keywords

12.1 fly ash; natural pozzolan; pozzolans

SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of changes to this specification that have been incorporated since the last issue, C 618-02.

(1) Added new note Note 4 to 6.1.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 311; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover procedures for sampling and testing fly ash and raw or calcined pozzolans for use in portland-cement concrete.

1.2 The procedures appear in the following order:

	Sections
Sampling	7
CHEMICAL ANALYSIS	
Reagents and apparatus	10
Moisture content	11 and 12
Loss on ignition	13 and 14
Silicon dioxide, aluminum oxide, iron oxide, calcium oxide, magnesium oxide, sulfur trioxide, sodium oxide and potassium oxide	15
Available alkali	16 and 17
Ammonia	18
PHYSICAL TESTS	
Density	19
Fineness	20
Increase of drying shrinkage of mortar bars	21-23
Soundness	24
Air-entrainment of mortar	25 and 26
Strength activity index with portland cement	27-30
Water requirement	31
Effectiveness of Fly Ash or Natural Pozzolan in Controlling Alkali-Silica Reactions	32
Effectiveness of Fly Ash or Natural Pozzolan in Contributing to Sulfate Resistance	34

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are provided for information purposes only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.5 The text of this standard references notes and footnotes that provide explanatory information. These notes and footnotes (excluding those in tables) shall not be considered as requirements of this standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- C 33** Specification for Concrete Aggregates
- C 109/C 109M** Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars(Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)
- C 114** Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement
- C 150** Specification for Portland Cement
- C 151** Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement
- C 157/C 157M** Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete
- C 185** Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar
- C 188** Test Method for Density of Hydraulic Cement
- C 204** Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus
- C 226** Specification for Air-Entraining Additions for Use in the Manufacture of Air-Entraining Hydraulic Cement
- C 227** Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)
- C 430** Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45-µm (No. 325) Sieve
- C 441** Test Method for Effectiveness of Pozzolans or Ground Blast-Furnace Slag in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to the Alkali-Silica Reaction
- C 618** Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- C 670** Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- C 778** Specification for Sand
- C 1012** Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution
- C 1157** Performance Specification for Hydraulic Cement
- C 1437** Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar
- D 1426** Test Methods for Ammonia Nitrogen In Water

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and are the direct responsibility of Subcommittee C09.24 on Supplementary Cementitious Materials.

Current edition approved Dec. 15, 2005. Published January 2006. Originally approved in 1953. Last previous edition approved in 2004 as C 311 – 04.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

D 4326 Test Method for Major and Minor Elements in Coal and Coke Ash By X-Ray Fluorescence

2.2 ACI Document:³

ACI 201.2R Guide to Durable Concrete

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.1.1 *composite sample*—a sample that is constructed by combining equal portions of grab or regular samples.

3.1.2 *established source*—a source for which at least six months of continuous production quality assurance records from a test frequency required for a new source are available, sampled at the source.

3.1.3 *grab sample*—a sample that is taken in a single operation from a conveyor delivering to bulk storage, from bags, or from a bulk shipment. Such a sample may, or may not, reflect the composition or physical properties of a single lot of fly ash or natural pozzolan. This type of sample can be used to characterize small amounts of material.

3.1.4 *jobsite or new source*—a source for which less than six months of production records are available, sampled at the source.

3.1.5 *lot*—specific quantity of fly ash or natural pozzolan offered for inspection at any one time. A lot may be one storage bin or the contents of one or more transport units representing material drawn from the same storage bin.

3.1.6 *regular sample*—a sample that is constructed by combining equal portions of grab samples that were taken at predetermined times or locations from any single lot of material.

4. Significance and Use

4.1 These test methods are used to develop data for comparison with the requirements of Specification C 618. These test methods are based on standardized testing in the laboratory and are not intended to simulate job conditions.

4.1.1 *Strength Activity Index*—The test for strength activity index is used to determine whether fly ash or natural pozzolan results in an acceptable level of strength development when used with hydraulic cement in concrete. Since the test is performed with mortar, the results may not provide a direct correlation of how the fly ash or natural pozzolan will contribute to strength in concrete.

4.1.2 *Chemical Tests*— The chemical component determinations and the limits placed on each do not predict the performance of a fly ash or natural pozzolan with hydraulic cement in concrete, but collectively help describe composition and uniformity of the material.

5. Materials

5.1 *Graded Standard Sand*—The sand used for making test specimens for the activity index with lime or portland cement shall be natural silica sand conforming to the requirements for graded standard sand in Specification C 778.

NOTE 1—*Segregation of Graded Sand*—The graded standard sand should be handled in such a manner as to prevent segregation, since variations in the grading of the sand cause variations in the consistency of the mortar. In emptying bins or sacks, care should be exercised to prevent the formation of mounds of sand or craters in the sand, down the slopes of which the coarser particles will roll. Bins should be of sufficient size to permit these precautions. Devices for drawing the sand from bins by gravity should not be used.

5.2 *Hydrated Lime*— The hydrated lime used in the tests shall be reagent-grade calcium hydroxide, 95 % minimum calculated as Ca(OH)₂(Note 2), and have a minimum fineness of 2500 m²/kg as determined in accordance with Test Method C 204.

NOTE 2—The calcium hydroxide should be protected from exposure to carbon dioxide. Material remaining in an opened container after a test should not be used for subsequent tests.

5.3 *Portland Cement*— The portland cement used in the Strength Activity Index with Portland Cement test shall comply with the requirements of Specification C 150 and have a minimum compressive strength of 35 MPa (5000 psi) at 28 days and total alkalies (Na₂O + 0.658 K₂O) not less than 0.50 % nor more than 0.80 %.

5.3.1 The use of a locally available portland cement in the Strength Activity Index or a project cement that does not meet the requirements of the section on Materials is permitted when the variations from the requirements of the section on Materials are reported and when the use of such portland cement is requested.

6. Sample Type and Size

6.1 Grab samples and regular samples shall have a mass of at least 2 kg (4 lb).

6.2 Grab samples or regular samples taken at prescribed intervals over a period of time (see Table 1), may be combined to form a composite sample representative of the fly ash or natural pozzolan produced during that period of time.

6.3 Composite samples shall have a mass of at least 4 kg (8 lb).

6.4 The sampling shall be done by, or under the direction of, a responsible representative of the purchaser.

7. Sampling Procedure

7.1 The fly ash or natural pozzolan may be sampled by any one of the following methods:

7.1.1 *From Bulk Storage at Point of Discharge or from Rail Cars and Road Tankers*—A sample may be taken by siphon

TABLE 1 Minimum Sampling and Testing Frequency^A

Test	Sample Type	Jobsite or New Source ^B	Established Source ^B
Moisture content	Regular	Daily or each 90 Mg ^C (100 Tons)	Daily or each 360 Mg ^C (400 Tons)
Loss on ignition			
Fineness			
Density and the other tests in Specification C 618, Tables 1 and 2	Composite	Monthly or each 1 800 Mg ^C (2 000 Tons)	Monthly or each 2 900 Mg ^C (3 200 Tons)

^A It should be noted that the minimum test frequency given in Table 1 is not necessarily the frequency needed for quality control programs on some fly ash or natural pozzolans.

^B For definitions, refer to the Terminology section.

^C Whichever comes first.

³ Available from American Concrete Institute (ACI), P.O. Box 9094, Farmington Hills, MI 48333.

tube during loading or by sampling tube from each loaded car or tanker. If the load is sampled at the point of discharge into the rail car or tanker, the top surface shall be removed to a depth of at least 200 mm (8 in.) before sampling. The sample shall be identified with at least the date and shipment number.

7.1.2 From Bags in Storage—The regular sample shall comprise increments of equal size taken by sampling tube from three bags selected at random from one lot of bagged material. The sample shall be identified with date and lot number.

7.1.3 From Conveyor Delivering to Bulk Storage—Take one sample of 2 kg (4 lb) or more of the material passing over the conveyor. This may be secured by taking the entire test sample in a single operation, known as the grab sample method, or by combining several equal portions taken at regular intervals, known as the regular sample method. Automatic samplers may be used to obtain samples.

7.2 Samples shall be treated as described in Section 8.

NOTE 3—Some methods of loading or delivery of fly ash or natural pozzolan, particularly from an airstream or conveyor belt, may create stratification or segregation in the material stream. Sampling techniques must be designed to ensure that the sample is representative of the material shipped.

8. Preparation and Storage of Samples

8.1 Prepare composite samples for the tests required in Section 9, by arranging all grab or regular samples into groups covering the period or quantity to be represented by the sample. Take equal portions from each, sufficient to produce a composite sample large enough for the tests required. Mix the composite sample thoroughly.

8.2 Samples shall be stored in clean, airtight containers identified with the source and lot or period of time represented. Untested portions of the sample shall be retained for at least one month after all test results have been reported.

9. Testing Frequency

9.1 General—When required, the purchaser shall specify the amount of testing for available alkalis, reactivity with cement alkalis, drying shrinkage, and air-entrainment. Make all other tests on regular or composite samples chosen as specified in Table 1.

CHEMICAL ANALYSIS

10. General

10.1 All apparatus, reagents and techniques shall comply with the requirements of Test Methods C 114.

10.2 Purity of Water— Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean distilled water or water of equal purity.

MOISTURE CONTENT

11. Procedure

11.1 Dry a weighed sample, as received, to constant weight in an oven at 105 to 110 °C (221 to 230 °F).

12. Calculation

12.1 Calculate the percentage of moisture to the nearest 0.1 %, as follows:

$$\text{Moisture content, \%} = (A/B) \times 100 \quad (1)$$

where:

A = mass loss during drying, and

B = mass as received.

LOSS ON IGNITION

13. Procedure

13.1 Determine loss on ignition in accordance with the procedures outlined in Test Methods C 114, except that the material remaining from the determination of moisture content shall be ignited to constant mass in an uncovered porcelain, not platinum, crucible at 750 ± 50 °C (1382 ± 190 °F).

14. Calculation

14.1 Calculate the percentage of loss on ignition to the nearest 0.1, as follows:

$$\text{Loss on ignition, \%} = (A/B) \times 100 \quad (2)$$

where:

A = loss in mass between 105 and 750 °C (221 and 1382 °F),

B = mass of moisture-free sample used.

SILICON DIOXIDE, ALUMINUM OXIDE, IRON OXIDE, CALCIUM OXIDE, MAGNESIUM OXIDE, SULFUR TRIOXIDE, SODIUM OXIDE AND POTASSIUM OXIDE

15. Procedure

15.1 Determine the percentages of these oxides as required in accordance with the applicable sections of Test Methods C 114 for materials having an insoluble residue greater than 1 % (Note 4). Analysts performing sodium oxide and potassium oxide determinations shall observe the precautions outlined in the applicable section of Performance Specification C 1157 (refer to the section on Test Methods). Most pozzolans dissolve completely in lithium borate fluxes.

NOTE 4—Rapid and instrumental methods may be employed similar to those in Test Methods C 114 and D 4326.

AVAILABLE ALKALI

16. Procedure

16.1 Weigh 5.0 g of the sample and 2.0 g of hydrated lime on a piece of weighing paper, carefully mix using a metal spatula, and transfer to a small plastic vial of approximately 25-mL capacity. Add 10.0 mL of water to this mixture, seal the vial by securing the cap or lid to the vial with tape (Note 5), blend by shaking until the mixture is uniform, and store at 38 ± 2 °C.

NOTE 5—To ensure that moisture loss from the paste does not occur, place the sealed vial in a sealable container (such as a small sample or mason jar), add sufficient water to cover the bottom of the container, and seal.

16.2 Open the vial at the age of 28 days and transfer the contents to a 250-mL casserole. Break up and grind the cake with a pestle, adding a small amount of water, if necessary, so that a uniform slurry containing no lumps is obtained (Note 6). Add sufficient water to make the total volume 200 mL. Let

stand 1 h at room temperature with frequent stirring. Filter through a medium-textured filter paper onto a 500-mL volumetric flask. Wash thoroughly with hot water (eight to ten times).

NOTE 6—At times it may be necessary to break the vial and peel off the plastic from the solid cake. In such cases, care should be exercised to avoid the loss of material and to remove all solid material from the fragments of the vial. If the cake is too hard to break up and grind in the casserole, a mortar should be used.

16.3 Neutralize the filtrate with dilute HCl (1 + 3), using 1 to 2 drops of phenolphthalein solution as the indicator. Add exactly 5 mL of dilute HCl (1 + 3) in excess. Cool the solution to room temperature and fill the flask to the mark with distilled water. Determine the amount of sodium and potassium oxides in the solution using the flame photometric procedure, described in Test Methods **C 114**, except that the standard solutions shall be made up to contain 8 mL of calcium chloride (CaCl₂) stock solution per litre of standard solution, and the solution as prepared shall be used in place of the solution of cement.

NOTE 7—The standard solutions made up with 8 mL of calcium chloride (CaCl₂) stock solution contain the equivalent of 504 ppm of CaO. Tests have shown that this amount closely approximates the amount of calcium dissolved in the test solution.

17. Calculation and Report

17.1 Calculate the results as weight percent of the original sample material. Report as equivalent percentage of sodium oxide (Na₂O), calculated as follows:

$$\text{Equivalent Na}_2\text{O, \%} = \text{Na}_2\text{O, \%} + 0.658 \times \text{K}_2\text{O, \%} \quad (3)$$

AMMONIA

18. Procedure

18.1 Weigh 1.00 g of the fly ash sample into a 125 mL Erlenmeyer flask. Add 100 mL of ammonia-free water. Place a neoprene rubber stopper on the flask and swirl the contents to thoroughly mix the sample and the water.

18.2 Filter the mixture using a medium-textured filter paper and save the filtrate for the ammonia determination.

18.3 Determine the concentration of ammonia in the filtrate in accordance with the procedures outlined in Test Methods **D 1426**, Method A—Direct Nesslerization or Method B—Selective Ion Electrode.

18.4 Calculate the ammonia concentration of the fly ash as follows:

$$\text{Ammonia, mg/kg} = N_W \times V_W / W_{fa} \quad (4)$$

where:

N_W = ammonia concentration of the water extract determined by Test Methods **D 1426**, mg/L,

V_W = volume of water used for extracting ammonia from the fly ash sample, mL, and

W_{fa} = Mass of fly ash sample used in the test, g.

PHYSICAL TESTS

DENSITY

19. Procedure

19.1 Determine the density of the sample in accordance with the procedure described in Test Method **C 188**, except use about 50 g of fly ash or natural pozzolan instead of approximately 64 g of cement as recommended in Test Method **C 188**.

FINENESS, AMOUNT RETAINED WHEN WET-SIEVED ON A 45- μm (NO. 325) SIEVE

20. Procedure

20.1 Determine the amount of the sample retained when wet-sieved on a 45- μm (No. 325) sieve, in accordance with Test Method **C 430**, with the following exceptions.

20.1.1 Calibrate the 45- μm (No. 325) sieve using a cement standard (SRM 114). Calculate the sieve correction factors as follows:

$$CF = \text{std} - \text{obs} \quad (5)$$

where:

CF = the sieve correction factor, %, (include a negative sign when appropriate),

std = the certified residue value for the SRM, %, and

obs = the observed residue value for the SRM, %.

20.1.2 Calculate the fineness of the fly ash or natural pozzolan to the nearest 0.1 % as follows:

$$R_C = R_S + CF \quad (6)$$

where:

R_C = corrected sieve residue, %, and

R_S = observed residue for the test sample, %, and

CF = the sieve correction factor, %.

If the residue retained for the test sample is equal to zero ($R_S = 0$), then the sieve correction factor shall not be added to the test result to calculate the corrected sieve residue. In such cases, the corrected fineness shall be reported as zero.

NOTE 8—Test Method **C 430** has been adopted for testing fly ash fineness. However, certain requirements, such as cleaning of sieves and interpretation of the test results, are sometimes not appropriate for fly ashes.

INCREASE OF DRYING SHRINKAGE OF MORTAR BARS

21. Test Specimen

21.1 Prepare test specimens in accordance with the procedures described in Test Method **C 157/C 157M**, except mold three mortar bars from both the control mix and the test mix using the following proportions:

	Control Mix	Test Mix
Portland cement, g	500	500
Fly ash or natural pozzolan, g	None	125
Graded standard sand, g	1375	1250
Water	sufficient to produce a flow of 100 to 115 %	

22. Procedure

22.1 Cure and measure the test specimens in accordance with Test Method **C 157/C 157M**, except that the moist-curing period (including the period in the molds) shall be 7 days, and the comparator reading at the age of $24 \pm \frac{1}{2}$ h shall be omitted. Immediately after taking the comparator reading at the end of the 7-day moist-curing period, store the specimens in accordance with Test Method **C 157/C 157M**, and after 28 days of air storage, take a comparator reading for the specimens in accordance with Test Method **C 157/C 157M**.

23. Calculation and Report

23.1 Calculate the increase in drying shrinkage of the mortar bars, S_p , as follows:

$$S_i = S_t - S_c \quad (7)$$

where:

S_t = average drying shrinkage of the test specimens calculated as follows, and

S_c = average drying shrinkage of the control specimens calculated as follows:

$$S = \frac{[\text{initial CRD} - \text{CRD}] \times 100}{G} \quad (8)$$

where:

S = drying shrinkage of test or control specimens, %,

initial CRD = difference between the comparator reading of the specimen and the reference bar at 7 days of moist curing,

CRD = difference between the comparator reading of the specimen and the reference bar at 28 days of drying, and

G = the gage length of the specimens 250 mm (10 in.).

23.2 Report the results to the nearest 0.01. If the average drying shrinkage of the control specimens is larger than the average drying shrinkage of the test specimens, prefix a minus sign to the increase of drying shrinkage of mortar bars reported.

SOUNDNESS

24. Procedure

24.1 Conduct the soundness test in accordance with Test Method **C 151**, except that the specimens shall be molded from a paste composed of 25 parts by weight of fly ash or natural pozzolan and 100 parts by weight of a portland cement conforming to Specification **C 150**.

AIR-ENTRAINMENT OF MORTAR

25. Procedure

25.1 Using portland cement conforming to the requirements for Type I or Type II of Specification **C 150**, prepare a test mixture in accordance with Test Method **C 185**, using the following proportions:

	Test Mix
Portland cement, g	300
Fly ash or natural pozzolan	75
20–30 standard sand, g	1125
Water, mL, sufficient to give a flow of 80 to 95	Y
Neutralized Vinsol resin solution, mL, ^A sufficient to produce an air content of $18 \pm 3\%$	Z

^A The amount of Vinsol resin solution used shall be considered as part of the mixing water.

25.2 The neutralized Vinsol resin solution used in this section on Air-Entrainment of Mortar shall be either a commercial neutralized Vinsol resin solution or a neutralized Vinsol resin solution prepared in accordance with Specification **C 226**. If it is necessary to dilute either of these solutions, use distilled or demineralized water. (**Note 9**.)

NOTE 9—Dissolved minerals in drinking water may precipitate Vinsol resin solutions and greatly diminish its air-entraining characteristics.

25.3 Prepare two test mixtures with sufficient neutralized Vinsol resin to produce an air content of 15 to 18 % in the first mix and 18 to 21 % in the second mix. Then, determine by interpolation the amount of Vinsol resin, expressed as weight percent of the cement, required to produce an air content of 18 %.

26. Calculation

26.1 Calculate the air content of the test mixtures as follows:

$$\text{Air content, volume \%} = 100[1 - (W_a/W_c)] \quad (9)$$

$$W_a = W/400 \quad (10)$$

$$W_c = \frac{300 + 1125 + 75 + (300 \times P \times 0.01)}{\left[\left(\frac{300}{3.15} \right) + \left(\frac{1125}{2.65} \right) + \left(\frac{75}{D} \right) + \left(\frac{300 \times P \times 0.01}{1} \right) \right]} \quad (11)$$

where:

W_a = actual weight per unit of volume of mortar as determined by Test Method **C 185**, g/mL,

W = weight of the specified 400 mL of mortar (see Test Method **C 185**), g,

W_c = theoretical weight per unit of volume, calculated on an air-free basis and using the values for density and quantities of the materials in the mix, g/mL,

P = percentage of mixing water plus Vinsol resin solution based on weight of cement, and

D = density of fly ash or natural pozzolan in the mixture, Mg/m^3 .

STRENGTH ACTIVITY INDEX WITH PORTLAND CEMENT

27. Specimens

27.1 Mold the specimens from a control mixture and from a test mixture in accordance with Test Method **C 109/C 109M**. The portland cement used in the Strength Activity Index test shall comply with the requirements of Specification **C 150** and with the alkali and strength limits given in the section on Materials. In the test mixture, replace 20 % of the mass of the amount of cement used in the control mixture by the same mass of the test sample. Make six-cube batches as follows:

27.1.1 Control Mixture:

500 g of portland cement
 1375 g of graded standard sand
 242 mL of water

27.1.2 Test Mixture:

400 g of portland cement
 100 g of test sample
 1375 g of graded standard sand
 mL of water required for flow ± 5 of control mixture

27.2 Number of Specimens:

27.2.1 Since Specification **C 618** specifies that “meeting the 7 day or 28 day Strength Activity Index will indicate specification compliance” only one age might be required. At the option of the producer or the user after preparing six-cube batches, only three cubes of control and test mixtures need to be molded for either 7 or 28 day testing.

28. Storage of Specimens

28.1 After molding, place the specimens and molds (on the base plates) in the moist room or closet at 23.0 ± 2.0 °C (73.4 ± 3 °F) for 20 to 24 h. While in the moist room or closet, protect the surface from dripping water. Remove the molds from the moist room or closet and remove the cubes from the molds. Place and store the cubes in saturated lime water as specified in Test Method **C 109/C 109M**.

NOTE 10—Take care to ensure against zones of stratification or pockets of variation in temperature in the curing chamber.

29. Compressive Strength Test

29.1 Determine the compressive strength, as specified in Test Method **C 109/C 109M**, of three specimens of the control mixture and three specimens of the test mixture at ages of 7 days, or 28 days, or both, depending upon how many specimens were molded as prescribed in the section on Number of Specimens.

30. Calculation

30.1 Calculate the strength activity index with portland cement as follows:

$$\text{Strength activity index with portland cement} = (A/B) \times 100 \quad (11)$$

where:

A = average compressive strength of test mixture cubes, MPa (psi), and

B = average compressive strength of control mix cubes, MPa (psi).

WATER REQUIREMENT

31. Calculation

31.1 Calculate the water requirement for the Strength Activity Index with Portland Cement as follows:

$$\text{Water requirement, percentage of control} = (Y/242 \times 100) \quad (12)$$

where:

Y = water required for the test mixture to be ± 5 of control flow.

EFFECTIVENESS OF FLY ASH OR NATURAL POZZOLAN IN CONTROLLING ALKALI SILICA-REACTIONS (SEE Appendix X1)

32. Procedure

32.1 Determine expansion of mortar made with a fly ash or natural pozzolan and a test cement as a percent of expansion of mortar made with low alkali cement in accordance with Test Method **C 441** as modified in the following paragraphs:

32.1.1 *Control Mixture*—The control mixture will be made as required in Test Method **C 441** except that the control cement shall have an alkali content (as equivalent Na_2O) less than 0.60 % (Note 11).

NOTE 11—Generally, the control cement should have an alkali content as equivalent Na_2O between 0.50 and 0.60 %. However, lower alkali control cement may be used, if desired, to demonstrate equivalence.

32.1.2 *Test Mixture Using Fly Ash or Natural Pozzolan*—The combined quantity of cement plus fly ash or natural pozzolan shall total 400 g (see Appendix X1). Use 900 g of borosilicate glass aggregate and sufficient mixing water to produce a flow between 100 and 115 % as determined in accordance with Test Method **C 1437**. The cement used in the test mixture shall have an alkali content greater than that of the cement in the control mixture (Note 12).

NOTE 12—Generally, this test cement will have an alkali content equal to or higher than that used in the job.

32.1.3 Store and measure specimens as required in Test Method **C 227**. Measure length of specimens at ages of 1 and 14 days.

33. Report

33.1 Include in the report for each test mixture comparison made:

33.1.1 The 14 day expansion of the test mixture as a percent of the control mixture at that age,

33.1.2 The identification and chemical analysis of the fly ash or natural pozzolan,

33.1.3 The mass percentage of fly ash or natural pozzolan based on the total mass of cement plus fly ash or natural pozzolan in the test mixture, and

33.1.4 The alkali content of control and test mixture cements as equivalent alkali ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$).

EFFECTIVENESS OF FLY ASH OR NATURAL POZZOLAN IN CONTRIBUTING TO SULFATE RESISTANCE

34. Procedure

34.1 Compare the length change of mortar bars with absolute expansion limits or compare the length change of mortar bars made with a control cement with the length change of mortar bars made with fly ash or natural pozzolan and a test cement, in accordance with Test Method **C 1012**, as modified in the following paragraphs. Results shall be evaluated using absolute limits (Procedure A) or the relative expansion limits (Procedure B) in Specification **C 618**, Table 2A.

34.2 *Control Mixture for Procedure A*—A control mixture is not mandatory since performance measured using Procedure A is based on maximum expansion of the test mixture. If a control mixture is made for Procedure A then proportion it as required in Test Method C 1012 using a cement meeting the requirements of Specification C 150, Type II or Type V.

34.3 *Test Mixture Using Fly Ash or Natural Pozzolan for Procedure A*—Make the combined quantity of cement plus fly ash or natural pozzolan, by mass, the same as the total cement content of the control mixture described in the Making Mortars section of Test Method C 1012. The proportion of fly ash or natural pozzolan may be varied using from 15 % to 50 %, by mass, of the total cement plus fly ash or natural pozzolan. Any type of portland cement may be used to prepare test mixtures.

34.4 *Control Mixture for Procedure B*—Make the control mixture for Procedure B as required in Test Method C 1012 with the cement that is proposed for use in the project or a cement that through performance or definition (Specification C 150, Section 1) is expected to give satisfactory results (or a cement for which the contribution to sulfate resistance is known and is satisfactory).

NOTE 13—The control cement should be chosen to give sulfate resistance for the expected level of sulfate exposure. Experience has shown that Type II cements are often used for moderate levels of exposure. Type V cement is commonly used for severe exposures (see X2.2 of Appendix X2).

34.5 *Test Mixture for Using Fly Ash or Natural Pozzolan for Procedure B*—Make the combined quantity of cement plus fly ash or natural pozzolan, by mass, the same as the total cement used in the control mixture. The proportion of fly ash or natural pozzolan may be varied from 15 % to 50 % of the total cement plus fly ash or natural pozzolan by mass. Any type of portland cement may be used to prepare test mixtures.

34.6 For either Procedure A or B, store and measure specimens as required in Test Method C 1012 for at least 6 months.

NOTE 14—Evaluation of the sulfate resistance of cementitious materials for use in certain situations or critical structures may require longer periods of storage and additional length measurements. Refer to Test Method C 1012 for guidance on this matter.

35. Report

35.1 In addition to the information required in Test Method C 1012, report the following information for each mixture comparison made:

35.2 For Procedure A, the age and expansion as a specific amount,

35.3 For Procedure B, the age and expansion as a percent of the control mixture at that age,

35.4 The identification and chemical analysis including C₃A content of the cements used in both the control and test mixtures,

35.5 The identification and chemical analysis of the fly ash or natural pozzolan used in the test mixtures,

35.6 The mass percentages of the fly ash or natural pozzolan based on the total mass of cement plus fly ash or natural pozzolan in the test mixture.

TABLE 2 Within and Between Lab Precision Estimates for C 114 Methods Applied to the Analysis of Fly Ash^A

Oxide	1s		d2s	
	W/L	B/L	W/L	B/L
SiO ₂	0.62	0.86	1.75	2.45
Al ₂ O ₃	1.46	2.29	4.12	6.48
Fe ₂ O ₃				
<2 %	0.12	0.11	0.34	0.31
≥2 %	0.12	0.25	0.34	0.71
CaO	0.63	0.74	1.79	2.09
MgO	0.20	0.21	0.55	0.61
SO ₃	0.10	0.16	0.28	0.45
Moisture	0.05	0.06	0.15	0.17
LOI	0.09	0.12	0.25	0.35

^AThe four values for SO₃ were editorially corrected to reflect updated research reports associated with this standard.

PRECISION AND BIAS

36. Precision and Bias

36.1 Strength Activity Index Test:

36.1.1 Precision was determined from two interlaboratory studies involving two Class C fly ashes, two Class F fly ashes, and one Class N pozzolan. Participating laboratories numbered 12 and 7 in the two studies.⁴

36.1.2 The single-operator standard deviation for the Strength Activity Index test has been found to be 3.7 % (1s). This does not appear to vary either with material or with test age, over the range of 7 to 28 days. Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on the same material should not differ by more than 10.5 % (d2s) of the average of the two results.

36.1.3 The multilaboratory standard deviation for the Strength Activity Index test has been found to be 4.5 % (1s). This does not appear to vary either with material or with test age, over the range of 7 to 28 days. Therefore, results of two properly conducted tests in different laboratories on the same material should not differ by more than 12.7 % (d2s) of the average of the two results.

36.1.4 Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for this procedure, no statement on bias is being made.

36.2 Chemical Analysis:

36.2.1 Precision and bias estimates for the test methods in C 114 when applied to the analysis of pozzolans were calculated from an interlaboratory study involving 7 laboratories each analyzing 4 NIST SRM fly ashes. A research report describing the results of this study is available from ASTM.⁵

36.2.2 *Precision*—Within-laboratory (W/L) and between-laboratory (B/L) estimates of standard deviation and estimates of maximum differences expected between duplicate determinations in 95 % of comparisons⁶ are summarized in Table 2.

36.2.3 *Bias*—Statistically significant bias was found in the determination of CaO and MgO. CaO determinations averaged

⁴ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: C09-1001.

⁵ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: C09-1008.

⁶ These values represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C 670.

0.46 % higher than the value certified for the SRM. MgO determinations averaged 0.19 % higher than the value certified for the SRM.

36.3 Ammonia:

36.3.1 Precision of Method A (Direct Nesslerization) – The single-laboratory coefficient of variation (repeatability) has been found to be 9.2 % (1s %). The reproducibility of this test method is being determined and will be available on or before July 2010.

36.3.2 Precision of Method B (Selective Ion Electrode) – The single-laboratory coefficient of variation (repeatability)

has been found to be 7.4 % (1s %). The reproducibility of this test method is being determined and will be available on or before July 2010.

36.3.3 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for these procedures, no statement on bias is being made.

37. Keywords

37.1 fly ash; natural pozzolan

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. COMMENTARY ON SECTION 32

X1.1 Test procedures in Section 32 are designed to determine the effectiveness of fly ash, or natural pozzolan, in preventing excessive expansion resulting from a reaction between certain aggregates and alkalis in portland-cement mixtures. Tests are made in accordance with Test Method C 441 using:

X1.1.1 400 g of portland cement or a combined total of cement plus fly ash or natural pozzolan of 400 g,

X1.1.2 900 g of borosilicate glass, and

X1.1.3 Sufficient water to obtain a flow of 100 to 115 %.

X1.2 The control mixture is made with a low-alkali portland cement. The test mixture, made of a test percentage of the fly ash or natural pozzolan, can be made with the same cement or any other cement having an equivalent alkali content greater than 0.60 %.

X1.3 *Interpretation of Results*—The fly ash or natural pozzolan should be considered “effective” when used at percentages equal to or greater than the percentages used in the test mixture with cements having alkali contents that do not exceed by more than 0.05 percentage points the alkali content of the cement used in the test mixture.

