

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del
concreto, sustituyendo parcialmente los agregados finos por
caucho granulado en diferentes dosificaciones**

Trabajo de graduación presentado por María del Carmen Figueroa
Mayen para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2019

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



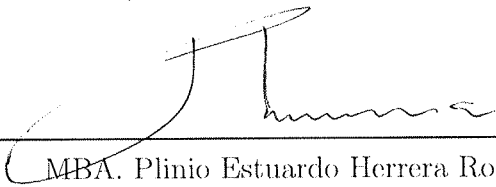
**Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del
concreto, sustituyendo parcialmente los agregados finos por
caucho granulado en diferentes dosificaciones**

Trabajo de graduación presentado por María del Carmen Figueroa
Mayen para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,


2019

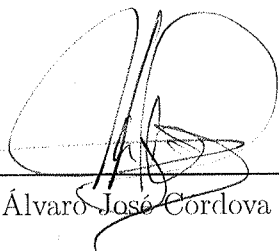
Vo.Bo.:

(f) 
MBA. Plinio Estuardo Herrera Rodas

Tribunal Examinador:

(f) 
MBA. Plinio Estuardo Herrera Rodas

(f) 
MSc. Roberto Godo Levensen

(f) 
Ing. Álvaro José Cordova Guirola

Fecha de aprobación: Guatemala, 03 de Diciembre de 2019.

La elaboración de este trabajo de investigación surgió de la necesidad que existe en el mundo de reutilizar y aprovechar los materiales de desecho. Para darle una solución a este problema se introdujo caucho granulado a mezclas de concreto para mejorar sus propiedades y poder reutilizar el material de desecho proveniente de las llantas.

La elaboración de este trabajo de graduación no hubiese sido posible sin el apoyo de la Universidad del Valle de Guatemala y de Cementos Progreso. Quiero agradecer, en primer lugar a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala por brindarme la formación necesaria para ser una profesional de éxito. Quiero agradecer al Centro de Investigación y Desarrollo (CI+D) de Cementos Progreso y a todo su personal, especialmente a los Ingenieros Plinio Estuardo Herrera y Ariel Osorio por su apoyo y asesoría durante todo el proceso.

También quiero agradecer a mis padres y demás familia por brindarme la oportunidad de tener una excelente educación y por su apoyo incondicional durante todo el proceso. Agradezco a mis amigos por estar a mi lado durante mi etapa universitaria y por todo el apoyo que me dieron.

Prefacio	v
Lista de figuras	xv
Lista de cuadros	xviii
Resumen	xix
Abstract	xxi
1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo General	5
3.2. Objetivos Específicos	5
4. Marco teórico	7
4.1. Particularidades del concreto	7
4.1.1. Definición del concreto	7
4.1.2. Componentes del concreto	7
4.1.3. Cemento	8
4.1.4. Agua	10
4.1.5. Aditivos	10
4.1.6. Agregados	12
4.2. Propiedades del concreto en estado fresco	16
4.2.1. Trabajabilidad y asentamiento	16
4.2.2. Temperatura	16
4.2.3. Exudación	17
4.2.4. Peso unitario o masa unitaria	17
4.2.5. Contenido de aire	18
4.3. Propiedades del concreto en estado endurecido	18

4.3.1.	Resistencia a la compresión	18
4.3.2.	Resistencia a la flexión	20
4.3.3.	Módulo de elasticidad	21
4.4.	Clasificación de agregados	21
4.4.1.	Clasificación por origen	21
4.4.2.	Clasificación por composición	22
4.4.3.	Clasificación por tamaño de partícula	22
4.4.4.	Clasificación por modo de fragmentación	23
4.5.	Efectos del agregado sobre las propiedades del concreto	23
4.5.1.	Trabajabilidad	23
4.5.2.	Consistencia	24
4.5.3.	Segregación	24
4.5.4.	Exudación	25
4.5.5.	Cohesividad	25
4.5.6.	Tiempo de fraguado	25
4.5.7.	Contenido de aire	25
4.5.8.	Peso unitario o masa unitaria	26
4.5.9.	Temperatura del concreto	26
4.5.10.	Facilidad de bombeo	26
4.5.11.	Acabado del concreto	26
4.5.12.	Humedecimiento y secado	27
4.5.13.	Acción del fuego	27
4.5.14.	Propiedades térmicas	27
4.5.15.	Abrasión	28
4.5.16.	Resistencia	28
4.5.17.	Influencia de la dureza del agregado	28
4.5.18.	Influencia de la textura superficial	28
4.5.19.	Propiedades térmicas	29
4.5.20.	Módulo de elasticidad	29
4.5.21.	Caucho Granulado	29
5.	Marco metodológico	33
5.1.	Caracterización del caucho granulado	33
5.1.1.	Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso. (COGUANOR NTG 41010 h1/ASTM C136)	34
5.1.2.	Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados. (COGUANOR NTG 41010 h2/ASTM C29)	36
5.1.3.	Determinación de materia orgánica en los agregados finos para con- creto. (COGUANOR NTG 41010 h4/ASTM C40)	38
5.1.4.	Determinación de la densidad del cemento hidráulico. (COGUANOR NTG 41003 h2/ASTM C188)	39
5.2.	Elaboración de Diseños de Mezcla	40
5.2.1.	Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto de peso normal, pesado y masivo. (ACI 211.1)	41
5.3.	Evaluación del concreto en estado fresco	45
5.3.1.	Determinación del asentamiento del concreto hidráulico. (COGUA- NOR NTG 41017 h4/ASTM C143)	45

5.3.2.	Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado (COGUANOR NTG 41053/ASTM C1064).	47
5.3.3.	Densidad aparente (masa unitaria) y rendimiento (volumen de concreto producido) del concreto. (COGUANOR NTG 41017 h5/ASTM C138)	48
5.3.4.	Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión (COGUANOR NTG 41017 h7/ASTM C231)	50
5.3.5.	Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio (COGUANOR NTG 41060/ASTM C192)	52
5.4.	Evaluación del concreto en estado endurecido	55
5.4.1.	Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (COGUANOR NTG 41017 h1/ASTM C39)	55
5.4.2.	Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz). (COGUANOR NTG 41017 h2/ASTM C 78)	57
5.4.3.	Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión. (COGUANOR NTG 41017 h16/ASTM C469)	60
5.4.4.	Método de ensayo para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro. (COGUANOR NTG 41017 h41/ASTM C 1202)	63
5.4.5.	Método de ensayo para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido. (COGUANOR NTG 41017 h42)	68
5.4.6.	Determinación de la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. (COGUANOR NTG 41017 h15/ASTM C496)	70
5.4.7.	Método de muestreo y ensayo para baldosas de terrazo para pisos de uso interior y exterior. (COGUANOR NTG 41081 h1)	71
5.4.8.	Práctica estándar para la evaluación petrográfica del concreto endurecido. (COGUANOR NTG 41089/ASTM C856)	72
6.	Resultados	75
6.1.	Caracterización del caucho granulado	75
6.1.1.	Granulometría y módulo de finura (COGUANOR NTG 41010 h1/ASTM C136)	75
6.1.2.	Densidad aparente (COGUANOR NTG 41010 h2/ASTM C29)	78
6.1.3.	Materia orgánica en los agregados finos (COGUANOR NTG 41010 h4/ASTM C40)	80
6.1.4.	Determinación de la densidad del cemento hidráulico (COGUANOR NTG 41003 h2/ASTM C188)	81
6.2.	Elaboración de diseños de mezclas	82
6.2.1.	Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto de peso normal, pesado y masivo (ACI 211.1)	82
6.3.	Evaluación del concreto en estado fresco	85
6.3.1.	Determinación del asentamiento del concreto hidráulico (COGUANOR NTG 41017 h4/ASTM C143)	85

6.3.2.	Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado (COGUANOR NTG 4103/ASTM C1064)	86
6.3.3.	Densidad aparente (masa unitaria) y rendimiento (volumen producido) del concreto (COGUANOR NTG 41017 h5/ASTM C138)	86
6.3.4.	Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión (COGUANOR NTG 41017 h7/ASTM C231)	87
6.4.	Evaluación del concreto en estado endurecido	88
6.4.1.	Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto (COGUANOR NTG 41017 h1/ASTM C39)	88
6.4.2.	Determinación de la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. (COGUANOR NTG 41071 h15/ASTM C496)	95
6.4.3.	Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz). (COGUANOR NTG 41017 h2/ASTM C78)	97
6.4.4.	Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión. (COGUANOR NTG 41017 h16/ASTM C469)	99
6.4.5.	Método de ensayo para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro. (COGUANOR NTG 41017 h41/ASTM C1202)	107
6.4.6.	Método de ensayo para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido. (COGUANOR NTG 41017 h42)	110
6.4.7.	Resistencia al impacto. (COGUANOR NTG 41081 h1)	112
6.4.8.	Evaluación petrográfica (COGUANOR NTG 41089/ASTM C856)	118
7.	Conclusiones	127
8.	Recomendaciones	129
9.	Bibliografía	131
10.	Anexos	135
10.1.	Ficha técnica de aditivo PolyHeed 789	136
10.2.	Ficha técnica de aditivo MaterGlenium 3020	138
10.3.	Resultados de resistencia a compresión, 0 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	140
10.4.	Resultados de resistencia a compresión, 5 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	142
10.5.	Resultados de resistencia a compresión, 10 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	144
10.6.	Resultados de resistencia a compresión, 15 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	146
10.7.	Resultados de resistencia a compresión, 20 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	148
10.8.	Resultados de resistencia a compresión, 25 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	150

10.9. Resultados de resistencia a compresión, 25 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	152
10.10 Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 0 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	154
10.11 Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 5 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	156
10.12 Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 10 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	158
10.13 Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 15 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	160
10.14 Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 20 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	162
10.15 Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 25 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	164
10.16 Resultados de la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido	166
10.17 Resultados de la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro	167
10.18 Resultados de tracción indirecta, 0 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	169
10.19 Resultados de tracción indirecta, 5 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	170
10.20 Resultados de tracción indirecta, 10 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	171
10.21 Resultados de tracción indirecta, 15 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	172
10.22 Resultados de tracción indirecta, 20 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	173
10.23 Resultados de tracción indirecta, 25 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	174
10.24 Resultados de resistencia al impacto	175
10.25 Resultados de módulo de rotura, 0 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	176
10.26 Resultados de módulo de rotura, 5 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	177
10.27 Resultados de módulo de rotura, 10 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	178
10.28 Resultados de módulo de rotura, 15 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	179
10.29 Resultados de módulo de rotura, 20 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	180
10.30 Resultados de módulo de rotura, 25 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado	181

11. Glosario

Lista de figuras

1.	Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto.	8
2.	Vista diagramática de un aparato apropiado para ensayo a flexión de concreto por el método de carga en los tercios de luz.	20
3.	Frasco El Chatelier para ensayo de densidad.	40
4.	Molde para ensayo de asentamiento	46
5.	Recipiente de medición y medidor de aire	51
6.	Esquema de los modelos de fractura típicos	57
7.	Vista gramática de un aparato para ensayo a flexión de concreto por método de carga en los tercios de luz	58
8.	Compresómetro	61
9.	Equipo de saturación al vacío	64
10.	Esquema constructivo de celda de voltaje	65
11.	Dispositivo de ensayo	69
12.	Vistas generales de un aparato adecuado para marcar diámetros extremos utilizados para alineación del espécimen en la máquina de ensayo	71
13.	Caucho granulado, muestra de 300 gramos.	75
14.	Proceso de tamizado	76
15.	Curva granulométrica tamaño de caucho A (Polvo de 20)	77
16.	Curva granulométrica tamaño de caucho B (Mesh 8, 3-4 mm)	77
17.	Llenado de recipiente con caucho granulado	78
18.	Varillado en capas	79
19.	Determinación de masa de la muestra, dimensiones del recipiente	79
20.	Obtención de la materia orgánica	80
21.	Resultados materia orgánica	81
22.	El Chatelier con querosén	81
23.	Llenado de El Chatelier con caucho granulado	82
24.	El Chatelier en baño de agua con caucho granulado	82
25.	Agregados de AGRECA	83
26.	Aditivo MasterPolyheed 789	83
27.	Aditivo MasterGlenium 3020	84
28.	Caucho granulado, obtenido de RECIAVAN, S.A.	84

29.	Determinación de asentamiento	85
30.	Determinación de masa unitaria	87
31.	Determinación de contenido de aire	88
32.	Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 0 % de caucho granulado .	89
33.	Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 5 % de caucho granulado .	90
34.	Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 10 % de caucho granulado .	91
35.	Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 15 % de caucho granulado .	92
36.	Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 20 % de caucho granulado .	93
37.	Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 25 % de caucho granulado .	94
38.	Gráfica de resistencia a tensión indirecta para cada mezcla con diferentes dosificaciones de caucho granulado	96
39.	Gráfica de módulo de rotura para cada mezcla con diferentes dosificaciones de caucho granulado	98
40.	Evidencia de fallas en vigas	99
41.	Ajuste de compresómetro en cilindro	99
42.	Equipo armado en máquina para empezar a aplicar cargas	100
43.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla control, cilindro 1	102
44.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla control, cilindro 2	102
45.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 5 % de sustitución, cilindro 1	103
46.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 5 % de sustitución, cilindro 2	103
47.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 10 % de sustitución, cilindro 1	104
48.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 10 % de sustitución, cilindro 2	104
49.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 15 % de sustitución, cilindro 1	105
50.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 15 % de sustitución, cilindro 2	105
51.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 20 % de sustitución, cilindro 1	106
52.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 20 % de sustitución, cilindro 2	106
53.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 25 % de sustitución, cilindro 1	107
54.	Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 25 % de sustitución, cilindro 2	107
55.	Sección de 50 mm de espesor recubierta con sellante	108
56.	Especímenes en bomba de vacío	108
57.	Especímenes en celdas de voltaje	109
58.	Gráfica de penetración de ion cloruro vs. porcentaje de sustitución de agregado fino por caucho granulado	110
59.	Especímen de ensayo	111
60.	Especímenes en máquina de ensayo	111
61.	Gráfica de penetración de agua bajo presión vs. porcentaje de sustitución de agregado fino por caucho granulado	112
62.	Recipiente con arena y placa para ensayo	113

63.	Procedimiento de medición de altura y caída de peso	113
64.	Placa de concreto con 0% de adición de caucho después de dos impactos . . .	114
65.	Placa de concreto con 5% de adición de caucho después de dos impactos . . .	114
66.	Placa de concreto con 10% de adición de caucho después de dos impactos . .	115
67.	Placa de concreto con 15% de adición de caucho después de dos impactos . .	115
68.	Placa de concreto con 15% de adición de caucho después de dos impactos . .	116
69.	Placa de concreto con 20% de adición de caucho después de dos impactos . .	116
70.	Placa de concreto con 25% de adición de caucho después de dos impactos . .	117
71.	Placa de concreto con 25% de adición de caucho después de dos impactos . .	117
72.	Aplicación de resina a muestras cortadas	118
73.	Secciones delgadas terminadas	119
74.	Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 0%	119
75.	Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 0%	120
76.	Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 5%	120
77.	Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 5%	121
78.	Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 10%	121
79.	Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 10%	122
80.	Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 15%	122
81.	Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 15%	123
82.	Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 20%	123
83.	Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 20%	124
84.	Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 25%	124
85.	Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 25%	125

Lista de cuadros

1.	Análisis granulométrico de agregados finos	14
2.	Requisitos de granulometría para agregados gruesos	15
3.	Temperatura mínima del concreto al colocarse	17
4.	Diámetro máximo de especímenes de ensayo	19
5.	Diámetro máximo de especímenes de ensayo	22
6.	Clasificación general del agregado según su tamaño.	23
7.	Masa requerida según tamaño máximo nominal del agregado grueso.	35
8.	Asentamientos recomendados para ciertos tipos de construcción	42
9.	Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire	43
10.	Relación agua/cemento y resistencia a compresión	44
11.	Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto	44
12.	Número de capas requeridas para los especímenes	54
13.	Diámetro de varilla y número de golpes por capa	54
14.	Edades de ensayo y tolerancias admisibles	56
15.	Granulometría tamaño de caucho A (Polvo de 20)	76
16.	Granulometría tamaño de caucho B (Mesh 8, 3-4 mm)	76
17.	Masa unitaria de muestra A (polvo de 20)	80
18.	Masa unitaria de muestra B (Mesh 8, 3-4 mm)	80
19.	Diseños de mezclas	85
20.	Asentamiento para mezclas con diferentes dosificaciones	86
21.	Temperatura ambiente y de concreto para cada mezcla	86
22.	Densidad aparente de cada mezcla	87
23.	Contenido de aire de cada mezcla	88
24.	Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 0 % de caucho granulado	89
25.	Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 5 % de caucho granulado	90
26.	Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 10 % de caucho granulado	91
27.	Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 15 % de caucho granulado	92
28.	Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 20 % de caucho granulado	93
29.	Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 25 % de caucho granulado	94
30.	Resultados de resistencia a tracción indirecta	96
31.	Resultados de módulo de rotura	97

32.	Resultados de módulo de elasticidad y de módulo de Poisson	101
33.	Resultados de penetración de ion cloruro	109
34.	Resultados de penetración de agua bajo presión	112

Con el fin de proporcionarle características especiales, como ductilidad y mayor resistencia a flexión, a las mezclas de concreto convencionales, se propone el uso de caucho granulado como sustituto parcial del agregado fino. Además, se da una solución al problema de contaminación que causa la acumulación de llantas. El caucho granulado se genera a partir de llantas de desecho, su producción consiste en eliminar el acero y pelusa de la llanta, luego se utiliza un molino granulador mecánico para reducir el tamaño de las partículas del neumático.

Para este trabajo de graduación se prepararon seis diseños de mezcla de concreto, conteniendo 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 25 % de reemplazo parcial de agregados finos por caucho granulado. A lo largo de este estudio se utilizó cemento CFB, que es un cemento tipo ARI (Alta Resistencia Inicial), y dos tamaños de caucho granulado. Los dos tamaños de caucho se mezclaron en partes iguales para la sustitución, el primero tiene un tamaño de 3-4 mm y una densidad de 1.15 g/cm³; el segundo es polvo con una densidad de 1.19 g/cm³.

La metodología consistió en seleccionar materia prima y clasificarla de acuerdo a su granulometría y densidad. Posteriormente se realizaron ensayos en concreto fresco y endurecido, entre otros: resistencia a compresión, resistencia a tracción indirecta, módulo de rotura, penetración de ion cloruro, penetración de agua, impacto, siguiendo los lineamientos de las normas COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas) y ASTM (American Society for Testing and Materials). A partir de los resultados obtenidos, se compararon las mezclas de acuerdo a sus características.

In order to provide special characteristics to conventional concrete mixes, such as ductility and greater flexural strength, the use of granulated rubber is proposed as partial substitute of fine aggregate. In addition, this offers a solution to reduce contamination because of rubber tire accumulation. The granulated rubber is generated from waste tires. At first, the steel and lint are removed from this tires, then rubber particles are reduced in size, by the use of a mechanical granulator mill.

The methodology consisted of raw materials selection and classification according to its grain size and density. Then, tests on fresh and hardened concrete were carried out, among others: compressive strength, indirect tensile strength, rupture module, chloride ion penetration, water penetration, impact, all of them following the guidelines of the COGUANOR Standards (Guatemalan Standards Commission) and ASTM (American Society for Testing and Materials). From the results obtained, the mixes were compared according to their characteristics.

For this project, six concrete mix designs were prepared, containing 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % and 25 % replacement of fine aggregates, using granulated rubber instead. Throughout this study CFB cement was used, which is an HE Type cement (High-Early Strength) , according to Guatemalan Standard COGUANOR NTG 41095 (ASTM C1157), as well as two different sizes of granulated rubber. The two granulated rubber sizes were mixed in equal parts for fine aggregate replacement, the first granulated rubber aggregate has a size of 3-4 mm and a density of 1.15 g/cm³; the second granulated rubber aggregate is powder with a density of 1.19 g/cm³.

Con el fin de proporcionarle al concreto características especiales que pueden ser aprovechadas en algunas aplicaciones específicas, se plantea la metodología de aprovechar residuos de caucho de llanta para sustituir parcialmente la arena utilizada como agregado fino en las mezclas de concreto.

El concreto hidráulico es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena, grava y en algunos casos de aditivos. Es actualmente el material más utilizado en la industria de la construcción, por su duración, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción y economía. Los pavimentos con concreto hidráulico son diseñados para soportar esfuerzos a flexión y deben tener la capacidad de absorber los esfuerzos y distribuirlos en el suelo. A pesar de sus muchas ventajas, es posible mejorar sus propiedades adicionándole materiales que le provean nuevas características.[1]

El caucho granulado se genera a partir de llantas recicladas de automóviles. Su producción consiste en eliminar el acero y pelusa de la llanta y las partes resultantes de caucho se reducen de tamaño utilizando un molino granulador de tipo mecánico, hasta obtener partículas de caucho granulado del tamaño deseado. Es posible agregar el caucho granulado a las mezclas de concreto, para proveer ventajas ligadas al cuidado del medio ambiente, permitiendo reducir la quema de neumáticos reduciendo emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes, como la dioxina y el furano, también para reducir los focos de infección provocados por el almacenamiento de llantas usadas. Además, la adición del caucho granulado a las mezclas de concreto permite mejorar sus propiedades mecánicas, al mejorar la falla frágil del concreto e incrementar su capacidad de absorber energía antes de una falla, también se produce un comportamiento dúctil ante las deformaciones previas a la falla total del concreto.[2]

El concreto con adición de caucho granulado, además de ser utilizado en construcción de carreteras, puede ser implementado en canchas deportivas, banquetas, sobrecarpetas en estacionamientos, capas de nivelación en pisos y otros. En Guatemala, la implementación de este material ayudaría a reducir la contaminación ambiental y a mejorar el tiempo de vida útil de las construcciones, permitiendo disminuir gastos de mantenimiento y obtención de

materias primas para la elaboración del concreto.

Para clasificar el caucho granulado como sustituto para agregado fino en mezclas de concreto se realizó un muestreo de agregado y se clasificó de acuerdo a su granulometría según la norma COGUANOR NTG 41010 h1, basada en la ASTM C 136. De acuerdo a las características del caucho como agregado, se realizaron diseños de mezclas, con cemento, agua, agregado grueso, aditivos químicos, sustituyendo el agregado fino por caucho granulado. Se estudiaron las propiedades mecánicas del concreto con adición de caucho granulado y se compararon las mezclas con diferentes dosificaciones entre sí, realizando ensayos a compresión y flexión a 7 y 28 días para determinar su resistencia.

Los resultados obtenidos de las pruebas se compararon para proponer el mejor uso de cada mezcla, según su dosificación de caucho granulado y de acuerdo a su resistencia a compresión y flexión, también evaluar si su uso es viable para elementos estructurales o solo para acabados y capas superficiales de recubrimientos.

Las llantas han sido parte del desarrollo y progreso de las sociedades a través del tiempo, pero al terminar su vida útil ocasionan problemas de contaminación. Las llantas tienen un tiempo de vida muy corto, comparado con su tiempo de degradación, que puede llegar hasta 1000 años. El consumo de caucho mundial está en aumento, se estima que 1,500 millones de llantas se desechan al año en el mundo entero. Debido a la creciente cantidad de llantas en desuso, es necesario establecer un plan que contribuya a disminuir estos desechos y a darles un nuevo uso.

El sector de la construcción crece cada día y sin duda, hay una necesidad latente de modificar las propiedades del concreto para que éste se adapte a los requerimientos que tiene la construcción en la actualidad, otorgándole propiedades que le permitan construir edificaciones más durables y económicas. La resistencia, ductilidad y durabilidad del concreto son propiedades que se buscan mejorar, al incorporar caucho en el concreto, se obtiene un aumento en elasticidad. También se incorporan ventajas como la absorción de impacto y aislamiento térmico en la construcción de carreteras, canchas deportivas y fachadas.

La necesidad de realizar este trabajo de investigación consiste en impulsar la reutilización del caucho de llantas y transformar este material en materia prima para otro material que es utilizado en forma masiva, como el concreto, y con esto contribuir a disminuir la contaminación. También se impulsaría la reducción de obtención de materia prima, como la arena, que, al ser obtenida, por métodos de minería a cielo abierto, puede percibirse como contaminación al contribuir, aunque sea en menor medida, a la emisión de gases de efecto invernadero. Al adicionar caucho, se estaría ofreciendo en las mezclas de concreto una alternativa ecológica y funcional que mejora las propiedades del concreto y hace su utilización viable para proyectos nuevos con aplicaciones específicas, buscando alargar el tiempo de vida del concreto.

3.1. Objetivo General

Determinar las características físicas y propiedades mecánicas del concreto, sustituyendo parcialmente la arena utilizada como agregado fino por caucho granulado, empleando procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables para comparar el efecto de la sustitución de agregado fino por caucho.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar física y mecánicamente el caucho granulado como agregado de concreto, con base a procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables, para predecir su comportamiento en las mezclas de concreto.
- Diseñar mezclas de concreto con sustitución de agregado fino por caucho granulado, para obtener la resistencia a compresión y tensión de cada mezcla, y proponer usos para cada una de acuerdo a sus propiedades mecánicas.
- Evaluar y comparar el concreto convencional, con las mezclas que contienen caucho granulado, en estado fresco y endurecido por medio de procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables.

4.1. Particularidades del concreto

4.1.1. Definición del concreto

El concreto consiste en una mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. La mezcla de cemento, agua y arena constituyen el mortero, su función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas. Para obtener un buen concreto es necesario tener materiales de buena calidad, mezclados en proporciones correctas y también se deben tomar en cuenta factores como el proceso de mezclado, transporte, colocación o vaciado y curado. [1]

El material de construcción más utilizado actualmente en el mundo es el concreto, su composición permite que sea durable, resistente, impermeable y de fácil producción. El concreto es producido de acuerdo a normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieran en un proyecto determinado. [3]

Material compuesto que consiste esencialmente de un medio ligante dentro del cual hay partículas o fragmentos de agregado, generalmente una combinación de agregado fino y agregado grueso; en el concreto, el ligante es una mezcla de cemento hidráulico y agua. [4]

4.1.2. Componentes del concreto

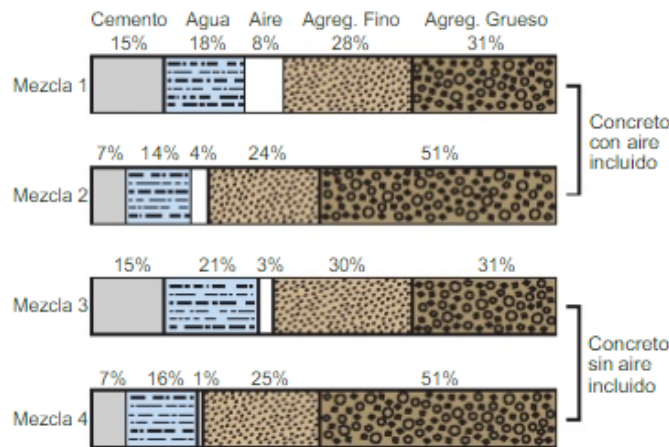
Como hemos visto en las definiciones anteriores, el concreto es básicamente una mezcla de agregados y pasta. La pasta está compuesta de cemento y agua, su función es unir los agregados y crear una masa con consistencia similar a la de una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua, otros materiales cementantes y adiciones minerales. [5]

La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido. La

pasta constituye aproximadamente del 25 % hasta el 40 % del volumen total del concreto. El volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7 % y 15 % y el volumen del agua está entre 14 % y 21 %. El contenido de aire atrapado varía del 4 % hasta 8 % del volumen. Como los agregados constituyen aproximadamente del 60 % al 75 % del volumen total del concreto, su selección es muy importante. [5]

En la figura 1 se muestran las variaciones de cada componente de la pasta, Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.

Figura 1: Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto.



Fuente: Kosmatha, et al (2004)

4.1.3. Cemento

El cemento es un material inorgánico y finamente pulverizado, que al agregarle agua y mezclarlo con agregados y otros materiales, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, debido a reacciones químicas, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad. [6]

El cemento se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos. [1] El Clinker está constituido esencialmente por los siguientes componentes:

1. Silicato tricálcico: le brinda su resistencia inicial, e influye directamente en el calor de hidratación. [1]
2. Silicato dicálcico: define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.[1]
3. Aluminato tricálcico: es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno, se debe añadir yeso durante la fabricación del cemento. [1]

4. Aluminio-Ferrito Tetracálcico: influye en la velocidad de hidratación y en el calor de hidratación. [1]
5. Componentes menores: Óxidos de magnesio, potasio, sodio, magnesio y titanio. [1]

El cemento se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos. [1] El Clinker está constituido esencialmente por los siguientes componentes:

- Cementos Portland, que son cementos a base de Clinker con incorporación de sulfato de calcio (yeso).
- Cementos Hidráulicos, que son cementos a base de Clinker, sulfato de calcio y adición de otros materiales suplementarios, como las puzolanas naturales y artificiales.

La norma COGUANOR NTG 41095 especifica los tipos de cemento hidráulico y su clasificación de acuerdo a sus propiedades específicas. Se indican siete tipos de cementos hidráulicos:

- Tipo UGC - Cemento Hidráulico para Uso General en la Construcción: Debe utilizarse en toda clase de obras, pequeñas, medianas o grandes, donde no se requieran otros tipos de cementos con propiedades especiales. [7]
- Tipo ARI - Alta Resistencia Inicial: Para obras especiales de concreto simple, reforzado y pre-esforzado de endurecimiento rápido y altas resistencias iniciales. Para la prefabricación liviana y de elementos estructurales y cuando se requiere desencofrado y desmoldado rápido. [7]
- Tipo DLR - Desarrollo Lento de Resistencia: Para la estabilización de suelos, concreto compactado con rodillo, para pavimentos y presas. Se debe despachar a granel. [7]
- Tipo MRS - Moderada Resistencia a los Sulfatos: Para concretos en aguas y terrenos que contienen sulfatos. Concretos en aguas marinas o en ambientes marinos y concretos expuestos a concentraciones moderadas de sulfatos de calcio, sodio y magnesio, en aguas o suelos. [7]
- Tipo ARS – Alta Resistencia a los Sulfatos: Para concretos en aguas y terrenos que contienen sulfatos. Concretos en aguas marinas o en ambientes marinos y concretos expuestos a concentraciones altas de sulfatos de calcio, sodio y magnesio, en aguas o suelos. [7]
- Tipo MCH – Moderado Calor de Hidratación: Para obras de concreto masivo susceptibles de fuertes retracciones por variaciones térmicas y peligro de fisuración (presas, estribos, cimentaciones, muros gruesos y grandes losas). Para obras de concreto normal en ambientes muy calurosos. [7]
- Tipo Hidratación: Se utiliza cuando interesa que el concreto desarrolle poco calor a partir de la hidratación del cemento, como es el caso de las presas de concreto, bases de grandes dimensiones y otras construcciones masivas. [7]

4.1.4. Agua

El agua es un componente esencial para que el cemento desarrolle su capacidad ligante. Para cada mezcla de cemento existe una cantidad de agua, del agua total de la agregada, que se requiere para la hidratación del cemento. El resto del agua sólo sirve para aumentar la fluidez de la pasta y que se puedan lubricar los agregados para obtener una trabajabilidad adecuada en las mezclas frescas. [3]

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor puede ser usada como agua de mezcla para preparar concreto, también se pueden usar aguas que no se consideren potables. El exceso de impurezas en el agua de mezcla puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de durabilidad. [5]

Según la norma COGUANOR NTG 41073, el agua de mezcla para uso en la producción de concreto de cemento hidráulico debe consistir de: agua dosificada, pesada o medida a través de la unidad dosificadora de la planta, hielo, agua añadida por el operador del camión mezclador, agua libre contenida en los agregados y el agua introducida por el uso de aditivos cuando esta incrementa la relación agua-materiales cementantes en más de 0.01 %.

Para fuentes de agua de mezcla no potable propuesta para uso como agua total de mezcla en toma de agua de mezcla combinada, se aplica lo siguiente al agua de mezcla combinada total:

- El agua debe ser ensayada para determinar su cumplimiento antes de su primer uso y cuando se tenga razón para sospechar que pudo haber ocurrido un cambio en las características de la fuente se debe hacer ensayos cada tres meses. Se permite hacer ensayos con una menor frecuencia, pero no menor a un año, solamente cuando el agua cumpla con los requisitos. [8]
- El fabricante debe mantener una evidencia documentada de que las características del agua de mezcla combinada cumplen con los requisitos. Los ensayos se deben realizar antes del primer uso del agua de mezcla, y luego cada seis meses si existe una sospecha de un cambio en las características de la fuente. [8]

Al evaluar el efecto del agua sobre el concreto, es importante analizar como esta se comportará con cada aditivo que será usado en la mezcla. Algunos compuestos en el agua pueden influenciar el desempeño y la eficiencia en ciertos aditivos. [5]

4.1.5. Aditivos

Son materiales agregados antes y/o durante el mezclado del concreto. Estos se utilizan para mejorar el desempeño del concreto y para disminuir sus costos. A continuación, se describen varios de los tipos más comunes de aditivos. [9]

- Los aditivos incorporadores de aire cumplen con los requisitos COGUANOR NTG 41069 (ASTM C260) y (ASTM C618); son utilizados principalmente para incrementar

la resistencia del concreto ante situaciones de congelamiento y deshielo. Proporcionan una resistencia mayor a la acción nociva de las sales descongelantes. Estos agentes inclusores de aire provocan la formación de espuma en el agua de mezclado, como resultado se obtiene una gran cantidad de burbujas de aire compactadas en el concreto. El agua penetra en estas burbujas de aire cuando el concreto se congela, esto alivia la presión ejercida sobre el mismo. Al momento del deshielo; el agua puede salir de las burbujas, esto resulta en un menor agrietamiento. [9]

- Los aditivos aceleradores, tales como el cloruro de calcio, aceleran el desarrollo de la resistencia temprana. Los resultados de adicionar estos aceleradores (particularmente útiles en climas fríos) son la reducción de tiempo requerido para el curado y la protección del concreto, de igual forma el pronto retiro de la formaleta es parte de los resultados. El Código ACI establece que, debido a problemas de corrosión, el cloruro de calcio no debe agregarse a concretos con aluminio ahogado, ni a concretos fundidos en formaletas de acero galvanizado permanentemente, ni a concretos presforzados). existen otros aditivos aceleradores que pueden utilizarse, dentro de este rango se incluyen varias sales solubles y otros compuestos orgánicos. [9]
- Para retardar el fraguado del concreto y para disminuir el aumento de temperatura se utilizan los aditivos retardadores. Estos consisten en varios ácidos o azúcares, o derivados del azúcar. Es un truco muy conocido y utilizado, aunque de ninguna manera recomendado, el de llevar consigo una bolsa de azúcar para añadirla al concreto a la hora de encontrarse con tráfico denso o complicaciones durante el transporte del concreto. Los aditivos retardadores son particularmente útiles al realizar grandes fundiciones, pues en estas se pueden presentar grandes incrementos de temperatura. Estos aditivos también prolongan la plasticidad del concreto, lo cual resulta en mejorías en el mezclado o adherencia entre fundiciones sucesivas. Desacelerar la hidratación del cemento en superficies de concreto expuestas o cubiertas por formaleta, es otra de las funciones que se le pueden dar a los retardadores, esto produce acabados atractivos con agregado aparente. [9]
- Los aditivos superplastificantes están compuestos a partir de sulfonatos orgánicos, aunque actualmente aditivos de diferentes compuestos pueden generar el mismo resultado. Su uso reduce de manera considerable el contenido de agua en los concretos, mientras que incrementan el asentamiento al mismo tiempo. Los superplastificantes también mantienen las proporciones agua-cemento constantes al agregar menos cemento y se emplean con mayor frecuencia para producir concretos manejables con resistencias considerablemente superiores, esto puede darse a pesar de dosificar las mismas cantidades de cemento. El concreto autocompactable, que es un concreto relativamente reciente, utiliza superplastificantes, otras adiciones y modificaciones en las proporciones de las mezclas para producir una mezcla muy manejable que no requiere de vibración, aun en situaciones de colocaciones congestionadas. [9]
- Los materiales impermeables al agua son aplicados, usualmente, a las superficies recién endurecidas de concreto, pero también pueden agregarse durante la mezcla del concreto. Esos aditivos, generalmente son productos derivados del petróleo; como las emulsiones asfálticas, por ejemplo. Pueden ayudar a retardar la penetración del agua en concretos porosos y a la inversa; no son de mucha ayuda en los concretos densos bien curados. [9]