X1.4 *Selection of the Percentage of Fly Ash or Natural Pozzolan*—It may be necessary to make test mixtures with several percentages of fly ash or natural pozzolan to determine the minimum amount necessary to be considered “effective” in reducing expansion to the level produced by the “control” low-alkali cement. The minimum amount of fly ash or natural pozzolan should be 15 % by weight of cementitious material.

X1.5 *Selection of the Alkali Content of the Cement Used in the Test Mixture*—In some instances it may not be necessary to demonstrate that the fly ash or natural pozzolan will reduce expansion, but rather that it will not increase expansion. In this instance the test and control mixtures should be made with the same low alkali cement used in the control mixture to better

delineate any increase in expansion. The fly ash or natural pozzolan percentage used may need to be sufficiently high to demonstrate that the percentage exceeds the pessimum if such pessimum exists for the combination.

X1.6 *Selection of the Low Alkali Control Cement*—The test procedure in this test method and requirements in Specification C 618 are designed to measure the relative effectiveness of the fly ash or natural pozzolan in reducing expansion due to alkali-silica reactions. The effectiveness is a function of both the alkali content of the cement used in the test mixture and the percentage of fly ash or natural pozzolan. The higher the alkali content of the test mixture cement and the lower the percentage of fly ash or natural pozzolan used, the more effective the fly ash or natural pozzolan. This test procedure and the 100 % criterion of Specification C 618 can be used as a guide to enhance field performance of job mixtures if it is assumed that use of the low alkali control cement will prevent excessive expansion in service with materials proposed for use in the job. This is the situation when the aggregates proposed for use contain rapidly reactive constituents but do not exceed 0.05 % expansion in three months or 0.10 % expansion in six months when tested with the control cement in Test Method C 227. In such instances the control cement used in this test method should have an alkali content as required to control the expansive reactions of the aggregates being used, for example in the 0.50 to 0.60 % range. See the appendix to Specification C 33.

X1.6.1 Certain reactive aggregates have been identified which produce deleterious expansion after many years of service when used with cements with equivalent alkali contents well below 0.60 %. Often these reactive aggregates do not produce expansions in Test Method C 227 exceeding those discussed in the appendix of Specification C 33 until a much later age, perhaps one or two years. In such instances the use of a control cement with an alkali content significantly less than 0.60 % is appropriate.

X2. COMMENTARY ON SECTION 34

X2.1 The test procedures in Section 34 are designed to evaluate the performance of particular fly ashes or natural pozzolans in contributing to the resistance or durability of concrete in a sulfate environment. Tests are made on mortars in accordance with Test Method C 1012.

X2.2 The control mixture should be made with a cement that by performance or definition (Specification C 150, Section 1.1) is expected to give satisfactory results for the anticipated level of sulfate exposure. ACI 201.2R recommends Type II cement when the sulfate content, expressed as SO₄, is 0.10 to 0.20 percent in soils or 150 to 1500 ppm in waters. ACI 201.2R recommends Type V cements when the sulfate content, expressed as SO₄, is 0.20 to 2.0 % in soils, or 1500 to 10 000 ppm in waters. The test mixtures for both procedures may be made with varying percentages of fly ash or natural pozzolan. Test mixtures can use cements with equal or higher or lower C₃A contents that might not have given satisfactory results when used alone.

X2.3 *Interpretation of Results*—The absolute expansion limits used in Procedure A make it difficult to ascertain how the

addition of fly ash or natural pozzolan influences sulfate resistance. However, as referenced in Test Method C 1012, research has indicated that mortars meeting the expansion criteria will perform adequately. Under Procedure B, the fly ash or natural pozzolan will be considered to be able to contribute to sulfate resistance if the expansion of the test mixture does not exceed that of the control mixture at an exposure time of at least 6 months. It is recommended that the proportion of fly ash or natural pozzolan used in the test mixture be the same one proposed for use in the project $\pm 2\%$, and that the C₃A content of the project cement be equal to, or less than, that which was used in the test mixtures. See Appendix X1, Technical Background, Test Method C 1012.

X2.4 *Selection of the Percentage of Fly Ash or Natural Pozzolan*—It may be necessary to make test mixtures with several percentages of fly ash or natural pozzolan to determine the amount necessary to obtain adequate resistance to different concentrations of sulfates. Percentages used in a project should be within 2 % of those that are successful in the test mixtures or should be between two percentages that are successful.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Norma Técnica Guatemala

NTG - 41053

Título

Método de ensayo. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.

Correspondencia

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C1064/C1064M.

Observaciones



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Calzada Atanasio Azul 27-32 zona 12
Tel. (502) 24766784 al 7
[Info-coguanor@mail.mineco.gob.gt](mailto:info-coguanor@mail.mineco.gob.gt)
[Http://www.mineco.gob.gt](http://www.mineco.gob.gt)

Referencia
ICS

INDICE

	Página
1 Objeto.....	3
2 Documentos citados	3
3 Importancia y uso.....	3
4 Equipo.....	4
5 Calibración del dispositivo medidor de temperatura.....	4
6 Muestreo del concreto.....	5
7 Procedimiento.....	5
8 Informe.....	5
9 Precisión y Sesgo.....	5
10 Descriptores.....	5

Método de ensayo. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.

1 Objeto

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la temperatura de mezclas de concreto hidráulico recién mezclado.

1.2 Los valores que aparecen en unidades pulgada-libra ó SI se consideran separadamente como el estándar. En el contenido del texto, las unidades pulgada-libra, se muestran en paréntesis. Los valores establecidos en cada sistema no necesariamente son equivalentes exactos; por lo tanto, cada sistema debe utilizarse independientemente del otro. La combinación de valores entre los sistemas puede dar lugar a una no conformidad con esta norma.

1.3 El texto de esta norma hace referencia a las notas en el texto y notas a pie de página que proporcionan información explicativa. Estas notas y notas a pie de página (excluyendo las de las tablas y las figuras y las referentes a su aplicación en Guatemala) no deben considerarse como requisitos de esta norma.

1.4 Esta norma no pretende tratar todos los aspectos relacionados a la seguridad y salubridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de salud y seguridad apropiadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras, previo a su uso. **Advertencia** – Las mezclas frescas de cementantes hidráulicos son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y al tejido por una exposición prolongada¹

2. Documentos Citados

2.1 Normas ASTM ²

C 172 Práctica para el muestreo del concreto recién mezclado.

C 670 Práctica para la preparación de enunciados de precisión y sesgo para los métodos de ensayo de materiales de construcción.

3. Importancia y uso

3.1 Este método de ensayo permite medir la temperatura de mezclas de concreto recién mezclado, la temperatura medida representa la temperatura al tiempo del ensayo y puede no ser indicativa de la temperatura del concreto recién mezclado a un tiempo posterior. Puede ser usado para verificar que el concreto satisfaga un requisito específico de temperatura.

3.2 El concreto con tamaño máximo de agregado mayor de 75 mm (3 pulg) puede requerir hasta 20 minutos para transferir el calor del agregado al mortero (vea el informe ACI Committee 207.1R Report)³

¹ Sección sobre Precauciones de Seguridad, Manual of Aggregate and Concrete Testing, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02

² Las normas ASTM pueden consultarse en www.astm.org o service@astm.org

³ Puede obtenerse en American Concrete Institute (P.O.Box 9094, Farmington Hills, MI 48333-9094, www.concrete.org.)

4. Equipo

4.1 Recipiente. El recipiente debe ser lo suficientemente grande para que por lo menos 75 mm (3 pulg) de concreto cubran en todas direcciones el sensor del dispositivo medidor de temperatura. El espesor de la cubierta de concreto debe ser además de por lo menos tres veces mayor que el tamaño nominal máximo del agregado grueso.

4.2 Dispositivo medidor de temperatura. El aparato medidor de temperatura debe ser capaz de medir con exactitud, la temperatura de la mezcla de concreto recién mezclado con una aproximación de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{F}$) dentro de un rango de 0°C a 50°C (30° a 120°F). El diseño del dispositivo sensor de temperatura debe ser tal que permita una inmersión de 75 mm (3 pulg) ó más, durante la operación.

4.3 Los termómetros de cristal con líquido, de inmersión parcial (y posiblemente otros tipos), deben tener una marca permanente hasta donde deben insertarse, sin necesidad de aplicar un factor de corrección.

4.4 Dispositivo de medición de temperatura de referencia. Debe ser legible y exacto con una aproximación de 0.2°C ($\pm 0.5^{\circ}\text{F}$), en los puntos de verificación señalados en 5.1. El certificado o informe que verifique su exactitud, debe estar disponible para su revisión, en el laboratorio. La exactitud de los dispositivos de medición de temperatura de referencia de cristal con líquido, debe ser verificada una sola vez. La verificación de dispositivos de medición de temperatura de referencia por la lectura directa de la resistencia, debe realizarse cada doce meses. El certificado o informe debe proporcionar la documentación que demuestre que el patrón de referencia utilizado en la verificación sea rastreable hasta NIST (National Institute of Standards and Technology)⁴.

5. Calibración del aparato medidor de temperatura

5.1 Cada dispositivo medidor de temperatura usado para determinar la temperatura de mezclas de concreto recién mezclado debe calibrarse anualmente o cuando se dude de su grado de exactitud. Esta calibración debe hacerse comparando las lecturas de temperatura en el dispositivo medidor de temperatura a dos temperaturas, con una diferencia mínima de 15°C (30°F) entre sí.

5.2 La calibración de aparatos medidores de temperatura debe hacerse por inmersión en aceite u otro líquido adecuado, de densidad uniforme. Deben tomarse las siguientes precauciones:

5.2.1 Mantener constante la temperatura del líquido dentro de un rango de 0.2°C (0.5°F) durante el período de ensayo.

5.2.2 Mantener tanto el dispositivo medidor de temperatura como el medidor de referencia (patrón) sumergidos en el líquido al menos durante cinco minutos antes de leer las temperaturas.

5.2.3 Revolver el líquido continuamente para mantener una temperatura uniforme.

5.2.4 Golpear suavemente los termómetros que contengan líquido, para evitar que éste se adhiera al cristal, si la temperatura de exposición se va reduciendo.

6. Muestreo del concreto

6.1 Es aceptable medir la temperatura del concreto recién mezclado bien sea en el equipo de transporte ó en las formaletas, después de la descarga, siempre que el

⁴ Se acepta en Guatemala que sea también otro organismo metrológico internacionalmente reconocido.

dispositivo medidor de temperatura esté rodeado por al menos 75 mm (3 pulg) de concreto en todas direcciones.

6.2 Si el equipo de transporte ó las formaletas no se utilizan como recipiente de contención, debe prepararse una muestra de concreto como se indica a continuación:

6.2.1 Inmediatamente antes de obtener la muestra de concreto recién mezclado, se debe humedecer el recipiente muestreador, con agua.

6.2.2 Tomar la muestra de concreto recién mezclado de acuerdo con la Norma C 172, excepto que no se requieren muestras combinadas, si el único propósito de la muestra es determinar la temperatura.

6.2.3 Colocar el concreto recién mezclado en el recipiente muestreador.

7. Procedimiento

7.1 Colocar el dispositivo medidor de temperatura, de modo que el sensor de temperatura esté sumergido al menos 75 mm (3 pulg) en el concreto recién mezclado. Presionar suavemente la superficie del concreto alrededor del dispositivo medidor de temperatura, para cerrar los vacíos provocados por la inmersión y para que la temperatura del aire circundante no afecte la medición.

7.2 Dejar el dispositivo medidor de temperatura en la mezcla de concreto recién mezclado por un período mínimo de dos minutos, pero no más de cinco minutos; entonces leer y registrar la misma, con una aproximación de 0.5°C (1°F). No retirar del concreto el dispositivo, cuando haga la lectura.

8. Informe

8.1 Registrar la temperatura medida del concreto recién mezclado, con una aproximación de 0.5°C (1°F).

9. Precisión y sesgo

9.1 Se ha encontrado que la desviación estándar de un operador único para la medición de la temperatura del concreto es de 0.2°C⁵ (0.5°F). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador sobre la misma muestra de material no deben diferir en más de 0.7°C⁵ (1.3°F)

9.2 Se ha encontrado que la desviación estándar de operadores múltiples para la medición de la temperatura del concreto sobre la misma muestra es de 0.°C⁵ (0.7°F). Por lo tanto, dos ensayos apropiadamente realizados por diferentes operadores pero sobre el mismo material no deben diferir en más de 1°C⁵ (1.9°F).

9.3 Los valores de precisión dados fueron derivados de un estudio interlaboratorios, usando 11 operadores sobre dos amasadas de concreto a aproximadamente 24°C⁶ (75°F).

10. Descriptores

10.1 Concreto recién mezclado; temperatura; dispositivo para medir la temperatura.

..... **Ultima línea**.....

⁵ Estos números representan los límites (1S) y (d2S) descritos en La Práctica C670.

⁶ La información de soporte está registrada en la ASTM International Headquarters y puede ser obtenida, solicitando el Research Report RR:C09-1028.

**Norma
Técnica
Guatemalteca**

NTG - 41017h5

Titulo

Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.

Correspondencia

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C138/C138M.

Observaciones



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12
Tel (502) 2476-6784 al 7
Info-coguanor@mail.mineco.gob.gt
<http://www.mineco.gob.gt>

Referencia
ICS 91.100.10

Índice

	Página
1 Objeto.....	3
2 Documentos citados.....	3
3 Terminología.....	3
4 Equipo.....	4
5 Muestra.....	6
6 Procedimiento.....	6
7 Cálculos.....	8
8 Informe.....	9
9 Precisión y Sesgo.....	9
10 Descriptores.....	9

Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.

1. Objeto

1.1 Este método cubre la determinación de la densidad aparente (ver nota 1) de concreto recién mezclado y proporciona formulas para calcular el rendimiento de concreto, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen del concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que la componen.

1.2 Los valores expresados, ya sean en pulgada-libra ó unidades SI, deben ser considerados separadamente como estándares. Las unidades pulgadas-libra, se muestran en paréntesis. Los valores expresados en cada sistema pueden no ser equivalentes exactos; por lo tanto, cada sistema debe ser usado independientemente uno del otro.

NOTA 1 - Peso unitario era la terminología anteriormente usada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, que es masa por unidad de volumen.

1.3 El texto de este método de ensayo hace referencia a las notas, y notas al pie de la pagina que proveen información explicativa. Estas notas y nota a pie de página (excluyendo las que se encuentran en las tablas) no deben ser considerados como requisitos de este método de ensayo.

2. Documentos Citados

2.1 Normas ASTM:

- C 29/29M** Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente el índice de vacíos en los agregados.
- C 31/C31M** Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.
- C143/C143M** Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto de cemento hidráulico.
- C 150** Cemento Portland. Especificaciones.
- C 172** Practica para el muestreo del concreto recién mezclado.
- C 173** Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método volumétrico.
- C 188** Método de ensayo. Determinación de la densidad del cemento hidráulico.
- C 231** Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de precisión.

3. Terminología

3.1 Símbolos

A = contenido de aire (porcentaje de vacíos) en el concreto

C = contenido real de cemento, kg/m³ ó libras/yarda³

Cb = masa del cemento en la mezcla, kg ó libra.

D = densidad (masa unitaria) del concreto, kg/m³ ó lb/pie³

M = masa total de todos los materiales de la amasada, kg ó lb (ver nota 3)

Mc = masa del recipiente de medida llenado con concreto, kg ó lb

Mm = masa del recipiente de medida, kg ó lb

Ry = rendimiento relativo

T = densidad teórica del concreto calculado libre de aire, kg/m³ ó lb/pie³

V = volumen absoluto total de los materiales de la amasada, m³ ó pie³

Vm = volumen de del recipiente de medida, m³ ó pie³

Y = rendimiento, volumen de concreto producido por la amasada, m³ ó y³

Yd = volumen de concreto de diseño de la amasada.

Yf = volumen de concreto producido por la amasada, pie³

NOTA 2 – La densidad teórica se basa generalmente en determinaciones de laboratorio, se supone que su valor se mantiene constante para todas las amasadas hechas con componentes idénticos y en las mismas proporciones. Se calcula con la ecuación:

$$T = M / V \quad (1)$$

El volumen absoluto de cada material en pies cúbicos es igual a dividir la masa del material entre el producto de su densidad por 62.4. El volumen absoluto de cada material en metros cúbicos es igual a la masa del material en kilogramos dividido entre mil veces su densidad relativa. Para los agregados de la amasada la densidad relativa de las partículas y la masa deben basarse en la condición saturada de superficie seca. Para el cemento, la densidad real debe determinarse de acuerdo con el Método de ensayo C 188. Se puede usar el valor de 3.15 para cementos pòrtland fabricados de acuerdo con los requisitos de la especificación NTG 41095.

NOTA 3. La masa total de todos los materiales de la amasada es la suma de las masas del cemento, el agregado fino en la condición usada, el agregado grueso en la condición usada, el agua de mezclas añadida y cualquier otro material sólido o líquido que se utilice.

4. Equipo

4.1 Balanza. Una balanza con exactitud de 45 g (0.1 lb) ó al 0.3% de la carga de ensayo lo que sea más grande para cualquier masa dentro del rango de uso. El

rango de uso debe abarcar desde la masa del recipiente de medida vacío hasta la masa del recipiente más su contenido a 2600 kg/m^3 160 libra/pie³.

4.2 Varilla de apisonado. Una varilla de acero redonda, recta y lisa, con un diámetro de $16 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ($5/8$ de pulg $\pm 1/16$ pulg), el largo de la varilla debe ser por lo menos 100 mm (4 pulg) mayor que la profundidad del recipiente donde se hará el apisonado, pero no mayor de 600 mm (24 pulg), (ver nota 4). La varilla debe tener el extremo que apisonar ó ambos extremos redondeados en forma de una semiesfera del mismo diámetro de la varilla.

NOTA 4. Una longitud de varilla de 400 mm a 600 mm (16 pulg a 24 pulg) cumple con los requisitos de las siguientes normas: Práctica C31/C31M, Método de ensayo C138/C138M, Método de ensayo C143/C143M, Método de ensayo 173/173M y Método de ensayo C231/C231M.

4.3 Vibrador Interno. Los vibradores internos pueden ser de flecha rígida o flexible de preferencia eléctricos. La frecuencia de vibración debe ser de 7,000 vibraciones por minuto ó mayor, cuando estén en uso, el diámetro externo ó la dimensión lateral del elemento que vibra deber ser de al menos 19 mm (0.75 de pulgada) y no mayor a 38 mm (1.50 de pulgada). La longitud de la flecha deber ser como mínimo de 600 mm (24 pulg).

4.4 Recipiente de medida. Un recipiente cilíndrico de acero u otro metal adecuado (Nota 5). La capacidad mínima del recipiente debe adecuarse a los límites dados en la tabla 1, basados en el tamaño nominal máximo del agregado que se va a ensayar. Todos los recipientes, excepto los tazones de los medidores de aire que también se usan para el método de ensayo C 138, deben adecuarse a los requerimientos del Método de ensayo C 29/29M. Cuando se usen los tazones de los medidores de aire, deben adecuarse a los requisitos del método de ensayo C 231; y debe calibrarse su volumen tal y como se describe en el método de ensayo C 29/29M. Su borde superior debe ser liso y plano a 0.3 mm (0.01 de pulg) (ver nota 6).

Tabla 1. Capacidad de los recipientes de medida

Tamaño nominal máximo del agregado grueso		Capacidad del recipiente ^A	
pulgadas	mm	Pie ³	L
1	25.0	0.2	6
1 ½	37.5	0.4	11
2	50.0	0.5	14
3	75.0	1.0	28
4 ½	112.0	2.5	70
6	150.0	3.5	100

^A Se utilizara el tamaño indicado del recipiente para ensayar el concreto que contenga agregado de un tamaño nominal máximo igual o menor al que se encuentra en la lista. El volumen real del recipiente será cuando menos el 95% del volumen nominal listado.

NOTA 5. El metal no debe ser reactivo con la pasta de cemento. Sin embargo, si se pueden usar materiales que reaccionan, como las aleaciones de aluminio, cuando como consecuencia de la

reacción inicial rápidamente se forme en la superficie una película que proteja el material contra la corrosión subsiguiente.

NOTA 6. El borde superior se considera adecuadamente plano si no es posible insertar un calibrador de 0.3 mm (0.01 de pulg) entre el y una placa de vidrio de 6 mm (¼ pulg) o mayor espesor colocado sobre el recipiente.

4.5 Placa enrasadora. Una placa de acero rectangular y plana de al menos 6 mm (¼ pulg) de espesor o una placa de vidrio o acrílico de al menos 12 mm (½ pulg) de espesor y con un ancho y largo de por lo menos 50 mm (2 pulg) mayor que el diámetro del recipiente con el cual se usara. Los extremos de la placa deben ser rectos y lisos, con una tolerancia de 2 mm (1/16 pulg).

4.6 Mazo. Un mazo (con cabeza de hule o cuero crudo) que pese aproximadamente 600 ± 200 g (1.25 ± 0.50 lb) para recipientes de 14 L (0.5 pie^3) ó menores. Para recipientes mas grandes que 0.5 pie^3 , se usara un mazo que pese aproximadamente 1000 ± 200 g (2.25 ± 0.50 lbs).

4.7 Cucharón. Utilizar un cucharón de un tamaño suficiente para que cada cantidad de concreto obtenida del recipiente de la muestra sea representativa y suficientemente pequeña para que no se derrame durante su colocación en el recipiente de medida.

5. Muestra

5.1 Obtenga una muestra de concreto recién mezclado de acuerdo con la Norma C 172.

6. Procedimiento

6.1 Hacer la selección del método de consolidación basado en el ensayo de asentamiento, a menos que las especificaciones del trabajo establezcan un método específico. Los métodos de consolidación son el apisonamiento con varilla y la vibración interna. Apisonar concretos con asentamientos mayores de 75 mm (3 pulg). Apisonar o vibrar concretos con asentamiento de 25 mm a 75 mm (1 pulg a 3 pulg). Consolidar con vibración, los concretos con asentamientos menores a 25 mm (1 pulg).

6.2 Colocar el concreto en el recipiente de medida utilizando el cucharón descrito en 4.7. Mover el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del recipiente de medida, para asegurar una distribución pareja del concreto con una mínima segregación. Llenar el recipiente de medida en el número de capas requeridas por el método de consolidación (6.3 ó 6.4)

6.3 Varillado. Colocar el concreto en el recipiente en tres capas de aproximadamente el mismo volumen de una. Varillar cada capa con 25 golpes de varilla si usa recipientes de volumen nominal de 14 L (0.5 pie^3) o menores, con 50 golpes cuando se usan recipientes de volumen nominal de 28 L (1 pie^3) y un golpe por cada 20 cm^2 (3 pulg^2) de superficie en recipiente de mayor tamaño. Varillar cada capa uniformemente sobre toda la sección transversal, con el extremo redondeado

de la varilla utilizando el número requerido de golpes. Varillar la capa interior en todo su espesor. Al varillar esta capa debe tenerse cuidado de no dañar el fondo del recipiente. Para cada capa superior, la varilla debe penetrar a través de la capa que se esté varillando y en la capa interior, aproximadamente 25 mm (1 pulg).

Después de varillar cada capa, golpee suavemente los lados del recipiente con el mazo apropiado (ver 4.6) usando la fuerza requerida para cerrar las oquedades o vacíos dejados por la varilla apisonadora y para liberar las burbujas grandes de aire que hayan sido atrapadas. Añadir la última capa evitando sobrellenar el recipiente.

NOTA 7. El concreto no plástico, como el utilizado comúnmente en la fabricación de tuberías y de bloques de mampostería, no está cubierto por este método.

6.4 Vibración Interna. Llenar y vibrar el recipiente en dos capas aproximadamente iguales. Vertir todo el concreto para cada capa antes de iniciar la vibración de la misma. Insertar el vibrador en tres puntos diferentes de la capa. Al compactar la capa del fondo no permitir que el vibrador descansa en ó toque el fondo ó los lados del recipiente de medida. Al consolidar la capa superior, el vibrador debe penetrar la capa inferior aproximadamente 25mm (1 pulg). Tenga cuidado de sacar el vibrador de modo que no queden bolsas de aire atrapado en la muestra. La duración de la vibración requerida dependerá de la trabajabilidad y de la efectividad del vibrador (Nota 8). Continuar vibrando el concreto solo lo suficiente para lograr una consolidación adecuada (Nota 9). Mantener una vibración de duración constante para cada tipo particular de concreto, vibrador y recipiente de medida usados.

NOTA 8. Por lo regular el concreto ha sido vibrado suficientemente cuando su superficie se vuelve relativamente lisa.

NOTA 9. La sobre vibración puede causar segregación de los materiales y pérdida de cantidades significativas de aire intencionalmente incorporado en la mezcla.

6.5 Al completar la consolidación del concreto, el recipiente de medida no debe contener un exceso o carencia sustancial de concreto. Un exceso de concreto de aproximadamente 3 mm (1/8 de pulg) por encima del tope del recipiente es lo óptimo. Se puede agregar una cantidad pequeña de concreto si es necesario corregir alguna deficiencia. Si el recipiente contiene un excedente grande de concreto después de la consolidación, quite lo necesario con una cuchara de albañil o cucharón inmediatamente después de terminar la consolidación y antes de enrasar el recipiente.

6.6 Enrazado del recipiente. Después de la consolidación se remueve el exceso de concreto de la superficie superior y se debe dar un acabado suavemente con la placa plana de enrasado teniendo cuidado de dejar el recipiente adecuadamente lleno y nivelado. El enrasado se logra mejor presionando la placa de enrasado sobre la superficie superior del recipiente cubriendo aproximadamente dos terceras partes de esta y retirando la placa con un movimiento a manera de aserrado sobre el área cubierta. Luego colocar la placa en la parte superior del recipiente cubriendo los dos tercios originales de la superficie y avanzarla con una presión vertical y movimiento de aserrado sobre toda la superficie y continuar empujándola hasta que

se deslice completamente fuera del recipiente. Varias pasadas con el borde de la placa inclinada producirán una superficie de acabado liso.

6.7 Limpieza y pesaje. – Después de enrasar, limpiar todo el concreto del exterior del recipiente y determinar la masa del concreto en el mismo con la exactitud requerida en la sección 4.1.

7. Cálculos

7.1 Densidad aparente (Masa Unitaria). Calcular la masa neta del concreto en libras o kilogramos restando la masa del recipiente de medición, M_m de la masa del recipiente de medición lleno de concreto, M_c . Calcular la densidad aparente, D , en lb/pie^3 ó kg/m^3 , dividiendo la masa neta del concreto entre el volumen del recipiente de medición, V_m [en pie^3 ó m^3] como sigue:

$$D = (M_c - M_m) / V_m \quad (2)$$

7.2 Rendimiento. Calcular el rendimiento de concreto producido como sigue:

$$Y \text{ (yd}^3\text{)} = M / (D \times 27) \quad (3)$$

ó

$$Y \text{ (m}^3\text{)} = M / D \quad (4)$$

7.3 Rendimiento relativo. El rendimiento relativo es el resultado de dividir el volumen real de concreto obtenido respecto al volumen diseñado para la amasada (ver nota 10), calculado como sigue:

$$R_y = Y/Y_d \quad (5)$$

NOTA 10. Un valor R_y mayor que 1.0 indica exceso de concreto producido en tanto que un valor menor que 1.0 indica que la mezcla se queda corta respecto al volumen diseñado. En la práctica, se usa frecuentemente una relación del rendimiento en pies^3 , por yd^3 de la mezcla de diseño del concreto, por ejemplo $27.3 \text{ pies}^3/\text{yd}^3$. (En EEUU)¹

7.4 Contenido de cemento. Calcular el contenido real de cemento como sigue:

$$C = C_b / Y \quad (6)$$

7.5 Contenido de aire. Calcular el contenido de aire como sigue:

$$A = [(T - D) / T] \times 100 \quad (7)$$

ó

$$A = [(Y_f - V) / Y_f] \times 100 \text{ (unidades pulgada-libra)} \quad (8)$$

ó,

$$A = [(Y - V) / Y] \times 100 \text{ (unidades SI)} \quad (9)$$

¹ En Guatemala se usa m^3/m^3 .

8. Informe

8.1 Informar lo siguiente:

8.1.1 Identificación del concreto representado por la muestra

8.1.2 Fecha de ensayo

8.1.3 Volumen del recipiente de medida al más próximo 0.01 Litros (0.001 pie³)

8.1.4 Densidad aparente (masa unitaria) al más próximo 1.0 kg/m³ (0.1 lb/pie³)

8.1.5 Rendimiento, cuando se solicita, al más cercano 0.1m³ (0.1yd³).

8.1.6 Rendimiento relativo, cuando se solicite, al más cercano de 0.01.

8.1.7 Contenido de cemento, cuando se solicite, al más cercano 0.5 kg (1.0 lb)

8.1.8 Contenido de aire, cuando se solicite, al más cercano 0.1 por ciento.

9. Precisión y sesgo

9.1 Las siguientes estimaciones de precisión para este método de ensayo se basan en una recolección de datos de varias localidades por la Asociación Nacional de Concreto Premezclado². Los datos representan mezclas de concreto con asentamientos que variaban de 75 mm a 150 mm (3 pulg a 6 pulg) y densidades que variaban de 1842 kg/m³ a 2483 kg/m³ (115 lb/pie³ a 155 lb/pie³), donde había concreto con aire incorporado y sin aire incorporado. El estudio se realizó usando recipientes de medición de 7 L (0.25 pie³) y 14 L (0.5 pie³).

9.1.1 Precisión de un solo operador. Se ha encontrado que la desviación estándar de la densidad del concreto recién mezclado, dada por un solo operador, es de 10.4 kg/m³ (0.65 lb/pie³)(1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador en la misma muestra de concreto no deben diferir en más de 29.6 kg/m³ (1.85 lb/pie³) (d2s).

9.1.2 Precisión de varios operadores. Se ha encontrado que la desviación estándar de la densidad del concreto recién mezclado dado por varios operadores es de 13.1 kg/m³ (0.82 lb/pie³) (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por los dos operadores en la misma muestra de concreto no deben diferir en más de 37.0 kg/m³ (2.31 lb/pie³) (d2s).

9.2 Sesgo. Este método de ensayo no tiene sesgo, ya que la densidad esta definida únicamente en términos de este método de ensayo.

10. Descriptores

Contenido de aire; contenido de cemento; concreto; rendimiento relativo; densidad aparente, masa unitaria, rendimiento (volumen de concreto producido)

--Última Línea--

² Mullings, G.M., NRMCA/NAA Joint Research Lab Study "Series D324 Accuracy of concrete Density Test" Feb 17, 2000.

NORMA
TÉCNICA
GUATEMALTECA

NTG 41017 h7

Titulo

Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión.

Correspondencia

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C231-14.

Observaciones

Aprobada: 2015-11-06



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12
Tel (502) 2447 2600

Info-coguanor@dsnc.gt
<http://www.mineco.gob.gt>

Referencia
ICS 91.100.10

Prólogo COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

COGUANOR, preocupada por el desarrollo de la actividad productiva de bienes y servicios en el país, ha armonizado las normas internacionales.

El estudio de esta norma, fue realizado a través del Comité Técnico de Normalización de Concreto (CTN Concreto), con la participación de:

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Coordinador de Comité

Ing. Luis Alvarez Valencia
REPRESENTANTE ICCG

Ing. Estuardo Herrera
REPRESENTANTE CEMENTOS PROGRESO

Ing. Leonel Morales Aguirre
REPRESENTANTE CEMEX GUATEMALA

Ing. Sergio Quiñonez Guzmán
REPRESENTANTE PRECON

Ing. Héctor Rodolfo Orozco Avalos
REPRESENTANTE INDEPENDIENTE

Arq. Ester Maria Alfaro de Schwartz
REPRESENTANTE ARK STUDIO

Ing. Max Schwartz
REPRESENTANTE ARK STUDIO

Ing. Sergio Sevilla
REPRESENTANTE CIFA

Arq. Jorge Luis Arévalo
REPRESENTANTE CONCRETETEST

"CONTINÚA"

Abel David Arriaza
REPRESENTANTE MACIZO

Ing. Ramiro Callejas Montufar
REPRESENTANTE FHA

Ing. Orlando Quintanilla
REPRESENTANTE FHA

Paulo Cesar Castro Barrientos
REPRESENTANTE MACROMIX

Ing. Armando Jose Diaz Aldana
REPRESENTANTE MACROMIX

Gabriel Granados
REPRESENTANTE PRECSA

Ing. Héctor Herrera
REPRESENTANTE COGUANOR

Ing. Kenneth Molina
REPRESENTANTE INDEPENDIENTE

Ing. Marlon Portillo Matta
REPRESENTANTE MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA

Ing. Marcelo Quiñonez
REPRESENTANTE FORCOGUA

Ing. Javier Quiñonez
REPRESENTANTE CONCYT

Bradford Ramírez
REPRESENTANTE TECNOMASTER

Elder Armando Ramos
REPRESENTANTE CII-USAC

Ing. Rodolfo Rosales Bermúdez
REPRESENTANTE SUISA

Arq. Luis Fernando Salazar Girón
REPRESENTANTE CIA-USAC

"CONTINÚA"

ÍNDICE

Título	Página
1. Objeto.....	5
2. Documentos Citados.....	5
3. Significado y uso.....	6
4. Equipo	6
5. Calibración del equipo	11
6. Determinación del factor de corrección del agregado	11
7. Preparación de la muestra de ensayo del concreto.....	13
8. Procedimiento para determinar el contenido de aire de concreto	13
9. Cálculos	16
10. Informe.....	17
11. Precisión y sesgo	18
12. Palabras clave.....	18
A1. Calibración del equipo.....	19

"CONTINÚA"

Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión.

1. Objeto

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire en el concreto hidráulico recién mezclado, mediante la observación del cambio de volumen del concreto producido por un cambio en la presión.

1.2 Este método de ensayo ha sido destinado para concretos y morteros elaborados con agregados relativamente densos, para los cuales el factor de corrección por agregado puede determinarse satisfactoriamente mediante la técnica descrita en la sección 6. No es aplicable para concretos hechos con agregados livianos, escoria de alto horno enfriada por aire, o agregados de alta porosidad; en estos casos, debe emplearse el Método de ensayo NTG 41017 h6 (ASTM C173/C173M). Tampoco puede aplicarse en concretos no plásticos, como los comúnmente utilizados en la fabricación de tubos, y unidades de mampostería de concreto.

1.3 Los textos de las notas referenciadas en el cuerpo de esta norma y al pie de página solo contienen materiales explicativos. Dichas notas (excluyendo aquellas contenidas en tablas y figuras) no deben considerarse requisitos de esta norma.

1.4 Los valores establecidos en unidades pulgada-libra deben considerarse el estándar. Los valores mostrados entre paréntesis son conversiones matemáticas a unidades SI que se proporcionan únicamente para información y no se consideran como el estándar.

1.5 Esta norma no pretende tratar todos los aspectos relacionados a la seguridad y salubridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de salud y seguridad apropiadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras, previo a su uso. **Advertencia** – Las mezclas frescas de cementantes hidráulicos son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y al tejido por una exposición prolongada¹

2. Documentos Citados

2.1 Normas NTG² (ASTM)

NTG 41061 (ASTM C31/C31M) Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.

NTG 41017 h5 (ASTM C138/C138M) Norma NTG 41017 h5 Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.

NTG 41052 (ASTM C143/C143M) Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico. Asentamiento del concreto.

NTG 41057 (ASTM C172) Práctica para el muestreo de concreto recién mezclado.

¹ Vea sección sobre precauciones de seguridad, Manual Of Aggregate and Concrete Testing, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02

² Las normas NTG pueden consultarse en la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12, Guatemala

NTG 41017 h6 (ASTM C173/C173M) Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método volumétrico.

NTG 41060 (ASTM C192/C192M) Práctica para elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.

2.2 Normas ASTM³

ASTM C670 Práctica para preparar la precisión y sesgo para los métodos de ensayo de materiales de construcción.

ASTM E177 Práctica para el uso de los términos precisión y sesgo en los métodos de ensayo ASTM.

3. Significado y uso

3.1 Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire en el concreto hidráulico fresco recién mezclado. El ensayo tiene como fin determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco, excluyendo cualquier aire que se encuentre dentro de los vacíos internos de las partículas de los agregados. Por esta razón, la ensayo es aplicable al concreto hecho con agregado de partículas relativamente densas y requiere la determinación del factor de corrección del agregado (Ver 6.1 y 9.1).

3.2 Este método de ensayo y los métodos de ensayo NTG 41017 h5 (ASTM C138/C138M) y NTG 41017 h6 (ASTM C173/C173M) establecen los procedimientos para determinar el contenido de aire del concreto, por los métodos de presión, gravimétrico y volumétrico, respectivamente. El procedimiento de presión de este método, ofrece sustancialmente los mismos contenidos de aire que los otros dos métodos de ensayo para concretos hechos con agregados densos.

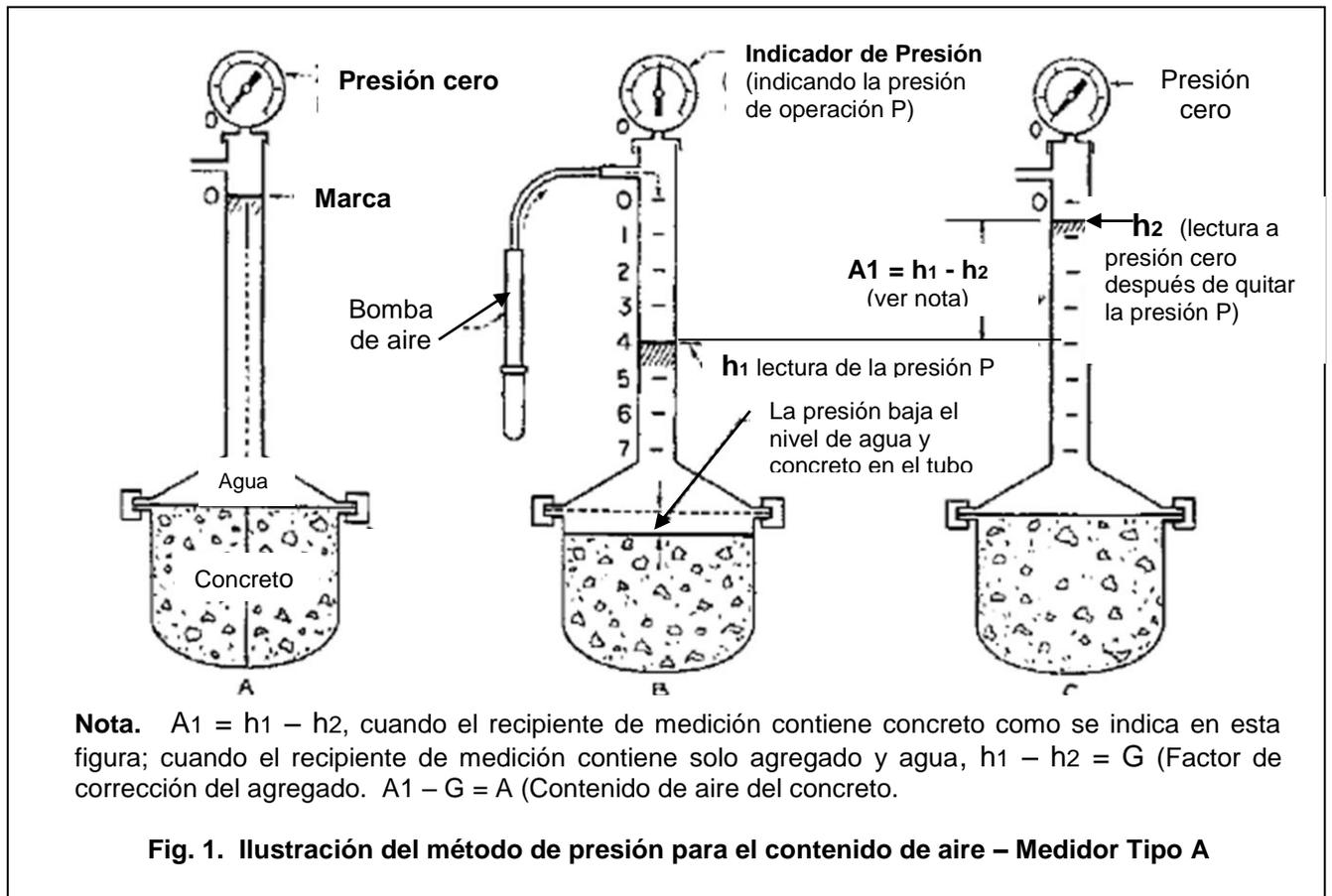
3.3 Los contenidos de aire del concreto endurecido pueden ser mayores o menores que los determinados por este método de ensayo. Esto depende de los métodos y la cantidad de energía de consolidación aplicados al concreto endurecido, del cual se toma el espécimen de ensayo de concreto endurecido; depende también de la uniformidad y la estabilidad de las burbujas de aire en los concretos fresco y endurecido; la exactitud del examen microscópico, si se utilizó; el tiempo de comparación; la exposición al ambiente, sitio que ocupa en la entrega y los procesos de colocación y de consolidación en los cuales se determina el contenido de aire del concreto fresco, esto es, antes o después de que el concreto sea bombeado; y otros factores.

4. Equipo

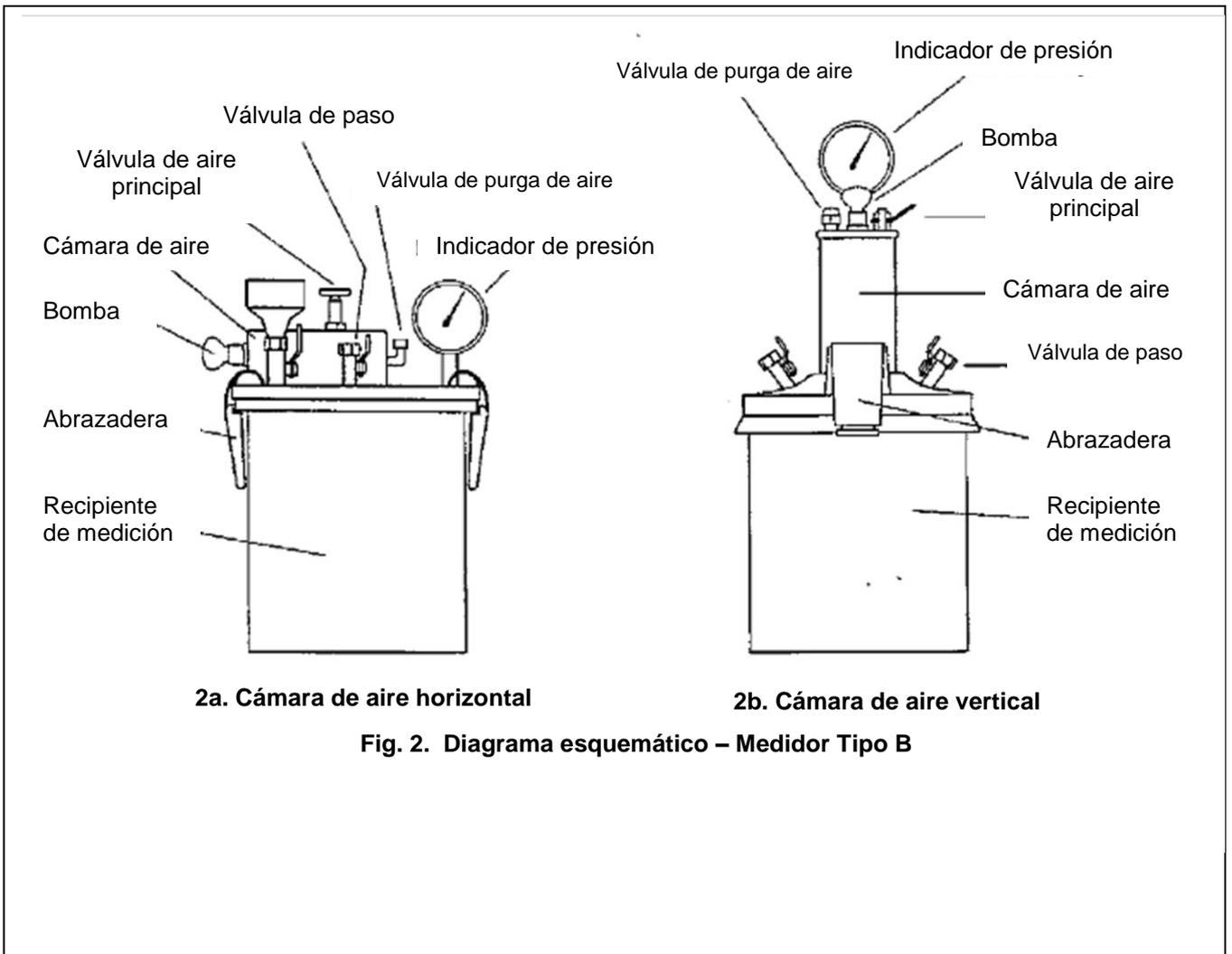
4.1 Medidores de aire. Existen dos tipos de aparatos satisfactoriamente diseñados, que emplean el principio de la ley de Boyle. Para los propósitos de referencia, éstos se designan en la presente norma como Medidor tipo A y Medidor tipo B.

³ Las Normas ASTM pueden adquirirse en www.astm.org o en service@astm.org.

4.1.1 Medidor tipo A. Es un medidor de aire que consiste en un recipiente de medición y una tapa ensamblada (ver figura 1) que cumple con los requisitos de 4.2 y 4.3. El principio operacional de este medidor consiste en introducir agua a una altura predeterminada sobre una muestra de concreto de volumen conocido, y la aplicación de una presión aire predeterminada sobre el agua. La determinación consiste en verificar la reducción del volumen de aire en la muestra de concreto, observando la disminución en el nivel de agua bajo la presión aplicada, siendo ésta última calibrada en términos del porcentaje de aire de la muestra de concreto.



4.1.2 Medidor tipo B. Es un medidor de aire que consiste en un recipiente de medición y una tapa ensamblada (ver figura 2), que cumple con los requisitos de 4.2 y 4.3. El principio operacional de este medidor consiste en igualar un volumen conocido de aire, a una presión conocida, en una cámara de aire sellada, con el volumen desconocido de aire en la muestra de concreto; el indicador del medidor de presión se calibra en términos del porcentaje de aire para la presión observada en la que tiene lugar la igualación. Se han usado satisfactoriamente presiones de trabajo comprendidas en el intervalo de 51 a 207 kPa (7.5 a 30.0 psi).



4.2 Recipiente de medición. El recipiente de medición debe ser esencialmente de forma cilíndrica, fabricado en acero, metal duro, u otro material duro que no sea fácilmente atacable por la pasta de cemento con un diámetro mínimo de 0.75 a 1.25 veces de altura, y una capacidad de por lo menos 5.7L (0.20 pies³). Debe tener una brida, o de lo contrario, estar construido para mantener una unión hermética y firme entre el recipiente y la tapa ensamblada. Las superficies interiores del recipiente, y superficies de las orillas, las pestañas y otras partes componentes de ajuste, deben estar maquinadas con acabado superficial liso. El recipiente de medición y la tapa de ensamble deber ser lo suficientemente rígidos para limitar el factor de expansión D, del aparato ensamblado (Anexo A1.5), a no más de 0.1% de contenido de aire, en la escala del indicador cuando se esté bajo presión normal de operación.

4.3 Cubierta de ensamble:

4.3.1 La cubierta de ensamble debe hacerse de acero, metal duro, u otro material duro que no sea fácilmente atacable por la pasta de cemento. Debe tener una brida o de lo contrario, estar constituida para mantener una unión hermética y firme a presión entre el recipiente y la cubierta ensamblada, además, debe tener sus superficies interiores maquinadas con acabado liso, conformadas para proporcionar un espacio de aire sobre el nivel superior del recipiente de medición. La cubierta deber ser lo suficientemente rígida para limitar el factor de expansión del aparato ensamblado, como se prescribe en 4.2.

4.3.2 La cubierta de ensamble debe estar provista de dispositivos de lectura directa del contenido de aire. La cubierta para el Medidor tipo A debe estar acondicionada con un tubo vertical, hecho de un tubo transparente graduado o un tubo metálico de calibre uniforme, con un indicador de vidrio inserto. En el Medidor tipo B, la carátula del indicador de presión debe calibrarse para indicar el porcentaje de aire. Debe contar con graduaciones para un intervalo del contenido de aire de por lo menos 8%, legibles al 0.1% determinado con el ensayo de calibración con la presión de aire apropiada.

4.3.3 La cubierta ensamblada debe estar provista con válvulas para aire, válvulas de purga de aire y llaves de paso, para que a través de ellas se pueda introducir agua de acuerdo con el diseño específico del medidor. Se deben proporcionar los medios convenientes para sujetar la cubierta al recipiente a fin de lograr un sellado hermético sin atrapar aire en la unión entre ambas pestañas de la tapa y el recipiente. Se debe incluir una bomba de aire manual que forme parte de la cubierta de ensamble o que sea un accesorio de ella.

4.4 Vaso de calibración. Es una medida que tiene un volumen interior igual a un porcentaje del volumen del recipiente de medición, que corresponda aproximadamente a un porcentaje del aire contenido en el concreto que va a ser ensayado; o, si es menor, debe ser posible verificar la calibración del indicador del medidor, con el porcentaje aproximado de aire en el concreto ensayado, mediante llenados repetidos de la medida. Cuando el diseño del medidor requiera colocar el vaso de calibración dentro del recipiente de medición para comprobar la calibración, la medida debe ser de forma cilíndrica y con una profundidad interior de 13 mm (½ pulgada) menor que la del recipiente.

NOTA 1. Un vaso de calibración satisfactorio para introducirse en el recipiente de medición, puede ser maquinado de un tubo de bronce calibre núm. 16, con un diámetro apropiado para obtener el volumen deseado, y al cual se suelda en uno de los extremos un disco de bronce de 12.5mm (½ pulgada) de espesor. Cuando por el diseño del medidor se requiera sacar el agua del recipiente lleno de agua, junto con la tapa de ensamble para verificar la calibración, la medida puede ser parte

"CONTINÚA"

integral de la tapa de ensamble o puede ser una medida cilíndrica separada, similar al cilindro descrito anteriormente.

4.5 Son tan variados los diseños de los medidores de aire que pueden diferir en sus técnicas de operación y, por consiguiente, pueden no requerirse todos los dispositivos descritos en 4.6 a 4.16. Los dispositivos requeridos deben ser los necesarios para que cada diseño particular del aparato pueda utilizarse satisfactoriamente para determinar el contenido de aire, de acuerdo con los procedimientos aquí descritos.

4.6 Resorte espiral u otro dispositivo para sostener el cilindro de calibración en su lugar.

4.7 Tubo de rociado. Un tubo de bronce de diámetro apropiado que puede ser parte integral de la tapa de ensamble, o que puede proporcionarse de manera separada. Debe fabricarse de tal forma que cuando se agregue agua al recipiente, esta se rocíe hacia las paredes de la cubierta de forma que fluya hacia los lados y provoque una mínima perturbación al concreto.

4.8 Paleta. Una cuchara normal de albañil.

4.9 Varilla de apisonar. La varilla de apisonar debe ser una varilla de acero redonda, recta y lisa con diámetro de 16 mm (5/8 pulg) \pm 2 mm (1/16 pulg). La longitud de la varilla apisonadora debe ser por lo menos de 100 mm (4 pulg) mayor que la profundidad del recipiente de medida en donde se hace el varillado, pero no mayor de 600 mm (24 pulg) en largo total (ver Nota 2). La tolerancia en longitud para la varilla apisonadora debe ser de \pm 4 mm (1/8 pulg). La varilla debe tener ambos extremos redondeados a una punta semiesférica del mismo diámetro que la varilla.

Nota 2. Una varilla de 400 mm (16 pulg) a 600 mm (24 pulg) de longitud, cumple con los requisitos de las normas siguientes: Práctica NTG 41061 (ASTM C31/C31M), Método de ensayo NTG 41017 h5 (ASTM C138/C138M), Método de ensayo NTG 41052 (ASTM C143/C143M), Método de ensayo NTG 41017 h6 (ASTM C173/C173M) y Método de ensayo NTG 41017 h7 (ASTM C231).

4.10 Mazo. Un mazo (con cabeza de hule o cuero crudo), con una masa aproximadamente de 0.57 ± 0.23 kg (1.25 ± 0.50 lb) para usarse con medidas de 14 L (0.5 pies³) o menores, y un mazo con masa aproximada de 1.02 ± 0.23 kg (2.25 ± 0.50 lb) para usarse con medidas mayores de 14 L (0.5 pies³).

4.11 Regla de enrase. Una barra recta plana de acero u otro metal conveniente, de por lo menos 3 mm (1/8 de pulg) de espesor, 20 mm ($\frac{3}{4}$ de pulg) de ancho y 300 mm (12 pulg) de longitud.

4.12 Placa de enrase. Una placa metálica rectangular y plana, de por lo menos 6 mm ($\frac{1}{4}$ de pulg) de espesor, o, un vidrio o placa acrílica, de por lo menos 12 mm ($\frac{1}{2}$ pulg) de espesor, con una longitud y ancho de por lo menos 50 mm (2 pulgadas) mayor que el diámetro del recipiente sobre el que será usada. Los bordes de la placa deben ser rectos y lisos, dentro de una tolerancia de 1.5 mm (1/16 de pulg).

4.13 Embudo. Con la boquilla que encaje en el tubo de rociado.

4.14 Medidor para agua, que tenga la capacidad necesaria para llenar el indicador con agua, desde la parte superior del concreto hasta la marca cero.

4.15 Vibrador, Como el que se describe en la Práctica NTG 41060 (ASTM C192/C192M).

4.16 Tamices, de 37.5 mm (1 $\frac{1}{2}$ pulg) con un área de tamizado no menor de 0.19 m² (2 pies³).

"CONTINÚA"

4.17. Cucharón. De un tamaño lo suficientemente grande para que cada cantidad de concreto obtenido del receptáculo de la muestra, sea representativa y suficientemente pequeño para que no se desparrame durante su colocación en el recipiente de medida.

5. Calibración del equipo

5.1 Realizar las pruebas de calibración de acuerdo con los procedimientos prescritos en el anexo. El manejo rudo puede afectar la calibración de ambos tipos de medidores, A y B. Los cambios en la presión barométrica afectarán la calibración del medidor tipo A pero no la del tipo B. Los pasos descritos de A 1.2 a A 1.6, tal como se aplican al tipo de medidor en cuestión, son requisitos previos al ensayo final de calibración, para determinar la presión de operación, P , sobre el medidor de presión del tipo A, como se describe en A 1.7, o para determinar la exactitud de las graduaciones que indican el contenido de aire en la carátula del medidor de presión del tipo B, como se describe en A 1.9. Los pasos indicados de A 1.2 a A 1.6, necesitan ejecutarse solo una vez (en el momento de calibración inicial), o solo de vez en cuando para verificar la constancia del volumen del cilindro de calibración y el recipiente de medición. El ensayo de calibración descrito en A 1.7 y A 1.9, aplicable al tipo de medidor que está verificando, debe hacerse tan frecuentemente como sea necesario, y a intervalos que no excedan tres meses para asegurar que se está utilizando la presión de calibración, P , apropiada para el medidor tipo A; o que los contenidos de aire correctos están siendo indicados en la escala del medidor de presión tipo B. Un cambio de altitud de más de 183 m (600 pies) entre el lugar en el que fue calibrado por última vez un medidor tipo A y el lugar del ensayo, requiere una recalibración de acuerdo con A 1.7.

5.2 Registros de calibración. La información que debe ser mantenida en los registros debe incluir la determinación del factor de expansión; tamaño del vaso de calibración usado y las lecturas del medidor en los puntos de ensayo de calibración

6. Determinación del factor de corrección del agregado

6.1 Procedimiento. Determine el factor de corrección del agregado en una muestra combinada de agregado fino y grueso, como se indica en 6.2 a 6.4. Este factor se determina de manera independiente aplicando la presión de calibración a una muestra de agregado fino y grueso sumergida en agua, con aproximadamente las mismas condiciones de humedad, cantidad y las proporciones que existen en la muestra de concreto a ser ensayado.

6.2 Tamaño de la muestra de agregado. Calcular los pesos de los agregados fino y grueso que existen en la muestra de concreto fresco, cuyo contenido de aire se va a determinar como sigue:

$$F_s = (S/B) \times F_b \quad (1)$$

$$C_s = (S/B) \times C_b \quad (2)$$

Dónde:

F_s = Masa del agregado fino en la muestra de concreto que se somete a ensayo, en kg (lb),

"CONTINÚA"

S = Volumen de la muestra de concreto (igual al volumen del recipiente medidor), en m^3 (pies³),

B = Volumen de concreto producido en cada mezcla (amasada) (Nota 2), en m^3 (pies³),

F_b = Masa total del agregado fino en la condición de humedad usada en la amasada, en

C_s = Masa del agregado grueso en la muestra de concreto que se somete a ensayo, en kg (lb), y

C_b = Masa total del agregado grueso en la condición de humedad usada en la amasada, en kg (lb).

NOTA 3. El volumen del concreto producido por la amasada puede determinarse de acuerdo con los requisitos aplicables del Método de ensayo NTG 41017 h5 (ASTM C138/C138M).

NOTA 4. El término "peso" se usa temporalmente en este método de ensayo, debido al uso generalizado establecido por el comercio. Se utiliza este término para referirse tanto a "fuerza" como a "masa", y debe tenerse cuidado para determinar que significa en cada caso (de acuerdo con el Sistema Internacional, SI, la unidad para la fuerza es el newton y para la masa, el kilogramo).

6.3 Colocación del agregado en el recipiente de medición. Mezclar muestras representativas de agregado fino F_s y agregado grueso C_s , y colocarlas en el recipiente de medición lleno con agua hasta un tercio de su volumen total. Colocar, poco a poco, la mezcla de agregados en pequeñas cantidades, dentro del recipiente medidor, si es necesario, agregue agua adicional para inundar todas las partículas del agregado. Añadir a cada porción de cucharón de manera que atrape la menor cantidad posible de aire y quitar rápidamente la espuma acumulada. Golpear los lados del recipiente y varillar ligeramente la capa superior de 25 mm (una pulgada) del agregado, de ocho a doce veces. Agitar después de cada adición del agregado para eliminar el aire atrapado.

6.4 Determinación del factor de corrección del agregado:

6.4.1 Procedimiento inicial para los medidores Tipos A y B. Cuando todo el agregado se haya colocado en el recipiente medidor, remueva el exceso de espuma y mantenga el agregado inundado por un periodo aproximadamente igual al tiempo transcurrido entre la introducción del agua en el mezclador y el momento de realizar el ensayo de contenido de aire, antes de proceder con la determinación como se indica en 6.4.2 o 6.4.3.

6.4.2 Medidor Tipo A. Completar el ensayo como se describe en 8.2.1 - 8.2.3. El factor de corrección del agregado, G, es igual a $h_1 - h_2$ (Ver la figura 1) (Nota 5).

6.4.3 Medidor Tipo B. Realizar los procedimientos como se describe en 8.3.1. Remover del aparato ensamblado y lleno, un volumen de agua equivalente al volumen de aire que pudiera contener una muestra de concreto típica, de un tamaño igual al volumen del recipiente. Retirar el agua de la manera descrita en A.1.9 para los ensayos de calibración. Completar el ensayo como se describe en 8.3.2. El factor de corrección del agregado, G, es igual a la lectura en la escala del contenido de aire menos el volumen de agua retirado del recipiente, expresado como un porcentaje del volumen del recipiente (ver figura 1).

"CONTINÚA"

NOTA 5. El factor de corrección variara con agregados diferentes; solo puede determinarse mediante un ensayo, ya que al parecer no está relacionado directamente con la absorción de las partículas. El ensayo puede ejecutarse fácilmente. Por lo regular, el factor permanece razonablemente constante con un agregado dado, pero se recomienda un ensayo de verificación ocasional.

7. Preparación de la muestra de ensayo del concreto

7.1 Obtener la muestra de concreto fresco recién mezclado de acuerdo con los procedimientos aplicables de la norma NTG 41057 (ASTM C172). Si el concreto contiene partículas de agregado grueso que se retengan en el tamiz de 50 mm (2 pulg), tamice en húmedo una cantidad suficiente de la muestra representativa en una malla de 37.5 mm (1 ½ pulg), como se describe en la Norma NTG 41057 (ASTM C172), para obtener suficiente material que pueda llenar el recipiente de medición, de acuerdo con el tamaño seleccionado para usarse. Llevar a cabo el procedimiento de tamizado en húmedo con la mínima alteración posible del mortero. No intente limpiar el mortero adherido a las partículas del agregado grueso retenido en el tamiz.

8. Procedimiento para determinar el contenido de aire de concreto

8.1 Colocación y consolidación de la muestra:

8.1.1 Preparar el concreto como se describe en 7.1. Humedecer el interior del recipiente de medición y colóquelo en una superficie plana, nivelada y firme. Utilizando el cucharón descrito en 4.1.7, coloque el concreto en el recipiente de medición en el número de capas requerido por el método de consolidación (8.1.2 ó 8.1.3). Mientras coloca el concreto en el recipiente, mueva el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del recipiente para asegurar una distribución pareja del concreto con una segregación mínima. Consolidar cada capa por el procedimiento de varillado (8.1.2) o por vibración (8.1.3). Enrasar la capa final consolidada (8.1.4). Varillar los concretos con un asentamiento mayor de 75 mm (3 pulg). Varillar o vibrar los concretos con un asentamiento de 25 a 75 mm (1 a 3 pulg). Consolidar los concretos con un asentamiento menor de 25 mm (1 pulg) por vibración.

8.1.2 Varillado. Colocar el concreto en el recipiente de medición en tres capas de aproximadamente igual volumen. Varillar cada capa 25 veces, uniformemente sobre la sección transversal, con el extremo redondeado de la varilla. Varillar la primera capa del fondo en todo su espesor. Al varillar esta capa tenga cuidado de evitar causar daño al fondo del recipiente. Para cada capa superior, permita a la varilla penetrar a través de la capa que se está varillando y penetrar en la capa inferior, aproximadamente 25mm (1 pulg). Después de que cada capa haya sido varillada, golpee los lados del recipiente de medida, de 10 a 15 veces con el mazo para cerrar cualquier vacío dejado por la varilla de apisonar y para expulsar cualesquiera burbujas grandes de aire que pudieran haber quedado atrapadas. Colocar la capa final de concreto de tal forma que se evite un sobrellenado excesivo.