En la norma COGUANOR NTG 41070 de especificaciones de aditivos químicos para concreto, se especifican 8 tipos:

- Tipo A – Aditivos reductores de agua: Reducen la cantidad de agua de mezclado requerida para producir concreto de una consistencia dada. [10]
- Tipo B – Aditivos retardadores: Retardan el fraguado del concreto. [10]
- Tipo C – Aditivos aceleradores: Acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto. [10]
- Tipo D – Aditivos reductores de agua y retardadores: Reducen la cantidad de agua de mezclado requerida para producir concreto de una consistencia dada y retarda el fraguado del concreto. [10]
- Tipo E – Aditivos reductores de agua y aceleradores: Reducen la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada y acelera el fraguado y desarrollo de la resistencia inicial del concreto. [10]
- Tipo F – Aditivos reductores de agua de alto rango: Reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada en un 12% o más. [10]
- Tipo G – Aditivos reductores de agua, de alto rango, y retardadores: Reducen la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada en un 12% o más y retarda el fraguado del concreto. [10]
- Tipo S – Aditivos de desempeño específico: Proveen las características de desempeño deseables, diferentes a la reducción del contenido de agua o a las del cambio del tiempo de fraguado o a la combinación de las dos, sin producir efectos adversos sobre las propiedades del concreto endurecido y su durabilidad. Se excluyen los aditivos que se usan primariamente para la manufactura de productos de concretos moldeados en seco. [10]

4.1.6. Agregados

Los agregados son materiales inertes de forma granular, naturales o artificiales, que al ser aglomerados por el cemento en presencia de agua conforman el concreto. Como agregados para concreto se pueden considerar todos aquellos materiales que, teniendo una resistencia propia suficiente, no afectan las propiedades y características del concreto. También deben garantizar tener una buena adherencia con la pasta endurecida. [11]

Los agregados que son utilizados en concreto ocupan aproximadamente tres cuartas partes del volumen de este mismo. Al ser más económicos que el cemento, es preferible utilizar una mayor cantidad posible. Se pueden emplear tanto agregados finos (generalmente arena) como gruesos (usualmente grava o piedra triturada). Un agregado fino es definido como cualquier agregado que pasa la malla No. 4 (malla con alambres separados $\frac{1}{4}$ plg. entre sí en ambas direcciones). [9]

Material granular, como la arena, la grava, la roca triturada, la escoria de alto horno o el concreto hidráulico triturado que se usa en un medio cementante hidráulico para producir mortero y concreto. [4]

Los tamaños máximos que pueden alcanzar los agregados aptos para utilizarse en concreto reforzado están especificados en la sección 26.4.2.1(a) del ACI 318-14. Estos valores límites son los siguientes: Un quinto de la dimensión más corta entre los lados de la formaleta, un tercio del espesor de las losas, o tres cuartos de la separación libre mínima entre las varillas de refuerzo. Podrían utilizarse tamaños mayores si la manejabilidad del concreto y su método de consolidación son tales que el agregado en uso no ocasionara la formación de vacíos o de una estructura alveolar, esto siempre respaldado con sus debidos análisis y precauciones. [9]

Los agregados deben ser fuertes, durables y limpios. En caso de haber polvo u otras partículas, estas pueden interferir en la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados. La resistencia de los agregados tiene un efecto importante y se refleja en la resistencia del concreto, y las propiedades de los agregados pueden llegar a afectar de forma considerable la durabilidad del concreto. [9]

Las funciones principales del agregado en el concreto son:

- Proporcionar un relleno adecuado a la pasta, para que se reduzca el contenido de está por unidad de volumen. Esto causa una reducción en el costo de la unidad cúbica de concreto. [12]
- Proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste que actúen sobre el concreto. [12]
- Reducir los cambios de volumen causados por los procesos de fraguado, endurecimiento, humedecimiento, secado y calentamiento de la pasta. [12]

Debido a que el concreto está constituido en su mayor parte por agregados, sus propiedades dependen de las características y propiedades de los agregados. Es de suma importancia conocer las características de los agregados para que el concreto sea de calidad y económico. [11] Las propiedades del concreto dependen de:

- La composición mineral del agregado. Esta influye en la resistencia, durabilidad y elasticidad del concreto. [12]
- Las características superficiales de las partículas. Estas influyen en la trabajabilidad, fluidez y consistencia del concreto, también colaboran a la adherencia entre la pasta y el concreto. [12]
- La granulometría de los agregados, su superficie específica, módulo de fineza y tamaño máximo. Estas propiedades influyen sobre el estado del concreto no endurecido, densidad y determinan la cantidad de pasta, por lo tanto, su economía. [12]
- El volumen de agregado por unidad de volumen del concreto. Influye en los cambios de volumen causados por los procesos de humedecimiento y calentamiento, también en el costo por unidad cúbica de concreto. [12]

- La porosidad y absorción del agregado. Influyen sobre la relación agua-cemento efectiva, también sobre las propiedades del concreto en estado fresco. [12]

Agregados finos

El agregado fino puede ser arena natural o manufacturada, sus partículas deben ser limpias, de perfil aparentemente angular, duras, compactas, resistentes, libres de polvo, terrones, partículas escamosas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas para el concreto. El agregado fino proviene de la desintegración natural o artificial de las rocas. [12]

Según la norma COGUANOR NTG 41007, basada en la norma ASTM C33, el agregado fino puede ser arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas. [13] El agregado fino debe ser graduado dentro de los siguientes límites:

Cuadro 1: Análisis granulométrico de agregados finos

Tamiz (Esp. ASTM E11)	Porcentaje que pasa Arena Natural	Porcentaje que pasa Arena Manufacturada
9.5 mm (3/8'')	100	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100	80 a 95
1.18 mm (No. 16)	50 a 85	45 a 95
600 μ m (No. 30)	25 a 60	25 a 75
300 μ m (No. 500)	5 a 30	10 a 35
150 μ m (No. 100)	0 a 10	8 a 20

Fuente: COGUANOR. (s.f.)

Agregados gruesos

El agregado grueso puede consistir de piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, concreto triturado, o una combinación. El agregado grueso está conformado por partículas cuyo perfil es angular o semi angular, son partículas limpias, duras, compactas, resistentes con textura rugosa y libres de material escamoso o partículas blandas. Las partículas deben ser químicamente estables y libres de escamas, tierra, polvo, limo, sales, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica y cualquier otra sustancia dañina. [12]

De acuerdo a la especificación de agregados para concreto COGUANOR NTG 41007, basada en la ASTM C33, la granulometría del agregado grueso se muestra en la siguiente tabla:

Cuadro 2: Requisitos de granulometría para agregados gruesos

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) mm	Cantidades más finas que pasan por un tamiz (abertura cuadrada) en porcentaje de masa														
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	300 mm	
1	90 a 37.5	100	100 a 90	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-	
2	63 a 37.5	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-	
3	50 a 25.0	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	
357	50 a 4.75	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	-	-	0 a 5	-	-	-	
4	37.5 a 19.0	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	
467	37.5 a 4.75	-	-	-	-	100	95 a 100	-	37 a 70	-	10 a 30	-	-	-	-	
5	25.0 a 9.5	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-	
56	25.0 a 4.75	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-	
57	25.0 a 4.75	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-	
6	19.0 a 9.5	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-	
67	19.0 a 4.75	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	
7	12.5 a 4.75	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-	
8	9.5 a 2.36	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-	
89	9.5 a 1.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
gA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: COGUANOR. (s.f.)

4.2. Propiedades del concreto en estado fresco

4.2.1. Trabajabilidad y asentamiento

Trabajabilidad es la propiedad del concreto o mortero fresco recién mezclado que determina la facilidad con la que este puede ser mezclado, colocado, consolidado y acabado a una condición homogénea. [4]

La trabajabilidad es una propiedad que se puede describir como el esfuerzo que se requiere para transportar, colocar y compactar el concreto y depende de la fluidez o consistencia del mismo. Se considera que mientras aumenta la fluidez del concreto, aumenta su trabajabilidad. Es importante considerar la cantidad de agua que se le agrega a la mezcla, porque aparte de aumentar su fluidez, disminuye su resistencia y causa problemas de cohesión, que causan, segregación de la mezcla. [6]

El ensayo de asentamiento del concreto o prueba de cono de Abrahams es un método que se utiliza para medir la consistencia del concreto. El método de ensayo COGUANOR NTG 41017 h4, titulado "Determinación del asentamiento del concreto hidráulico", está basado en la norma ASTM C143 y tiene como finalidad proporcionar un método de monitoreo de la consistencia del concreto en estado fresco. En condiciones de laboratorio el asentamiento aumenta proporcionalmente con el contenido de agua en una mezcla, siendo inversamente proporcional a la resistencia del concreto. [14]

La granulometría de los agregados influye en la trabajabilidad del concreto, por lo que es necesario medirla frecuentemente y realizar los ajustes necesarios a la mezcla. Se debe hacer un análisis periódico de los agregados utilizados para ajustar las cantidades en el diseño de la mezcla. La utilización de aditivos reductores de agua ayuda a mejorar la trabajabilidad y la resistencia del concreto. [15]

4.2.2. Temperatura

La temperatura del concreto se toma para verificar el cumplimiento con un requisito específico del diseño de mezcla, también para predecir el comportamiento del concreto en una condición determinada. Durante la fundición en campo de elementos masivos, es importante que el comportamiento térmico del concreto se defina en el diseño estructural y de mezcla y se controle durante el vaciado. La posibilidad de agrietamiento por tensión térmica se debe evitar y se debe de tomar en cuenta que puede suceder en la superficie y dentro de la masa de concreto. [16]

La medición de temperatura del concreto hidráulico se realiza bajo los procedimientos del método de ensayo COGUANOR NTG 41053, que se basa en la norma ASTM 1064. Mientras el concreto pasa de estado plástico a endurecido, el cambio de temperatura debe ser poco, para evitar grietas. En estructuras masivas, cuando la temperatura de colocación está a 6 °C por debajo del promedio de la temperatura del aire, resultará en una baja de alrededor de 3 °C de la máxima temperatura que el concreto alcanzará. [17]

De acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41068, basada en la norma ASTM C94,

“Especificaciones normalizadas para el hormigón premezclado”, especifica que la temperatura máxima del concreto producido por áridos calentados y/o agua caliente, no debe exceder los 90°F (32°C), durante su proceso de producción o transporte. [18] El concreto que se entregue en climas fríos debe de tener la temperatura mínima aplicable de la siguiente tabla:

Cuadro 3: Temperatura mínima del concreto al colocarse

Tamaño de las secciones pulg. (mm)	Temperatura Mínima °F (°C)
<12 (<30)	55 (13)
12 - 36 (300 - 900)	50 (10)
36 - 72 (900 -1800)	45 (7)
>72 (>1800)	40 (5)

Fuente: American society for testing and materials. (2009)

4.2.3. Exudación

La exudación es el desarrollo de una capa de agua en la superficie del concreto al momento de ser colocado, esto se debe a la sedimentación de partículas sólidas del cemento y los agregados, y de la subida simultanea del agua a la superficie. La exudación puede ser útil para controlar la fisuración por contracción plástica. La excesiva exudación es un problema, y causa que la relación agua-cemento aumente en la superficie, creando una capa superficial débil y poco durable, especialmente si se realiza el acabado con el agua de la exudación aun presente en la superficie. [5]

Luego de que el agua resultante de la exudación se evaporé, la superficie endurecida del concreto va a ser un poco más baja que la del concreto recién colocado, esta disminución de la altura se llama retracción por sedimentación. La tasa de exudación y la capacidad de sedimentación por unidad de peso del concreto original, aumentan con la cantidad inicial de agua, altura del elemento de concreto y presión. El uso de agregados con granulometría adecuada y el aire incluido reducen la exudación. [5]

4.2.4. Peso unitario o masa unitaria

El peso unitario es el peso varillado de una muestra representativa del lote de concreto y se expresa en kg/m^3 . El peso unitario del concreto se obtiene restando el peso del molde al peso total del concreto. El peso unitario del concreto depende de la gravedad específica del agregado, de la cantidad de aire que hay en la mezcla y de sus proporciones. Las propiedades del agregado determinan la cantidad de agua de la mezcla. Cuando la gravedad específica de los agregados es mayor que la de la pasta, el peso unitario del concreto aumenta y se disminuye el volumen total del lote. [5]

Las siguientes características de los agregados afectan el peso unitario del concreto:

- Gravedad específica
- Granulometría

- Perfil y textura superficial
- Condición de humedad
- Grado de compactación de masa

Cuando se aumenta el contenido de humedad en el agregado grueso, incrementa el peso unitario. En el caso del agregado fino, cuando se incrementa la humedad, superando la condición saturada superficialmente seca, disminuye el peso unitario del concreto debido a que se compactan más las partículas incrementando el volumen. [14]

El método de ensayo COGUANOR NTG 41017 h5, titulada "Densidad aparente (masa unitaria) y rendimiento (volumen de concreto producido) del concreto", cubre la determinación del peso unitario del concreto. Este método de ensayo de basa en la norma ASTM C138.

4.2.5. Contenido de aire

El contenido de aire es una prueba que se realiza al concreto fresco, esta propiedad se verifica especialmente en los concretos con aire inducido intencionalmente. El aire puede ser incorporado a la mezcla por las propiedades de los materiales que lo componen. Una cantidad apropiada de aire en el concreto, en estado fresco, produce efectos deseables, mejorando su trabajabilidad y disminuyendo la segregación. En estado endurecido mejora la durabilidad del concreto y contra resta el efecto del congelamiento y deshielo, también reduce la permeabilidad. [12]

El aire incluido intencionalmente en el concreto se conoce como aire incorporado, mejora la trabajabilidad y durabilidad del concreto al desarrollar tensión hidrostática que causa un aumento en la cohesividad de la mezcla. La mayoría de mezclas de concreto son dosificadas con aditivos inclusores de aire para obtener las propiedades deseadas. El agregado fino hace que se acumule una mayor cantidad de aire en la mezcla, por eso es necesario tomar en cuenta la granulometría del mismo. Las partículas de agregado fino que más aire acumulan en la muestra son las que pasan el tamiz No. 30 y quedan retenidas en el No. 100. [19]

El método de ensayo para determinar el contenido de aire en una mezcla de concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión COGUANOR NTG 41017 h7, está basado en la norma ASTM C231. [19]

4.3. Propiedades del concreto en estado endurecido

4.3.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión es la propiedad mecánica principal del concreto, es la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y psi. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se utilizan para determinar que la mezcla suministrada cumpla con los requerimientos

de resistencia especificada Se puede utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras. [20]

Los cilindros que deben ser sometidos a ensayos de aceptación para pruebas de calidad se elaboran y curan de acuerdo a los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C39) Práctica Estándar para Elaborar y Curar Probetas de Ensayo de Concreto en Campo. Para estimar la resistencia del concreto in situ la norma COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C39), presenta procedimientos para las pruebas de curado en campo. Los cilindros de concreto se ensayan de acuerdo con la norma COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C39), Método Estándar de Prueba de resistencia a compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto. [20]

Para obtener un resultado confiable en una prueba, es necesario tomar el resultado promedio de por lo menos 2 pruebas de resistencia curadas de forma estándar, elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayo a la misma edad. En Guatemala la edad normativa en la que se mide la resistencia mecánica del concreto es a 28 días, es común determinar la resistencia en periodos de tiempo distinto a los de 28 días con propósitos informativos, las edades usuales en tales casos pueden ser: 1, 3, 7, 14, 56, 90 y 360 días. [20]

Según la norma COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C39), el método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado o núcleo a una razón que está dentro del rango prescrito antes de que la falla ocurra. Este método de ensayo es usado para determinar el esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo a las prácticas COGUANOR NTG 41060 (ASTM C192).

Según la Norma Técnica Guatemalteca 41017 h1, Método de Ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, que se basa en la norma ASTM C39, el método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, como cilindros moldeados y núcleos perforados. Este ensayo está limitado al concreto que tiene una masa unitaria mayor que 800 kg/m^3 o 50 lb/pe^3 . La norma específica que 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%, se muestran los diámetros máximos de los especímenes de ensayo.

Cuadro 4: Diámetro máximo de especímenes de ensayo

Diámetro máximo de especímenes de ensayo mm (pulg.)	Diámetro de la cara de apoyo mm (pulg.)
50(2)	150(4)
75(3)	130(5)
100(4)	165(6.5)
150(6)	255(10)
200(8)	280(11)

Fuente: COGUANOR. (2017)

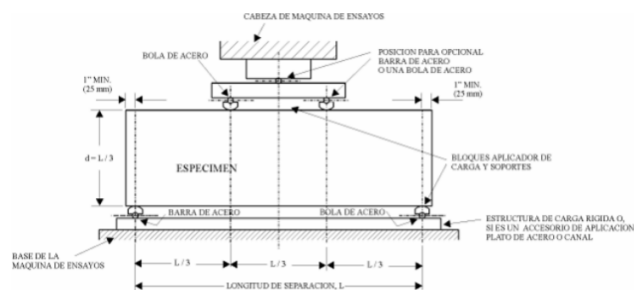
4.3.2. Resistencia a la flexión

De acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41017 h2 (ASTM C78), la resistencia a la flexión del concreto es una medida de la resistencia a la tracción. La resistencia a la flexión se expresa como módulo de rotura en libras por pulgadas cuadradas (MPa). El módulo de rotura es aproximadamente del 10 % al 20 % de la resistencia a la compresión y depende del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso. El módulo de rotura se utiliza como base para determinar el proporcionamiento de la mezcla y las operaciones de mezclado y colocación del concreto. La resistencia a la flexión del concreto se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6x6 pulgadas de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor, se puede determinar mediante los métodos de ensayo COGUANOR NTG 41017 h2 (ASTM C78), en donde la viga se carga en los puntos tercios. [21]

La norma COGUANOR NTG 41017 h2, método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz), especifica que para este método se deben utilizar bloques de carga que aseguren las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y que sean aplicadas sin excentricidad. Todos los aparatos que se utilizan para realizar ensayos de flexión de concretos deben de mantener la longitud de separación especificada y las distancias entre los bloques de aplicación de carga y los bloques soporte constantes dentro de ± 1.3 mm. [21]

Al utilizar un aparato como el que se muestra en la Figura 2, los bloques aplicadores de carga y los bloques soportes no deben tener más de 64 mm (2 1/2 pulg.) de altura, medido desde el eje del pivote y deben extenderse a través o más allá del ancho total del espécimen. Cada superficie endurecida de aplicación de carga en contacto con el espécimen no debe variar con su plano por más de 0.05 mm (0.002 pulg.) y debe ser una porción de un cilindro cuyo eje coincida con cualquiera de los ejes de la barra dentro de la esfera, donde el bloque debe ser pivoteado. El ángulo subtendido por la superficie curva de cada bloque debe de ser mínimo de 45 grados. El bloque aplicador de carga y los soportes deben mantenerse en posición vertical y en contacto con la barra pivote o esfera. [21]

Figura 2: Vista diagramática de un aparato apropiado para ensayo a flexión de concreto por el método de carga en los tercios de luz.