8.1.3 Vibración. Colocar el concreto en el recipiente de medición en dos capas de aproximadamente igual volumen. Colocar todo el concreto de cada capa antes de empezar la vibración de la misma. Consolidar cada capa con tres inserciones del vibrador uniformemente distribuidas sobre la sección transversal. Colocar la capa final de tal forma que evite el sobrellenado excesivo (8.1.4). Al consolidar cada capa, no permita que el vibrador se apoye o toque el recipiente. Tener cuidado al retirar el vibrador para asegurar que no queden bolsas de aire en el espécimen. Mantener una duración de vibración constante para cada tipo específico de concreto, vibrado y recipiente de medición utilizado. La duración de vibración requerida

"CONTINÚA"

dependerá de la trabajabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. Continuar la vibración hasta que el concreto haya sido consolidado apropiadamente. Nunca debe aplicarse una duración de la vibración tan larga que cause derrame de espuma de la muestra.

NOTA 6. La sobrevibración puede causar segregación y pérdida del aire intencionalmente incorporado. Normalmente se ha aplicado suficiente vibración al espécimen en cuando la superficie del concreto se ponga relativamente lisa y tenga una apariencia vidriada.

8.1.4 Enrase. Después de concluir la consolidación del concreto, enrase la superficie superior deslizando la regla enrasadora, apoyada en el reborde o pestaña superior del recipiente de medición, con un movimiento de aserrado hasta que el recipiente este justo al nivel de llenado. Al terminar la consolidación, el recipiente no debe presentar un exceso o deficiencia de concreto. La remoción de 3 mm (1/8 de pulgada) durante el enrase se considera óptima. Cuando se emplee la placa de enrase, se debe aplicar el procedimiento descrito en el Método de ensayo NTG 41017 h5 (ASTM C138/C138M)

NOTA 7. Puede agregarse una pequeña cantidad de concreto representativo para corregir cualquier deficiencia. Si el recipiente contiene un gran excedente, quite una porción representativa de concreto con una cuchara o espátula antes de proceder al enrase.

NOTA 8. El uso de la placa de enrase sobre los medidores de aire comunes de aluminio colado u otro metal relativamente suave, puede causar un desgaste rápido del reborde y requerir mantenimiento frecuente, calibración e incluso un reemplazo.

8.1.5 Aplicación del método de ensayo. Cualquier parte del método del ensayo que no haya sido específicamente designada como perteneciente al medidor tipo A o al tipo B, debe aplicarse a ambos medidores.

8.2 Procedimiento para el medidor tipo A:

8.2.1 Preparación para el ensayo. Limpiar completamente las pestañas o bordes del recipiente y de la cubierta ensamblada para que cuando ésta se coloque en su lugar se logre un cierre hermético a presión. Ensamblar el aparato y agregue agua sobre el concreto por medio del tubo hasta que llegue a la marca media en el tubo vertical. Incline el aparato ensamblado aproximadamente 30° respecto a la vertical y, usando el fondo del recipiente como un pivote, describa varios círculos completos con el extremo superior de la columna, y simultáneamente golpee ligeramente la cubierta para remover cualquier burbuja de aire atrapada en la muestra de concreto. Regresar el aparato ensamblado a la posición vertical y llenar la columna de agua un poco arriba de la marca cero, mientras golpea ligeramente los lados del recipiente. Llevar el nivel de agua a la marca cero del tubo graduado, antes de cerrar la entrada superior de la columna de agua (ver figura 1.A).

NOTA 9. Algunos medidores tipo A tienen una marca calibrada de inicio de llenado sobre la marca cero. Generalmente, esta marca de inicio no debe usarse, ya que, como se anota en 8.2.3, el contenido de aire aparente es la diferencia entre la lectura del nivel de agua H , a la presión P , y el nivel de agua h_2 , a la presión cero, después de la descarga de la presión, P .

8.2.2 La superficie interior de la cubierta de ensamble debe conservarse limpia y libre de aceite o grasa; la superficie debe humedecerse para evitar la adhesión de burbujas de aire, que podrían ser difíciles de desalojar después de ensamblar el aparato.

"CONTINÚA"

8.2.3 Procedimiento de ensayo. Aplicar una presión, mayor que la deseada de ensayo, P , (Aproximadamente 0.2 psi (1380 Pa de más), al concreto por medio de una pequeña bomba de mano. Para aliviar restricciones locales, golpee ligera y rápidamente los lados del medidor, y cuando el medidor de presión indique la presión exacta de ensayo, determinada de acuerdo con A1.7 lea el nivel de agua, h_1 , y registre a la división o media división más cercana las marcas en el tubo graduado o en el medidor de vidrio del tubo vertical (Véase la figura Fig. 1.B). Para las mezclas sumamente ásperas, golpee el recipiente vigorosamente hasta que el golpeteo no produzca un cambio en el contenido de aire indicado. Liberar gradualmente la presión del aire a través de la abertura superior de la columna de agua y golpee ligeramente los lados del recipiente durante aproximadamente un minuto. Registrar el nivel de agua h_2 , a la división o media división más cercana (Véase figura 1 C). Calcular el contenido de aire aparente como sigue:

$$A1 = h_1 - h_2 \quad (3)$$

Dónde:

$A1$ = Contenido aparente de aire.

h_1 = nivel del agua leído a la presión, P (vea la Nota 10), y

h_2 = nivel del agua leído a la presión cero después de descargar la presión, P .

8.2.4 Prueba de comprobación. Repetir los pasos descritos en 8.2.3 sin agregar agua para restablecer el nivel en la marca cero. Las dos determinaciones consecutivas del contenido aparente de aire deben ser uniformes dentro de 0.2% de aire y deben promediarse para obtener el valor $A1$, a fin de recurrir al cálculo de contenido de aire, As de acuerdo con la sección 9.

8.2.5 En caso de que el contenido de aire exceda el intervalo del medidor cuando se operó a la presión de ensayo normal P , reducir la presión de prueba a la presión de prueba alternativa P_1 , y repetir los pasos indicados en 8.2.2 y 8.2.3.

NOTA 10. Vea A1.7 para los procedimientos exactos de calibración. Se puede calcular un valor aproximado de la presión alternativa, P_1 , tal que el contenido de aire aparente sea igual al doble de la lectura del medidor, aplicando la siguiente relación:

$$P_1 = P_a P / (2 P_a + P) \quad (4)$$

Dónde:

P_1 = presión alternativa de ensayo en kPa o (lb/pulg²)

P_a = presión atmosférica en psi [aproximadamente 101 kPa (14.7 lb/pulg²), pero puede variar con la altitud y con las condiciones del tiempo] (psi ó kPa), y

P = Presión normal de ensayo, o presión de operación, en kPa (o lb/pulg²).

8.3 Procedimiento para el Medidor tipo B:

8.3.1 Preparación para el ensayo. Limpiar totalmente las pestañas o bordes del recipiente y de la cubierta de ensamble, para que cuando esta se coloque en su lugar se logre un cierre hermético a presión. Ensamblar el aparato. Cerrar la válvula

"CONTINÚA"

principal, de aire dispuesta entre la cámara de aire y el recipiente de medición, y abra ambas válvulas de paso situadas en la tapa. Inyectar agua con una jeringa de látex, a través de una de las válvulas hasta que el agua misma surja en la válvula opuesta. Sacudir el medidor suavemente hasta que salga todo el aire por la misma llave de purga.

8.3.2 Procedimiento de ensayo. Cerrar la válvula de purga de aire de la cámara de aire y bombee aire en la cámara hasta que la aguja del medidor de presión este en la línea de presión inicial. Dejar pasar unos pocos segundos para que el aire comprimido se enfríe a temperatura normal. Estabilizar la aguja del medidor de presión en la línea de presión inicial, bombeando o expulsando aire, cuanto sea necesario, golpeando además ligeramente el medidor de presión con la mano. Cerrar ambas válvulas de paso colocadas en la cubierta. Abrir la válvula principal de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medición. Golpear los lados del recipiente de medición ligeramente con el mazo para eliminar restricciones locales. Golpear ligeramente el medidor de presión con la mano para estabilizar la aguja del mismo. Leer el porcentaje de aire de la carátula del indicador de presión. Si no se cierra la válvula principal del aire antes de liberar la presión, tanto del recipiente como de la cámara de aire, ello ocasionará que el agua se introduzca en la cámara de aire, e introduzca un error en las mediciones subsiguientes. En caso de que el agua se introduzca en la cámara de aire, debe sangrarse a través de la válvula de purga, y luego efectuar varias operaciones de la bomba para eliminar los últimos rastros de agua. Liberar la presión abriendo ambas llaves de paso (figura 2) antes de quitar la tapa.

9. Cálculos

9.1 Contenido de aire de la muestra ensayada. Calcular el contenido de aire del concreto que se localiza en el recipiente de medición, como sigue:

$$A_s = A_1 - G \quad (3)$$

Dónde:

A_s = Contenido de aire de la muestra ensayada, en %

A_1 = Contenido aparente de aire de la muestra ensayada, en % (Vea 8.2.3, y 8.3.2) y

G = Factor de corrección del agregado, en % (sección 6)

9.2 Contenido de aire de la mezcla completa. Cuando la muestra ensayada representa esa porción de la mezcla que se obtiene mediante tamizado húmedo para eliminar las partículas de agregado mayores que el tamiz de la criba de 37.5 mm (1 ½ pulg), el contenido de aire de la mezcla completa se calcula como sigue:

$$A_t = 100 A_s V_c / (100 V_t - A_s V_a) \quad (6)$$

Donde (nota 11):

A_t = Contenido de aire de la mezcla completa, en %

"CONTINÚA"

Vc = Volumen absoluto de los ingredientes de la mezcla que pasan el tamiz de 37.5 mm (1 ½ pulg), libre de aire, determinado conforme a los pesos originales de la amasada, en m³ (pies³),

Vt = Volumen absoluto de todos los ingredientes de la mezcla, libre de aire en m³ (pies³), y

Va = Volumen absoluto del agregado en la mezcla, mayor que el tamiz de 37.5 mm (1 ½ pulg), determinado conforme los pesos originales de la amasada, en m³ (pies³)

9.3 Contenido de aire en la fracción de mortero. Cuando desee saber el contenido de aire de la fracción de mortero de la mezcla, calcúlelo como sigue:

$$Am = 100 As Vc / [100 Vm + As (Vc - Vm)] \tag{7}$$

Donde (Nota 11):

Am = Contenido de aire en la fracción de mortero, en %, y

Vm = Volumen absoluto de los ingredientes en la fracción de mortero de la mezcla, libre de aire, en m³ (pies³).

Nota 11. Los valores para uso de las ecuaciones Eq. 6 y Eq. 7. se pueden obtener de los datos de la mezcla de concreto, tabulados como sigue para amasadas de cualquier tamaño:

	Volumen absoluto, m³ (pie³)	
Cemento	-----	} Vm
Agua	-----	
Agregado fino	-----	
Agregado grueso (Núm. 4 (4.75 mm) a. 37.5 mm (1 ½ pulg))	-----	
Agregado grueso 37.5 mm (1 ½ pulg.)	-----	} Vc
Total	-----	
		Va
		Vt

10. Informe

10.1 Informe lo siguiente:

10.1.1 El contenido de aire de la muestra de concreto al 0.1% más cercano, después de restar el factor de corrección por agregado, a menos que la lectura del indicador del medidor exceda el 8 %, en cuyo caso la lectura corregida debe ser reportada a 1/2 de la división más cercana de la escala del medidor.

10.1.2 La fecha y hora del ensayo

10.1.3 Cuando se solicite, y cuando el volumen absoluto de los ingredientes de la fracción de mortero de la mezcla pueda determinarse, el contenido de aire de la fracción de mortero de la mezcla al $\frac{1}{4}$ % más cercano.

11. Precisión y sesgo

11.1 Precisión:

11.1.1 Precisión de un solo operador. No puede establecerse la desviación estándar para un solo operador debido a que los requisitos de muestreo para este ensayo, como se establece en la Norma NTG 41057 (ASTM C172) no permiten en el tiempo de un solo operador conducir más de un solo ensayo de una muestra.

11.1.2 Precisión multilaboratorio. No se ha establecido la desviación estándar para ensayos multilaboratorio.

11.1.3 Precisión Multioperadores. Se ha encontrado que la desviación estándar en multioperadores para el resultado de un solo ensayo es de 0.28% de aire por volumen de concreto para medidores del Tipo A, siempre que el contenido de aire no exceda de 7%. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por operadores diferentes, pero en el mismo material, no debe diferir por más de 0.8% de aire por volumen de concreto (Vea Práctica ASTM E177 y Notas 12 y 13).

NOTA 12. Estos números representan, respectivamente, los límites (1s) y (d2s) como se describe en la Práctica ASTM C670. Las declaraciones de precisión se basan en las variaciones de los ensayos en tres concretos diferentes, cada uno ensayado por once operadores diferentes.⁴

NOTA 13. No se ha determinado la precisión de este método de ensayo utilizando el medidor tipo B.

11.2 Sesgo. Este método de ensayo no tiene ningún sesgo porque el contenido de aire de la mezcla de concreto fresco, solamente puede ser definido en función de los métodos de ensayo.

12. Palabras clave

12.1 Contenido de aire; calibración; concreto; factor de corrección; recipiente de medición; medidor presión; bomba; peso unitario.

⁴ Reidenour, D.R. and Howe, R.H., "Air Content of Plastic and Hardened Concrete" presented at the 2nd International Conference on Durability of Building Materials and Components" Sept. 14-16, 1981. reprints compiled by G. Frohnsdorff and B. Horner, National Institute for Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, formerly National Bureau of Standards, Washington DC 20234.

ANEXO Información obligatoria

A1. Calibración del equipo.

A1.1 Los ensayos de la calibración deben realizarse de acuerdo con los siguientes procedimientos, según sean aplicables al tipo de medidor que vaya a utilizarse.

A1.2 Calibración del vaso de calibración. Determinar con precisión el peso del agua w , requerida para llenar el recipiente de calibración, empleando una balanza con exactitud de 0.1% del peso del recipiente lleno de agua. Este paso debe efectuarse en los medidores tipos A y B.

A1.3 Calibración del recipiente de medición. Determinar el peso del agua, W , requerida para llenar el recipiente de medición, utilizando una balanza con exactitud de 0.1% del peso del recipiente lleno de agua. Deslizar cuidadosamente una placa de cristal sobre el borde superior del recipiente, de manera tal que se asegure que dicho recipiente está completamente lleno de agua. Una capa delgada de grasa aplicada sobre el borde del recipiente de medición hará una junta impermeable entre la placa de cristal y la parte superior del recipiente. Este paso se debe aplicar a los medidores tipos A y B.

A1.4 Volumen efectivo del vaso de calibración. La constante R representa el volumen efectivo del vaso de calibración, expresado como un porcentaje del volumen del recipiente de medición.

A1.4.1 Para los medidores tipo A, calcule R como sigue (Nota A1):

$$R = 0.98 w/W \quad (A1.1)$$

Dónde:

w = Peso del agua requerida para llenar el recipiente de calibración, y

W = Peso del agua requerida para llenar el recipiente de medición.

NOTA A1.1. El factor 0.98 es utilizado para corregir, por la reducción del volumen de aire en el vaso de calibración, cuando es comprimido por una columna de agua igual a la profundidad del vaso. Este factor es de aproximadamente 0.98 para un recipiente de medición de 203 mm (8 pulgadas) de profundidad al nivel del mar. Su valor decrece aproximadamente hasta 1,524 m (0.975 a 5,000 pies) sobre el nivel del mar y hasta 3,962 m (0.970 a 13,000 pies) sobre el nivel del mar. El valor de esta constante puede decrecer a razón de 102 mm (0.01 cada 4 pulgadas) de incremento en la profundidad del recipiente. La profundidad del recipiente de Medición y la presión atmosférica no afectan el volumen efectivo del recipiente de calibración para medidores del Tipo B.

A1.4.2 Para los medidores Tipo B, calcule R como sigue (Nota A1.1):

$$R = w / W \quad (A1.2)$$

"CONTINÚA"

A1.5 Determinación de, o verificación de, la tolerancia para el factor de expansión, D:

A1.5.1 Para el equipo de medición tipo A, determine si el factor de expansión, D, (Nota A1.2), mediante el llenado del aparato solamente con agua (asegúrese de que todo el aire atrapado haya sido removido y el nivel del agua esté exactamente en la marca cero (Nota A1.3) y la aplicación de una presión aproximadamente igual a la presión de operación, P, determinada por el ensayo de calibración descrito en A1.7. La cantidad que baje la columna de agua será el equivalente del factor de expansión, D, para ese aparato y presión particulares (Nota A1.5).

NOTA A1.2. Aunque el recipiente, la cubierta y el mecanismo de cierre del aparato deben, por necesidad, estar sólidamente contruidos de manera que resulten herméticos a la presión, la aplicación de presión interna puede originar un pequeño incremento del volumen. Esta expansión no afecta los resultados del ensayo debido a que con el procedimiento descrito en las secciones 6 y 8, la cantidad de expansión es la misma para el ensayo que determina el contenido de aire en el concreto que para el ensayo que determina el factor de corrección del agregado en los agregados fino y grueso combinados, y por lo tanto, automáticamente se anula. Sin embargo, se incluye dentro del ensayo la calibración para determinar la presión de aire que debe usarse en el ensayo de concreto fresco.

NOTA A1.3. La columna de agua de algunos diseños de medidores tipo A, está marcada con un nivel inicial de agua y una marca de cero; la diferencia entre las dos marcas es la tolerancia para el factor de expansión. Esta tolerancia debe comprobarse de la misma forma que en los medidores no marcados así y en tal caso, el factor de expansión debe omitirse al calcular las lecturas de calibración en A1.7.

NOTA A1.4. Será suficientemente preciso para este propósito, usar un valor aproximado de P, determinado al hacer un ensayo de calibración preliminar tal como se describe en A1.7, excepto que debe usarse un valor aproximado para el factor de calibración K. Para este ensayo, $K = 0.98 R$, que es el mismo de la ecuación A1.2, excepto que la lectura de expansión, D, al ser desconocida, se asume que es cero.

A1.5.2 Para los medidores tipo B, la tolerancia para el factor de expansión, D, está incluida en la diferencia entre la presión inicial indicada sobre el medidor de presión y la marca de cero por ciento indicado en la escala de contenido de aire del medidor de presión. Esta tolerancia debe comprobarse llenando el aparato con agua (asegurándose de que todo el aire atrapado haya sido eliminado), bombeando aire dentro de la cámara de aire hasta que la aguja del medidor se estabilice en la línea de presión inicial indicada y luego liberando el aire dentro del recipiente de medición (Nota A 1.5). Si la línea de presión inicial está correctamente colocada, el calibrador debe leer cero por ciento. La línea de presión inicial debe ajustarse si dos o más determinaciones muestran la misma variación desde el cero por ciento y el ensayo debe repetirse para verificar la línea inicial de presión ajustada.

NOTA A 1.5. Este procedimiento puede ejecutarse conjuntamente con el ensayo de calibración descrito en A1.9.

A1.6. Lectura de calibración, K. La lectura de calibración K, es la lectura final del medidor que se obtiene cuando el medidor se opera a la presión de calibración correcta.

A1.6.1 Para los medidores Tipo A, la lectura de calibración, K se obtiene de la siguiente manera:

$$K = R + D \quad (A1.3)$$

"CONTINÚA"

Dónde:

R = Volumen efectivo del vaso de calibración (A1.4.1), y

D = Factor de expansión (A1.5.1, Nota A1.6).

A1.6.2 Para los medidores Tipo B, la lectura de calibración K, es igual al volumen efectivo del vaso de calibración (A4.2), como se indica en la siguiente expresión:

$$K = R \quad (A1.4)$$

NOTA A1.6. Si el indicador de la columna de agua está graduado para incluir un nivel de agua inicial y una marca de cero, al ser la diferencia entre las dos marcas equivalentes al factor de expansión; el termino D de la ecuación A1.3 debe suprimirse.

A1.7 Ensayo de la calibración para determinar la presión de operación, P, en el medidor de presión de los medidores tipo A. Si el borde del cilindro de calibración no tiene salientes o depresiones, ajústelo con tres o más espaciadores igualmente separados alrededor de la circunferencia. Invertir el cilindro y colóquelo en el centro del fondo seco del recipiente de medición. Los espaciadores deben mantener una abertura para el flujo de agua hacia el interior del cilindro de calibración cuando se aplica presión. Asegurar el cilindro contra deslizamientos y baje cuidadosamente el ensamble de la cubierta. Una vez asegurada la cubierta en su lugar, acomode con precaución el montaje del aparato, en una posición vertical y agregue agua a temperatura ambiente, por medio del tubo y el embudo, hasta que ésta ascienda por encima de la marca de cero en el tubo vertical. Cerrar la válvula y bombee aire dentro del aparato hasta la presión aproximada de operación. Inclinar el conjunto ensamblado unos 30° de la vertical y, utilizando el fondo del recipiente como pivote, describa varios círculos completos con el extremo superior del tubo vertical, golpeando simultáneamente la cubierta y los costados del recipiente con suavidad para desalojar el aire atrapado adherido a las superficies internas del aparato. Regresar el aparato a la posición vertical, libere gradualmente la presión (para evitar pérdida de aire del vaso de calibración) y abra la válvula. Llevar el nivel de agua exactamente a la marca cero, abriendo la válvula de paso localizada en la parte superior de la cubierta. Cerrar la válvula, aplique presión hasta que el nivel de agua haya bajado una cantidad equivalente a alrededor de 0.1 a 0.2% de aire más que el valor de la lectura de calibración, K, determinada como se describen en A1.6. Para aliviar restricciones locales, golpee ligeramente los lados del recipiente y cuando el nivel del agua esté exactamente en el valor de la lectura de calibración, K, lea la presión, P, indicada en el medidor y anótela con una aproximación de 690 Pa (0.1 lb/pulg²). Liberar gradualmente la presión y abra la válvula para determinar si el nivel de agua regresa a la marca cero cuando los lados del recipiente son golpeados ligeramente (si esto ocurre, ello indica pérdida de aire del vaso de calibración o pérdida de agua debida a fugas en su ensamble). Si los niveles de agua no regresan dentro del 0.05% de aire de la marca cero y no hay fugas, salvo unas cuantas gotas, probablemente se perdió algo de aire del cilindro de calibración. En este caso, repita el procedimiento de calibración paso a paso desde el inicio de este párrafo. Si la fuga es mayor que unas cuantas gotas de agua, apriete la junta de cierre antes de repetir el procedimiento de calibración. Comprobar que la lectura de presión indicada, rápidamente, llevando el nivel de agua exactamente a la marca cero, cerrando la válvula y aplicando la presión, P, recién determinada. Golpee

"CONTINÚA"

ligeramente el indicador con un dedo. Cuando el indicador indique la presión exacta P , la columna de agua indicará el valor del factor de calibración K , usado en la primera aplicación de presión, dentro de aproximadamente 0.05% de aire.

A1.7.1 El aparato no debe moverse de su posición vertical hasta que se le haya aplicado presión, la cual forzará el agua aproximadamente un tercio de su ascenso dentro del cilindro de calibración. Cualquier pérdida de aire en este cilindro invalidará la calibración.

A1.8 Ensayo de calibración para determinar la presión alternativa de operación $P1$ – Medidor tipo A. El rango de contenidos de aire que pueden ser medidos con un medidor determinado, puede duplicarse mediante la determinación de una presión alternativa de operación $P1$ tal que la lectura en el medidor sea la mitad de la lectura de calibración, K , (ecuación A1.3). La calibración exacta requerirá determinar el factor de la expansión a la presión reducida en A1.5. Para la mayor parte de los propósitos, se puede pasar por alto el cambio en el factor de expansión y determinar la presión alternativa de operación durante la determinación de la presión regular de operación en A1.7.

A1.9 Ensayo de calibración para verificar las graduaciones del contenido de aire en el medidor de presión de los medidores tipo B. Llene el recipiente de medición con agua según se describe en A 1.3. Atornille la pieza corta de tubo o el tubo suministrado con el aparato, en la válvula de paso de purga con rosca en la parte inferior de la cubierta de ensamble. Ensamblar el aparato. Cerrar la válvula principal de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medición, y abra las dos llaves de paso que están sobre las perforaciones de la cubierta. Agregar agua a través de la válvula de paso que tiene la extensión debajo de la cubierta, hasta que todo el aire haya sido expulsado por la otra válvula de paso. Bombear aire dentro de la cámara de aire hasta que la presión alcance la línea de presión inicial. Esperar unos segundos para que el aire comprimido se enfríe a la temperatura ambiente. Estabilizar la aguja indicadora en la línea de presión inicial mediante bombeo o escape de aire según sea necesario, golpeando ligeramente el medidor de presión. Cerrar la válvula de paso no provista de tubo o extensión debajo de la cubierta. Transferir agua del aparato ensamblado hacia el vaso de calibración controlando el flujo, dependiendo del diseño particular del medidor, abriendo la válvula de paso provista con tubo o extensión debajo de la cubierta y la válvula de aire principal entre la cámara de aire y el recipiente de medición, o abriendo la válvula de aire principal y utilizando la válvula de paso para controlar el flujo. Efectuar la calibración a un contenido de aire que esté dentro del rango normal de uso. Si el recipiente de calibración (A1.2) tiene una capacidad dentro del rango de uso, elimine exactamente esa cantidad de agua. En algunos medidores, el vaso de calibración es muy pequeño y esto hará necesario desalojar varias veces ese volumen de agua para obtener un contenido de aire dentro del rango normal de uso. En este caso colecte cuidadosamente el agua en un recipiente auxiliar y determine la cantidad eliminada pesándola con una exactitud del 0.1%. Calcular el contenido de aire correcto R , utilizando la ecuación A1.2. Liberar el aire del aparato con la válvula de paso usada para llenar el vaso de calibración y si en el aparato emplea un tubo auxiliar para llenar el recipiente de calibración, abra la válvula de paso a la que se conectó el tubo, para drenar de nuevo el tubo dentro del recipiente de medición (A1.7.1). En este punto del procedimiento, el recipiente de medición contiene el porcentaje de aire determinado por el ensayo de calibración del vaso de calibración.

"CONTINÚA"

Bombear el aire a la cámara de aire hasta que la presión alcance la línea de presión inicial marcada por el indicador de presión, cierre ambas válvulas de paso de la cubierta y luego abra la válvula principal de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medición. El contenido de aire indicado por la aguja del medidor de presión debe corresponder con el porcentaje de aire que debe haber en el recipiente de medición. Si dos o más determinaciones muestran la misma variación respecto al contenido correcto de aire, la aguja indicadora deberá reubicarse en el contenido correcto de aire y el ensayo debe repetirse hasta que la lectura del medidor corresponda con el contenido de aire calibrado dentro del 0.1%. Si la aguja indicadora tuvo que ajustarse para obtener el contenido de aire correcto, vuelva a comprobar la marca de presión inicial, como se indica en A1.5.2. Si se requiere una nueva lectura de la presión inicial, repita la calibración para verificar la exactitud de la graduación del medidor de presión descrita al principio de esta sección. Si se tiene dificultad para obtener lecturas consistentes, compruebe que no haya fugas, agua dentro de la cámara de aire (ver figura 2) o burbujas adheridas a la superficie interior del medidor debido al empleo de agua fría aireada. En este último caso, utilice agua desaireada que puede obtener mediante el enfriamiento de agua caliente hasta la temperatura ambiente.

NOTA A1.7. Si el vaso de calibración es parte integral de la cubierta, la llave de purga empleada para llenar el vaso debe cerrarse inmediatamente después de llenar el vaso de calibración y no abrirse hasta que el ensayo haya concluido.

--Última Línea--

**Norma
Técnica
Guatemalteca**

NTG – 41017 h4

Título

Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico.

Correspondencia

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C 143-08.

Observaciones



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12
Tel (502) 2476-6784 al 7
Info-coguanor@mail.mineco.gob.gt
<http://www.mineco.gob.gt>

Referencia
ICS 91.100.10

Índice

	Página
1 Objeto.....	3
2 Documentos citados	3
3 Resumen del método de ensayo.....	3
4 Significación y utilización.....	4
5 Equipo.....	4
6 Muestra.....	6
7 Procedimiento.....	6
8 Informe.....	7
9 Precisión y sesgo.....	7
10 Descriptores.....	9

Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico.

1. Objeto

1.1 Este método de ensayo comprende la determinación del asentamiento del concreto hidráulico, tanto en laboratorio como en campo.

1.2 Los valores especificados en unidades SI ó en pulgada-libra, deben considerarse separadamente como los estándares. Dentro del texto, las unidades pulgada-libra, se presentan entre paréntesis. Los valores establecidos en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por esto, cada sistema debe utilizarse independiente del otro. La combinación de valores de ambos sistemas puede resultar en una no conformidad con la norma.

1.3 El texto de esta norma hace referencia a notas y a notas de pie de página, las cuales proporcionan material explicativo. Estas notas y las notas al pie (excluyendo las de las tablas y figuras) no deben considerarse requerimientos de esta norma.

1.4 Esta norma no pretende tratar todos los aspectos relacionados a la seguridad y salubridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de salud y seguridad apropiadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras, previo a su uso. **Advertencia** – Las mezclas frescas de cementantes hidráulicos son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y al tejido por una exposición prolongada¹

2. Documentos Citados

2.1 Normas ASTM².

C 31/C31M Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.

C 38/C38M Método de ensayo. Determinación de la densidad (masa unitaria), rendimiento (volumen del concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.

C 172 Práctica estándar para el muestreo de concreto recién mezclado.

C231 M Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión.

C 670 Práctica para la preparación de declaraciones sobre precisión y sesgo para métodos de ensayo de materiales de construcción.

3. Resumen del método de ensayo

3.1 Una muestra de concreto recién mezclado se coloca y se consolida por varillado dentro de un molde en forma de cono truncado. Se levanta el molde dejando que el concreto se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la

¹ Sección sobre Precauciones de Seguridad, Manual of Aggregate and Concrete Testing, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02

² Las normas ASTM pueden consultarse en: www.astm.org o en service@astm.org

desplazada en el centro de la superficie superior del concreto y se reporta como asentamiento del concreto.

4. Significación y utilización

4.1 Este método de ensayo tiene como finalidad proveer al usuario de un procedimiento para determinar el asentamiento de concretos plásticos hechos a base de cemento hidráulico.

NOTA 1. Este método de ensayo se desarrolló originalmente para proporcionar una técnica de monitoreo de la consistencia del concreto fresco. En condiciones de laboratorio, con un control estricto de todos los materiales constituyentes del concreto, se ha encontrado que por lo regular el asentamiento aumenta proporcionalmente con el contenido de agua en una mezcla de concreto dada, por lo tanto, es inversamente proporcional a la resistencia del concreto. Sin embargo, bajo condiciones de obra, dicha relación con la resistencia no se aprecia en forma clara y consistente. Es por ello que se debe tener cuidado al correlacionar los resultados de asentamiento obtenidos en condiciones de obra, con la resistencia.