Fuente: COGUANOR. (2017)

Los especímenes deben ser cargados uniformemente aplicando una velocidad constante hasta el punto de ruptura. Para determinar las dimensiones de la sección del espécimen a

utilizar en el cálculo del módulo de ruptura, se deben tomar las medidas a través de una de las caras fracturadas del ensayo. [21]

4.3.3. Módulo de elasticidad

La elasticidad es la propiedad mecánica que permite que los materiales sufran deformaciones reversibles por a causa de acciones de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos. El módulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria, representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre él. Cuando se tiene una relación lineal y constante, entre el esfuerzo y la deformación unitaria a la que a la que está sometida el material, se tiene un comportamiento elástico que cumple con la ley de Hooke. [22]

De acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41017 h 16 (ASTM C469), módulo de elasticidad y razón de Poisson en cilindros de concreto, el módulo de elasticidad es la pendiente de una recta trazada entre dos puntos específicos de la parte elástica de la curva de esfuerzo-deformación unitaria del concreto. El ensayo da como resultado la razón entre el esfuerzo y la deformación del concreto y la razón entre la deformación lateral y longitudinal de un espécimen de concreto endurecido, a cualquier edad. Estos valores se utilizan para dimensionamiento de concreto reforzado y sin refuerzo o para determinar esfuerzos por medio de deformaciones. Los valores obtenidos por el ensayo de módulo de elasticidad son menores que los módulos derivados de una aplicación rápida de carga y menores que los obtenidos por aplicación lenta de carga. [23]

Los especímenes estándar para realizar los ensayos de módulo de elasticidad, de acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41017 h 16 (ASTM C469), deben ser cilindros de 150x300mm o 150x200mm. Para realizar el ensayo primero se debe tener la resistencia última, esto se obtiene fallando especímenes a compresión. El aparato de medición a utilizar para el ensayo de módulo de elasticidad es el compresómetro-extensómetro, el ensayo empieza cuando se ajustan los diales al cilindro para medir la deformación, se coloca el espécimen en la máquina de ensayo y se carga hasta obtener las deformaciones. Pueden tomarse medidas continuamente para determinar la curva de esfuerzo-deformación o únicamente hasta las 50 millonésimas de deformación hasta llegar al 40%. Para obtener el módulo de Poisson, se deben registrar las deformaciones transversales. [23]

4.4. Clasificación de agregados

4.4.1. Clasificación por origen

La clasificación por origen de los agregados se realiza en base a su procedencia y a los procesos físico-químicos involucrados en su formación, se encuentran las siguientes clases:

1. Agregados ígneos: Son todos los agregados provenientes de rocas ígneas, este tipo de rocas son conocidas también como originales, endógenas o magmáticas, porque provienen del magma. Se pueden clasificar en[24]:

- Intrusivas, abisales o plutónicas.
- Flonianas o hipoabisales.
- Extrusivas, efusivas o volcánicas.

La clasificación de las rocas ígneas según la velocidad de solidificación del magma y el lugar de la corteza terrestre donde ocurre el proceso de consolidación [24], se muestra en la siguiente tabla:

Cuadro 5: Diámetro máximo de especímenes de ensayo

Denominación	Velocidad de solidificación	Localización
Intrusivas, abisales o plutónicas	Lenta	Consolidadas a gran profundidad
Flonianas o hipoabisales	Media	Consolidadas a profundidad media
Extrusivas, efusivas o volcánicas	Rápida	Consolidadas cerca o sobre la superficies (por erupción volcánica)

Fuente: Silva. (2018)

2. Agregados sedimentarios: Son los agregados provenientes de rocas sedimentarias. Este tipo de rocas está formado por fragmentos de rocas ígneas, metamórficas u otras sedimentarias. Se pueden originar por descomposición y desintegración o por precipitación o deposición química. [24]
3. Agregados metamórficos: Son todos los agregados provenientes de rocas metamórficas, que a su vez provienen de ígneas y sedimentarias, las cuales experimentan grandes presiones y altas temperaturas generadas en los mismos metamorfismos de contacto o metamorfismo regional o dinámico. [24]

4.4.2. Clasificación por composición

La clasificación por composición se basa en la composición químico-mineralógica de cada roca y su denominación de origen. Debido a que las características químicas y mineralógicas son las únicas que influyen en esta clasificación, no se pueden considerar las características físicas del material. Se clasifican de la siguiente forma [25]:

- Caliza, mármol y caliche: Tienen la misma composición química, aunque no la misma resistencia física. Se pueden obtener diferentes grados de calidad física. [25]
- Basalto y tezontle: Tienen la misma composición química, pero el tenozoides tiene poros muy grandes que lo hacen un agregado ligero de baja resistencia. [25]

4.4.3. Clasificación por tamaño de partícula

Esta identificación de los agregados se deriva de dividirlos de acuerdo con aquel que pasa frontera nominal de 4,75 mm en el tamiz N°4. De acuerdo al tamaño de la partícula se tienen

dos clases de agregados [24]:

- Agregado fino: Material que pasa 100 % el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200. Generalmente es clasificado como arena gruesa o fina. [24]
- Agregado grueso: Es aquel que es retenido 100 % en el tamiz N° 4 o superior. [24]

La distribución de tamaño de los agregados se conoce como distribución granulométrica y se toma como base en la fabricación de concreto. [26] La clasificación más común y los nombres más utilizados de las fracciones se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro 6: Clasificación general del agregado según su tamaño.

Tamaño de las partículas (mm)	Denominación	Clasificación	Utilización del agregado en el concreto
Inferior a 0.002 mm	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
0.002 mm – 0.074 mm	Limo	Fracción muy fina	Recomendable
0.0704 mm – 4.76 mm	Arenas	Agregado fino	Apto para concretos y morteros
4.76 mm – 19.1 mm	Grava ¾"	Agregado grueso	Apto para concreto armado y pretensado
19.1 mm – 50.8 mm	Grava 2"	Agregado grueso	Apto para concreto armado en cimentaciones
Superior a 50.8 mm	Piedra	Agregado grueso	Apto para concreto sin refuerzo

Fuente: Bolivar. (2003)

4.4.4. Clasificación por modo de fragmentación

Dependiendo del tipo de fragmentación que tienen, los agregados se pueden clasificar en:

- Agregados naturales: Son los agregados fragmentados por procesos naturales como la erosión. [24]
- Agregados manufacturados: Son todos los agregados fragmentados con procesos mecánicos. [24]
- Agregados mixtos: Son una combinación de agregados fragmentados de forma natural y de forma artificial. [24]

4.5. Efectos del agregado sobre las propiedades del concreto

4.5.1. Trabajabilidad

La trabajabilidad es la facilidad con la cual los materiales pueden ser mezclados para formar el concreto. También aplica, en condiciones de obra, con un mínimo de trabajo y

un máximo de homogeneidad, a la facilidad con la que se manipula, transporta y coloca el concreto. El concreto debe ser lo suficientemente trabajable para que con los encofrados, espaciamiento del refuerzo, procedimiento de colocación y técnicas de consolidación, se pueda llenar completamente todos los espacios y que la masa fluya homogéneamente sin inconvenientes de separación. [12]

La trabajabilidad del concreto está determinada por las características, granulometría y proporción de los agregados finos y gruesos. Para que el concreto tenga trabajabilidad adecuada las partículas del agregado grueso deben estar espaciadas de manera que puedan moverse con facilidad durante los procesos de mezcla y colocación. El agregado fino actúa como lubricante del agregado grueso, y ayuda a distribuir uniformemente el material de mayor tamaño en la masa de concreto. El agregado fino tiene mayor influencia sobre la trabajabilidad de la mezcla, por eso es necesario que el módulo de fineza del agregado este entre los valores 2.3 y 3.1, debido a que mientras menor es el módulo de fineza, mayor es el lubricante del agregado fino. [12]

4.5.2. Consistencia

La consistencia es una propiedad que define la humedad en la mezcla por su grado de fluidez, mientras más húmeda es la mezcla, la facilidad con la que el concreto fluye durante su colocación es mayor. La consistencia de una mezcla se define por su grado de asentamiento, las mezclas más secas presentan asentamientos menores que las mezclas de consistencia fluida. La consistencia de una mezcla es función de su contenido de agua y las propiedades del agregado determinan la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia determinada. [12]

El efecto granulométrico del agregado grueso sobre la consistencia de la mezcla es menor que el del agregado fino, con el cuál debe considerarse lo siguiente:

- Las arenas muy finas incrementan la relación agua cemento, lo que implica mayor consistencia y disminución de resistencia. [12]
- El efecto del agregado fino sobre la consistencia es mayor que el del agregado grueso debido a su mayor superficie específica. [12]
- En las mezclas de alto contenido de material cementante, la cantidad de agregado fino puede reducirse sin causar pérdida de consistencia. [12]

4.5.3. Segregación

La segregación es la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso se separa del mortero. Bajo determinadas condiciones las partículas más gruesas pueden tender a separarse del mortero debido a que ruedan más rápido o porque se asientan a mayor velocidad que las partículas más finas. Una causa de la segregación puede ser el empleo de agregado grueso con gravedad específica diferente a la del agregado fino, otra causa probable es el empleo de agregado grueso con un tamaño desproporcionado en relación con los demás elementos estructurales. [12]

4.5.4. Exudación

La exudación es la elevación de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, debido a la sedimentación de sólidos. El proceso se inicia después de que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continua hasta que se inicia el fraguado de la mezcla, se obtiene máxima consolidación de sólidos y las partículas se ligan entre ellas. La exudación de la mezcla depende de las proporciones de la mezcla, características de los agregados, contenido de aire, empleo de aditivos y especialmente por la angularidad y granulometría de agregado fino. [12]

La utilización de arenas muy finas, el mezclado de arenas y un cuidadoso control de la granulometría son factores que contribuyen a la disminución de la exudación. Otra forma de controlar la exudación es la utilización de agregado fino adecuadamente graduado, con presencia de los tamaños menores en proporciones adecuadas, también se deben utilizar agregados gruesos en proporciones adecuadas para incrementar la superficie específica y disminuir el volumen de exudación. [12]

4.5.5. Cohesividad

La cohesividad es la propiedad del concreto fresco que permite controlar el peligro de segregación durante la etapa de colocación de la mezcla y previene su aspereza, también facilita su manejo durante el proceso de compactación. La falta de cohesividad incrementa el riesgo de segregación en mezclas de baja trabajabilidad o en mezclas preparadas con agregado grueso de diámetro grande. Los incrementos en el porcentaje de agregado fino en la mezcla pueden mejorar la cohesividad, debido a que esta tiende a ser mayor si el perfil de las partículas de agregado grueso tiende a ser redondeado y de textura suavizada. [12]

4.5.6. Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado del concreto no es usualmente afectado por el agregado, sin embargo, la presencia en la superficie de este, de sales solubles o materia orgánica, pueden afectar esta propiedad en la medida que ellas pueden actuar como aceleradores o retardadores del fraguado. [12]

4.5.7. Contenido de aire

Una cantidad significativa de material que pase el tamiz No. 200, especialmente en forma de arcilla, puede reducir el contenido de aire en el concreto y obligar a que se emplee más aditivo incorporador de aire para obtener los mismos resultados. Esta arcilla puede resultar del empleo de agregados finos y gruesos sucios que causan variaciones no solo en el contenido de aire, requerimiento de agua, asentamiento y resistencia. La materia orgánica presente en algunos agregados puede causar un cambio en la dosificación de aditivos incorporadores de aire, dando como resultado burbujas de aire grandes y un sistema desfavorable de aire-vacíos. [12]

4.5.8. Peso unitario o masa unitaria

El peso unitario o masa unitaria del concreto es la densidad en relación al volumen de sólidos en un volumen total de una unidad cúbica, también puede definirse como el porcentaje de un determinado volumen del concreto, que es un material sólido. El peso unitario del concreto es el peso varillado de una muestra representativa del concreto. La gravedad específica y la cantidad de agregado afectan el peso unitario de una mezcla en estado fresco, con agregados de alta porosidad el peso unitario varía dependiendo de si la absorción del agregado ha sido satisfecha por pre humedecimiento previo a la dosificación. [12]

4.5.9. Temperatura del concreto

La temperatura del concreto al ser mezclado es influenciada por la temperatura y calor específico de los materiales que lo constituyen, debido a esto el agregado puede tener un gran impacto en la temperatura del concreto. En climas cálidos el riego a las pilas de agregados reduce su temperatura y por ende la del concreto, en los casos que es necesario un concreto muy frío el agregado grueso puede ser enfriado por inmersión. En climas fríos el calentamiento del agregado puede ser necesario para obtener una temperatura deseada en el concreto, los agregados congelados jamás deben ser usados en mezclas de concreto. [12]

4.5.10. Facilidad de bombeo

El concreto preparado con agregado muy angular es más difícil de bombear a causa de la alta fricción interna, el perfil de las partículas de agregado grueso deberá tener un mínimo efecto sobre la presión de la línea de bombeo. Se debe tener un control muy estricto de los agregados finos para que el concreto sea bombeable, esto incluye que el agregado tenga un buen perfil, un incremento en la cantidad de tamaños más finos y el empleo de contenidos de cementos más altos. [12]

Según especificaciones del ACI 211.1 se puede disminuir la cantidad de agregado grueso en un 10 % para facilitar que este sea bombeado. La cantidad de disminución de agregado y las dosificaciones de aditivos dependen del diámetro de la línea de bombeo y de las características de la bomba. Los concretos con exudación excesiva son más difíciles de bombear y pueden llegar a no ser bombeables si la presión de bombeo separa el agua del concreto. [12]

4.5.11. Acabado del concreto

La angularidad y granulometría del agregado, el volumen de exudación y las proporciones en la mezcla de concreto son factores que influyen en el acabado. Para mejorar el acabado del concreto se puede aumentar el uso de agregados finos, más cemento, más puzolana, empleo de aditivos y ajustes en la granulometría de los agregados. Si existen problemas de deslizamiento en la mezcla se pueden corregir con menor contenido de finos en la arena, menor contenido de cemento en la mezcla y reducción en el contenido de aire. [12]

4.5.12. Humedecimiento y secado

La influencia del agregado sobre la durabilidad del concreto sometido a procesos de humedecimiento y secado está controlado por su sistema y cantidad de poros. Los daños en la pasta y el desarrollo de ampolladuras son el resultado de ganancias de humedad de partículas de los agregados, absorción capilar y un sistema de poros de textura fina. El esfuerzo desarrollado en el proceso de humedecimiento y secado es proporcional al módulo de elasticidad del agregado. [12]

4.5.13. Acción del fuego

El tipo de agregado tienen una gran influencia en la resistencia al fuego de las estructuras de concreto, los agregados más recomendables son los que fueron sometidos a la acción de calor durante su formación. La falla del concreto por la acción del fuego es causada por la acción opuesta entre la pasta, la cual tiende a contraerse debido a la pérdida de humedad, y el agregado, el cual se expande con el incremento de temperatura. Estudios han demostrado que los concretos preparados con agregados livianos tienen una mayor resistencia al fuego que los preparados con agregados de peso normal, esto se debe a que los materiales más livianos reducen la conductividad térmica del concreto aislándolo mejor de la fuente de calor. [12]

4.5.14. Propiedades térmicas

Las propiedades mecánicas del concreto y sus ingredientes tienen una relación no bien definida con la durabilidad del concreto, debido a que se pueden desarrollar esfuerzos internos peligrosos cuando cambia el volumen de los agregados, debido a la variación de temperatura, o cuando existen grandes diferencias en el coeficiente de expansión entre las partículas del agregado [12]. Se han realizado estudios a concretos sujetos a cambios lentos y rápidos de temperatura en agua y aire y se ha logrado establecer lo siguiente:

- Los cambios rápidos de temperatura no son significativamente más destructivos que los cambios lentos, la diferencia de cambios de volumen entre los componentes del concreto, debido a acción térmica, no es la principal causa de desintegración. [12]
- La resistencia del concreto a los cambios de temperatura está directamente relacionada con el coeficiente térmico del concreto, los concretos con mayor coeficiente fallan más rápido. [12]
- El deterioro del concreto durante los cambios de temperatura se debe a deformaciones resultantes de diferencias de temperatura dentro de la masa, más que a diferencias del coeficiente térmico. [12]
- Los agregados gruesos que tienen coeficientes térmicos diferentes a los de la pasta, causan cambios en proporción al volumen del coeficiente térmico empleado. El agregado fino afecta el coeficiente térmico de la pasta en proporción a su volumen en la mezcla. [12]

4.5.15. Abrasión

La resistencia del concreto a la abrasión y al impacto localizado es una propiedad que depende grandemente de la calidad de la pasta y del agregado que está cerca de la superficie que recibe los impactos. Cuando la capa de desgaste no es grande, la presencia de agregado fino duro y resistente puede proporcionar dureza adicional. La dureza del agregado es necesaria para resistir rayaduras, desgaste y tipos de pulido por fricción en un tipo de servicio dado, que es la característica más importante que controla el desgaste de los agregados. [12]