4.2 Este método de ensayo se considera aplicable al concreto plástico preparado con agregado grueso de hasta 37.5 mm (1 ½ pulg) de tamaño. Si el tamaño de partícula del agregado grueso es mayor de 37.5 mm (1 ½ pulg), el método de ensayo es aplicable en la fracción del concreto que pasa la malla de 37.5 mm (1 ½ pulg), con la eliminación de los tamaños mayores, de acuerdo con la sección intitulada, "Procedimiento adicional para concreto con agregado de tamaño máximo grande de la Norma C 172".

4.3 Este método de ensayo no se considera aplicable a los concretos no plásticos y no cohesivos.

NOTA 2. Los concretos que tienen asentamientos menores de 13 mm (½ pulg) pueden no ser lo suficientemente plásticos, y los concretos que tienen asentamientos mayores de 230 mm (9 pulg) pueden no ser lo suficientemente cohesivos para que este ensayo sea significativo. Se debe tener cuidado al interpretar tales resultados.

5. Equipo

5.1 Molde. El espécimen de ensayo debe hacerse en un molde metálico que no reaccione fácilmente con la pasta de cemento. La lámina no debe tener un espesor menor de 1.5 mm (0.060 pulg) y si se forma con el proceso de rolado, en ningún punto del molde el espesor será menor de 1.15 mm (0.045 de pulg). El molde debe tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado, con la base de 200 mm (8 pulg) de diámetro, la parte superior de 100 mm (4 pulg) de diámetro, y la altura de 300 mm (12 pulg). Los diámetros y alturas individuales deben tener una tolerancia de ± 3 mm (1/8 de pulg) de las dimensiones especificadas. La base y la parte superior deben estar abiertas y ser paralelas entre si y formar ángulo recto con el eje longitudinal del cono. El molde debe tener estribos para apoyar los pies y asas similares a las que se muestran en la figura. 1. El molde debe construirse sin costuras. El interior del molde debe estar relativamente liso y libre de imperfecciones. También debe estar libre de abolladuras, deformaciones o mortero adherido. Puede aceptarse un molde que esté sujeto a una placa de base no absorbente, en lugar del ilustrado, siempre y cuando el sistema de fijación sea tal

que pueda liberarse y que la base sea lo bastante grande para contener todo el concreto asentado en un ensayo aceptable.

FIGURA 1

Unidades Dimensionales									
mm	[2]	[3]	[15]	[25]	[75]	[80]	[100]	[200]	[300]
Pulg	1/16	1/8	1/2	1	3	3 1/8	4	8	12

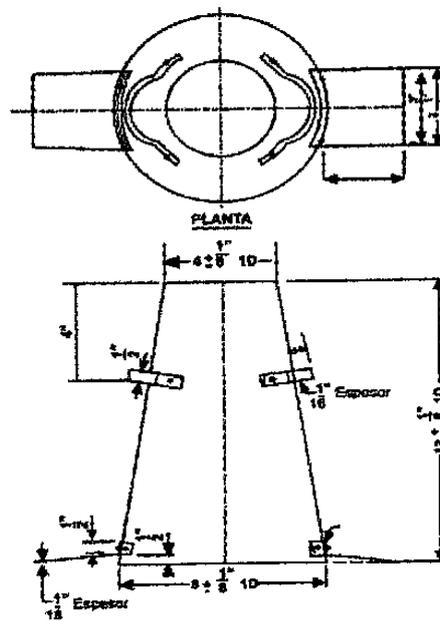


Fig. 1 molde para ensayo del Asentamiento

5.1.1 Debe de verificarse y registrarse la conformidad con las dimensiones especificadas del molde al comprarse o cuando se pone en servicio por primera vez, y al menos cada año a partir de entonces.

5.1.2 Molde fabricado con materiales alternativos

5.1.2.1 Pueden permitirse otros moldes diferentes al metálico si se satisfacen los requisitos siguientes: El molde debe cumplir con la forma, altura y requisitos de las dimensiones internas de 5.1. Debe ser lo suficientemente rígido para mantener durante su uso las dimensiones y tolerancias especificadas, deber ser resistente para soportar impactos y, además, de material no absorbente. El molde debe demostrar que proporciona resultados comparables a los que se obtengan al usar un molde metálico que reúna los requisitos de 5.1. La comparación debe demostrarla a favor del fabricante, un laboratorio de ensayos independiente. Los ensayos

comparativos deben consistir de no menos de 10 pares consecutivos de comparaciones individuales realizadas en tres concretos con asentamientos diferentes comprendidos en el intervalo de 50 mm (2 pulg) a 200 mm (8 pulg) (ver nota 3). Ningún resultado de ensayo individual debe variar en más de 13 mm (0.50 de pulg) respecto a los que se obtuvieron usando el molde metálico. Los promedios resultantes de los ensayos de cada rango de asentamiento obtenidos utilizando el molde fabricado con una cada material alternativo, no deben variar por más de 6 mm (1/4 de pulg) respecto al promedio de los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas usando el molde de metal. Los datos del ensayo de comparabilidad del fabricante deben estar disponibles para los usuarios y las autoridades de inspección de laboratorio (ver Nota 4). Cualquier cambio en el material o método de fabricación obligará a repetir los ensayos de comparación.

NOTA 3 – La frase “pares consecutivos de comparaciones” no significa sin interrupción o todo en un día. En un programa seleccionado por la entidad de los ensayos, los pares de ensayos que llevan a los 10 pares consecutivos pueden llevarse a cabo en pequeños grupos. “La palabra consecutivo” evita que se ignoren los pares de resultados que no cumplan con los criterios establecidos.

NOTA 4. – Debido a que el asentamiento del concreto disminuye con el tiempo y con las temperaturas más altas, será ventajoso para los ensayos de comparación que sean realizados alternando el uso de conos metálicos y conos de materiales alternativos, utilizar a varios técnicos, y minimizar el tiempo entre los procedimientos de ensaye.

5.1.2.2 Si se sospecha que la condición de cualquier molde individual esta fuera de tolerancia con relación a la condición de cuando se fabricó, debe realizarse un solo ensayo comparativo. Si los resultados del ensayo difieren por más de 13 mm (0.50 de pulg) del obtenido con el molde de metal, el molde se retirará de servicio.

5.2 Varilla Apisonadora. Debe ser una varilla de acero recta, de sección circular de 16 mm (5/8 de pulg) \pm 2 mm (1/16 pulg) de diámetro. La longitud de la varilla debe ser de por lo menos 100 mm (4 pulg) mayor que la profundidad del molde en el que se hará la compactación, pero no mayor que 600 mm (24 pulg) en total (ver nota 5). La tolerancia en longitud para la varilla apisonadora debe ser de \pm 4 mm (1/8 de pulg). La varilla debe tener el extremo de apisonar o ambos extremos redondeados en una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.

NOTA 5 – Una varilla con una longitud de 400 mm (16 pulg) a 600 mm (24 pulg) cumple con los requisitos de las siguientes normas: Práctica C 31/C31M, método de ensayo: C 138/C138M, Método de ensayo C 143/C143M, Método de ensayo C 173/C173M y Método de ensayo C 231.

5.3 Dispositivo de medición. Una regla, una cinta metálica enrollable para medir, o un instrumento similar de medición rígido o semirígido marcado en incrementos de 6 mm (¼ pulg) ó más pequeños. La longitud del instrumento debe ser de por lo menos 300 mm (12 pulg).

5.4 Cucharón. De un tamaño suficiente para que cada cantidad de concreto obtenida del recipiente de la muestra, sea representativa y suficientemente pequeña para que no se derrame durante su colocación en el molde.

6. Muestra

6.1 La muestra de concreto para elaborar los especímenes de prueba debe ser representativa de toda la amasada preparada. Debe obtenerse de acuerdo con la práctica C 172.

7. Procedimiento

7.1 Humedecer el molde y colocarlo en una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. El molde debe ser mantenido firmemente en su lugar durante su llenado y limpieza de su perímetro, por el operador parado, sobre los estribos, o por un dispositivo de sujeción a una placa de base como se describe en 5.1. De la muestra de concreto obtenida de acuerdo a la sección 6, inmediatamente llene el molde en tres capas, cada una de aproximadamente 1/3 del volumen del molde (ver Nota 6). Colocar el concreto en el molde usando un cucharón descrito en 5.4. Mueva el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución pareja del concreto con una mínima segregación.

NOTA 6 – Un tercio del volumen del molde de asentamiento se llena a la altura de 70 mm (2 5/8 de pulg); dos tercios del volumen se llenan a una altura de 160 mm (6 1/8 de pulg).

7.2 Varillar cada capa 25 veces uniformemente en toda la sección transversal de cada capa. Para la capa del fondo es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuando con golpes verticales en forma de espiral hacia el centro. Varillar la capa del fondo en todo su espesor. Consolidar la segunda capa y la capa superior (última capa) en todo su espesor, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa inferior en aproximadamente 25 mm (1 pulg). Para cada capa superior, la varilla debe penetrar a través de la capa que está varillando y en la capa inferior aproximadamente 25 mm (1 pulg).

7.3 Al llenar y varillar la capa superior (última capa), hacer que el concreto exceda la capacidad del molde antes de empezar a varillar. Si durante el varillado, la superficie del concreto queda abajo del borde superior del molde, agregar más concreto para mantener en todo momento un exceso de concreto sobre la superficie del molde. Después de haber varillado la última capa, emparejar la superficie del concreto mediante el enrase y rodamiento de la varilla de apisonamiento. Continuar sosteniendo el molde firmemente hacia abajo y remueva el concreto del área que rodea la base del molde para evitar la interferencia con el movimiento del concreto que se está descargando. De inmediato retirar el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levantar el molde una altura de 300 mm (12 pulg) en 5 ± 2 segundos, con un movimiento ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión. La prueba se debe realizar sin interrupción desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un periodo de 2 ½ minutos.

7.4 De inmediato medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen. Si ocurriera la caída evidente de una porción, el desplome o el

desprendimiento de una parte de la masa de concreto (Nota 5), desechar la prueba y hacer una nueva prueba con otra porción de la muestra.

NOTA 7 – Si dos ensayos consecutivos en una misma muestra de concreto presentan un desplome, caída o desprendimiento de una porción de la masa de concreto del espécimen, probablemente a dicho concreto le falta plasticidad y cohesión necesaria para que la prueba de asentamiento sea aplicable.

8. Informe

8.1 Registrar el asentamiento del espécimen, en milímetros con aproximación de 5 mm ó en pulgadas, al ¼ pulg más cercano.

9. Precisión y sesgo

9.1 Precisión. Las estimaciones de precisión para este método de ensayo se basan en resultados de las pruebas realizadas en Fayetteville, Arkansas, por 15 técnicos de 14 laboratorios que representaban a tres estados. Todos los ensayos a tres diferentes rangos de asentamiento, de 25 mm (1.0 pulg) a 160 mm (6.5 pulg), se realizaron usando una carga de concreto mezclado en el camión. El concreto fue entregado y aprobado a un bajo asentamiento, al que luego se le agregaba agua y se mezclaba con el concreto remanente, para producir independientemente concreto con asentamiento moderado, y finalmente concreto de alto asentamiento. La mezcla de concreto que usó un agregado de piedra caliza triturada número 67 y arena de río lavada, contenía 500 lb., de materiales cementantes por yarda cúbica (297 Kg.) de material cementante por metro cúbico). Los 227 kg (500 lb) se dividieron igualmente entre un cemento C 150, Tipo I/II y una ceniza volante Clase C. Se usó una dosis doble de un retardante químico en un intento por minimizar las pérdidas de asentamiento y mantener la trabajabilidad del concreto. Las temperaturas del concreto variaban desde 30°C (86°F) a 34°C (93° F). Las pérdidas de asentamiento promediaron 17 mm (0.68 pulg) durante los 20 minutos requeridos para realizar una serie de 6 ensayos a un revenimiento de un rango. Los ensayos se hicieron alternativamente usando moldes metálicos y plásticos, que fueron determinados para producir resultados comparables. Así pues, los datos de precisión se aplican tanto a moldes metálicos como de plástico. Se realizaron un total de 270 pruebas de asentamiento.

9.1.1 Pulgada-Libra (SI). Los datos usados para desarrollar la expresión de precisión se obtuvieron usando unidades métricas (milímetros). Los valores de precisión mostrados en unidades pulgada-libra son conversiones de las medidas de milímetros, que fueron registrados hasta el 1 mm más cercano.

9.1.2 Medición de la Variabilidad. Se determinó que la desviación estándar era la medida más consistente de la variabilidad y se descubrió que variaba con el valor del asentamiento.

9.1.3 Precisión de un solo operador. La desviación estándar de un solo operador representada por (1s) se muestra en la Tabla 1 por valores de asentamiento promedio. Los resultados reportador para las lecturas de replica se aplican a las pruebas realizadas por el mismo operador, llevando a cabo pruebas sucesivas, una inmediatamente después de la otra. Los resultados aceptables de dos ensayos

apropiadamente realizados por el mismo operador sobre el mismo material (Nota 6) no diferirán uno del otro en más de los valores (d2s) de la última columna de la Tabla 1 para el valor del asentamiento apropiado y la precisión de un solo operador.

Tabla 1 Precisión

Asentamiento e índice del tipo	Desviación estándar (1s)		Rango aceptable de dos resultados (d2s)	
	Pulg.	mm	Pulg.	mm
<i>Precisión de un solo operador</i>				
Asentamiento 1.2 pulg. (30 mm)	0.23	6	0.65	17
Asentamiento 3.4 pulg. (85 mm)	0.38	9	1.07	25
Asentamiento 6.5 pulg. (160 mm)	0.40	10	1.13	28
<i>Precisión multilaboratorio</i>				
Asentamiento 1.2 pulg. (30 mm)	0.29	7	0.82	20
Asentamiento 3.4 pulg. (85 mm)	0.39	10	1.10	28
Asentamiento 6.5 pulg. (160 mm)	0.53	13	1.50	37

Estos números representan, respectivamente, los límites (1s) y (d2s), tal como se describen en la Norma C 670

9.1.4 Precisión multilaboratorio. La desviación estándar multilaboratorio representada por (1s) se muestra en la tabla 1 por los valores de asentamiento promedio. Los resultados reportados para las lecturas de replica se aplican a las pruebas realizadas por diferentes operadores de diferentes laboratorios que realizan los ensayos, con una diferencia menos a 4 minutos entre ellas. Por lo tanto, los resultados aceptables de dos ensayos de asentamiento apropiadamente realizados sobre el mismo material (Ver nota 8) por dos laboratorios no diferirán uno del otro en más del valor (d2s) de la última columna de la Tabla 1 para el valor de asentamiento apropiado y precisión multilaboratorio.

NOTA 8 - "Mismos materiales", se usa para designar concreto recién mezclado de una mezcla.

9.2 Sesgo. Este método de ensayo no tiene sesgo, ya que el asentamiento se define únicamente en términos de este método de ensayo.

10. Descriptores

10.1 Concreto; cono; consistencia; plasticidad; asentamiento; trabajabilidad.

--Última línea--

**NORMA
TÉCNICA
GUATEMALTECA**

**COGUANOR
NTG 41003 h6**

Método de ensayo. Determinación de la finura del cemento hidráulico usando un tamiz de 45µm (№ 325).

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C430-08, en la cual está basada e incluye la denominación propia de las normas técnicas guatemaltecas.

Aprobada 2013-08-09

Adoptada Consejo Nacional de Normalización:



**Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía**

Edificio Centro Nacional de Metrología Referencia
Calzada Atanasio Azul 27-32, zona 12
Teléfonos: (502) 2247-2600
Fax: (502) 2247-2687
www.mineco.gob.gt
info-coguanor@mail.mineco.gob.gt

Prólogo COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

COGUANOR, preocupada por el desarrollo de la actividad productiva de bienes y servicios en el país, ha armonizado las normas internacionales.

El estudio de esta norma, fue realizado a través del Comité Técnico de Normalización de Cemento (CTN Cemento), con la participación de:

Ing. Emilio Beltranena
Coordinador de Comité

Ing. Gabriel Granados
Representante PRECSA

Ing. Max Schwartz
Representante INFOM

Lic. Rodrigo García
Representante MIXTO LISTO

Ing. Joaquín Rueda
Representante Cementos Progreso

Ing. Dilma Mejicanos
Representante CII-USAC

Ing. Leonel Morales
Representante CEMEX Guatemala

Ing. Roberto Chang
Representante AGIES

Ing. Sergio Quiñónez
Representante PRECÓN

Arq. Jorge Luis Arévalo
Representante SOLARC

Ing. Rafael Sazo

Representante CEMEX Guatemala

Ing Estuardo Herrera Rodas
Representante ICCG

Ing. Israel Orellana
Representante FORCOGUA

Arq. Paulo César Castro
Representante MACROMIX

Lic. Luis Velásquez
Representante Cementos Progreso

Ing. María Alejandra Vega
Representante CEMEX Guatemala

Ing. Sergio Sevilla
Representante CIFA

Ing. Ing. Oscar Sequeira
Representante AGCC

Ing. Estuardo Palencia
Representante PROQUALITY

Ing. Joel Velarde
Representante MEGAPRODUCTOS

Ing. Marcelo Quiñónez
Representante FORCOGUA

Ing. José Manuel Vásquez
Representante MIXTO LISTO

Ing. Orlando Quintanilla
Representante FHA

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Representante ICCG

Ing. Ramiro Callejas
Representante FHA

Ing. Marlon Portillo
Representante Municipalidad de Guatemala

Ing. Luis Caná
Representante Grupo FFACSA

Ing. Javier Quiñónez
Representante CONCYT

Ing. Luis Alvarez Valencia
Representante ICCG

Ing. Héctor Herrera
Representante COGUANOR

Índice

	Página
1 Objeto.....	
2 Documentos citados.....	
3 Equipo.....	
4 Calibración del tamiz de 45µm (№ 325).....	
5 Procedimiento.....	
6 Limpieza de los tamices de 45µm (№ 325).....	
7 Cálculos.....	
8 Precisión y Sesgo.....	
9 Descriptores.....	

1. OBJETO

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la finura del cemento hidráulico por medio del tamiz de $45\mu\text{m}$ (Nº 325).

1.2 Los valores dados en unidades SI deben ser considerados como el estándar. Los valores equivalentes de lb-pulg dados entre paréntesis pueden ser aproximados.

1.3 Esta norma no pretende señalar todos los aspectos de seguridad si los hubiere, asociados a su uso. Es responsabilidad del usuario de este método, el establecer las prácticas de seguridad y salubridad ocupacional y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso.

2. DOCUMENTOS CITADOS

2.1 Normas NTG (ASTM)

(ASTM E11) Tela de alambre tejido y tamices utilizados para ensayos. Especificaciones.

(ASTM E161) Tamices de precisión electroformados. Especificaciones.

(ASTM E 177) Práctica para el uso de los términos de precisión y sesgo en los métodos de ensayo.

3. EQUIPO

3.1 Marco del tamiz – El marco del tamiz debe ser de un metal no sujeto a corrosión por el agua y debe ser circular y ya sea de 51 ± 6 mm (2.0 ± 0.25 pulg) de diámetro cuando una tela de alambre tejido se monta en el marco, o bien de 76 ± 6 mm (3.0 ± 0.25 pulg) de diámetro cuando una hoja electroformada se monta en el marco. La profundidad del tamiz del tope del marco a la tela o a la hoja debe ser de 76 ± 6 mm (3.0 ± 0.25 pulg). El marco debe tener paredes laterales de 89 ± 6 mm (3.5 ± 0.25 pulg) de altura total, o pastas de por lo menos 12 mm (0.5 pulg) de altura, suficientemente para permitir la circulación de aire bajo la tela del tamiz o la hoja electroformada.

3.1.1 Tela de tamiz y hoja electroformada – El marco del tamiz debe ser provisto con un tamiz de $45\mu\text{m}$ (Nº325) de tela de tejido de acero inoxidable AISI tipo 304, de acuerdo con los requisitos de la especificación ASTM E11, o bien con una hoja tamiz de $45\mu\text{m}$ (Nº 325) electroformada de níquel reforzado, de acuerdo con los requisitos de la especificación (ASTM E161), con la excepción que el número de abertura debe ser de 71 ± 2 por centímetro lineal (180 ± 5 por pulgada lineal).

3.1.2 Montaje de la tela o de la hoja de tamiz.

3.1.2.1 Montaje de la tela de alambre tejido, tipo 304 de acero inoxidable. La tela debe ser montada en el marco, sin distorsión, flojedad o arrugas. Para un tamiz fabricado soldando la tela al marco, la junta debe ser alisada para prevenir que el cemento se escurra en las juntas entre la tela y el marco, los tamices de dos piezas deben de sujetarse firmemente a la tela para prevenir que el cemento penetre en las juntas entre la tela de tamiz y el marco.

3.1.2.2 Montaje de la hoja de tamiz electroformado. La hoja de tamiz electroformado de níquel reforzado debe ser montada en el marco sin distorsión, flojedad o arrugas. La junta entre la hoja de tamiz y el marco debe ser alisada con un material impermeable al agua.

3.2 Pulverizador de rociado – El pulverizador (véase Figura 1) debe ser construido de metal no sujeto a corrosión por el agua, y debe tener un diámetro interior de 17.5mm (0.69 pulg), con un agujero central perforado alineado con el eje longitudinal, y una fila intermedia de ocho agujeros perforados a 6mm (0.23 pulg) centro a centro a un ángulo de 5° del eje longitudinal y una fila exterior de ocho agujeros perforados a 11mm (0.44 pulg) centro a centro a un ángulo de 10° del eje longitudinal. Todos los agujeros deben ser de 0.5mm (0.02 pulg) de diámetro. El pulverizador debe haber sido evaluado dentro de los seis meses previos al ensayo de una muestra de cemento, para asegurar que el caudal esté dentro de 1500 y 3000 g/min a una presión de 69 ± 3 kPa (10 ± 0.4 psi).

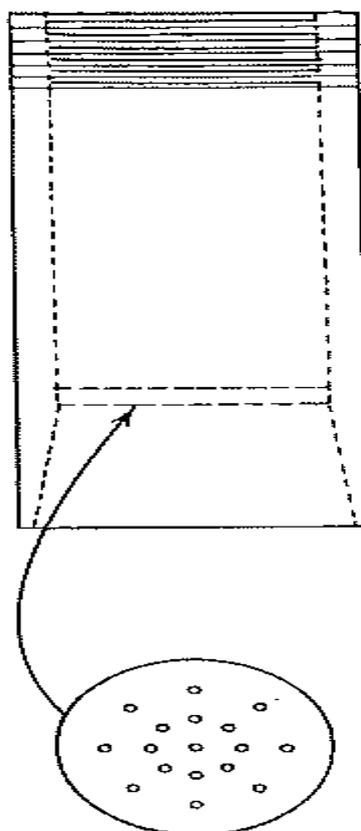


Figura 1 – Pulverizador con 17 agujeros de 0.51mm (0.02 pul)

3.3 Medidor de presión – El medidor de presión debe tener un diámetro mínimo de 76mm (3.0 pulg), debe estar graduado en incrementos de 7 kPa (1psi) y debe tener una capacidad máxima de 207 kPa (30 psi). La exactitud a una presión de 69 kPa (10 psi) debe ser de ± 2 kpa (± 0.25 psi).

4. CALIBRACIÓN DEL TAMIZ DE 45 μ m (Tamiz № 325)

4.1 Se colocan 1000g de la muestra de cemento de referencia № 1140 № 46h del National Institute of Standards and Technology de los Estados Unidos de América (NIST), en un tamiz de 45 μ m (№ 325), limpio y seco y se procede al tamizado de acuerdo a la sección 5. El factor de corrección del tamiz es la diferencia entre el residuo de ensayo obtenido y el valor de residuo asignado indicado por la hoja de tamiz electroformado especificado para la muestra de referencia, expresado como un porcentaje del residuo de ensayo.

NOTA 1 – Debe observarse que la corrección del tamiz como se especifica en un factor que debe ser multiplicado por el residuo obtenido y que la cantidad a ser sumada o sustraída del residuo para cualquier ensayo dado, es por lo tanto proporcional a la cantidad del residuo.

Ejemplo de la Determinación del Factor de Corrección del tamiz:

Residuo en el tamiz de 45 μ m (№ 325)	
para la muestra № 114 o la № 46h.....	12.2 %
Residuo para una muestra 1g.....	0.122g
Residuo en el tamiz que calibra.....	0.093g
Diferencia:	=+0.029g
Factor de corrección = +0.029/0.093 x 100 =31.18 = +31.2%	

5. PROCEDIMIENTO

5.1 Se coloca una muestra de 1.000g del cemento sobre un tamiz 45 μ m (№ 325) limpio seco. Se moja la muestra completamente con un chorro suave de agua, con el pulverizador. Se quita el tamiz del pulverizador y se ajusta la presión en el pulverizador a 69 ± 4 kPa (10 ± 0.5 psi). Se retorna el tamiz a su posición bajo el pulverizador y se lava por 1 min, moviendo el tamiz en forma de círculo en un plano horizontal a velocidad de un movimiento por segundo de rociado. La parte inferior del pulverizador debe extenderse unos 12mm (0.5 pulg) bajo el borde superior del tamiz. Se remueve el tamiz del rociado e inmediatamente se lava una sola vez con aproximadamente 50 mL de agua destilada o des ionizada teniendo el cuidado de no perder nada del residuo, y luego se limpia la superficie inferior, colocando el tamiz sobre un paño húmedo. Se seca el tamiz y el residuo en un horno o sobre una placa caliente (Véase Nota 2), soportando el tamiz de tal forma, que el aire pueda pasar libremente por debajo del tamiz. Se enfría el tamiz y luego se cepilla el residuo del tamiz y se pesa en una balanza analítica capaz de reproducir los resultados con una aproximación de 0.0005g.

NOTA 2 – Debe tenerse cuidado de no calentar el tamiz a temperaturas tan altas que puedan aflojar la soldadura de las juntas.

6. LIMPIEZA DE LOS TAMICES DE 45µm (№ 325)

6.1 Frecuencia de la limpieza y la calibración. Los tamices provistos de tela de alambre tejido se deben limpiar después de no más de cinco determinaciones. Los tamices provistos con una hoja de tamiz electroformado que tenga más de 71 aberturas por centímetro lineal se deben limpiar después de no más de tres determinaciones. Ambos tipos de tamices deben ser recalibrados después de no más de 100 determinaciones.

6.2 Procedimientos de limpieza aceptables. Una opción para limpiar los tamices es colocarlos en un baño ultrasónico de baja frecuencia (150w de potencia máxima de entrada) que contenga una solución de limpieza de laboratorio apropiada. El baño se opera por el tiempo suficiente (aproximadamente de 10 a 15 min a temperatura ambiente) para remover las partículas alojadas en las aberturas. Debe advertirse que los tamices electroformados con más de 71 aberturas por centímetro lineal pueden ser dañados por la limpieza ultrasónica. Una opción de limpieza que no requiere de baño ultrasónico es la siguiente: Se sumerge el tamiz en un baño que contiene una solución de limpieza de laboratorio apropiada calentada hasta justo debajo de su punto de ebullición. Se cubre el tamiz con un vidrio de reloj para reproducir la evaporación y se continúa el remojo por el tiempo suficiente para que se aflojen las partículas retenidas en las aberturas, con un lavado final después del baño. Un remojo similar del tamiz por una noche, pero con una solución de limpieza similar pero no recalentada, es también aceptable, siempre que un lavado final después del baño logre sacar las partículas alojadas en las aberturas. Debe evitarse el remojo o el lavado con soluciones diluidas de ácido clorhídrico o de ácido acético. Las soluciones apropiadas de limpieza están restringidas a las soluciones de jabones o de detergentes.

7. CÁLCULOS

7.1 Calcular la finura del cemento al más cercano 0.1% como sigue:

$$R_c = R_s \times (100 + C) \quad (1)$$

$$F = 100 - R_c \quad (2)$$

Donde:

F = Finura del cemento expresada como el porcentaje corregido que pasa el tamiz de 45µm (№ 325),g

R_c = Residuo corregido, %

R_s = Residuo de la muestra retenida en el tamiz de 45µm (№ 325), g

C = Factor de corrección (determinado como se prescribe en la sección 4)

Ejemplo:

Factor de corrección C = + 31.2%
Residuo de la muestra ensayada, R_s = 0.088g
Residuo corregido, R_c = 0.088 x (100 + 31.2)
= 11.5%
Cantidad corregida para tamiz 45 μ m = 100 – 11.5% = 88.5%

8. PRECISIÓN Y SESGO

8.1 Producto de finura normal – La precisión multilaboratorio se ha encontrado ser de $\pm 0.75\%$ (IS) como se define en la práctica ASTM E 177; por lo tanto los resultados de ensayos realizados apropiadamente en dos laboratorios diferentes, sobre muestras idénticas de cemento, deben estar de acuerdo dentro de $\pm 2.1\%$, el 95% del tiempo.

8.2 Producto de finura alta – La precisión multilaboratorio se ha encontrado que es de $\pm 0.50\%$ (IS) como se define en la práctica ASTM E177; por lo tanto, los resultados de ensayos realizados apropiadamente en dos laboratorios diferentes, sobre muestras idénticas de cemento, deben estar de acuerdo dentro de $\pm 1.4\%$, el 95% del tiempo.

8.3 Sesgo – Dado que no se cuenta con un material adecuado de referencia aceptado para determinar el sesgo para el procedimiento en este método, no se incluye ninguna declaración de sesgo.

9. DESCRIPTORES

9.1 Finura del cemento hidráulico.

-- Última línea --

NORMA
TÉCNICA
GUATEMALTECA

COGUANOR
NTG 41017 h42

Título

Método de ensayo para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido.

Correspondencia

Para la elaboración de esta norma nacional COGUANOR se tomaron como referencia varias normas técnicas internacionales.

Observaciones

Aprobado: 2018-05-17



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12
Tel (502) 2447 2600
Info-coguanor@dsnc.gt
<http://www.mineco.gob.gt>

Referencia
ICS

"CONTINÚA"

Prólogo COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

COGUANOR, preocupada por el desarrollo de la actividad productiva de bienes y servicios en el país, ha armonizado las normas internacionales.

El estudio de esta norma, fue realizado a través del Comité Técnico de Normalización de Concreto (CTN Concreto), con la participación de:

Ing. Jorge Rolando Reyes Guzmán
Cemex Concretos

Ing. Estuardo Palencia
Proquality

Ing. Rodolfo Rosales
Corporación Suisa, S.A.

Ing. Sergio Quiñonez Guzmán
Quicoco

Ing. Sergio Sevilla Parada
Prefabricados Cifa

Ing. Luis Alvarez Valencia
Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (ICCG)

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Coordinadora de Comité

"CONTINÚA"

Ing. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII-USAC)

Arq. Rodolfo Gándara
Universidad Galileo

Ing. Plinio Estuardo Herrera Rodas
Cementos Progreso, S.A. CETEC

Ing. Víctor Nájera González
Sika Guatemala, S.A.

Ing. Mario de León
Centro de Investigación y Desarrollo Cetec (Cementos Progreso).

Ing. Christian Chiriz
Centro de Investigación y Desarrollo Cetec (Cementos Progreso).

Ing. Kenneth Alejandro Molina Escobar
Independiente

Arq. Jorge Luis Arévalo López
Concretest

Ing. Rolando Morgan Sagastume
Independiente

Ing. Andrés Verdín
Industrias Verdi, S.A.

Ing. Marcelo Quiñónez
Grupo Tensar, S.A.

Ing. Héctor Herrera
COGUANOR

"CONTINÚA"

Licda. Angie Sandoval
Tecnomaster, S.A.