4.5.16. Resistencia

La resistencia es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse, la resistencia en compresión se utiliza como índice de la calidad del concreto y en pavimentos se utiliza la resistencia a flexión. La resistencia del concreto no puede ser mayor que la resistencia de sus agregados, pero la resistencia a la compresión de los concretos convencionales es muy diferente a la de la mayoría de las rocas utilizadas como agregados. Las fracturas de especímenes de concreto, sometidos a ensayos de compresión, se presentan en la zona de adherencia con el agregado grueso. La resistencia del concreto está dada en función de cuatro cosas: relación agua-cemento, relación cemento-agregado, granulometría, dureza y resistencia del agregado y tamaño máximo del agregado. [12]

4.5.17. Influencia de la dureza del agregado

La dureza de un agregado está dada por su resistencia al desgaste por erosión o abrasión, las partículas blandas son las que fallan en procesos de abrasión, desgaste o frotamiento, debido a la trituración de los granos que componen el agregado. Se recomienda utilizar cuarzo, cuarzita, rocas densas de origen volcánico y rocas siliconosas en las mezclas de concreto por su alta dureza. Los agregados de dureza baja pueden incrementar los requerimientos de agua, modificar la relación agua cemento y disminuir la resistencia al aumentar la cantidad de finos de la mezcla por destrucción durante el mezclado. [12]

4.5.18. Influencia de la textura superficial

La textura superficial del agregado depende de la dureza, tamaño del grano y porosidad de la roca original, también influyen las fuerzas que han actuado sobre la superficie de las partículas para suavizarlas o darles más rugosidad. La importancia de la textura superficial en la resistencia del concreto es importante porque el nivel de rugosidad del agregado define la capacidad de adherencia de éste con la pasta, mientras más rugosidad existe una mayor capacidad de adherencia. La textura superficial del agregado influye en la resistencia del concreto por el efecto que tiene sobre la resistencia pasta-agregado, los mayores efectos se presentan en la resistencia a flexión y altas resistencias. [12]

4.5.19. Propiedades térmicas

Las propiedades mecánicas del concreto y sus ingredientes tienen una relación no bien definida con la durabilidad del concreto, debido a que se pueden desarrollar esfuerzos internos peligrosos cuando cambia el volumen de los agregados, debido a la variación de temperatura, o cuando existen grandes diferencias en el coeficiente de expansión entre las partículas del agregado. [12]

Se han realizado estudios a concretos sujetos a cambios lentos y rápidos de temperatura en agua y aire y se ha logrado establecer lo siguiente:

- Los cambios rápidos de temperatura no son significativamente más destructivos que los cambios lentos, la diferencia de cambios de volumen entre los componentes del concreto, debido a acción térmica, no es la principal causa de desintegración. [12]
- La resistencia del concreto a los cambios de temperatura está directamente relacionada con el coeficiente térmico del concreto, los concretos con mayor coeficiente fallan más rápido. [12]
- El deterioro del concreto durante los cambios de temperatura se debe a deformaciones resultantes de diferencias de temperatura dentro de la masa, más que a diferencias del coeficiente térmico. [12]
- Los agregados gruesos que tienen coeficientes térmicos diferentes a los de la pasta, causan cambios en proporción al volumen del coeficiente térmico empleado. El agregado fino afecta el coeficiente térmico de la pasta en proporción a su volumen en la mezcla. [12]

4.5.20. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto depende del módulo de elasticidad y de la relación de Poisson del agregado. En compresión y en tensión la curva de esfuerzo-deformación para los agregados tiene una relación lineal, indicando que tan elástico es el agregado. Conforme el módulo de elasticidad del agregado se incrementa, el del concreto incrementa, por lo que cuando se aumenta el volumen de agregado, el módulo de elasticidad del concreto se aproxima al del agregado. [12]

4.5.21. Caucho Granulado

El caucho granulado, o caucho molido, se deriva de las llantas recicladas de automóviles y camiones. Durante el proceso de reciclaje de las llantas, se separa todo el material que no sea caucho, como suciedad, alambres y borra. Los residuos de caucho restantes se reducen a un tamaño más manejable, por medio de un molino granulador mecánico. El procesamiento continuo del caucho reduce su tamaño, en diferentes tamaños de partículas de caucho granulado. [2]

Las llantas se dividen en dos tipos, las que provienen de los carros y las de los camiones. La descripción del origen de las llantas es muy importante y porque tiene influencia en su textura, peso y forma. Cuando se utilizan partículas de caucho granulado en mezclas de concreto, es importante conocer todas sus características de origen, para que sus componentes base se mezclen bien con el concreto. [2]

Existen tres tipos de desechos de llantas, que se pueden clasificar como caucho granulado:

1. Chips de llanta: Este tipo de caucho tiene partículas que varían en tamaño desde los 25mm hasta los 30 mm. Se utilizan para reemplazar agregados gruesos en las mezclas de concreto. [2]
2. Fragmentos de llanta: Las partículas de este tipo de caucho son altamente irregulares, y varían desde los 3mm hasta los 10 mm. Se utilizan para reemplazar agregados finos en el caucho. [2]
3. Polvo de llanta: Las partículas de este tipo de caucho son menores a 1 mm y se derivan del polvo que se queda como residuo en la maquinaria de molienda, luego del proceso de reducción del caucho. Este tipo de caucho puede ser usado como material de relleno para la mezcla de concreto debido a su tamaño. [2]

Por muchos años se ha realizado trabajos de investigación que buscan hacer que el concreto sea un material dúctil, para crear estructuras que soporten las solicitudes de carga y no se dañen permanentemente. La aplicación del caucho granulado, aparte de ser una solución constructiva y ecológica, satisface las necesidades dentro del sector industrial, deportivo, decorativo, agropecuario y urbano. [27]

En el sector industrial el uso de caucho granulado está presente en:

- Asfalto de carreteras: El caucho granulado se utiliza en pavimento para carreteras, haciendo que el mantenimiento de las vías sea menor, porque causa menos baches, grietas y deformaciones, que las carreteras de asfalto regular. También proporciona un recorrido más confortable para los conductores y disminución en los impactos al vehículo. [27]
- Sistemas de absorción de vibraciones para estructuras ferroviarias: El uso de caucho granulado atenúa las vibraciones y ruido ocasionados por el tránsito de trenes en zonas cercanas a edificaciones. Sus costos de mantenimiento son bajos y los montajes para su construcción son fáciles y rápidos de hacer.
- Modificación de las propiedades del concreto: Es posible agregar el caucho granulado a mezclas de concreto para modificar y mejorar sus propiedades. Los campos de aplicación del concreto aumentan debido a los beneficios brindados por el caucho. [27]

Dependiendo de la granulometría del caucho, este se puede utilizar para diferentes aplicaciones en el sector deportivo:

- Relleno para grama artificial de campos de fútbol: Para no comprometer la seguridad de los jugadores la grama artificial del campo debe de ser de buena calidad. Se debe

incluir un relleno de caucho granulado de 2.36 mm para canchas no oficiales y para canchas oficiales de la FIFA, este debe de ser de 0.5mm a 2.00 mm. El relleno de caucho reduce los impactos considerablemente, lo que hace que los jugadores tengan una pisada más suave, debido a su composición de elastómeros que hacen que el grano de caucho se comprima. [27]

- Pistas de atletismo o ciclismo: Las pistas de atletismo y ciclismo están compuestas en un 75 % de caucho granulado, debido a que este aporta un equilibrio firme y suave al absorber los impactos de la zancada del atleta, neutralizando los rebotes y aportando más tracción. [27]

En el uso urbano se encuentran beneficios como reductores de velocidad vial. Los reductores de velocidad se fabrican a partir del caucho granulado y hacen que la fricción del reductor con la rueda, al ser ambas superficies de caucho, sea mayor a la que se tiene con reductores hechos solo de concreto. [27]

El caucho granulado se puede utilizar en pisos de caballerizas, granjas o veterinarias, se fabrican adoquines de goma al mezclar caucho granulado y resina. Al utilizar estos adoquines se evita el riesgo de que los animales lastimen sus patas o fisuren sus cascos por impactos al correr, son fáciles de limpiar y resistentes. [27]

El caucho granulado es utilizado en los siguientes campos de decoración:

- Losas para pisos: El caucho granulado se mezcla con resinas y colorantes para moldear piezas de diferentes texturas, formas y colores, que forman losas decorativas de alta resistencia. El caucho proporciona un efecto antideslizante, resistente a la intemperie y de confort al usuario. [27]
- Mulch decorativo: El mulch es una mezcla de gránulos asimétricos de caucho granulado que se utilizan en diferentes superficies para mejorar la seguridad y la estética. Se utiliza en jardines o parques infantiles. [27]

5.1. Caracterización del caucho granulado

La presencia de los agregados en el concreto es muy importante, se debe conocer sus características y propiedades para poder predecir su comportamiento en la mezcla. Para realizar un diseño de mezcla correctamente se debe realizar un adecuado control de calidad en los agregados. De acuerdo a Portland Cement Association (PCA), en su publicación “Control de Mezclas de Concreto”, las características más importantes que se deben evaluar en los agregados utilizados en las mezclas de concreto son:

1. Resistencia a la abrasión y degradación: Índice de la calidad del agregado por su resistencia al desgaste para pisos y pavimentos.
2. Resistencia a Congelación-deshielo: Evaluar el descascaramiento superficial, aspereza, pérdida de sección y estética.
3. Resistencia a desintegración por sulfatos: Evaluar la resistencia del agregado ante la intemperie.
4. Forma y textura superficial de las partículas: Permite predecir la trabajabilidad del concreto en estado fresco.
5. Granulometría: Puede definir de igual forma la trabajabilidad del concreto y evaluar el aspecto económico al momento de realizar una mezcla.
6. Degradación del agregado fino: Evaluar esta característica ayuda a prevenir utilizar agregados que presenten degradación en el proceso de mezclado.
7. Contenido de vacíos no compactados del agregado fino: Permite predecir la trabajabilidad del concreto en estado fresco.

8. Densidad aparente: Es necesario determinarla para realizar el diseño de mezcla.
9. Masa específica relativa: Dato necesario para realizar un diseño de mezcla y clasificar el agregado.
10. Absorción y humedad superficial: Utilizado para control de calidad de los agregados y mantener una adecuada relación agua-cemento.

5.1.1. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso. (COGUANOR NTG 41010 h1/ASTM C136)

La norma describe el método de ensayo para determinar la distribución por tamaño de partículas de agregados finos y gruesos, por medio de tamizado. Para realizar el ensayo se utiliza una muestra de agregado seco y de masa conocida, se separa por medio de mallas con aberturas progresivamente más pequeñas para determinar la distribución del tamaño de partículas. [28]

Equipo

El equipo a utilizar debe cumplir con las exactitudes requeridas por la norma y tener las lecturas necesarias para la validación de datos.

- Balanza: Para agregado fino, legible a 0.1 g y exactitud de 0.1 g o 0.1 % de la masa de ensayo. Para agregado grueso, o mezcla de agregado grueso y fino, legible y exactitud de 0.5 g o 0.1 % de la masa de ensayo.
- Tamices: Cada tamiz utilizado deberá estar elaborado con un marco sólido al cual deberá estar anclado el cedazo o malla. Se debe garantizar que se impida la pérdida de material en la unión del marco y la malla.
- Agitador mecánico de tamices: Debe garantizar que las partículas reboten, caigan o giren de manera que presenten diferentes orientaciones a la superficie de tamizado.
- Horno: El horno debe mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Muestra a utilizar

- Agregado fino: La muestra para el ensayo debe tener, como mínimo, 300 g.
- Agregado grueso: La muestra para el ensayo se debe tomar en función del tamaño máximo nominal del agregado. El Cuadro 5 indica la masa de muestra requerida según su tamaño máximo nominal.

Cuadro 7: Masa requerida según tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tamaño nominal máximo aberturas cuadradas			
mm	pulg.	kg	lb
9.5	0.375	1	2
12.5	0.500	2	4
19.0	0.750	5	11
25.0	1.000	10	22
37.5	1.500	15	33
50.0	2.000	20	44
63.0	2.500	35	77
75.0	3.000	60	130
90.0	3.5000	100	220
100.0	4.000	150	330
125.0	5.000	300	660

Fuente: COGUANOR. (2009)

Procedimiento

1. Secar la muestra hasta alcanzar masa constante en un horno a temperatura constante de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Seleccionar los tamices con las aberturas adecuadas y ordenarlos en orden de tamaño, decreciente de arriba hacia abajo, colocar la muestra en el tamiz superior.
3. La cantidad de material retenida en cada tamiz, al terminar el proceso, debe ser controlada y pesada. Se debe evitar el exceso de material en cada tamiz, para garantizar que las partículas tengan contacto con las aberturas de cada tamiz repetidamente. En el caso de los tamices con aberturas más pequeñas que 4.75 mm, la cantidad retenida en cualquier tamiz al completar la operación de tamizado no debe exceder 7 kg/m^2 del área superficial de tamizado. Para tamices con aberturas de 4.75 mm y mayores, la cantidad retenida en kg. no debe exceder el producto de $2.5 \times$ (abertura del tamiz, en mm) \times (área efectiva de tamizado, en m^2).
4. Realizar el tamizado utilizando un agitador mecánico, se debe agitar por un periodo de tiempo suficiente para asegurarse que no más del 1 % de la masa del material retenida en cualquier tamiz individual, pueda pasar ese tamiz al ser tamizado manualmente, por un minuto adicional.
5. Determinar la masa retenida en cada tamiz utilizando una balanza. La suma de la masa total retenida en los tamices, al finalizar el proceso, no debe diferir por más del 0.3 % de la masa original de la muestra.

Cálculos

Calcular los porcentajes que pasan por cada tamiz, son retenidos totales o los porcentajes de las varias fracciones por tamaño. Se debe informar los porcentajes al número entero más

cercano, excepto si el porcentaje que pasa la malla de 75 μm (No. 200) es menor al 10 %, en cuyo caso debe reportarse al 0.1 % más cercano.

En caso sea requerido, se debe calcular el módulo de finura. Para determinar el módulo de finura, se debe sumar los porcentajes totales de material de la muestra (porcentajes retenidos acumulados), que sean más gruesos que cada uno de los siguientes tamices: 150 μm (No. 100), 300 μm (No.50), 600 μm (No. 30), 1.18 mm (No.16), 2.36 mm (No. 8), 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm (3/8 pulg.), 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg.), 37.5 mm (1 $\frac{1}{2}$ pulg.) y mayores; y dividir esta suma entre 100. Se debe informar el módulo de finura, cuando se requiera, al 0.01 más cercano.

5.1.2. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados. (COGUANOR NTG 41010 h2/ASTM C29)

La norma establece los métodos para determinar la densidad aparente de los agregados en condición compactada y suelta. [29]

Equipo

- Balanza: Legible a 0.05 kg y exactitud de 0.1 % de la carga del ensayo. Considerar el rango del uso se extiende desde la masa del recipiente vacío a la masa del recipiente más su contenido a 190 kg/m³.
- Varilla apisonadora: Varilla de acero, lisa de sección circular de 16mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud. Ambos extremos deben tener punta semiesférica, con diámetro de 16 mm.
- Recipiente: Recipiente cilíndrico de metal, hermético, suficientemente rígido para mantener su forma después de manipulaciones bruscas. La pared interior del recipiente debe tener una superficie lisa y continua. La altura del recipiente debe ser aproximadamente igual al diámetro de la base, pero no menor a al 80 % o mayor al 150 % del diámetro. La capacidad del recipiente debe adecuarse a los requisitos y límites establecidos por la norma. El borde superior debe ser liso y plano, dentro de los 0.25 mm; también debe ser paralelo al fondo con una desviación máxima de 0.5°C.
- Pala o cucharón: Deberán ser del tamaño adecuado para llenar el recipiente con agregados.
- Horno: El horno debe mantener una temperatura uniforme de 110°C \pm 5°C

Muestra a utilizar

Se deberá tomar una muestra mayor a la necesaria para el ensayo, alrededor del 125 % al 200 % y se debe secar previamente, hasta alcanzar una masa constante en horno a 110°C \pm 5°C.

Procedimiento de densidad aparente

1. Secar la muestra según la masa requerida hasta alcanzar masa constante en un horno a temperatura de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Llenar el recipiente hasta rebozarlo con una pala o cucharón. El material se debe descargar a una altura no mayor a 50 mm por encima del tope del recipiente.
3. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una regla enrasadora.
4. Determinar la masa del recipiente, más su contenido y por separado la masa del recipiente y registrar los valores al 0.05 kg. más cercano.

Procedimiento de Varillado

1. Secar la muestra según la masa requerida hasta alcanzar masa constante en un horno a temperatura constante a $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Llenar el recipiente a un tercio y nivelar superficialmente con los dedos. Varillar la capa de agregados con 25 golpes con la varilla de apisonado, distribuyéndolos uniformemente sobre la superficie. No permitir que la varilla toque con fuerza el fondo del recipiente.
3. Llenar el recipiente hasta rebozarlo y varillar nuevamente como se realizó en las capas anteriores. Nuevamente aplicar bastante fuerza, pero no más de la necesaria como para ocasionar que la varilla penetre en la capa previa de agregados.
4. Llenar el recipiente hasta rebozarlo y varillar nuevamente como se realizó en las capas anteriores. Nuevamente aplicar bastante fuerza, pero no más de la necesaria como para ocasionar que la varilla penetre en la capa previa de agregados.
5. Determinar la masa del recipiente, más su contenido y por separado la masa del recipiente, y registrar los valores al 0.05 kg. más cercano.

Cálculos

Se debe determinar la densidad aparente, para ambos procesos suelta y compactada. Los cálculos por realizar son los siguientes:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

En dónde:

- M = Densidad aparente de los agregados, kg/m^3 .
- G = Masa de los agregados y recipiente, kg.
- V = Volumen del recipiente de medida, kg/m^3 .
- T = Masa del recipiente, kg

5.1.3. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto. (COGUANOR NTG 41010 h4/ASTM C40)

Este ensayo brinda información sobre materia orgánica perjudicial presente en los agregados finos, se especifican los procedimientos para validar los resultados y determinar la cantidad aproximada presente de contaminantes perjudiciales para el concreto. [30]

Equipo

El equipo a utilizar debe cumplir con las exactitudes requeridas por la norma y tener las lecturas necesarias para la validación de datos.