Bradford Ramírez
Tecnomaster, S.A.

Ing. Roberto Chang Campang
Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES)

Ing. Omar Flores Beltetón
Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES)

Ing. José Manuel Vásquez
Mixto Listo

Ing. Gabriel Casasola
Mixto Listo

Ing. Israel Alfonso Orellana Barrera
Concretum

"CONTINÚA"

Índice

	Título	Página
1	Objeto.....	6
2	Documentos de referencia.....	6
3	Fundamento.....	6
4	Aparato de ensayo.....	7
5	Espécimen de ensayo.....	8
6	Procedimiento.....	8
7	Resultados del ensayo.....	9
8	Informe del ensayo.....	9
9	Precisión.....	10
10	Palabras clave.....	10

"CONTINÚA"

1. Objeto

1.1 Esta norma establece el método para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido.

1.2 Este método es aplicable a especímenes moldeados en laboratorio o en obra, como también a núcleos de concreto endurecido.

1.3 El texto de esta norma hace referencia a notas y notas a pie de página que proporcionan material explicativo. Estas notas y notas a pie de página (excluyendo aquellas en cuadros y figuras) no se deben considerar como requisitos de la norma.

1.4 Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad Industrial, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas de seguridad y salud apropiadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

2. Documentos de referencia

2.1 Normas COGUANOR¹

NTG 41061 (ASTM C31)	Práctica estándar para la fabricación y curado en campo de especímenes de concreto para su ensayo.
NTG 41049 (ASTM C42)	Método de Ensayo. Obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto.
NTG 41060 (ASTM C192)	Práctica para elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.

2.2 Normas UNE-EN²

UNE-EN 12390-8	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión
----------------	--

3. Fundamento

3.1 El agua es aplicada bajo presión a la superficie del concreto endurecido. A continuación se divide el espécimen o núcleo por rotura en dos mitades y se mide la profundidad de la penetración del frente de agua.

¹ Las normas NTG pueden consultarse en la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12, Guatemala.

² Las normas UNE-EN pueden consultarse en la www.aenor.com.

4. Aparato de ensayo

4.1 Aparato de ensayo: El equipo consistirá en cualquier dispositivo en el que el espécimen de ensayo, de dimensiones dadas, se pueda colocar de tal manera que la presión del agua pueda actuar sobre la zona de ensayo y se visualice la presión aplicada de forma continua. (Ver figura 1).

4.1.1 Se debe realizar un sellado adecuado con caucho u otro material similar.

4.1.2 Las dimensiones de la zona de ensayo serán aproximadamente la mitad de la longitud del lado o diámetro de la superficie de la cara del espécimen.

Nota1. Es preferible que el aparato permita observar las otras caras del espécimen de ensayo.

Nota2. La presión de agua se puede aplicar a la superficie del espécimen de ensayo ya sea por el fondo o por la parte superior.

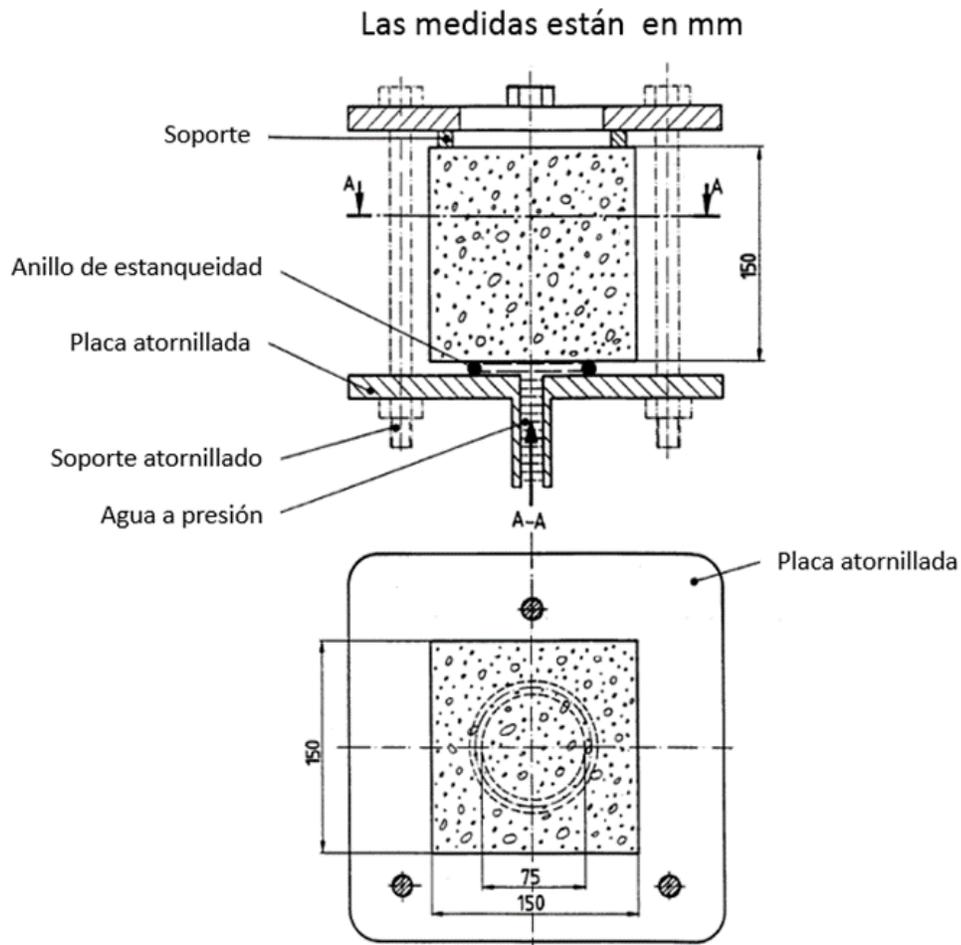


Figura 1. Ejemplo del dispositivo de ensayo

"CONTINÚA"

5. Espécimen de ensayo

5.1. Los especímenes deben tener una edad mínima de 28 días.

5.2. Los especímenes y/o núcleos de ensayo puede ser cúbicos, cilíndricos o prismáticos.

5.2.1 Para especímenes cúbicos la longitud del lado no será menor de 150 mm.

5.2.2 Para especímenes o núcleos cilíndricos, el diámetro no será menor de 150mm.

5.3 La altura de los especímenes o núcleos no debe ser menor a 100mm.

5.4 Los especímenes cúbicos deben tener una relación entre la altura y la longitud del lado igual o mayor a 0.5.

5.5 Los especímenes o núcleos cilíndricos deben tener una relación entre la altura y el diámetro igual o mayor a 0.5.

6 Procedimiento

6.1 Preparación del espécimen y/o núcleo de ensayo:

Inmediatamente después de desmoldar el espécimen, se debe limpiar la superficie de la cara del espécimen que va a estar expuesta a la presión de agua, con un cepillo de cerdas metálicas.

6.2 Aplicación del agua a presión:

- No se deberá aplicar el agua a presión a la cara de acabado del espécimen.
- Colocar el espécimen en el aparato de ensayo y aplicar el agua a una presión de 500 ± 50 KPa durante 72 ± 2 horas.
- Durante el ensayo se debe observar periódicamente el estado de las superficies del espécimen no expuestas al agua a presión, para observar la posible presencia de agua.
- Si se observaran filtraciones, el ensayo no se considerará válido, se deberá registrar en el informe y repetir la prueba con otro espécimen.

6.3 Inspección del espécimen o núcleo:

- Después de aplicar la presión durante el tiempo especificado, se debe retirar el espécimen o núcleo del dispositivo de ensayo.
- Se debe limpiar la cara a la que se le aplicó la presión de agua para retirar el exceso de agua.
- Se corta el espécimen o núcleo en dos mitades, perpendicularmente a la cara en la que se aplica la presión de agua. Cuando se corta el espécimen o núcleo, y durante la inspección, la cara del espécimen o núcleo expuesta a la presión

"CONTINÚA"

de agua debe mantenerse en su posición original.

- Tan pronto como la sección del espécimen se haya secado de tal forma que se puede ver claramente la extensión del frente de penetración de agua (Ver figura 2), se debe marcar en el espécimen o en el núcleo dicho frente de penetración.
- Medir la profundidad máxima de penetración bajo la superficie de ensayo, se redondea al milímetro más próximo y se registra.



Figura 2. Penetración del agua bajo presión en tres especímenes de concreto, medición de la profundidad máxima de penetración.

7 Resultado del ensayo

7.1 El resultado del ensayo es la medida de profundidad máxima de penetración, redondeada al milímetro más próximo.

8 Informe del ensayo

8.1 El informe del ensayo debe incluir la siguiente información:

- a) Identificación del espécimen o núcleo de ensayo.
- b) Fecha y hora de realización del ensayo.
- c) Tipo de concreto del espécimen o núcleo.
- d) Ubicación en la estructura del concreto del espécimen o núcleo

"CONTINÚA"

- e) Dirección de aplicación del agua a presión con relación a la dirección de la colocación del concreto (fundición).
- f) Profundidad de penetración máxima, en milímetros.
- g) Cualquier filtración y consideración sobre la validez de los resultados, (Si procede).
- h) Cualquier variación respecto al método de ensayo normalizado.

9 Precisión

9.1 No existen datos disponibles sobre la precisión del ensayo.

10 Palabras clave

14.1 Agua, Concreto, espécimen, núcleo, penetración, presión.

-- Última línea --

NORMA
TÉCNICA
GUATEMALTECA

COGUANOR
NTG 41017 h41

Título

Método de ensayo para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro.

Correspondencia

Esta Norma nacional COGUANOR, se basa en la Norma ASTM C 1202-17 Standard Specification Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, Copyright ASTM International. Se tradujo y reimprimió de conformidad con el acuerdo de licencia de ASTM International.

Observaciones

Aprobado: 2018-05-17



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12
Tel (502) 2447 2600
Info-coguanor@dsnc.gt
<http://www.mineco.gob.gt>

Referencia
ICS

"CONTINÚA"

Prólogo COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de Normalización.

COGUANOR, preocupada por el desarrollo de la actividad productiva de bienes y servicios en el país, ha armonizado las Normas internacionales.

El estudio de esta Norma, fue realizado a través del Comité Técnico de Normalización de Concreto (CTN Concreto), con la participación de:

Ing. Jorge Rolando Reyes Guzmán
Cemex Concretos

Ing. Estuardo Palencia
Proquality

Ing. Rodolfo Rosales
Corporación Suisa, S.A.

Ing. Sergio Quiñonez Guzmán
Quicoco

Ing. Sergio Sevilla Parada
Prefabricados Cifa

Ing. Luis Alvarez Valencia
Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (ICCG)

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Coordinadora de Comité

"CONTINÚA"

Ing. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII-USAC)

Arq. Rodolfo Gándara
Universidad Galileo

Ing. Plinio Estuardo Herrera Rodas
Cementos Progreso, S.A. CETEC

Ing. Víctor Nájera González
Sika Guatemala, S.A.

Ing. Mario de León
Centro de Investigación y Desarrollo Cetec (Cementos Progreso).

Ing. Christian Chiriz
Centro de Investigación y Desarrollo Cetec (Cementos Progreso).

Ing. Kenneth Alejandro Molina Escobar
Independiente

Arq. Jorge Luis Arévalo López
Concretest

Ing. Rolando Morgan Sagastume
Independiente

Ing. Andrés Verdín
Industrias Verdi, S.A.

Ing. Marcelo Quiñónez
Grupo Tensar, S.A.

Ing. Héctor Herrera
COGUANOR

"CONTINÚA"

Licda. Angie Sandoval
Tecnomaster, S.A.

Bradford Ramírez
Tecnomaster, S.A.

Ing. Roberto Chang Campang
Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES)

Ing. Omar Flores Beltetón
Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES)

Ing. José Manuel Vásquez
Mixto Listo

Ing. Gabriel Casasola
Mixto Listo

Ing. Israel Alfonso Orellana Barrera
Concretum

"CONTINÚA"

Índice

	Título	Página
1	Objeto.....	6
2	Documentos de referencia.....	6
3	Resumen del método de ensayo.....	7
4	Significado y uso.....	7
5	Interferencias.....	8
6	Equipos.....	10
7	Reactivos, materiales y celda de ensayo.....	11
8	Especímenes de ensayo.....	13
9	Acondicionamiento.....	14
10	Preparación.....	15
11	Cálculo.....	18
12	Informe.....	19
13	Precisión y sesgo.....	19
14	Palabras clave.....	20
15	Apéndice.....	21
16	Referencias.....	21

"CONTINÚA"

1. Objeto

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la conductividad eléctrica del concreto para proporcionar una indicación rápida de su resistencia a la penetración de iones cloruro. Este método de ensayo es aplicable a los tipos de concreto donde se han establecido correlaciones entre este procedimiento de ensayo y los procedimientos de saturación por inmersión de cloruro a largo plazo como los descritos en AASHTO T 259. Ejemplos de tales correlaciones se discuten en las referencias 1 a la 5.

1.2 Los valores indicados en unidades SI deben considerarse estándar. No se incluyen otras unidades de medida en esta Norma.

1.3 El texto de esta Norma hace referencia a notas y notas a pie de página que proporcionan material explicativo. Estas notas y notas a pie de página (excluyendo aquellas en tablas y figuras) no se deben considerar como requisitos de la Norma.

1.4 Esta Norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad Industrial, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas de seguridad y salud apropiadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

1.5 Esta Norma nacional COGUANOR, se basa en la Norma ASTM C 1202-17 Standard Specification Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, Copyright ASTM International. Se tradujo y reimprimió de conformidad con el acuerdo de licencia de ASTM International.

2. Documentos de referencia

2.1 Normas COGUANOR¹

NTG 41061 (ASTM C31)	Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.
NTG 41049 (ASTM C42)	Método de Ensayo. Obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto.
NTG 41060 (ASTM C192)	Práctica para elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.
NTG 41080 (ASTM C670)	Práctica estándar para preparar las declaraciones de precisión y sesgo en los métodos de ensayo de materiales de construcción.

¹ Las Normas NTG pueden consultarse en la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12, Guatemala.

2.2 Normas AASHTO²

AASHTO T259

Método de ensayo para la resistencia del concreto a la penetración de iones cloruro

3. Resumen del método de ensayo

3.1 Este método de ensayo consiste en monitorear la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de secciones de 50 mm de espesor de núcleos de 100 mm de diámetro nominal o cilindros durante un período de 6 horas. Se mantiene una diferencia de potencial de 60 V de corriente directa en los extremos de la muestra, uno de los cuales se sumerge en una solución de cloruro de sodio y el otro en una solución de hidróxido de sodio. La carga total que atraviesa la sección, en coulomb, presenta una relación con la resistencia de la muestra a la penetración de iones cloruro.

4. Significado y uso

4.1 Este método de ensayo cubre la evaluación en laboratorio de la conductividad eléctrica de muestras de concreto para proporcionar una indicación rápida de su resistencia a la penetración de iones cloruro. En la mayoría de los casos, los resultados de la conductividad eléctrica han demostrado una buena correlación con los ensayos de saturación por inmersión de cloruro, tales como AASHTO T259, en losas adicionales moldeadas con las mismas mezclas del concreto (Referencias de la 1 a la 5).

4.2 Este método de ensayo es adecuado para la evaluación de materiales y proporciones de materiales con fines de diseño e investigación y desarrollo.

4.3 La edad de la muestra tiene efectos significativos en los resultados del ensayo, dependiendo del tipo de concreto y el procedimiento de curado. La mayoría de los concretos, si se curan adecuadamente, se vuelven progresivamente y significativamente menos permeables con el tiempo.

4.4 Este método de ensayo fue desarrollado originalmente para evaluaciones de materiales alternativos, pero en la práctica, su uso ha evolucionado a aplicaciones tales como control de calidad y ensayos de aceptación. Factores tales como los componentes utilizados en las mezclas de concreto, el método y la duración de las muestras del ensayo de curado afectan los resultados de este ensayo (Ver nota 1). Cuando este método se utiliza para la calificación de la mezcla y los ensayos de aceptación, es necesario que los procedimientos de curado y la edad en el momento del ensayo estén claramente especificados.

² Las Normas AASHTO pueden consultarse en www.transportation.org.

Nota 1: Cuando se usa este ensayo para determinar la aceptabilidad de las mezclas de concreto, los criterios estadísticos y la edad de ensayo para la precalificación, o para la aceptación basada en muestras del lugar de trabajo, deben indicarse en las especificaciones del proyecto. Los criterios de aceptación para este ensayo deben considerar las fuentes de variabilidad que afectan los resultados y garantizar un riesgo equilibrado entre el proveedor y el comprador. Deben considerarse las condiciones de exposición anticipadas y el tiempo antes de que una estructura se ponga en servicio. Un enfoque para establecer criterios se discute en la referencia 6.

4.5 El cuadro X1.1 en el Apéndice X1 proporciona una relación cualitativa entre los resultados de este ensayo y la penetrabilidad de iones cloruro en el concreto.

4.6 Se debe tener cuidado al interpretar los resultados de este ensayo cuando se utiliza en concretos tratados en la superficie, por ejemplo, concretos tratados con selladores penetrantes. Los resultados de este ensayo en algunos de estos concretos indican una baja resistencia a la penetración del ión cloruro, mientras que los ensayos de saturación por inmersión con cloruro a 90 días en las losas muestran una mayor resistencia.

4.7 Los detalles del método de ensayo se aplican a especímenes de 100 mm de diámetro nominal elaborados conforme norma NTG 41061 (ASTM C31). Esto incluye especímenes con diámetros reales que varían de 95 mm a 100 mm. Se pueden probar otros diámetros en especímenes con los cambios apropiados en el diseño de la celda de voltaje aplicada (Ver numeral 7.5 y figura 1).

4.7.1 Para especímenes con diámetros diferentes a 95 mm, el valor del resultado del ensayo para la carga total aprobada debe ajustarse siguiendo el procedimiento descrito en 11.2. Para especímenes con diámetros inferiores a 95 mm, se debe tener especial cuidado al revestir y montar las muestras para garantizar que las soluciones conductoras puedan entrar en contacto con todas las áreas durante el ensayo.

5. Interferencias

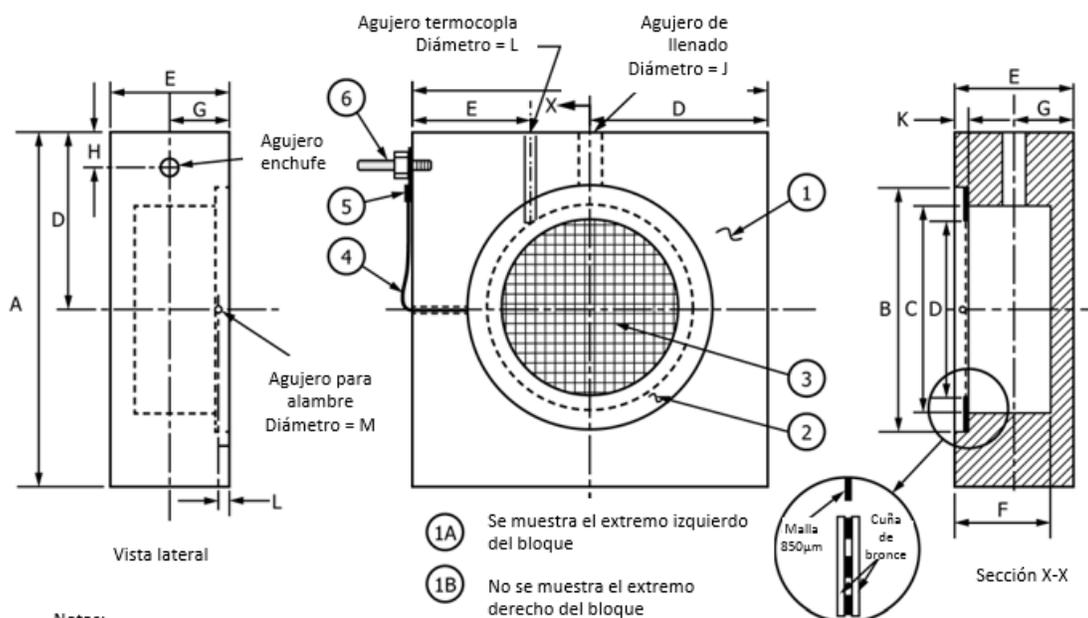
5.1 Este método de ensayo puede producir resultados falsos cuando el nitrito de calcio se ha mezclado en el concreto. Los resultados de este ensayo en algunos de estos concretos indican valores altos (coulomb), es decir, menor resistencia a la penetración de iones cloruro, que a partir de ensayos con mezclas de concreto idénticas (controles) sin nitrito de calcio. Sin embargo, los ensayos de saturación por inmersión de cloruro a largo plazo indican que los concretos con nitrito de calcio fueron al menos, tan resistentes a la penetración de iones cloruro como las mezclas de control.

Nota 2. Otras adiciones pueden afectar los resultados de este ensayo de manera similar. Se recomiendan ensayos de saturación por inmersión a largo plazo si se sospecha un efecto de adiciones.

5.2 Dado que los resultados del ensayo están en función de la resistencia eléctrica de la muestra, la presencia de acero de refuerzo u otros materiales eléctricamente conductores incorporados en el concreto puede tener un efecto significativo. El ensayo no es válido para especímenes que contienen acero de refuerzo posicionado

"CONTINÚA"

longitudinalmente, es decir, que proporciona una trayectoria eléctrica continua entre



Notas:
 Sellar el alambre en el agujero con silicón.
 Placa de soldadura entre cuñas.
 Alambre de soldadura para la cuña.

Dimensiones en mm

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
150	105	89	75	50	41	25	15	10	6	5	2.5

Listado de partes			
No de ítem	Cantidad	Descripción	Especificación
1A	1	Final del bloque de celda	Polimetacrilato de metilo
1B	1		
2	4	Cuña de bronce	0.5 mm espesor
3	2	Pantalla de bronce	850 µm (Malla No. 20)
4	2	Alambre de cobre	2 mm (calibre 14) forrado de nylon
5	2	Anillo para terminal	Alambre de 2 mm (calibre 14)
6	2	Conector	6.4 mm conector con rosca

los dos extremos de la muestra o espécimen.

Figura 1. Celda de voltaje (Esquema constructivo)

6. Equipos

6.1 Equipo de saturación al vacío (Ver Figura 2 como ejemplo):

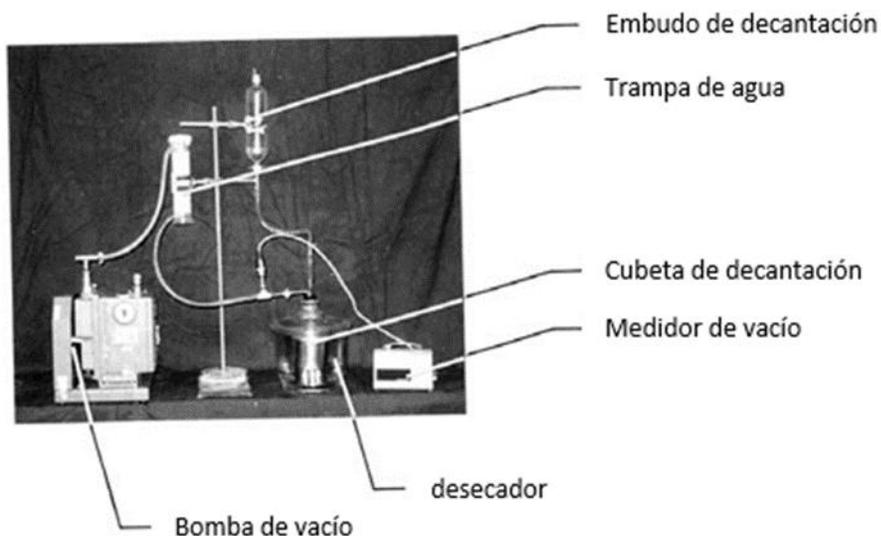


Figura 2. Equipo de saturación al vacío

6.1.1 Embudo de separación u otro recipiente sellable con drenaje de fondo con una capacidad mínima de 500 ml.

6.1.2 Cubeta de decantación (1000 ml o más) u otro recipiente, capaz de contener muestras de concreto y agua y de instalarse en el desecador de vacío (Ver 6.1.3).

6.1.3 Desecador de vacío: El volumen del desecador debe ser lo suficientemente grande como para mantener la inmersión del espécimen durante todo el proceso de saturación. El desecador debe poseer dos conexiones de manguera a través de un tapón y una manga de goma o solo a través de un tapón de goma. Cada conexión debe estar equipada con una llave de paso.

6.1.4 Bomba de vacío o aspirador capaz de mantener una presión de menos de 50 mm Hg (6650 Pa) en el desecador.

Nota 3. Dado que el vacío se extenderá sobre el agua, una bomba de vacío debe protegerse con una trampa de agua, o el aceite de la bomba debe cambiarse después de cada operación.

6.1.5 Medidor de vacío o manómetro: Precisión de ± 5 mm Hg (± 665 Pa) en un rango de presión de 0 mm Hg a 100 mm Hg (0 a 13300 Pa).

"CONTINÚA"

6.2 Equipos y materiales de revestimiento

6.2.1 Recubrimiento: Ajuste rápido, eléctricamente no conductor, capaz de sellar la superficie lateral de los núcleos de concreto.

6.2.2 Balanza, vasos de papel, espátulas de madera y cepillos desechables para mezclar y aplicar el revestimiento.

6.3 Equipo de dimensionamiento de especímenes (no requerido si las muestras se convierten al tamaño final del espécimen).

6.3.1 Sierra de diamante refrigerada por agua de cama móvil o sierra de carburo de silicio.

7. Reactivos, materiales y celda de ensayo

7.1 Sellador para la celda del espécimen: Capaz de sellar concreto con polimetacrilato de metilo, por ejemplo, plexiglás, contra agua y soluciones diluidas de hidróxido de sodio y cloruro de sodio a temperaturas de hasta 90 ° C; Los ejemplos incluyen cauchos de silicón RTV (Silicón a temperatura ambiente y vulcanizado), masillas de goma de silicón, otros selladores de goma sintética, grasas de silicón y juntas de goma.

7.2 Solución de cloruro sódico: 3.0% en masa (Grado reactivo) en agua destilada.

7.3 Solución de hidróxido de sodio: 0.3 N (Grado reactivo) en agua destilada.

7.3.1 Precaución: Antes de usar hidróxido de sodio (NaOH), revise: (1) las precauciones de seguridad para usar el hidróxido de sodio (NaOH); (2) primeros auxilios para quemaduras; y (3) la respuesta de emergencia a los derrames, como se describe en la hoja de datos de seguridad del material del fabricante u otra literatura de seguridad confiable. El hidróxido de sodio (NaOH) puede causar quemaduras graves y lesiones en la piel y los ojos no protegidos. Siempre se debe usar equipo de protección personal adecuado. Estos deben incluir máscaras de cara completa, delantales de goma y guantes impermeables al hidróxido de sodio (NaOH). Los guantes deben revisarse periódicamente para detectar agujeros.

7.4 Papeles de filtro No. 2: De 90 mm de diámetro (no se requiere si se usa junta de goma para sellador (Ver 7.1) o si se puede aplicar el sellador sin derramarlo sobre la malla).

7.5 Celda de voltaje (Ver la figura 1 y la figura 3): Dos cámaras simétricas de polimetacrilato de metilo, cada una con una malla eléctricamente conductora y conectores externos. Un diseño de uso común se muestra en la figura 1 y la figura 3. Sin embargo, otros diseños son aceptables, siempre que las dimensiones generales (incluidas las dimensiones del depósito de fluido) sean las mismas que se muestran en la figura 1 y el ancho de la cara y cuñas sean como se muestra.

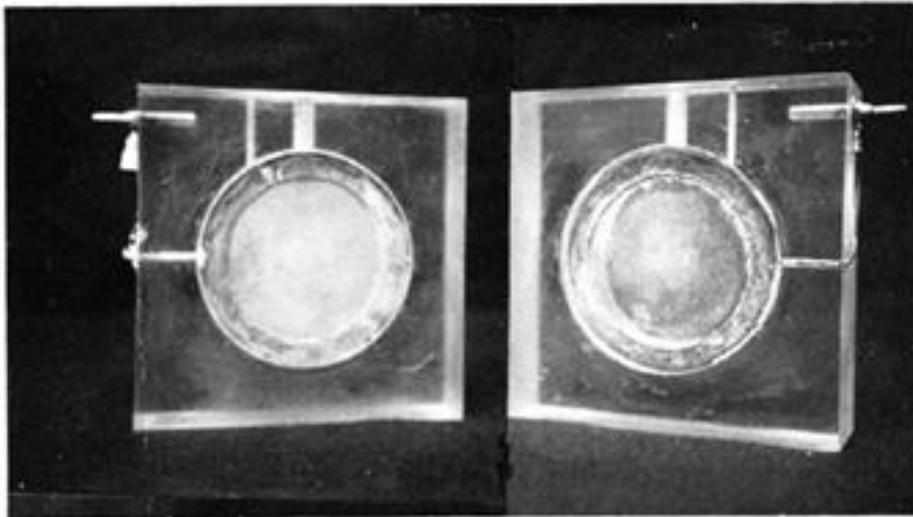


Figura 3. Vista de la cara de la celda de voltaje

7.6 Dispositivo de medición de temperatura (opcional): Termómetro con un rango de 0°C a 120°C .

7.7 Aparato de aplicación de voltaje y lectura de datos: Deberá ser capaz de mantener $60 \pm 0.1\text{ V}$ de corriente directa a través de la celda de voltaje en todo el rango de corrientes y de mostrar el voltaje con una precisión de $\pm 0.1\text{ V}$ y una corriente de $\pm 1\text{ mA}$. El aparato que se describe en 7.7.1 a 7.7.5 es un sistema que cumple este requisito.

7.7.1 Voltímetro digital (DVM): 3 dígitos, rango mínimo de 0 a 99.9 V, precisión nominal $\pm 0.1\%$.

7.7.2 Voltímetro digital (DVM): 4 1/2 dígitos, rango de 0 a 200 mV, precisión nominal $\pm 0.1\%$.

7.7.3 Resistencia *Shunt*: 100 mV, escala de 10A, con una tolerancia $\pm 0.1\%$. Alternativamente, se puede usar una resistencia de $0.01\ \Omega$, con una tolerancia de $\pm 0.1\%$, pero se debe tener cuidado para establecer conexiones de muy baja resistencia.

7.7.4 Fuente de alimentación de voltaje constante: De 0 a 80 V corriente directa, 0 a 2 A, capaz de mantener la tensión constante a $60 \pm 0.1\text{ V}$ en todo el rango de corrientes.

7.7.5 Cable de dos conductores, AWG No. 14 (1.6 mm), aislado, 600 V.

"CONTINÚA"

8. Especímenes de ensayo

8.1 La preparación y selección de la muestra depende del propósito del ensayo. Para la evaluación de materiales o sus proporciones, las muestras pueden ser (a) núcleos o testigos de losas de ensayo o de cilindros de gran diámetro o (b) cilindros de fundición de 100 mm de diámetro elaborados conforme norma NTG 41061 (ASTM C31). Para la evaluación de estructuras, las muestras deben ser núcleos o testigos de la estructura. La extracción del núcleo o testigo se realizará con un equipo de perforación equipado con una broca de diamante de 100 mm (4 pulgadas) de diámetro. Seleccione y muestree los núcleos o testigos siguiendo los procedimientos de la Norma NTG 41049 (ASTM C42). Los cilindros moldeados en el laboratorio deben prepararse siguiendo los procedimientos de la Norma NTG 41060 (ASTM C192).