- Botellas de vidrio: Se requiere botellas graduadas de vidrio sin color con una capacidad nominal de 240-470 ml. Deben poseer tapones herméticos no solubles con los reactivos a utilizar. Las botellas no deben tener un ancho o diámetro menor a 38.1 mm, ni mayor a 63.5 mm a lo largo de la línea de vista para comparación de color.
- Vidrios de colores estándar: Consiste en 5 vidrios de colores estándar montados en un soporte plástico.

Reactivos y soluciones

- Hidróxido de sodio reactivo (3%): Solución de 3 partes de hidróxido de sodio grado reactivo en 97 partes de agua.
- Solución estándar de color: Solución de dictomato de potasio de grado reactivo en ácido sulfúrico concentrado a una tasa de 0.250 g/100mL del ácido, la solución debe ser recién hecha para la comparación de color.

Muestra a utilizar

La muestra del agregado a evaluar debe tener una masa no menor a 450 gramos.

Procedimiento

1. Llenar una botella de vidrio graduada o previamente medida con aproximadamente 130 mL con una muestra de agregado fino a ser ensayado.
2. Agregar la solución de hidróxido de sodio en la botella de vidrio que contiene el agregado hasta los 200 mL.
3. Taponar la botella, agitar vigorosamente hasta saturar la muestra de material y luego dejarla reposar por 24 horas.
4. Al Finalizar el período de 24 horas, se deberá definir cuál procedimiento seguir:

- a) Procedimiento de la solución de color estándar: Llenar una botella de vidrio hasta aproximadamente la marca de 75 mL con una solución fresca, de color estándar preparada no más de 2 horas. Poner la botella con la muestra de ensayo y la botella con la solución de color estándar, lado a lado y comparar el color de luz transmitida a través del líquido que está sobre la muestra, con el color de la luz transmitida por la solución de color estándar. Registrar si el color del líquido que está sobre la muestra es más claro, más oscuro o igual al color de la solución de color estándar. Cuando una muestra sometida a este procedimiento da un color más oscuro que el color estándar debe considerarse que el agregado fino bajo ensayo posiblemente contiene materia orgánica perjudicial.
- b) Procedimiento de los vidrios de color estándar: Para definir con mayor precisión el color del líquido de la muestra de ensayo, se deben usar cinco vidrios de colores estándar. Se debe usar la comparación con el color de la placa orgánica más parecida al color del líquido sobrenadante sobre la muestra de ensayo. Cuando una muestra sometida a este procedimiento da un color más oscuro que la placa orgánica No. 3 (Gardner, estándar de color No. 11) debe considerarse que el agregado fino bajo evaluado contiene materia orgánica perjudicial.

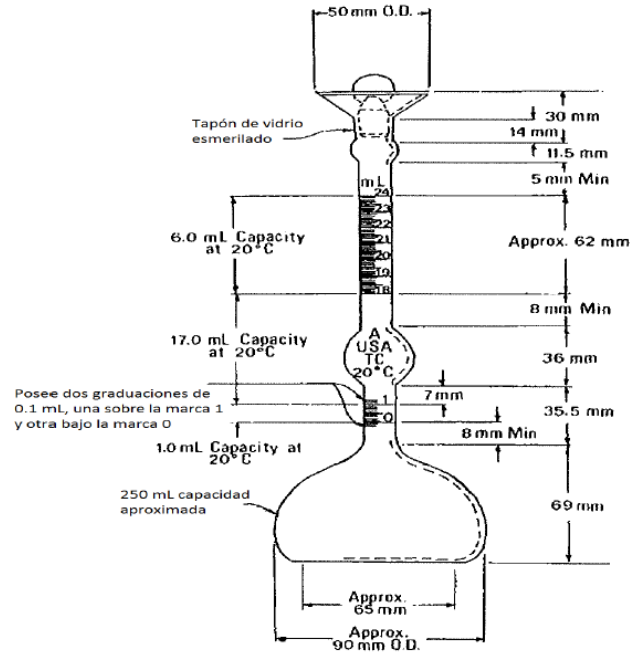
5.1.4. Determinación de la densidad del cemento hidráulico. (COGUA-NOR NTG 41003 h2/ASTM C188)

Equipo

Este ensayo determina el proceso para determinar la densidad del cemento hidráulico para el diseño de mezclas de concreto. La densidad es la masa por unidad de volumen de sus sólidos. [31]

- Frasco volumétrico de El Chatelier: Debe tener un espacio mínimo de 10 mm entre la marca de graduación más alta y el punto inferior de la parte esmerilada del tapón de vidrio. El frasco debe estar hecho de vidrio y graduado de 0 a 1 mL y de 18 a 24 mL en graduaciones de 0.1 mL.
- Querosina: Se debe utilizar querosina libre de agua con una densidad no mayor a 0.73 g/mL y una temperatura de 23°C.

Figura 3: Frasco El Chatelier para ensayo de densidad.



Fuente: COGUANOR. (2009)

Procedimiento

1. Agregar querosina al frasco El Chatelier, hasta alcanzar un nivel entre las marcas de 0 y 1 mL. Secar la parte inferior del frasco que queda por encima del nivel del líquido.
2. Sumergir el frasco en un baño de agua hasta que alcance la temperatura del baño y hacer la primera lectura del líquido en el frasco. Sacar frasco del baño.
3. Añadir cemento al frasco y asegurarse que no quede material adherido a las paredes del mismo. Rodar en una superficie plana para facilitar que el cemento llegue al fondo. Realizar una medida.
4. Sumergir el frasco en un baño de agua, hasta alcanzar el equilibrio de temperatura. Realizar lectura final. La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen del líquido desplazado.

5.2. Elaboración de Diseños de Mezcla

El diseño de mezcla del concreto es la determinación de las características y propiedades requeridas del concreto y los materiales a utilizar para su elaboración. El diseño de mezcla se debe realizar para concreto en estado fresco y endurecido, los principales parámetros con los que el diseño que debe cumplir son:

- **Trabajabilidad:** El concreto se debe diseñar para que tenga una trabajabilidad adecuada para su colocación, depende de las propiedades y características de los agregados y de la calidad del cemento. [22]
- **Resistencia y durabilidad:** El concreto se debe diseñar para una resistencia mínima a compresión, se debe especificar la relación agua-cemento exacta para asegurar la resistencia de la mezcla. [22]
- **Economía:** Se debe diseñar una mezcla para que sea económica y que no se desperdicien los materiales, cumpliendo con los requerimientos de resistencia y trabajabilidad. [22]

Las proporciones de la mezcla de concreto se deben lograr mediante el sistema de prueba y error y de ajuste y reajuste. Se prepara una mezcla con las proporciones iniciales calculadas, se le realizan ensayos en concreto fresco y endurecido, para luego, si es necesario, ajustar las proporciones. [22]

La guía de ACI para realizar diseños de mezcla de concreto de peso normal y pesado se titula “Standar Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1)”. Esta guía describe métodos para realizar diseños de mezcla de concreto utilizando cemento hidráulico hecho con y sin otros materiales cementantes y adiciones químicas. El método describe una aproximación de las proporciones que se deben ensayar por lotes en un laboratorio, para obtener las características deseadas en el concreto.

5.2.1. Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto de peso normal, pesado y masivo. (ACI 211.1)

Esta norma determina los lineamientos a seguir para diseñar una mezcla de concreto que satisfaga ciertos requerimientos. Brinda los pasos a seguir para dosificar los agregados, agua y cemento. Las mezclas se diseñan de acuerdo a la resistencia promedio a compresión que se espera cuando el concreto esté en estado endurecido. [32]

Procedimiento

Elección del asentamiento

La norma COGUANOR NTG 41052, basada en la ASTM C143, describe el procedimiento para medir el asentamiento de una mezcla de concreto en estado fresco. Se utiliza un cono de 30 cm de altura, 20 cm de base de apoyo y 10 cm de base superior. El asentamiento se debe determinar de acuerdo al tipo de elemento que se diseña, el siguiente cuadro muestra los principales:

Cuadro 8: Asentamientos recomendados para ciertos tipos de construcción

Construcción de Concreto	Asentamiento mm (pulg.)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas cajones y muros de subestructuras sin esfuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Fuente: ACI. (2009)

Elección del tamaño máximo del agregado

El concreto que contiene agregados de mayor tamaño, requiere menos pasta por unidad de volumen, esto se debe a que los agregados graduados adecuadamente poseen menos espacios y huecos que los agregados de menor tamaño. El tamaño máximo del agregado no debe exceder $1/5$ de la separación menor entre los lados de la formaleta, $3/4$ del espacio libre entre las barras de acero de refuerzo y entre las varillas de refuerzo y las formaletas y $1/3$ de la profundidad de las losas.

Contenido de aire y agua de mezclado

El agua requerida para la mezcla depende del tamaño máximo del agregado, su granulometría y la formas de sus partículas, también de la temperatura del concreto, su asentamiento y el aire inducido. El siguiente cuadro muestra los valores a utilizar:

Cuadro 9: Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire

Asentamiento (mm)	Agua, kg por metro cúbico de concreto, para los agregados de tamaño indicado							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Promedio del contenido de aire total recomendado para el nivel de exposición, %								
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: ACI (2009)

Relación agua cemento

La relación agua cemento, depende de la resistencia a compresión que se espera del concreto. La relación agua cemento se determina en base a requisitos de resistencia y durabilidad. Para determinar la relación agua cemento, en base a resistencia a compresión a 28 días, se utiliza el siguiente cuadro:

Cuadro 10: Relación agua/cemento y resistencia a compresión

Resistencia a compresión a 28 días, lb/pulg. ²	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
7000	0.33	-
6000	0.41	0.32
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Fuente: ACI. (2009)

Contenido de agregado fino

La cantidad de agregado fino se determina de acuerdo a diferencia de volúmenes. El volumen del agregado puede ser reducido hasta en un 10% para concretos colados con bomba y en los que se utilizan para la construcción de pavimentos. El cuadro a continuación muestra el volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto:

Cuadro 11: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI. (2009)

Ajustes del agregado por humedad

Para cumplir con los requisitos de la mezcla, se debe tomar en cuenta los cambios de densidad producidos por un cambio de la densidad de los agregados, fallas en las pesas. Para realizar la corrección por humedad se deben de obtener los pesos húmedos de los agregados y corregir cada uno, en base al porcentaje de humedad. Se debe ajustar el peso del agua mediante la humedad de los agregados.

5.3. Evaluación del concreto en estado fresco

5.3.1. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico. (COGUANOR NTG 41017 h4/ASTM C143)

Esta norma cubre la determinación del asentamiento del concreto en laboratorio y en campo. El método de ensayo descrito es aplicable a concretos cohesivos y plásticos, que sean elaborados con agregado grueso con tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1 ½ pulg.). Este método de ensayo no aplica a concretos con asentamientos mayores a 230 mm (9 pulg.), porque no son lo suficientemente cohesivos, tampoco aplica a concretos con asentamientos menores a 13 mm (½ pulg.), porque no son lo suficientemente plásticos. [33]

Equipo

- Molde: Debe estar hecho de metal, con un espesor mayor a 1.5mm, su forma debe ser la de un cono truncado con base de 200 mm de diámetro y altura de 300 mm. Los diámetros y alturas individuales deben tener una tolerancia de ± 3 mm. 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 para manipulación del molde. El interior del molde debe estar liso, libre de imperfecciones, abolladuras, deformaciones o mortero adherido.
- Varilla apisonadora: Debe ser de acero y lisa, con sección circular de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud. Los dos extremos deben de tener punta semiesférica con diámetro de 16 mm.
- Instrumento de medición: Se debe utilizar un instrumento marcado en incrementos de 6 mm o menos. La longitud total del instrumento debe ser de al menos 300 mm.
- Cucharón: Debe de tener un tamaño adecuado para que la cantidad del concreto tomada sea representativa del recipiente obtenido y suficiente para que se eviten derrames.

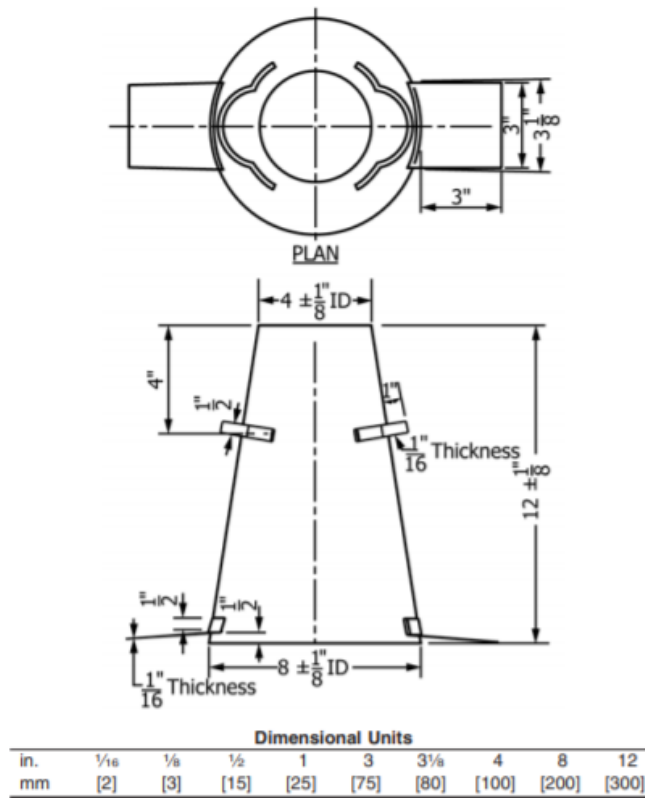
Muestra a utilizar

La muestra de concreto para realizar el ensayo debe ser representativa del lote completo.

Procedimiento

1. Colocar el molde sobre una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda, se debe asegurar que el molde este firme durante todo el proceso. El laboratorista debe pararse sobre los estribos del molde, asegurándose de que no se mueva.
2. Llenar el molde con el cucharón hasta aproximadamente 1/3 del volumen del mismo. Durante el proceso de verter el concreto se debe mover el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde, la distribución debe de ser pareja.

Figura 4: Molde para ensayo de asentamiento



Fuente: ASTM. (2009)

3. Se debe apisonar 25 veces uniformemente en toda la sección transversal de la capa. En la primera capa se debe inclinar la varilla.
4. Agregar dos capas más, para tener el como lleno con un un total de tres capas. Consolidar la última capa en todo su espesor, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa inferior en aproximadamente 25 mm (1 pulg.). 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.
5. Emparejar la superficie del concreto mediante enrase y rodamiento de la varilla, se debe remover el concreto que rodea el área de la base del molde.
6. Levantar el molde en dirección completamente vertical durante en 5 ± 2 segundos, con un movimiento ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión.
7. Medir el asentamiento comparando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen.

Todo el equipo debe estar humedecido previo a su uso. El ensayo se debe realizar sin interrupción desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un periodo de 2.5 minutos.

Resultados

Registrar el asentamiento de la muestra evaluada. En caso se reporte en milímetros, utilizar aproximación de 5 mm ó si se utilizan pulg.adas, al $\frac{1}{4}$ pulg. más cercano.

5.3.2. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado (COGUANOR NTG 41053/ASTM C1064).

La temperatura del concreto se utiliza para verificar requisitos y condiciones específicos al momento de su aplicación. Este ensayo define el procedimiento para obtener la temperatura del concreto recién mezclado, únicamente. Es aceptable medir la temperatura del concreto recién mezclado en el equipo de transporte o en las formaletas. [17]

Equipo

- Recipiente: Capacidad mínima para que el concreto cubra 75 mm (3 pulg.) en todas las direcciones alrededor del sensor del dispositivo medidor de temperatura. El recipiente por utilizar debe haber sido humedecido previamente al ensayo.
- Dispositivo medidor de temperatura: Debe tener un rango de 0°C a 50°C y una aproximación de +/- 0.5°C. El sensor del dispositivo medidor de temperatura debe ser tal, que permita una inmersión mínima de 75 mm (3 pulg.).

Muestra a utilizar

Se debe obtener una muestra representativa de concreto recién mezclado.

Procedimiento

1. Colocar el dispositivo medidor de temperatura en el concreto recién mezclado. Asegurar que el sensor de temperatura esté sumergido al menos 75 mm (3 pulg.).
2. Presionar la superficie del concreto alrededor del dispositivo medidor de temperatura, hasta cerrar todos los vacíos existentes.
3. Dejar que el dispositivo medidor tome la lectura en un rango de tiempo de 2 a 5 minutos.
4. Registrar la temperatura, sin retirar el dispositivo del concreto.

Resultados

Registrar la temperatura con una aproximación de 0.5°C.

5.3.3. Densidad aparente (masa unitaria) y rendimiento (volumen de concreto producido) del concreto. (COGUANOR NTG 41017 h5/ASTM C138)

La norma dicta los procesos para determinar la densidad aparente del concreto recién mezclado y las ecuaciones para calcular su rendimiento. El rendimiento es calculado para evaluar el volumen del concreto producido con una mezcla de materiales de cantidades conocidas. [34]

Equipo

- Balanza: Exactitud de 45 gramos a al 0.3 % o de la carga del ensayo. Considerar el rango del uso se extiende desde la masa del recipiente vacío a la masa del recipiente más su contenido a 2600 kg/m³.
- Varilla apisonadora: Debe ser de acero y lisa, con sección circular de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud. Los dos extremos deben de tener punta semiesférica con diámetro de 16 mm.
- Recipiente de medida: Recipiente cilíndrico hecho de metal, rígido y hermético. La altura debe ser aproximadamente igual al diámetro de la base, pero no menor al 80 % o mayor al 150 % del diámetro.
- Placa de enrase: Placa de acero rectangular, de al menos 6mm (1/4 pulg.) de espesor. Las dimensiones de ancho y largo deberán ser de por lo menos 50 mm (2 pulg.) mayor que el diámetro de recipiente de medida a utilizar. Los extremos de la placa deben ser rectos y lisos, con una tolerancia de 2 mm (1/16 pulg.).
- Mazo: El mazo debe tener cabeza de hule o cuero crudo. Su peso debe ser de 600 + 200 g (1.25 + 0.50 lb.).
- Cucharón: Debe de tener un tamaño adecuado para que la cantidad del concreto tomada sea representativa del recipiente obtenido y suficiente para que se eviten derrames.

Todo el equipo a utilizar debe estar húmedo.

Muestra a utilizar

Se debe obtener una muestra representativa de concreto recién mezclado. El recipiente, la varilla y la placa enrasadora por utilizar deberá haber sido humedecido previamente a utilizar cada equipo.

Procedimiento

1. Colocar el recipiente sobre una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. Asegurar que el molde esté firme durante todo el proceso.

2. Llenar el recipiente con el cucharón a 1/3 del volumen total, verter el concreto moviendo el cucharón alrededor del perímetro de la abertura para que la distribución sea pareja.
3. Apisonar 25 veces uniformemente en toda la sección transversal de la primera capa. y repetir el proceso dos veces mas, hasta tener 3 capas en total.
4. Después de varillar cada capa, golpear el recipiente utilizando el mazo para cerrar los vacíos dejados por la varilla, aproximadamente 10 golpes, repartidos por lado.
5. Al finalizar de llenar, varillar y golpear cada capa el exceso o carencia de concreto no debe ser mayor a 3 mm (1/8 pulg.) por encima o debajo de la superficie del recipiente.
8. Realizar el enrasado del recipiente, se inicia 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. Limpiar el exterior del recipiente de todo excedente y determinar la masa del concreto.

Cálculos

Se debe calcular la masa neta del concreto, restando la masa del recipiente de medición. Luego se divide dentro del volumen conocido del recipiente de medición para obtener la densidad aparente (masa unitaria). La siguiente ecuación expresa el cálculo de la densidad aparente:

$$\rho = \frac{(Mc - Mm)}{Vm}$$

En dónde:

- ρ = Densidad (masa unitaria) del concreto, kg/m³.
- Mc = Masa del recipiente de medida llenado con concreto, kg.
- Vm = Volumen de del recipiente de medida, m³.

El rendimiento del concreto producido se determina con la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{M}{\rho}$$

En dónde:

- ρ = Densidad (masa unitaria) del concreto, kg/m³.
- M = Masa total de todos los materiales de la amasada, kg.
- Y = Rendimiento, volumen de concreto producido por la amasada, m³.

5.3.4. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión (COGUANOR NTG 41017 h7/ASTM C231)

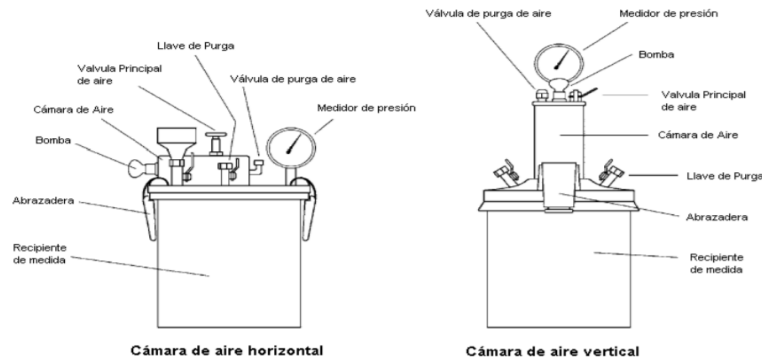
El cambio de volumen del concreto producido por un cambio de presión, es la base para poder determinar el porcentaje de aire en una mezcla de concreto. El ensayo brinda los pasos para determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco, excluyendo el aire que se encuentra en los vacíos de los agregados. [19]

Equipo

- Medidor de aire: Recipiente de medición y una tapa ensamblada, funciona al igualar un volumen conocido de aire a presión conocida en una cámara de aire sellada con un volumen desconocido de aire en la muestra de concreto. El manómetro de la tapa indica la presión en términos de porcentaje de aire.
- Recipiente de medición: Recipiente cilíndrico de metal, hermético y rígido. La pared interior del recipiente debe tener una superficie lisa y continua. La altura del recipiente debe ser aproximadamente igual al diámetro de la base, pero no menor al 75 % o mayor al 125 % del diámetro. La capacidad del recipiente debe ser como mínimo de 5.7 L (0.20 pies³).
- Cubierta de ensamble: Debe estar hecha de metal y ser capaz de limitar el factor de expansión del aparato ensamblado, debe garantizar la unión hermética y firme. 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 debe incluir una bomba de aire manual que forme parte de la cubierta de ensamble o que sea un accesorio de ella.
- Cuchara de albañil
- Mazo: El mazo debe tener cabeza de hule o cuero crudo. Su peso debe ser de 600 + 200 g (1.25 + 0.50 lb.).
- Cucharón: Debe de tener un tamaño adecuado para que la cantidad del concreto tomada sea representativa del recipiente obtenido y suficiente para que se eviten derrames.
- Varilla apisonadora: Debe ser de acero y lisa, con sección circular de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud. Los dos extremos deben de tener punta semiesférica con diámetro de 16 mm.
- Placa de enrase: Placa de acero rectangular, de al menos 6mm (1/4 pulg.) de espesor. Las dimensiones de ancho y largo deberán ser de por lo menos 50 mm (2 pulg.) mayor que el diámetro de recipiente de medida a utilizar. Los extremos de la placa deben ser rectos y lisos, con una tolerancia de 2 mm (1/16 pulg.).
- 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 (3/4 de pulg.) de ancho y 300 mm (12 pulg.) de longitud.

Todo el equipo a utilizar debe estar húmedo.

Figura 5: Recipiente de medición y medidor de aire



Fuente: COGUANOR. (s.f.)

Muestra a utilizar

Se debe obtener una muestra representativa de concreto recién mezclado.

Procedimiento

1. Colocar el recipiente sobre una superficie plana, rígida no absorbente y húmeda. Asegurar que el molde este firme durante todo el proceso.
2. Llenar el recipiente con el cucharón a $1/3$ del volumen total, verter el concreto moviendo el cucharón alrededor del perímetro de la abertura para que la distribución sea pareja.
3. Apisonar 25 veces uniformemente en toda la sección transversal de la primera capa. y repetir el proceso dos veces mas, hasta tener 3 capas en total.
4. Después de varillar cada capa, golpear el recipiente utilizando el mazo para cerrar los vacíos dejados por la varilla, aproximadamente 10 golpes, repartidos por lado.
5. Al finalizar de llenar, varillar y golpear cada capa el exceso o carencia de concreto no debe ser mayor a 3 mm ($1/8$ pulg.) por encima o debajo de la superficie del recipiente.
8. Realizar el enrasado del recipiente, se inicia 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. Limpiar el exterior del recipiente de todo excedente y ensamblar el aparato, cerrando la válvula principal de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medición. Abrir las dos válvulas de paso situadas en la tapa.
7. Inyectar agua en una de las válvulas hasta que el agua surja en la válvula opuesta. Sacudir el medidos hasta que salga todo el aire por la misma llave de purga.
8. Cerrar la válvula de purga de aire de la cámara de aire y bombear aire en la cámara hasta que la aguja del medidor de presión este en la línea de presión inicial. Esperar unos segundos para que el aire comprimido se enfríe a temperatura ambiente.
9. El porcentaje de aire se encuentra en la carátula del indicador de presión.

Resultados

El contenido de aire de la muestra de concreto se deberá informar al 0.1 % más cercano, 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.

5.3.5. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio (COGUANOR NTG 41060/ASTM C192)

Esta norma define el procedimiento para preparar y curar especímenes de concreto para ensayos en un laboratorio, se realizan bajo control de materiales y condiciones de ensayo. [35]

Equipo

- Moldes horizontales cilíndricos de ensayo de flujo plástico: Deben de tener una ranura de llenado paralela al eje del molde y que se extienda en toda su longitud, el ancho de la misma debe ser, como máximo, la mitad del diámetro del espécimen.
- Moldes de viga prismáticos: Deben ser rectangulares, su superficie debe ser lisa y estar libre de irregularidades. La variación máxima de la sección transversal nominal no debe ser mayor a 3 mm para moldes de espesor de 150 mm y no mas de 2 mm para moldes de menor espesor.
- Varillas compactadoras: Deben ser cilíndricas, rectas y con el extremo para apisonar con una punta semiesférica.
- Vibradores internos: La frecuencia debe ser, como mínimo, de 115 Hz. Su diámetro no debe ser mayor que 1/4 del diámetro del molde cilíndrico o del molde prismático.
- Vibradores externos: La frecuencia debe ser, como mínimo, de 60 Hz. Puede ser de mesa o tablón.

- Aparatos para medir asentamiento: Cono de Abrams, debe cumplir con los requerimientos del método de ensayo COGUANOR NTG 41052, basado en la norma ASTM C143.
- Equipo de tamizado en húmedo: Debe cumplir con los requerimientos del método de ensayo COGUANOR NTG 41057, basado en la norma ASTM C172.
- Dispositivo de medición de contenido de aire: Debe cumplir con los requerimientos del método de ensayo COGUANOR NTG 41017 h7, basado en la norma ASTM C231.
- Dispositivo para medir temperatura: Debe cumplir con los requerimientos del método de ensayo COGUANOR NTG 41053, basado en la norma ASTM C1064.
- Mezcladora de concreto: Debe de tener un tambor giratoria que sea capaz de mezclar las amasadas completamente y dar el asentamiento requerido.

Procedimiento

Mezclado del concreto

1. Poner en la máquina el agregado grueso y parte del agua. Empezar a mezclar.
2. Adicionar el aditivo. Mientras la máquina está encendida adicionar el agregado fino, cemento y agua.
3. Mezclar durante 3 minutos.
4. Dejar reposar por 3 minutos.
5. Mezclar por 2 minutos.

Elaboración de los especímenes

Se deben moldear los especímenes lo más cerca posible del lugar donde van a estar almacenados por las próximas 24 horas, posteriores a su hechura. Colocar el concreto en los moldes utilizando una cuchara. El varillado y número de capas se realizan de acuerdo a los siguientes cuadros:

Cuadro 12: Número de capas requeridas para los especímenes

Tipo y tamaño de espécimen	Modo de consolidación	Número de capas aproximadamente igual al espesor
Cilindros, diámetro, pulg. (mm)		
3 ó 4 (75 a 100)	Varillado	2
6 (150)	Varillado	3
9 (225)	Varillado	4
hasta 9 (225)	Vibración	2
Prismas y cilindros horizontales de flujo plástico, espesor pulg. (mm)		
hasta 8 (200)	Varillado	2
más de 8 (200)	Varillado	3 ó más
hasta 8 (200)	Varillado	1
más de 8 (200)	Vibración	2 ó más

Fuente: COGUANOR. (s.f.)

Cuadro 13: Diámetro de varilla y número de golpes por capa

Cilindros		
Diámetro de cilindro, pulg. (mm)	Diámetro de varilla, pulg. (mm)	Número de golpes por capa
3 (75) hasta 6 (150)	3/8 (10)	25
6 (150)	5/8 (16)	25
8 (200)	5/8 (16)	50
10 (250)	5/8 (16)	75
Vigas y prismas		
Área de la superficie superior del espécimen, pulg. ² (cm ²)	Diámetro de varilla, pulg. (mm)	Número de golpes por capa
25 (160) o menos	3/8 (10)	25
25 a 49 (165 a 310)	3/8 (10)	Uno por cada 1 pulg. ² (7 cm ²) de superficie
50 (320) o más	5/8 (6)	Uno por cada 2 pulg. ² (14 cm ²) de superficie
Cilindros horizontales de flujo plástico		
Diámetro de cilindro, pulg. (mm)	Diámetro de varilla, pulg. (mm)	Número de golpes por capa
6 (150)	5/8 (6)	50 en total, 25 a lo largo de ambos lados del eje

Fuente: COGUANOR. (s.f.)

Curado

Los especímenes se deben de mantener en los moldes y en reposo durante 24 ± 8 h después de ser moldeados. Los especímenes deben ser curados en húmedo a una temperatura de $23 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ desde el tiempo de moldeado, hasta el tiempo de ensayo. Durante el curado los especímenes deben de mantener agua libre sobre su superficie.

5.4. Evaluación del concreto en estado endurecido

5.4.1. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (COGUANOR NTG 41017 h1/ASTM C39)

Este método de ensayo determina la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Este ensayo aplica para concreto con masa unitaria mayor a 800 kg/m^3 (50 lb/pie^3). [20]

Equipo

- Máquina de ensayo: Debe de tener la suficiente capacidad y que pueda proveer las velocidades de carga necesarias.
- Bloques de apoyo: Los bloques de apoyo inferior y superior deben ser de acero con caras endurecidas y tener una dimensión mínima de al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ser ensayado. 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.
- Separadores: Se deben colocar debajo del bloque de apoyo inferior y deben de ser paralelos entre sí. Deben ser de acero con un diámetro máximo de 19 mm (0.75 pulg.). Los separadores deben estar completamente apoyados por la platina de la máquina de ensayo, deben soportar completamente el bloque inferior del apoyo y no deben estar en contacto directo con los especímenes.
- Indicación de carga: La máquina de ensayo deberá estar equipada con un indicador de carga de marcación con agujas o digital. El rango de carga verificado no puede incluir cargas menores a 100 veces el cambio de carga más pequeño que se pueda leer en la escala. 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. El indicador debe ser legible dentro del 1% de la carga indicada en cualquier nivel de carga dado dentro del rango de carga.

Especímenes

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%. Se debe remover la humedad superficial con una toalla y medir la masa del espécimen, su longitud al 1 mm (0.05 pulg.) más cercano en tres ubicaciones diferentes, alrededor de la circunferencia. Calcular la longitud promedio y registrarla al 1 mm (0.05 pulg.) más cercano.

Procedimiento

1. Los ensayos deben ser hechos tan pronto como los especímenes salgan de almacenamiento húmedo.
2. Los especímenes deben ser mantenidos húmedos entre el periodo que están fuera de almacenamiento y su ensayo.
3. La edad de prueba empieza en el momento de elaboración de los especímenes. Todos los especímenes deben ensayarse a la edad exacta, las tolerancias de tiempo están dadas a continuación:

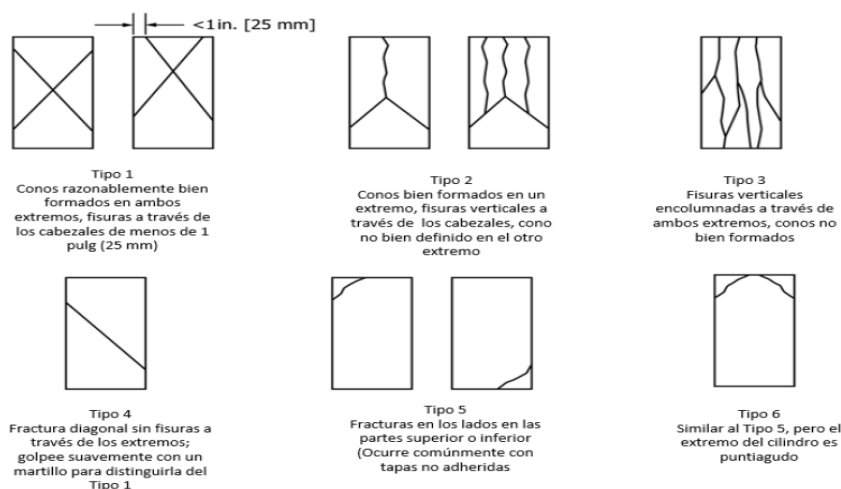
Cuadro 14: Edades de ensayo y tolerancias admisibles

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

Fuente: COGUANOR. (s.f.)

4. Colocar el bloque de apoyo plano (inferior), con su cara endurecida hacía arriba, debajo del bloque de apoyo de asiento esférico (superior). Limpiar las caras de los bloques de apoyo y de los especímenes. Alinear el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque de asiento esférico. Antes de empezar el ensayo, verificar que el indicador de carga esté en cero. Si se utilizan tapas no adheridas se debe verificar el alineamiento del espécimen después de la aplicación de carga, pero antes de alcanzar el 10% de la resistencia esperada.
5. Aplicar la carga continuamente y sin impacto. La carga debe aplicarse a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 (lb/pulg.²)/s). Esta velocidad debe ser mantenida durante la última mitad de la fase de carga. Para la primera mitad de la fase de carga anticipada, se permite una velocidad de carga mayor. El espécimen no debe estar sometido nunca a una carga de impacto.
6. Aplicar la carga a compresión hasta que el indicador de carga muestre que la carga está decreciendo progresivamente y el espécimen muestre un patrón de fractura. A continuación de muestran los tipos de fractura típicos.

Figura 6: Esquema de los modelos de fractura típicos



Fuente: COGUANOR. (s.f.)

Cálculos

La resistencia a compresión del espécimen, en el sistema internacional (SI), se calcula de la siguiente manera:

$$f_{cm} = \frac{4000 * P_{max}}{\pi * D^2}$$

En dónde:

- f_{cm} = Resistencia a la compresión en MPa.
- P_{max} = Carga máxima kN.
- D = Medida del diámetro promedio en mm.

5.4.2. Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz). (COGUANOR NTG 41017 h2/ASTM C 78)

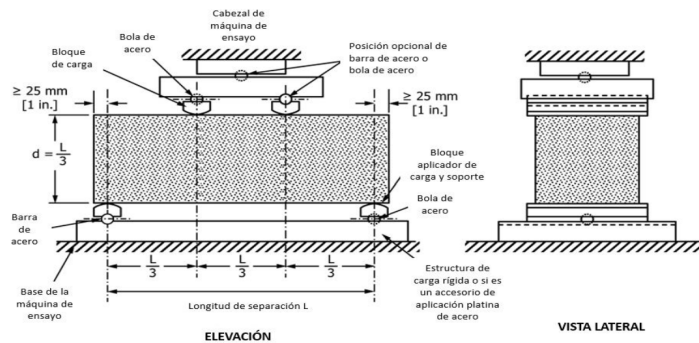
Este método de ensayo determina el esfuerzo a flexión del concreto utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de luz. Los resultados de calculan e informan como el módulo de ruptura. El esfuerzo puede variar dependiendo de las diferencias en la preparación y condiciones de preparado de las vigas. [21]

Equipo

- Máquina de ensayo: No se permiten máquinas de ensayo manuales, a menos que tengan bombas que mantengan una carga constante. La máquina de ensayo debe tener un dispositivo para registrar el valor máximo que indica la carga máxima.