Nota 4. El tamaño de agregado máximo permitido no se ha establecido para este ensayo. Los usuarios han indicado que la repetibilidad del ensayo es satisfactoria en muestras del mismo lote de concreto para agregados de hasta 25.0 mm (1 pulgada) de tamaño máximo nominal.

8.2 Cuando los resultados de este método de ensayo se usen para evaluar materiales o proporciones de mezcla basadas en especímenes fundidos para fines de control de calidad, presentación de mezclas o aceptación de concreto, prepare al menos dos especímenes cilíndricos de 100 mm (4 pulgadas) de diámetro de acuerdo con la Norma NTG 41060 (ASTM C192) para mezclas de concreto preparadas en el laboratorio o la Norma NTG 41061 (ASTM C31) a partir de muestras de concreto fresco obtenido en el campo. Especímenes de curado húmedo de acuerdo con 8.2.1 para mezclas de concreto que contienen solo cemento portland. Para las mezclas de concreto que contienen materiales cementicios suplementarios, use un curado húmedo prolongado de acuerdo con 8.2.2 (Ver nota 5) a menos que se especifique el método acelerado de curado en húmedo de 8.2.3 (Ver nota 6). Se permiten alternativas a estos métodos de curado y duraciones cuando se especifique. Use el mismo método y la misma duración de curado para preparar presentaciones de mezclas, para posteriores ensayos de aceptación y para comparar dos o más mezclas.

8.2.1 Muestras de ensayo de curado húmedo durante 28 días de acuerdo con la Norma NTG 41060 (ASTM C192) o de acuerdo con el procedimiento de curado estándar de la Norma NTG 41061 (ASTM C31) para muestras preparadas en el campo.

8.2.2 Muestras de ensayo de curado húmedo prolongado durante 56 días de acuerdo con la Norma NTG 41060 (ASTM C192) para muestras preparadas en el laboratorio o de acuerdo con el procedimiento de curado estándar de la Norma NTG 41061 (ASTM C31) para muestras preparadas en el campo.

8.2.3 Curado húmedo acelerado: Proporcione 7 días de curado húmedo de acuerdo con la Norma NTG 41060 (ASTM C192) para muestras preparadas en el laboratorio o de acuerdo con el procedimiento de curado estándar de la Norma NTG 41061 (ASTM C31) para muestras preparadas en el campo. Después de 7 días de curado húmedo,

"CONTINÚA"

sumerja las muestras durante 21 días en agua saturada con cal (hidróxido de calcio) a 38.0 ± 2.0 ° C.

Nota 5. El período de curado en húmedo de 56 días es para permitir que algunos materiales cementantes suplementarios desarrollen propiedades potenciales debido a su menor velocidad de hidratación. El concreto que contiene materiales cementicios suplementarios puede continuar mostrando reducciones en los resultados de este ensayo más allá de los 56 días, y en algunos casos, puede ser apropiado realizar el ensayo a edades posteriores, como 3 meses.

Nota 6. El procedimiento de curado húmedo acelerado se ha encontrado útil para proporcionar una indicación más temprana del potencial desarrollo de la propiedad con materiales cementantes suplementarios de hidratación lenta (7). Debido a que los dos métodos de curado diferentes pueden no proporcionar los mismos resultados, el especificador del ensayo puede requerir una correlación entre los resultados de muestras curadas extendidas en húmedo y un curado en húmedo acelerado y establecer criterios de aceptación adecuados cuando se usa o permite el procedimiento de curado húmedo acelerado. Las comparaciones entre los resultados de las muestras curadas en húmedo y el desempeño en el campo del concreto se documentan en (8).

8.3 Transporte los núcleos o testigos al laboratorio en bolsas de plástico selladas. Si las muestras se deben enviar, se deben embalar para protegerlas adecuadamente del daño durante el tránsito o el almacenamiento.

8.4 Con una sierra de diamante enfriada con agua o una sierra de carburo de silicio, corte una sección de $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ (2 pulgadas \pm 1/8 pulgadas) desde la parte superior del núcleo o cilindro, con el corte paralelo a la parte superior del núcleo. Esta sección será la muestra de ensayo. Use una lijadora de banda para eliminar cualquier rebaba en el extremo de la muestra.

8.5 El procesamiento especial es necesario para núcleos o testigos donde la superficie ha sido modificada, por ejemplo, texturizando o aplicando compuestos de curado, selladores u otros tratamientos superficiales, y donde la intención del ensayo no es incluir el efecto de las modificaciones. En esos casos, la porción modificada del núcleo o testigo debe ser removida y la porción adyacente de $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ (2 pulgadas \pm 1/8 pulgadas) debe ser utilizada para el ensayo.

9. Preparación

9.1 Hierva vigorosamente un litro o más de agua potable, en un recipiente de tamaño suficiente. Retire el recipiente del fuego, tape bien y deje que el agua se enfríe a temperatura ambiente.

9.2 Deje que la muestra preparada en la sección 8 se seque al aire durante al menos 1 hora. Prepare aproximadamente 10 gr de recubrimiento de fraguado rápido y cepille la superficie lateral de la muestra. Coloque la muestra sobre un soporte adecuado mientras la recubre para asegurar el recubrimiento completo de los lados. Permita que el recubrimiento se cure de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

9.3 El recubrimiento debe dejarse curar hasta que ya no sea pegajoso al tacto. Rellene los agujeros aparentes en el revestimiento y permita un tiempo de curado adicional, según sea necesario. Coloque la muestra en la cubeta de decantación u

otro recipiente (Ver 6.1.2), luego coloque el recipiente en el desecador de vacío. Alternativamente, coloque la muestra directamente en un desecador de vacío. Ambas caras de la muestra deben estar expuestas. Selle el desecador y arranque la bomba de vacío o el aspirador. La presión debe disminuir a menos de 50 mm Hg (6,650 Pa) en pocos minutos. Mantenga el vacío por 3 horas.

9.4 Llene la cubeta de decantación u otro recipiente (Ver 6.1.1) con el agua hervida preparada en 9.1. Con la bomba de vacío funcionando, abra la llave de paso del agua y vacíe suficiente agua en el vaso o recipiente para cubrir la muestra (No permita que entre aire en el desecador a través de esta llave de paso).

9.5 Cierre la llave de paso de agua y permita que la bomba de vacío funcione por una hora más.

9.6 Cierre la llave de paso de la línea de vacío, luego apague la bomba. (Cambie el aceite de la bomba si no se usa una trampa de agua.) Gire la llave de paso de la línea de vacío para permitir que el aire vuelva a entrar en el desecador.

9.7 Sumerja el espécimen bajo el agua (El agua utilizada en los pasos 9.4 a 9.6) en la cubeta de decantación durante 18 ± 2 horas.

10. Procedimiento

10.1 Retire la muestra del agua, quite el exceso de agua y transfiera la muestra a un recipiente sellado que mantenga la muestra en una humedad relativa del 95% o superior.

10.2 Ensamblaje de la muestra (todos los selladores que no sean juntas de goma, use 10.2.2 o 10.2.3, según corresponda).

10.2.1 Si usa un sellador de celdas de especímenes de dos partes, prepare aproximadamente de 20 a 40 gramos.

10.2.2 Sellador de celda de baja viscosidad: Si es necesario papel de filtro, centre el papel de filtro sobre una cara de la celda de voltaje aplicada. Sellador de lana sobre cuñas de bronce adyacentes al cuerpo de celda de voltaje aplicado. Retire con cuidado el papel de filtro. Presione la muestra en la cara; quite o alise el exceso de sellador que ha salido del límite de la celda del espécimen.

10.2.3 Sellador de celda de alta viscosidad: Coloque la muestra en la cara. Aplique sellador alrededor del límite de la celda del espécimen.

10.2.4 Cubra la cara expuesta de la muestra con un material impermeable como láminas de caucho o plástico. Coloque el tapón de goma en el orificio de llenado de la celda para restringir el movimiento de la humedad. Deje que el sellante se cure según las instrucciones del fabricante.

10.2.5 Repita los pasos 10.2.2 (o 10.2.3) y 10.2.4 en la segunda mitad de la celda. (Ver figura. 4).



Figura 4. Espécimen lista para el ensayo

10.3 Ensamble de la muestra (Alternativa con junta de goma): Coloque un diámetro exterior de 100 mm (4 pulgadas) por 75 mm (3 pulgadas) de diámetro interno por junta de goma vulcanizada circular de 6 mm de espesor en cada mitad de la celda de ensayo. Inserte la muestra y sujete las dos mitades de la celda de ensayo para sellar.

10.4 Llene el lado de la celda que contiene la superficie superior de la muestra con una solución de cloruro de sodio, NaCl al 3.0%. (Ese lado de la celda se conectará a la terminal negativa de la fuente de alimentación como se describe en 10.5.) Llene el otro lado de la celda (que se conectará a la terminal positiva de la fuente de alimentación) con una solución de 0.3 N de hidróxido de sodio, NaOH.

10.5 Conecte los cables al conector con rosca de la celda. Realice las conexiones eléctricas a la aplicación de voltaje y a los aparatos de lectura de datos según corresponda; por ejemplo, para el sistema descrito en 7.7.1 a 7.7.5, conéctelo como se muestra en la figura 5. Encienda la fuente de alimentación, ajústelo en 60.0 ± 0.1 V, y registre la lectura de corriente inicial. Las temperaturas de la muestra, la celda de voltaje y las soluciones deben ser de 20° C a 25° C en el momento en que se inicia el ensayo, es decir, cuando se enciende la fuente de alimentación.

10.6 Durante el ensayo, la temperatura del aire alrededor de las muestras se debe mantener en el rango de 20° C a 25° C.

"CONTINÚA"

10.7 Lea y registre la corriente al menos cada 30 minutos. Si se usa un voltímetro en combinación con una resistencia en derivación para la lectura de corriente (Ver figura. 5), use los factores de escala apropiados para convertir la lectura de voltaje a amperios. Cada mitad de la celda de ensayo debe permanecer llena con la solución adecuada durante todo el período del ensayo.

Nota 7. Durante el ensayo, la temperatura de las soluciones no debe exceder los 90 ° C para evitar dañar la celda y evitar la ebullición de las soluciones. Aunque no es un requisito del método, la temperatura de las soluciones puede monitorearse con termocoplas instaladas a través del orificio de ventilación de 3 mm en la parte superior de la celda. Las altas temperaturas ocurren solo en concretos altamente penetrables (permeables). Si se termina un ensayo de una muestra de 50 mm (2 pulg.) de espesor debido a las altas temperaturas, esto debe anotarse en el informe, junto con el tiempo de terminación, y el concreto clasificado como de alta penetrabilidad de iones cloruro.

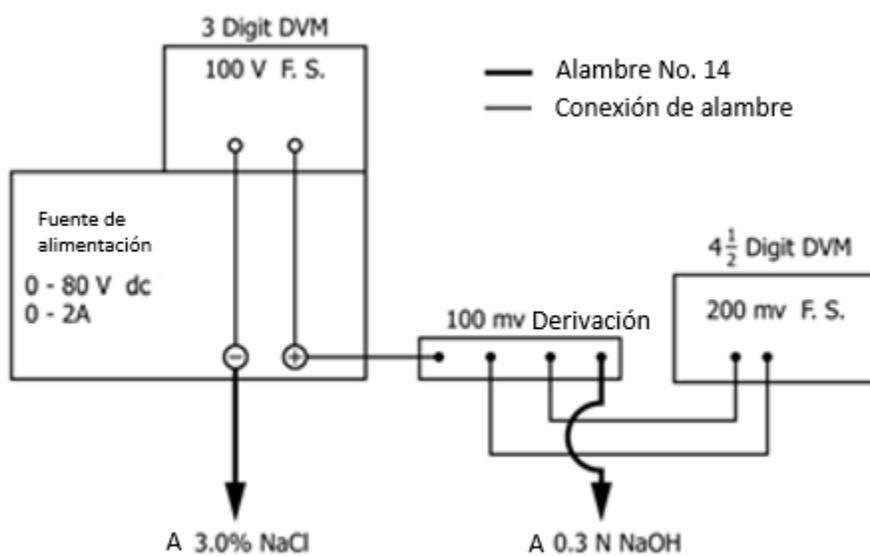


Figura 5. Diagrama eléctrico de bloque (ejemplo).

10.8 Terminar el ensayo después de 6 horas, excepto como se discutió en nota 7.

10.10 Retire la muestra. Enjuague las celdas completamente en agua de la llave, despegar y desechar el sellador residual.

11. Cálculo

11.1 Trazar la corriente (en amperios) versus el tiempo (en segundos). Dibuje una curva suave con los datos e integre el área debajo de la curva para obtener los amperios-segundos, o coulomb de carga pasados durante el período de ensayo de 6 horas. (Ver nota 8). Como alternativa, utilice un equipo de procesamiento de datos automático para realizar la integración durante o después del ensayo y para mostrar el valor en coulomb. La carga total pasada es una medida de la conductividad eléctrica del concreto durante el período de ensayo.

Nota 8. Ejemplo de cálculo: Si la corriente se registra a intervalos de 30 minutos, la siguiente fórmula, basada en la regla trapezoidal, se puede usar con una calculadora electrónica para realizar la integración:

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}) \quad (1)$$

Donde:

Q = carga pasada (coulomb).

I₀ = corriente (amperios) inmediatamente después de aplicar la tensión.

I_t = corriente (amperios) en t minutos después de aplicar la tensión.

11.2 Si el diámetro del espécimen no es de 95 mm, se debe ajustar el valor de la carga total pasada en 11.1. El ajuste se realiza multiplicando el valor establecido en 11.1 por la proporción de áreas transversales del estándar y del espécimen actual. Esto es:

$$Q_s = Q_x \times \left(\frac{95}{x} \right)^2 \quad (2)$$

Donde:

Q_s = carga pasada (coulomb) a través de un diámetro de 95 mm del espécimen.

Q_x = carga pasada (coulomb) a través de una muestra de x (mm) de diámetro.

x = diámetro (mm) de la muestra no estándar.

12. Informe

12.1 Informe lo siguiente, si se conoce:

12.1.1 Fuente del núcleo o testigo o cilindro, en términos de la ubicación particular que representa el núcleo o cilindro.

12.1.2 Número de identificación espécimen, núcleo o testigo.

12.1.3 Ubicación de la muestra de ensayo espécimen, núcleo o testigo.

12.1.4 Tipo de concreto, incluido el tipo de aglutinante, la relación agua-cemento y otros datos pertinentes suministrados con las muestras.

12.1.5 Descripción de la muestra, incluida la presencia y ubicación del acero de refuerzo, la presencia y el espesor de la capa, y la presencia y el espesor del tratamiento de la superficie.

12.1.6 Historial de curado del espécimen; indicar curado húmedo, curado húmedo extendido o curado húmedo acelerado como se define en este método de ensayo o métodos alternativos utilizados, según corresponda.

12.1.7 Preparación inusual de muestras, por ejemplo, eliminación del tratamiento superficial.

12.1.8 Resultados del ensayo, informados como la carga total pasada durante el período de ensayo (Ajustado según 11.2). Cuando se usa más de un espécimen, informe los resultados de cada espécimen y el resultado promedio.

13. Precisión y sesgo

13.1 Precisión

13.1.1 Precisión del operador individual: Se ha encontrado que el coeficiente de variación de un solo resultado del ensayo del operador individual es 12.3% (Ver nota 9). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizadas adecuadamente por el mismo operador en muestras de concreto del mismo lote y del mismo diámetro no deberían diferir en más del 42% (Ver nota 9).

13.1.2 Precisión multilaboratorio: Se ha encontrado que el coeficiente de variación multilaboratorio de un único resultado de ensayo es 18.0% (Ver nota 9). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente en diferentes laboratorios sobre el mismo material no deberían diferir en más del 51% (Ver nota 9). El promedio de los resultados de tres ensayos en dos laboratorios diferentes no debería diferir en más del 42% (Ver nota 10).

Nota 9. Estos números representan, respectivamente, los límites (1s%) y (d2s%) como se describe en la Norma NTG 41080 (ASTM C670). Las declaraciones de precisión se basan en las variaciones en los ensayos en tres concretos diferentes, cada uno probado por triplicado en once laboratorios. Todas las muestras tenían los mismos diámetros reales, pero las longitudes variaban dentro del rango 51 ± 3 mm.

Nota 10. Aunque el método de ensayo no requiere el informe de más de un resultado del ensayo, generalmente es deseable realizar ensayos con especímenes replicados. La declaración de precisión para los promedios de tres resultados se da desde que los laboratorios frecuentemente ejecutarán este número de especímenes. Cuando se establecen promedios de tres resultados en cada laboratorio, el coeficiente de variación multilaboratorio S_{ML} es calculado de la siguiente manera:

$$S_{ML} = \sqrt{\frac{S_{WL}^2}{3} + S_{BL}^2} \quad (3)$$

Donde:

S_{ML} = Coeficiente de variación multilaboratorio

S_{WL}^2 = Variancia dentro del laboratorio.

S_{BL}^2 = Varianza entre laboratorios.

El porcentaje citado representa el límite (d2s%) basado en el valor del coeficiente de variación multilaboratorio.

13.2 Sesgo: El procedimiento de este método de ensayo para medir la resistencia del concreto a la penetración de iones cloruro no tiene ningún sesgo porque el valor de esta resistencia solo puede definirse en términos de un método de ensayo.

14. Palabras clave

14.1 Contenido de cloruro; corrosión; productos químicos descongelantes; resistencia de penetración de cloruro.

APÉNDICE (Información no obligatoria)

X1. Orientación sobre la interpretación de resultados

X1.1 Las indicaciones cualitativas de la penetrabilidad del ion cloruro basadas en los valores medidos de este método de ensayo se proporcionan en la cuadro X1.1. Estos valores se desarrollaron a partir de datos de cortes de núcleos o testigos extraídos de losas en el laboratorio y de varios tipos de concretos.

Cuadro X1.1 Penetrabilidad del ion cloruro basada en la carga pasada (Ref.1)

Carga Pasada (Coulombs)	Penetrabilidad del ion cloruro
> 4,000	Alto
de 2,000 a 4,000	Moderado
de 1,000 a 2,000	Bajo
de 100 a 1,000	Muy bajo
< 100	Despreciable

X1.2 Los factores que afectan la penetración de iones cloruro incluyen: Proporción de materiales agua-cemento, tipo y cantidad de materiales cementicios suplementarios en la mezcla de concreto, presencia de mezclas poliméricas, soluciones iónicas de mezclas como nitrito de calcio, edad del espécimen, sistema de aire-vacío, tipo de agregado, grado de consolidación y tipo de curado.

X1.3 Este método de ensayo no se debe usar para evaluar los concretos de campo si hay exposición y absorción de cloruros y otros químicos anión-agresivos ya que esto proporcionará resultados erróneos.

REFERENCIAS

(1) Whiting, D., "Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete," Final Report No. FHWA/RD-81/119, Federal Highway Administration, August 1981, NTIS No. PB 82140724.

(2) Whiting, D., "Permeability of Selected Concretes," Permeability of Concrete, SP-108, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1988, pp. 195–222.

(3) Whiting, D., and Dziedzic, W., "Resistance to Chloride Infiltration of Superplasticized Concrete as Compared with Currently Used Concrete Overlay Systems," Final Report No. FHWA/OH-89/009, Construction Technology Laboratories, May 1989.

"CONTINÚA"

- (4) Berke, N. S., Pfeifer, D. W., and Weil, T. G., "Protection Against Chloride-Induced Corrosion," *Concrete International*, Vol 10, No. 12, December 1988, pp. 45–55.
- (5) Ozyildirim, C., and Halstead, W. J., "Use of Admixtures to Attain Low Permeability Concretes," Final Report No. FHWA/VA-88-R11, Virginia Transportation Research Council, February 1988, NTIS No. PB 88201264.
- (6) Obla, K.H. and Lobo, C.L., "Acceptance Criteria for Durability Tests," *ACI Concrete International*, Vol 29, No. 5, May 2007, pp. 43–48.
- (7) Ozyildirim C., Effects of Temperature on the Development of Low Permeability in Concretes, VTRC R98-14, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, VA, 1998.
- (8) Bouzoubaa, N., Bilodeau, A., Vasanthi, S., Fournier, B., and Golden, D., Development of Ternary Blends for High-Performance Concrete, *ACI Materials Journal*, Vol 101, No. 1, pp. 19–29, 2004.

-- Última línea --

"CONTINÚA"

Título

Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Correspondencia

Esta norma nacional COGUANOR, se basa en la norma ASTM C 39/C39M-17b Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Copyright ASTM International. Se tradujo y reimprimió de conformidad con el acuerdo de licencia de ASTM International.

Observaciones

Aprobado: 2017-12-01

Esta norma sustituye a la NTG 41017 h1 de fecha de aprobación del 19 de noviembre del 2010.



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12
Tel (502) 2447 2600
Info-coguanor@dsnc.gt
<http://www.mineco.gob.gt>

Referencia
ICS 91.100.10

"CONTINÚA"

Prólogo COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

COGUANOR, preocupada por el desarrollo de la actividad productiva de bienes y servicios en el país, ha armonizado las normas internacionales.

El estudio de esta norma, fue realizado a través del Comité Técnico de Normalización de Concreto (CTN Concreto), con la participación de:

Ing. Jorge Rolando Reyes Guzmán
Cemex Concretos

Ing. Estuardo Palencia
Proquality

Ing. Rodolfo Rosales
Corporación Suisa, S.A.

Ing. Sergio Quiñonez Guzmán
Independiente

Ing. Sergio Sevilla
Prefabricados Cifa

Ing. Luis Alvarez Valencia
Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (ICCG)

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Coordinadora de Comité

Ing. Dilma Yanet Mejicanos Jol

"CONTINÚA"

Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII-USAC)

Ing. Plinio Estuardo Herrera Rodas
Cementos Progreso, S.A. CETEC

Ing. Víctor Nájera González
Sika Guatemala, S.A.

Ing. Roberto Carlos Arango
Pisos Casa Blanca, S.A.

Ing. Armando José Díaz Aldana
Grupo Macro

Ing. Kenneth Alejandro Molina Escobar
Independiente

Rolando Morgan Sagastume
Independiente

Ing. Marcelo Quiñónez
Grupo Tensar, S.A.

Ing. Alan Paul Vásquez
Grupo Tensar, S.A.

Israel Alfonso Orellana Barrera
Independiente

"CONTINÚA"

Índice

	Titulo	Página
1	Objeto	5
2	Documentos para consulta	5
3	Terminología	6
4	Resumen del método de ensayo	7
5	Significado y uso	7
6	Equipo	8
7	Especímenes	14
8	Procedimientos	15
9	Cálculos	18
10	Informe	20
11	Precisión y sesgo	21
12	Palabras clave	22

"CONTINÚA"

"CONTINÚA"

1. Objeto

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene una masa unitaria mayor que 800 kg/m^3 (50 lb/pe^3).

1.2 Los valores indicados en unidades pulgada-libra o en unidades SI (Sistema Internacional) deben ser considerados como los estándares. Dentro del texto, las unidades pulgada-libra se muestran entre paréntesis. Los valores indicados en cada sistema no son exactamente equivalentes; por eso, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con esta especificación.

1.3 Esta norma no pretende tratar todos los aspectos relacionados a la seguridad y salubridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de salud y seguridad y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras, previo a su uso. (Advertencia— Deben proveerse los medios para contener los fragmentos de concreto durante la rotura repentina de especímenes. La tendencia a una rotura repentina se incrementa con el aumento de la resistencia del concreto y es más probable cuando la máquina de ensayo es relativamente flexible)¹.

1.4 El texto de esta norma cita notas y notas al pie de página que proveen material explicativo. Estas notas y notas al pie de página no deben ser considerados como requisitos de la norma.

1.5 Esta norma nacional COGUANOR, se basa en la norma ASTM C 39/C39M-17b Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Copyright ASTM International. Se tradujo y reimprimió de conformidad con el acuerdo de licencia de ASTM International.

2. Documentos para consulta

2.1. Normas COGUANOR²

NTG 41006 (ASTM C125)	Terminología referente al concreto y agregados para concreto
NTG 41013 h3 (ASTM C1604)	Método de ensayo para la obtención y ensayo de núcleos perforados de concreto lanzado.
NTG 41017 h25 (ASTM C 873)	Método de ensayo. Resistencia a compresión de cilindros de concreto fundidos en obra.

¹ Se recomiendan precauciones de seguridad dadas en el Manual of Agregaste and Concrete Testing.

² Las normas NTG pueden consultarse en la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR Calzada Atanasio Tzul 27-32 zona 12, Guatemala.

NTG 41017 h38 (ASTM C 1176)	Práctica estándar para la elaboración de especímenes cilíndricos de concreto compactado con rodillo utilizando una mesa vibratoria.
NTG 41017 h40 (ASTM C1435)	Práctica estándar para elaborar especímenes cilíndricos de concreto compactado con rodillo utilizando un martillo vibratorio.
NTG 41045 (ASTM C 1077)	Práctica estándar para agencias de ensayo de concreto y agregados para concreto para su uso en la construcción y criterios de evaluación para agencias de ensayo.
NTG 41060 (ASTM C192)	Práctica para elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.
NTG 41061 (ASTM C31)	Práctica estándar para la fabricación y curado en campo de especímenes de concreto para su ensayo
NTG 41064 (ASTM C617)	Práctica para el cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto.
NTG 41067 (ASTM C 1231)	Práctica para el uso de tapas no adheridas en la determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto endurecido.
NTG 41080 (ASTM C670)	Práctica estándar para preparar las declaraciones de precisión y sesgo en los métodos de ensayo de materiales de construcción.
NTG 41091 (ASTM C 42)	Método de Ensayo. Obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto.

2.2. Normas ASTM³

ASTM E 4	Prácticas para verificación de Fuerza, en las Máquinas de ensayo.
ASTM E 74	Práctica para la calibración de instrumentos de medición de Fuerza, utilizados para la verificación de los indicadores de Fuerza de las Máquinas de ensayo.
ASTM E 18	Métodos de ensayo para dureza Rockwell de materiales metálicos

3. Terminología

3.1. Definiciones: Para las definiciones de los términos utilizados en esta norma, consulte la terminología en NTG 41006 "Terminología referente al concreto y agregados para concreto (ASTM C125).

3.2. Definiciones de los términos específicos de esta norma:

³ Las normas ASTM pueden ser consultadas en www.astm.org o service@astm.org

3.2.1. Bloque de apoyo: Pieza de acero que se usa para distribuir la carga generada por la máquina de ensayo a la muestra.

3.2.2. Bloque de apoyo inferior: Pieza de acero colocada debajo de la muestra que se usa para distribuir la carga de la máquina de ensayo a la muestra.

3.2.2.1 Observación: El bloque de apoyo inferior proporciona una superficie fácilmente ajustable para mantener la superficie de apoyo especificada. El bloque inferior de apoyo también se puede utilizar para adaptar la máquina de prueba a varias alturas del espécimen. El bloque de apoyo inferior también se conoce como bloque inferior, bloque liso y platina falsa.

3.2.3. Platina: Superficie de apoyo primario de la máquina de ensayo.

3.2.3.1. Observación: La platina también se conoce como la mesa de la máquina de ensayo.

3.2.4 Espaciador: Pieza de acero utilizada para elevar el bloque de soporte inferior para alojar muestras de varias alturas.

3.2.4.1 Observación: No se requiere que los espaciadores tengan caras de soporte endurecidas porque los espaciadores no están en contacto directo con la muestra o los retenedores de las tapas no adheridas.

3.2.5 Bloque de apoyo superior: Acoplamiento de acero suspendido por encima del espécimen que es capaz de inclinarse para que soporte uniformemente en la parte superior del espécimen.

3.2.5.1 Observación: El bloque de apoyo superior también se denomina bloque de soporte esférico y bloque suspendido.

4. Resumen del método de ensayo

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo dentro del área de la sección transversal del espécimen.

5. Significado y uso

5.1. Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de ensayo, dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho de determinados materiales. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, la dosificación, procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo, fabricación y de la edad, temperatura, y las condiciones de humedad durante el curado.

5.2. Este método de ensayo es usado para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las normas, NTG 41017 h38 (ASTM C1176/C1176M), , NTG 41060 (ASTM C192/C192M), NTG 41061 (ASTM C31/C31M), NTG 41064 (ASTM C617/C617M), y NTG 41067 (ASTM C1231/C1231M), NTG 41017 h40 (ASTM C1435/C1435M) y los métodos de ensayo NTG 41017 h25 (ASTM C873/C873M), NTG 41091 (ASTM C42/C42M) y NTG 41013 h3 (ASTM C1604/C1604M).

5.3. Los resultados de este método de ensayo son usados como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado, y colocación del concreto; determinación del cumplimiento de las especificaciones; control para la evaluación de la efectividad de aditivos; y usos similares.

5.4. El individuo que ensaye los cilindros de concreto para el ensayo de aceptación debe cumplir los requisitos de técnico de laboratorio de concreto de la Norma NTG 41045 (ASTM C 1077), incluyendo un examen donde se requiera una demostración del desempeño que es evaluado por un examinador independiente.

Nota 1. La certificación equivalente a las guías mínimas para Técnico de Laboratorio de Concreto de ACI, Nivel I o Técnico de Ensayo de Resistencia de Concreto de ACI, satisfacen este requisito.

6. Equipo

6.1. Máquina de Ensayo. La máquina de ensayo debe ser de un tipo que tenga suficiente capacidad y sea capaz de proveer las velocidades de carga prescritas en 8.5.

6.1.1. Verifique la exactitud de las máquinas de ensayo de acuerdo a las prácticas ASTM E 4, pero el rango de carga verificado debe ser como se requiere en 6.4. La verificación es requerida bajo:

6.1.1.1. Dentro de los 13 meses de la última calibración.

6.1.1.2. En la instalación original o inmediatamente después de su traslado.

6.1.1.3. Inmediatamente después de efectuar reparaciones o ajustes que afecten la operación del sistema de aplicación de fuerza o los valores mostrados en el sistema de indicación de carga, excepto en los ajustes de cero que compensan la masa de los bloques de apoyo, o los especímenes, o ambos.

"CONTINÚA"

6.1.1.4. Cada vez que haya una razón para sospechar de la exactitud de las cargas indicadas.

6.1.2. Diseño. El diseño de la máquina debe incluir las siguientes características:

6.1.2.1. La máquina debe ser motorizada y debe aplicar la carga continuamente más que intermitentemente, y sin impacto. Si solo tiene una velocidad de carga (cumpliendo los requisitos de 8.5), deberá ser provista con un medio suplementario para cargar a una velocidad adecuada para la verificación. Este medio suplementario de carga puede ser motorizado o manual.

6.1.2.2. El espacio provisto para los especímenes de ensayo debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en una posición legible, un dispositivo de calibración elástico que tenga la suficiente capacidad para cubrir el rango de carga potencial de la máquina de ensayo y que cumpla con los requisitos de la Práctica ASTM E 74.

Nota 2. Los tipos de dispositivos de calibración elásticos más generalmente disponibles y más comúnmente usados para este propósito son los anillos de calibración circulares o las celdas de carga.

6.1.3. Exactitud. La exactitud de la máquina de ensayo debe estar de acuerdo con las siguientes disposiciones:

6.1.3.1. El porcentaje de error de las cargas dentro del rango de uso propuesto para la máquina de ensayo no debe exceder ± 1.0 % de la carga indicada.

6.1.3.2. La exactitud de la máquina de ensayo debe ser verificada aplicando cinco ensayos de carga en cuatro incrementos aproximadamente iguales en orden ascendente. La diferencia entre cualquiera de dos ensayos sucesivos de carga no debe exceder de un tercio de la diferencia entre los ensayos de carga máxima y carga mínima.

6.1.3.3. La carga de ensayo indicada por la máquina de ensayo y la carga aplicada calculada a partir de las lecturas del dispositivo de verificación deben ser registradas en cada punto del ensayo. Calcule el error, E , y el porcentaje de error, E_p , para cada punto de estos datos de esta manera:

$$E = A - B \quad (1)$$

$$E_p = 100(A - B)/B$$

Donde

A = carga, lbf [kN] indicada por la máquina que es verificada.

B = la carga aplicada, lbf [kN] determinada por el dispositivo de calibración

"CONTINÚA"

6.1.3.4. El informe sobre la verificación de una máquina de ensayo debe establecer dentro de qué rango de carga se encontró que cumple con los requisitos de especificación, más que informar una aceptación o un rechazo general. En ningún caso debe ser declarado el rango de carga incluyendo cargas debajo del valor que es 100 veces el cambio más pequeño de carga estimable en el mecanismo indicador de carga de la máquina de ensayo o cargas dentro de la porción del rango debajo del 10 % de la máxima capacidad del rango.

6.1.3.5. En ningún caso debe ser declarado el rango de carga incluyendo cargas fuera del rango de cargas aplicadas durante el ensayo de verificación.

6.1.3.6. La carga indicada por una máquina de ensayo no debe ser corregida ni por cálculos ni por el uso de un diagrama de calibración para obtener valores dentro de la variación admisible requerida.

6.2. Bloques de apoyo: Los bloques de apoyo superior e inferior deben cumplir con los siguientes requisitos:

6.2.1. Los bloques de apoyo deben ser de acero con caras endurecidas (Nota 3).

6.2.2. Las caras de apoyo de los bloques deben tener una dimensión mínima de al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen que será ensayado.

6.2.3. Excepto los círculos concéntricos descritos en 6.2.4.7, las caras de apoyo no deben desviarse de un plano por más de 0.02 mm (0.001 pulg) a lo largo de 150 mm (6 pulg) de los bloques con 150 mm (6 pulg) de diámetro o mayor, o por más de 0.02 mm (0.001 pulg) en el diámetro de cualquier bloque más pequeño. Los bloques nuevos deben ser fabricados dentro de un medio de esta tolerancia.

Nota 3. Es conveniente que las caras de apoyo de los bloques usadas para el ensayo de compresión del concreto posean una dureza Rockwell de no menos de 55 HRC, que será determinada por el método ASTM E18.

Nota 4. Las superficies cuadradas de apoyo están permitidas para los bloques de apoyo.

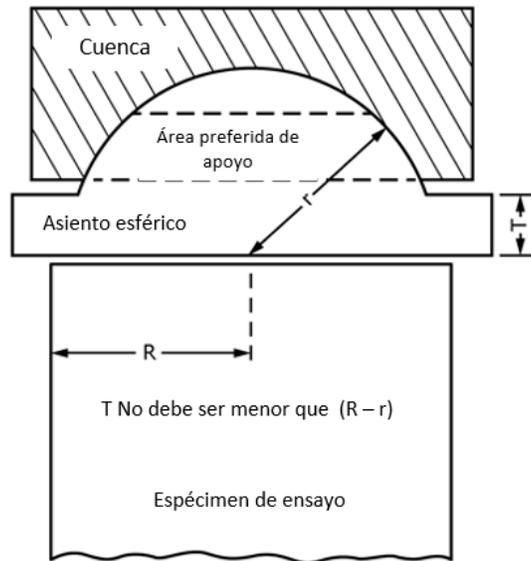
6.2.4. Bloque de apoyo superior: el bloque de apoyo superior deberá cumplir con los siguientes requisitos:

6.2.4.1. El bloque de apoyo superior debe estar asentado esféricamente y al centro de la esfera, debe coincidir con el centro de la superficie de apoyo dentro del $\pm 5\%$ del radio de la esfera.

6.2.4.2. La esfera y la cuenca o base deben estar diseñados de manera que el acero en la zona de contacto no se deforme permanentemente al cargarse a la capacidad de la máquina de ensayo.

Nota 5. El área de contacto preferida está en forma de un anillo (descrito como área de apoyo idónea o preferida) como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Boceto esquemático de un bloque de asiento esférico típico.



Donde:

$$T \geq R - r$$

r = radio de la porción esférica de la parte superior del apoyo.

R = radio nominal del espécimen.

T = espesor del bloque de apoyo superior que se extiende más allá de la esfera.

6.2.4.3. Se debe prever la sujeción del bloque de apoyo superior en la cuenca o base. El diseño deberá ser tal que la superficie de apoyo pueda girar e inclinarse al menos 4 grados en cualquier dirección.

6.2.4.4. Si el bloque de apoyo superior es un diseño compuesto de dos piezas, por una porción esférica y una placa de apoyo, se proporcionará un medio mecánico para asegurar que la parte esférica esté fijada y centrada sobre la placa de apoyo.

6.2.4.5. El diámetro de la esfera será al menos el 75% del diámetro nominal del espécimen. Si el diámetro de la esfera es menor que el diámetro del espécimen, la porción de la superficie de apoyo que se extiende más allá de la esfera tendrá un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen (véase la figura 1). La menor dimensión de la superficie de apoyo debe ser al menos tan grande como el diámetro de la esfera.

"CONTINÚA"

6.2.4.6. Las dimensiones de la superficie de apoyo del bloque superior no deberán exceder los siguientes valores:

Cuadro 1. Valores de las dimensiones de la superficie de apoyo superior.

Diámetro nominal del espécimen		Diámetro máximo de la cara de la esfera, mm [pulg]		Dimensiones máximas del área de la cara de apoyo	
mm	Pulg	mm	pulg	mm	pulg
50	2	105	4	105 por 105	4 por 4
75	3	130	5	130 por 130	5 por 5
100	4	165	6.5	165 por 165	6.5 por 6.5
150	6	255	10	255 por 255	10 por 10
200	8	280	11	280 por 280	11 por 11

6.2.4.7. Si el diámetro de la cara de apoyo del bloque de asiento esférico excede el diámetro del espécimen por más de 13 mm (0.5 pulg), deben grabarse círculos concéntricos de no más de 0.8 mm (0.03 pulg) de profundidad y no más de 1 mm (0.04 pulg) de ancho para facilitar un centrado adecuado.

6.2.4.8. Limpiar y lubricar las superficies curvas del apoyo y de la porción esférica del bloque de apoyo superior al menos cada seis meses, o según lo especificado por el fabricante de la máquina de ensayo. El lubricante deberá ser un aceite de motor convencional o según lo especificado por el fabricante de la máquina de ensayo.

Nota 6. Para asegurar un contacto uniforme, el bloque de apoyo superior está diseñado para inclinarse libremente cuando entra en contacto con la parte superior del espécimen. Después del contacto, la rotación adicional es indeseable. La fricción entre la cuenca y la porción esférica de la cabeza proporciona una retención contra la rotación adicional durante la carga. Las grasas de tipo presión pueden reducir la fricción deseada y permitir una rotación indeseada de la cabeza esférica y no deben usarse a menos que sea recomendado por el fabricante de la máquina de ensayo. Se ha demostrado que el aceite de hidrocarburos, tal como aceite de motor convencional, permite que se desarrolle la fricción necesaria.

6.2.5. Bloque de apoyo inferior: El bloque de apoyo inferior deberá cumplir con los siguientes requisitos:

6.2.5.1. El bloque de apoyo inferior debe ser sólido.

6.2.5.2. Las superficies superior e inferior del bloque de apoyo deberán ser paralelas entre sí.

6.2.5.3. El bloque de apoyo inferior debe ser de al menos 25 mm (1 pulg) de espesor cuando es nuevo, y de al menos 22.5 mm (0.9 pulg) de espesor después de cualquier operación de tratamiento superficial.

6.2.5.4. El bloque inferior de apoyo deberá estar totalmente apoyado por la platina de la máquina de ensayo o por cualquier separador utilizado.

6.2.5.5. Si la máquina de ensayo está diseñada para que la platina por si sola sea mantenida fácilmente en la condición de la superficie especificada, no se requiere un bloque de apoyo inferior.

Nota 7. El bloque de apoyo inferior puede fijarse a la platina de la máquina de ensayo.

Nota 8. Los círculos concéntricos grabados como se describe en 6.2.4.7 son opcionales en el bloque de apoyo inferior.

6.3. Separadores: Si se utilizan separadores, se colocarán debajo del bloque de apoyo inferior y deberán cumplir con los siguientes requisitos:

6.3.1. Los separadores deben ser de acero sólido. Se permite una abertura vertical situada en el centro de los separadores. El diámetro máximo de la abertura vertical es de 19 mm (0.75 pulg).

6.3.2. Las superficies superior e inferior de los separadores deberán ser paralelas entre sí.

6.3.3. Los separadores deben estar completamente apoyados por la platina de la máquina de ensayo.

6.3.4. Los separadores deben soportar completamente el bloque inferior del apoyo y cualquier separador arriba.

6.3.5. Los separadores no deben estar en contacto directo con los especímenes o los retenedores de las tapas no adheridas.

6.4. Indicación de Carga: La máquina de ensayo deberá estar equipada con un indicador de carga de marcación con agujas o digital.

6.4.1. El rango de carga verificado no debe incluir cargas menores de 100 veces el cambio de carga más pequeño que se puede leer en la escala.

6.4.2. Deberá contar con un dispositivo que registrará, o indicará hasta el restablecimiento, la carga máxima a una precisión dentro del 1.0% de la carga.

6.4.3. Si la carga de una máquina de compresión usada en los ensayos de concreto es registrada en un indicador, el indicador debe estar provisto con una escala graduada que sea legible por lo menos al 0.1 % de la escala completa de carga (Nota 9). El indicador debe ser legible dentro del 1 % de la carga indicada en cualquier nivel de

carga dado dentro del rango de carga. La aguja del indicador debe tener la longitud suficiente para alcanzar las líneas de graduación; el ancho del extremo de la aguja no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada indicador debe estar equipado con un ajuste a cero, ubicado fuera de la caja del indicador y fácilmente accesible desde el frente de la máquina, mientras se observa la marca de cero y la aguja del indicador.

Nota 9. Se considera que la legibilidad es de 0.5 mm (0.02 pulg) a lo largo del arco descrito por el final de la aguja. Si el espaciamiento está entre 1 y 2 mm (0.04 y 0.08 pulg). La mitad de un intervalo de escala se considera legible. Si el espaciamiento es de entre 2 y 3 mm (0.08 y 0.12 pulg), se considera legible un tercio de un intervalo de escala. Si el espaciado es de 3 mm o más, se considera legible una cuarta parte de un intervalo de escala.

6.4.4. Si la carga de la máquina de ensayo se indica en forma digital, la pantalla numérica debe ser lo suficientemente grande para ser leída fácilmente. El incremento numérico debe ser igual o menor que el 0.1 % de la escala de carga completa de un rango de carga dado. Se deben tomar precauciones para ajustar el cero en el indicador cuando no se aplica carga al espécimen.

6.5. La documentación de la calibración y mantenimiento de la máquina de ensayo deberá estar de acuerdo con la norma NTG 41045 (ASTM C1077).

7. Especímenes

7.1. Los especímenes no deben ser ensayados si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más del 2 %.

Nota 10. Esto puede ocurrir cuando los moldes de un solo uso son dañados o deformados durante el envío, cuando los moldes de un solo uso flexibles son deformados durante el moldeo, o cuando la perforadora de núcleos se desplaza o desvía durante la perforación.

7.2. Previo al ensayo, ningún extremo de los especímenes de ensayo debe apartarse de la perpendicularidad a los ejes en más de 0.5 grados (aproximadamente equivalente a 1 mm en 100 mm (0.12 pulg en 12 pulg). Los extremos de los especímenes de ensayo a compresión que no sean planos dentro de 0.050 mm (0.002 pulg) deben ser aserrados o esmerilados para cumplir con la tolerancia, o nivelados de acuerdo tanto con la norma NTG 41064 (ASTM C617/C617M) cuando se permita, con la norma NTG 41067 (ASTM C 1231/C1231M). El diámetro usado para calcular la sección transversal del espécimen de ensayo debe ser determinado al 0.25 mm (0.01 pulg) más cercano, promediando dos diámetros medidos en ángulos rectos uno del otro a la altura media del espécimen.

7.3. No se prohíbe que el número de los cilindros individuales medidos para determinación del diámetro promedio se reduzca a uno por cada diez especímenes, o tres especímenes, por día, el que sea mayor, si se conoce que todos los cilindros han sido hechos de un solo lote de moldes reusables o moldes de un solo uso que consistentemente producen especímenes de diámetros promedio dentro de un rango de 0.5 mm (0.02 pulg). Cuando los diámetros promedio no caen

dentro del rango de 0.5 mm (0.02 pulg) o cuando los cilindros no están hechos de un solo lote de moldes, cada cilindro ensayado debe ser medido y e s t e valor usado en el cálculo de la resistencia a la compresión unitaria de ese espécimen. Cuando los diámetros son medidos a una frecuencia reducida, las secciones transversales de todos los cilindros ensayados en ese día deben ser calculadas a partir del promedio de los diámetros de los tres o más cilindros que representen el grupo ensayado ese día.

7.4. Si el comprador de los servicios de ensayo pide una medición de la densidad de los especímenes de ensayo, se debe determinar la masa de los especímenes antes de cabecearlos por 7.4.1 (método de la dimensión de la muestra) o 7.4.2 (método de pesaje sumergido). Para cualquiera de los dos métodos, utilice una medida o escala que sea precisa dentro del 0.3% de la masa que se mide.

7.4.1. Quitar cualquier humedad superficial con una toalla y mida la masa del espécimen. Medir la longitud del espécimen al 1 mm (0.05 pulg) más cercano en tres posiciones espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Calcular la longitud promedio y registre al 1.0 mm (0.05 pulg) más cercanos.

7.4.2. Remueva cualquier humedad superficial con una toalla y determine la masa del espécimen al aire. Sumerja el espécimen en agua a una temperatura de 23.0 ± 2.0 ° C (73.5 ± 3.5 °F) por 15 ± 5 segundos, después determine la masa aparente del espécimen mientras está sumergido en agua.

7.5. Cuando no se requiere la determinación de la densidad y la relación de la longitud al diámetro es menor que 1.8 o mayor que 2.2, mida la longitud del espécimen al 0.05 D más cercano.

8. Procedimiento

8.1. Los ensayos de compresión de especímenes curados en aire húmedo deben ser hechos tan pronto como sea práctico después de sacarlos del almacenamiento húmedo.

8.2. Los especímenes de ensayo deben ser mantenidos húmedos por cualquier método conveniente durante el período entre que se sacan del almacenamiento húmedo y el ensayo. Deben ser ensayados en condición húmeda.

8.3. Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, prescritas como sigue (Cuadro 2):

Cuadro 2. Edades de ensayo y tolerancias admisibles

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0.5 horas
3 días	± 2 horas
7 días	± 6 horas
28 días	± 20 horas
90 días	± 2 días

8.3.1. A menos que el especificador de las pruebas especifique lo contrario, para este método de ensayo la edad de prueba comenzará en el momento de la elaboración de los especímenes.

8.4. Colocación del espécimen: Coloque el bloque de apoyo plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente debajo del bloque de apoyo de asiento esférico (superior). Limpiar las caras de apoyo de los bloques de apoyo superior e inferior y del espécimen de ensayo y coloque el espécimen de ensayo sobre el bloque de apoyo inferior. Alinear cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque de asiento esférico.

Nota 11. Aunque el bloque inferior del apoyo puede tener inscrito círculos concéntricos para ayudar con el centrado del espécimen, la alineación final se hace con referencia al bloque superior del apoyo.

8.4.1. Verificación de cero y asentamiento del bloque: Previo al ensayo del espécimen, verificar que el indicador de carga esté colocado en cero. En los casos en los que el indicador no está adecuadamente colocado en cero, ajuste el indicador (Nota 12). Después de colocar el espécimen en la máquina, pero previo a aplicarle la carga, incline manualmente y suavemente la parte móvil del bloque de asiento esférico, de modo que su cara de asiento quede paralela al tope del espécimen de ensayo.

Nota 12. La técnica utilizada para verificar y ajustar el indicador de carga a cero variará dependiendo del fabricante de la máquina. Consulte el manual del propietario o calibrador de la máquina de compresión para la técnica adecuada.

8.4.2. Verificación del alineamiento cuando se utilizan tapas no adheridas: Si se usan tapas no adheridas, verifique el alineamiento del espécimen después de la aplicación de la carga, pero antes de alcanzar el 10% de la resistencia esperada del espécimen. Compruebe que el eje del cilindro no se separe de la vertical en más de 0.5 ° (ver nota 13) y que los extremos del cilindro estén centrados dentro de los anillos de retención. Si la alineación del cilindro no cumple con estos requisitos, libere la carga y cuidadosamente vuelva a centrar el espécimen. Vuelva a aplicar la carga y vuelva a

verificar el centrado y la alineación del espécimen. Se permite una pausa en la aplicación de la carga para comprobar la alineación del cilindro.

Nota 13. Un ángulo de 0.5° es igual a una pendiente de aproximadamente 1 mm en 100 mm (1/8 pulg en 12 pulg).

8.5. Velocidad de carga: Aplique la carga continuamente y sin impacto.

8.5.1. La carga debe aplicarse a una velocidad de movimiento (medida desde la platina a la cruceta) correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 (lb/pulg²)/s) (ver nota 14). La velocidad de movimiento designada debe ser mantenida al menos durante la última mitad de la fase de carga prevista.

Nota 14. Para una máquina de ensayo milimétrica o de desplazamiento controlado, será necesario un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para lograr la velocidad de esfuerzo especificada. La velocidad de movimiento requerida dependerá del tamaño del espécimen de ensayo, del módulo elástico del concreto, y de la rigidez de la máquina de ensayo.

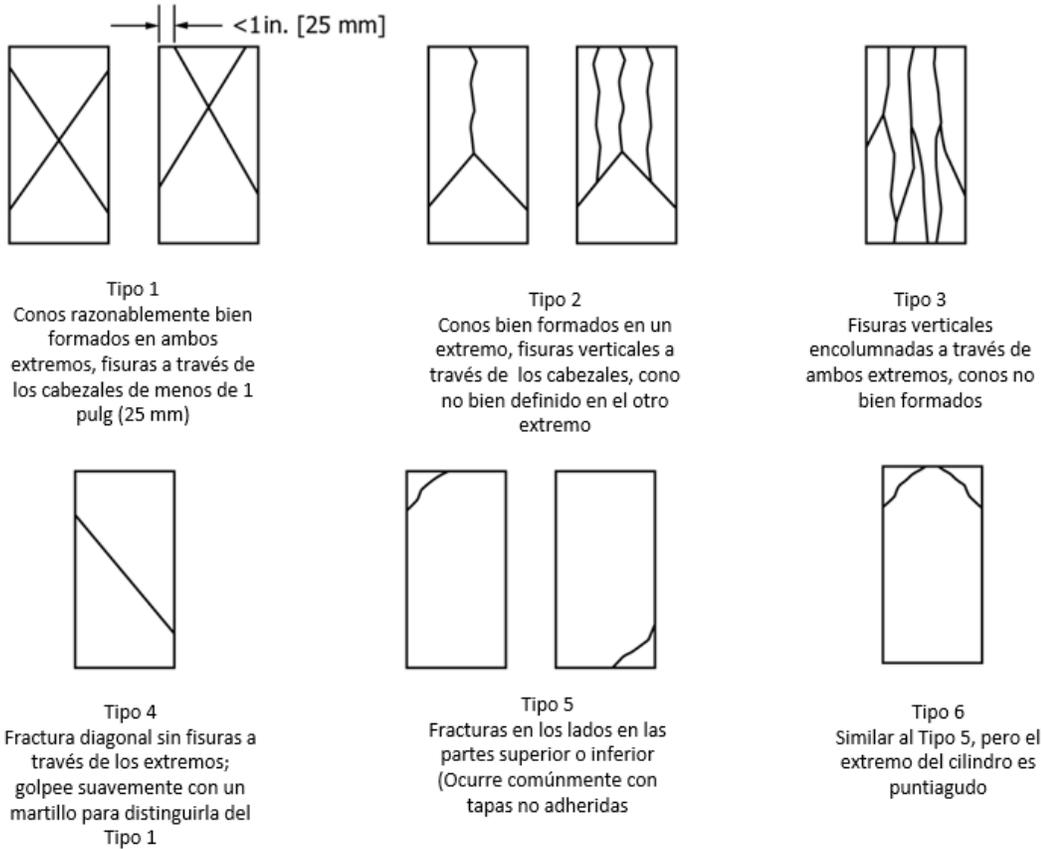
8.5.2. Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga anticipada, debe ser permitida una velocidad de carga mayor. La velocidad de carga mayor debe ser aplicada de manera controlada de modo tal que el espécimen no esté sometido a una carga de impacto.

8.5.3. No haga ajustes en la velocidad de movimiento (desde la platina a la cruceta) cuando está siendo alcanzada la carga última y la velocidad de esfuerzo decrece debido a fisuración en el espécimen.

8.6. Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que la carga está decreciendo progresivamente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido (Tipos 1 a 4 en Figura 2). Para una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, está prohibido el apagado automático de la máquina de ensayo hasta que la carga haya caído a un valor que sea menor que el 95 % de la carga pico. Cuando se ensaya con encabezados no adheridos, una fractura en la esquina, similar a los modelos Tipo 5 o 6 mostrados en la Figura 2 puede ocurrir antes que haya sido alcanzada la capacidad última del espécimen. Continuar comprimiendo el espécimen hasta que el usuario esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad última. Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, y anotar el tipo de modelo de fractura de acuerdo a la Figura 2. Si el modelo de fractura no es uno de los modelos típicos mostrados en la Figura 2, bosqueje y describa brevemente el modelo de fractura. Si la resistencia medida es menor de lo esperado, examinar el concreto fracturado y anote la presencia de vacíos de aire grandes, evidencia de segregación, si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de agregado grueso, y verifique si las

preparaciones de los extremos fueron de acuerdo con la norma NTG 41064 (ASTM C617C617M) o con la norma NTG 41067 (ASTM C1231/C1231M).

Figura 2. Esquema de los Modelos de Fractura Típicos



9. Cálculos

9.1. Calcular la resistencia a la compresión del espécimen de la siguiente manera:

Unidades del sistema internacional (SI)

$$f_{cm} = \frac{4000 P_{max}}{\pi D^2} \quad (2)$$

Unidades libra pulgada

$$f_{cm} = \frac{4 P_{max}}{\pi D^2} \quad (3)$$

"CONTINÚA"

Donde:

f_{cm} = resistencia a la compresión en MPa (lb/pulg²).

P_{max} = Carga máxima kN (lb fuerza).

D = medida del diámetro promedio en mm (pulg).

9.2. Si la relación de longitud a diámetro del espécimen es de 1.75 o menos corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por el factor de corrección apropiado mostrado en el cuadro 3 (ver Nota 15):

Cuadro 3. Relación de longitud a diámetro del espécimen

L/D¹	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87

¹Usar la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores de L/D intermedios entre los valores dados en esta tabla.

Nota 15. Los factores de corrección dependen de varias condiciones tales como condiciones de humedad, nivel de resistencia, y módulo de elasticidad. Los valores promedio están dados en la cuadro 3. Estos factores de corrección se aplican a concreto de baja densidad entre 1600 y 1920 kg/m³ (100 y 120 lb/pie³) y a concreto de densidad normal. Son aplicables al concreto seco o humedecido al momento de su ensayo y para resistencias nominales de concreto desde 14 a 42 MPa (2000 a 6000 lb/pulg²). Para resistencias mayores a 42 MPa (6000 lb/pulg²) los factores de corrección pueden ser mayores que los valores listados arriba.

9.3. Cuando sea requerido, calcule la densidad del espécimen a 10 kg/m³ (1 lb/pie³) más cercanos como sigue:

Sistema internacional (SI)

$$\rho_s = \frac{4 \times 10^9 \times W}{L \times D^2 \times \pi} \quad (4)$$

Unidades de libra pulgada

$$\rho_s = \frac{6912 \times W}{L \times D^2 \times \pi} \quad (5)$$

"CONTINÚA"

Donde:

ρ_s = Densidad del espécimen kg/m^3 (lb/pie^3).

W = Masa del espécimen al aire kg (lb).

L = promedio de la medida de longitud mm (pulg).

D = promedio de la medida del diámetro mm (pulg).

9.3.2. Si la densidad del espécimen se basa en la densidad sumergida, calcule la densidad de muestra como sigue:

$$\rho_s = \frac{W \times \gamma_w}{W - W_s} \quad (6)$$

Donde:

ρ_s = Densidad del espécimen kg/m^3 (lb/pie^3).

W = Masa del espécimen al aire kg (lb).

W_s = Masa aparente sumergida del espécimen kg (lb).

γ_w = Densidad del agua a $23\text{ }^\circ\text{C}$ ($73.5\text{ }^\circ\text{F}$) = 997.5 kg/m^3 (62.27 lb/pie^3).

10. Informe

10.1. Reporte la siguiente información:

10.1.1. Número de identificación.

10.1.2. Diámetro promedio medido (y longitud medida), si se encuentra fuera del rango de $1.8 D$ a $2.2 D$, en milímetros (pulgadas).

10.1.3. Área de la sección transversal, en milímetros cuadrados (pulgadas cuadradas).

10.1.4. Carga máxima, en kilonewtons (libras-fuerza).

10.1.5. Resistencia a la compresión calculada a los 0.1 MPa (10 lb/pulg^2) más cercanos.

10.1.6. Si se indica el promedio de dos o más cilindros compañeros ensayados a la misma edad, calcule la resistencia a la compresión promedio utilizando los valores de resistencia a la compresión individuales no redondeados. Informe la resistencia a la compresión media redondeada a $0,1\text{ MPa}$ (10 lb/pulg^2) más cercana.

10.1.7. Tipo de fractura, si es diferente que el cono habitual (ver Figura 2).

"CONTINÚA"

10.1.8. Defectos en el espécimen y su cabeceado.

10.1.9. Edad del espécimen en el momento de la prueba. Informe la edad en días para las edades de tres días o más, informe la edad en horas si la edad es menos de tres días.

Nota 16. Si las limitaciones del software impiden informar la edad del espécimen en horas, la edad del espécimen en horas puede ser incluida en una nota en el informe.

10.1.10. Cuando se determine, la densidad a la más cercana 10 kg/m³ (1 lb/pie³).

11. Precisión y sesgo

11.1. Precisión

11.1.1. Precisión de un solo operador: en el cuadro 4 siguiente provee la precisión de un solo operador para los ensayo de cilindros de 150 mm por 300 mm (6 pulg por 12 pulg) y 100 mm por 200 mm (4 pulg por 8 pulg) elaborados de una muestra de concreto correctamente mezclada bajo condiciones de laboratorio y bajo condiciones de obra, ver 11.1.2.

Cuadro 4. Precisión

	Coeficiente de variación ¹	Rango aceptable ¹ de resistencia individual de cilindros	
		2 cilindros	3 cilindros
150 mm x 300 mm (6 pulg x 12 pulg) Condiciones de laboratorio	2.40%	6.60%	7.80%
Condiciones de obra	2.90%	8.00%	9.50%
100 mm x 200 mm (4 pulg x 8 pulg) Condiciones de laboratorio	3.20%	9.00%	10.60%

¹ Estos valores representan respectivamente los límites de 1s% y d1s% como describe en la norma NTG 41080 (ASTM C670).

11.1.2. El coeficiente de variación de un operador dentro del ensayo representa la variación esperada de la resistencia medida de los cilindros acompañantes preparados de la misma muestra de concreto y ensayados por un laboratorio a la misma edad. Los valores dados para el coeficiente de variación dentro del ensayo de cilindros de 150 mm x 300 mm (6 pulg x 12 pulg) son aplicables para resistencias a compresión entre 15 a 55 MPa (2000 y 8000 lb/pulg²) y aquellos cilindros de 100 mm x 200 mm (4 pulg x 8 pulg) son aplicables para resistencias a compresión entre 17 a 32 MPa (2500 y 4700 lb/pulg²). Los coeficientes de variación individuales dentro del ensayo de cilindros de 150 mm x 300 mm (6 pulg x 12 pulg) son obtenidos de los datos de las muestras de competencia del concreto CCRL (Cement and Concrete Reference Laboratory) para las condiciones de laboratorio y una compilación de 1265 informes de ensayos de 225 laboratorios

"CONTINÚA"

comerciales de ensayos en 1978⁴. El coeficiente de variación dentro del ensayo de cilindros de 100 mm x 200 mm (4 pulg x 8 pulg) es obtenido de los datos de las muestras de competencia del concreto CCRL para condiciones de laboratorio.

11.1.3. Precisión de varios Laboratorios. El coeficiente de variación de varios laboratorios para los resultados de ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de 150 mm x 300 mm (6 pulg x 12 pulg) ha sido encontrado que es 5.0 %⁵ por lo tanto, los resultados de los ensayos apropiadamente realizados por dos laboratorios sobre especímenes preparados de la misma muestra de concreto, no se espera que difieran en más que un 14% del promedio (ver nota 17). El resultado de un ensayo de resistencia es el promedio de dos cilindros ensayados a la misma edad.

Nota 17. La precisión de varios laboratorios no incluye variaciones asociadas con operadores diferentes que preparan especímenes de ensayos de muestras de concreto divididas o independientes. Se espera que estas variaciones incrementen el coeficiente de variación de varios laboratorios.

11.1.4. Los datos de varios laboratorios fueron obtenidos de seis ensayos de resistencia separados organizados a través de programas de todos contra todos donde los especímenes cilíndricos de 150 mm x 300 mm (6 pulg x 12 pulg), fueron preparados en una sola ubicación y ensayados por laboratorios diferentes. El rango de resistencia promedio de estos programas fue de 17.0 a 90 MPa (2500 a 13000 lb/pulg²).

NOTA 18. El Subcomité C09.61 continuará examinando datos recientes de muestras de competencia de concreto y datos de ensayos de obra y hará revisiones de las declaraciones de precisiones cuando los datos indiquen que ellas pueden ser extendidas para cubrir un rango más amplio de resistencias y tamaños de especímenes.

11.2. Sesgo: Dado que no hay material de referencia aceptado, no se hacen declaraciones sobre sesgo.

12. Palabras clave

12.1. núcleo de concreto; cilindro de concreto, concreto, resistencia del concreto; resistencia a la compresión.

-- Última línea --

⁴ Los datos de apoyo han sido archivados en las Oficinas de ASTM Internacional y pueden obtenerse solicitando el Informe de Investigación RR: C09-1006

⁵ Estos valores representan respectivamente los límites de 1 s% y 2s % como describe la norma NTG 41080 (ASTM C670).

"CONTINÚA"