- Aparato de carga: El método de carga en los tercios de luz se utiliza para flexión del concreto y se deben utilizar bloques de apoyo para asegurar que las fuerzas que se apliquen a las vigas sean perpendiculares a la cara del espécimen. Los aparatos que se utilicen para realizar ensayos a flexión deben poder mantener la longitud de separación especificada y las distancias entre los bloques de carga. La relación de distancia horizontal entre el punto de aplicación de la carga y el de la reacción más cercana a la profundidad de la viga debe ser de 1.0 ± 0.03 . Los bloques de aplicación de carga y soporte no deben ser mayores a 65 mm. Cada superficie de apoyo no debe alejarse del plano en más de 0.05 mm. El ángulo subtendido de la superficie curva de cada bloque será de al menos 0.80 radianes (45°). La siguiente figura muestra un aparato típico para el ensayo a flexión del concreto.

Figura 7: Vista gramática de un aparato para ensayo a flexión de concreto por método de carga en los tercios de luz



Fuente: COGUANOR. (2017)

Especímenes de ensayo

Los lados del espécimen deben formar un ángulo recto con la parte superior e inferior, todas las superficies deben ser lisas y libres de concavidades o marcas. El módulo de ruptura se determina usando tamaños de muestra diferentes, siempre que la dimensión de sección transversal más pequeña de la viga sea por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Procedimiento

1. Los ensayos de flexión de los especímenes curados en húmedo deben ser realizados luego de ser removidos del almacenamiento en húmedo.
2. En especímenes moldeados se debe girar sobre su lado con respecto a su posición como fue moldeado y centrarlo en los bloques de soporte. Con especímenes cortados, este se debe colocar para que la cara de tensión corresponda a la parte superior o inferior con la que fue cortado. Se debe centrar el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Poner los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del

espécimen en los tercios de la luz y aplicar una carga entre 3% y 6% de la última carga estimada. Usando medidores de espesor tipo hoja de 0.10 mm (0.004 pulg.) y 0.40 mm (0.015 pulg.), determinar si cualquier vacío entre el espécimen y el aplicador de carga o los bloques soporte es más grande o menor que cada medida de espesor sobre una longitud de 25 mm (1 pulg.) o más. Esmerilar, encabezar o usar bandas de cuero sobre la superficie de contacto para eliminar cualquier vacío en exceso de 0.10 mm (0.004 pulg.). Las cintas de cuero deben ser uniformes de 6 mm (1/4 pulg.) de espesor, de 25 mm a 50 mm (1 a 2 pulg.) de ancho y deben extenderse a través del ancho total del espécimen. Los vacíos en exceso de 0.40 mm (0.015 pulg.) deben ser eliminados únicamente por cabeceado o esmerilado.

3. Cargar el espécimen uniformemente y sin sacudidas. La carga debe ser aplicada a una velocidad constante hasta el punto de ruptura. Aplicar la carga a una velocidad que constantemente incremente el esfuerzo en la fibra extrema entre 0.9 y 1.2 MPa/min (125 (lb/pulg²)/min y 175 (lb/pulg²)/min) hasta que la ruptura ocurra. A continuación, se muestra la fórmula para calcular la velocidad de carga:

$$r = \frac{Sbd^2}{L}$$

En dónde:

- r = Velocidad de carga, N/min, (lb/min)
- S = Velocidad de incremento del esfuerzo, en la fibra extrema, MPa/min, ((lb/pulg²)/min)
- b = Ancho promedio del espécimen, mm (pulg)
- d = Espesor promedio del espécimen, mm (pulg)
- L = Longitud de la separación de apoyos, mm (pulg)

Cálculos

Para determinar las dimensiones de la sección transversal del espécimen a utilizar en el cálculo del módulo de ruptura, tomar medidas a través de una de las caras fracturadas después del ensayo. Para cada dimensión, tomar una medida a cada extremo y una al centro de la sección transversal. Tomar tres medidas por cada dirección para determinar el ancho promedio y el espesor promedio. Tomar todas las medidas lo más cercano a 1 mm (0.05 pulg). Si la fractura ocurre en una sección cabeceada, incluir el espesor del cabeceado en la medida.

Si la fractura de inicia en la superficie de tensión del tercio medido de la luz o longitud de separación entre apoyos, calcular el módulo de ruptura, con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

En dónde:

- R = Módulo de ruptura, MPa (lb/pulg²)

- P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf)
- L = Longitud de la separación de apoyos, mm (pulg)
- d = Espesor promedio del espécimen, mm (pulg)
- b = Ancho promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg)

Si la fractura ocurre en la sección en tensión fuera del tercio medio de la luz o longitud de separación entre apoyos, por no más de 5 % de la luz, calcular el módulo de ruptura, con la siguiente fórmula:

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

En dónde:

- R = Módulo de ruptura, MPa (lb/pulg²)
- P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf)
- a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de tensión de la viga, mm (pulg)
- d = Espesor promedio del espécimen, mm (pulg)
- b = Ancho promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg)

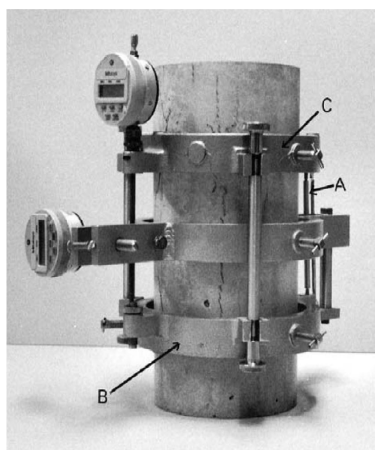
5.4.3. Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión. (COGUANOR NTG 41017 h16/ASTM C469

Este método de ensayo determina el módulo de elasticidad cuerda (Módulo de Young) y la relación de Poisson en cilindros de concreto y núcleos de concreto bajo esfuerzos de compresión longitudinal. A partir de este ensayo se da una relación entre el esfuerzo y su deformación unitaria y entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal para el concreto endurecido. [23]

Equipo

- Máquina de ensayo: Utilizar una máquina capaz de aplicar una carga continua y sin impactos, debe ser una máquina de tipo CRT de velocidad constante.
- Compresómetro: Utilizar un dispositivo sensor adherido o no adherido que mida una aproximación de 5 millonésimas la deformación promedio en dos líneas de base diametralmente opuestas paralelas al eje axial y centrada cerca de la mitad de la altura del espécimen.

Figura 8: Compresómetro



Fuente: COGUANOR. (2017)

- Deformómetro: Mide las deformaciones directamente por un indicador de cuadrante. También se puede utilizar un transformador lineal de diferencia variable. Si las distancias de la barra pivote y de la línea de base al plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del anillo rotativo son iguales, la deformación es igual a la mitad de la lectura del deformómetro. Si las distancias no son iguales, la deformación se calcula con la siguiente fórmula:

$$d = \frac{ge_r}{(e_r + e_g)}$$

En dónde:

d = Deformación total del espécimen a lo largo de la longitud de base efectiva, μ pulg. (μ m).

g = Lectura del deformómetro, μ m (μ pulg.).

e_r = Distancia perpendicular, medida en milímetros (pulg.) con una aproximación de 0.254 mm (0.01 pulg.) desde la barra pivote al plano vertical que pasa a través de los dos puntos de soporte del anillo rotativo.

e_g = Distancia perpendicular medida en milímetros (pulg.) con una aproximación de 0.254mm (0.01pulg.) desde el deformómetro al plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del anillo rotativo.

- Extensómetro: La deformación transversal se determina por medio de un extensómetro no adherido que mida con una aproximación de 0.635μ m (25μ pulg.) o mediante dos deformómetros adheridos montados circunferencialmente en puntos diametralmente opuestos a la mitad de la altura del espécimen y capaces de medir la deformación circunferencial con una aproximación de 5 millonésimas. Si las distancias de la barra pivote y del deformómetro al plano vertical que pasa por los puntos de soporte del anillo intermedio son iguales, la deformación transversal en el diámetro del espécimen es igual a la mitad de la lectura del deformómetro. Si estas distancias no son iguales, calcular la deformación unitaria transversal del diámetro del espécimen de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$d = \frac{ge_h}{(e_h + e_g)}$$

En dónde:

d = Deformación transversal del diámetro del espécimen, μ pulg. (μ m).

g = Lectura del deformómetro transversal, μ m (μ pulg.).

e_h = distancia perpendicular, medida en milímetros con una aproximación de 0.254 mm (0.01 pulg.) desde la barra pivote al plano vertical que pasa a través de los dos puntos de soporte del anillo intermedio.

e_g = Distancia perpendicular medida en milímetros (pulg.adas) desde el deformómetro transversal, al plano vertical que pasa a través de los puntos de soporte del anillo intermedio.

Especímenes de ensayo

Los especímenes se deben ensayar una hora después de ser removidos del cuarto de o tanque de curado y mantenerse húmedos cubriéndolos con una toalla mojada durante la espera. Los especímenes se deben ensayar una hora después de ser removidos del cuarto de o tanque de curado. El diámetro del espécimen de ensayo se debe medir con un calibrador con aproximación de 0.25 mm (0.01 pulg.) promediando dos diámetros medidos perpendicularmente entre sí, cerca del centro de la longitud del espécimen.

Procedimiento

1. Mantener la humedad y temperatura del ambiente constantes durante todo el ensayo. Ensayar dos especímenes a compresión previamente a realizar la prueba.
2. Colocar el espécimen de ensayo con el equipo de medición instalado en la platina de apoyo de la máquina de ensayo y alinear su eje con el centro de la rotura del cabezal superior al apoyo.
3. Aplicar carga al espécimen dos veces y no registrar datos durante la primera carga. Ajustar el deformómetro durante la primera carga y corregir cualquier comportamiento inusual y luego aplicar la carga continuamente y sin impactos. Ajustar la máquina de ensayo del tipo de tornillos de manera que el cabezal móvil se mueva a una velocidad aproximada de 1.25 mm (0.05 pulg.)/min cuando la máquina esta corriendo libre. En máquinas que operan hidráulicamente, aplicar la carga a una velocidad constante dentro de un rango de 241 +/- 34 KPa (35 +/- 5 psi)/s. Registrar sin interrupción del ensayo, la carga aplicada y la deformación unitaria al punto 1 cuando la deformación unitaria longitudinal es de 50 millonésimas y al punto 2 cuando la carga aplicada es igual al 40 % de la carga última. Para calcular la relación de Poisson se debe registrar la deformación unitaria transversal en los mismos puntos. Para determinar la curva esfuerzo-deformación unitaria se deben de tomar al menos dos lecturas en puntos intermedios. Cuando se alcance la carga máxima, se debe reducir la carga a cero con la misma velocidad a la que fue aplicada.
4. Se puede obtener el módulo de elasticidad y resistencia en el mismo ciclo de carga cuando se utilicen deformómetros desechables o removibles. Para esto se deben regis-

trar varias lecturas y determinar el valor de deformación unitaria al 40 % de la carga última, por medio de interpolación.

5. Gráficar los resultados, de lecturas intermedias, de cada uno de los tres ensayos con la deformación unitaria longitudinal en la abscisa y el esfuerzo de compresión en la ordenada.

Cálculos

La fórmula siguiente calcula el módulo de elasticidad con una aproximación de 344.74 Mpa (50,000 psi):

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

En dónde:

- E = Módulo de elasticidad cuerda, MPa (psi)
- S₂ = Esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última MPa (psi)
- S₁ = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal, 1, de 50 millonésimas, en MPa (psi)
- ϵ_2 = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S₂, en millonésimas: μm ($\mu\text{pulg.}$)

La relación de Poisson con 0.001 de aproximación de calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1}}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

En dónde:

- ϵ_{t2} = Deformación unitaria transversal en la altura media del espécimen producida por S₂ en millonésimas: $\mu\text{ m}$ ($\mu\text{ pulg.}$)
- ϵ_{t1} = Deformación unitaria transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo S₁ en millonésimas: $\mu\text{ m}$ ($\mu\text{ pulg.}$)
- μ = Relación de Poisson.

5.4.4. Método de ensayo para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro. (COGUANOR NTG 41017 h41/ASTM C 1202)

Este método de ensayo determina la conductividad eléctrica del concreto para proporcionar una indicación rápida de su resistencia a la penetración de ion cloruro. [36]

Interferencias

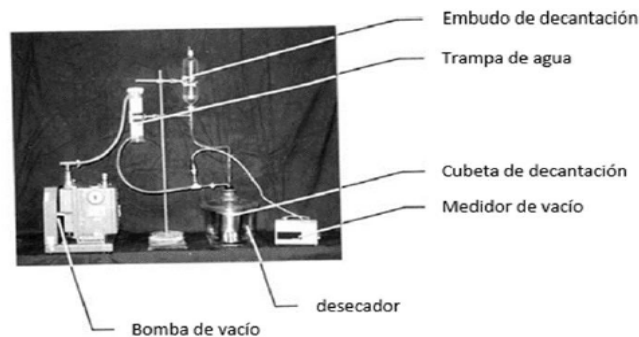
Este método puede producir falsos resultados cuando el nitrito de calcio se ha mezclado en el concreto. Los resultados pueden indicar valores altos, menor resistencia a la penetración de iones cloruro. Debido a que los resultados del ensayo están en función de la resistencia eléctrica de la muestra, la presencia de acero de refuerzo u otros materiales eléctricamente conductores incorporados en el concreto pueden tener un efecto significativo.

Equipo

Equipos de saturación al vacío

- Embudo de separación sellable con drenaje de fondo con una capacidad mínima de 500 mL.
- Cubeta de decantación, capaz de contener muestras de concreto y agua y de instalarse en el desecador de vacío.
- Bomba de vacío o aspirador que pueda mantener una presión de menos de 50 mm Hg (6650 Pa) en el desecador.
- Medidor de vacío o manómetro con precisión de ± 5 mm Hg (± 665 Pa) en un rango de presión de 0 mm Hg a 100 mm Hg (0 a 13300 Pa).

Figura 9: Equipo de saturación al vacío



Fuente: COGUANOR. (2017)

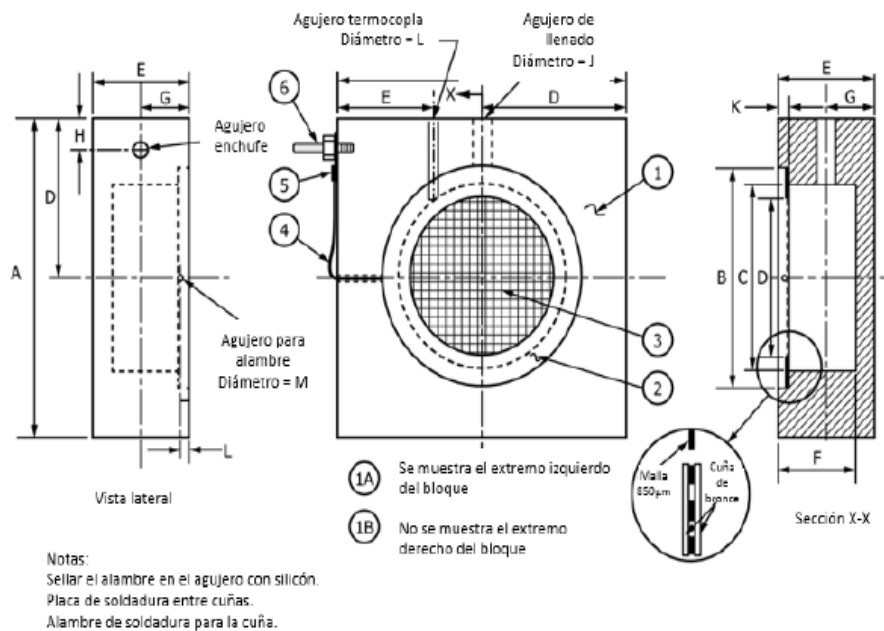
Equipo y materiales de revestimiento

- Recubrimiento: Debe ser fácil y rápido de ajustar, no conductor y capaz de sellar la superficie lateral de los núcleos de concreto.
- Balanza, vasos de papel, espátulas de madera y cepillos desechables.
- Equipo de dimensionamiento de especímenes
- Sierra de diamante refrigerada por agua de cama móvil o sierra de carburo de silicio.

Reactivos, materiales y celdas de ensayo

- Sellador para la celda del espécimen: Debe ser capaz de sellar concreto con polimetacrilato de metilo.
- Solución de cloruro de sódico: 3.0 % en masa (grado reactivo) en agua destilada.
- Solución de hidróxido de sodio: 0.3 N (grado reactivo) en agua destilada.
- Papeles de filtro No. 2: De 90 mm de diámetro.
- Celda de voltaje: Dos cámaras simétricas de polimetacrilato de metilo con una malla eléctricamente conductora y conectores externos.

Figura 10: Esquema constructivo de celda de voltaje



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

Fuente: COGUANOR. (2017)

- Dispositivo de medición de temperatura: Termómetro con un rango de 0°C a 120°C.

- Aparato de aplicación de voltaje y lectura de datos: Debe ser capaz de mantener 60 ± 0.1 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 ± 0.1 V y una corriente de ± 1 mA.
- Voltímetro digital: 3 dígitos con un rango máximo de 0 a 99.9 V y precisión nominal de ± 0.1 %. 4 1/2 dígitos con un rango de 0 a 200 mV y precisión nominal ± 0.1 %.
- Resistencia Shunt: 100 mV, escala de 10A, con una tolerancia ± 0.1 %.
- 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 ± 0.1 V en todo el rango de corrientes.
- Cable de dos conductores, AWG No. 14 (1.6 mm), aislado, 600 V.

Especímenes de ensayo

Las muestras preparadas en el laboratorio deben estar en curado húmedo prolongado durante 56 días. Con una sierra de diamante enfriada con agua cortar una sección de $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ (2 pulg. $\pm 1/8$ pulg.) 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. Usar una lijadora de banda para eliminar cualquier rebaba en el extremo de la muestra.

Preparación

1. Hervir mínimo un litro de agua, tapar el recipiente y dejar que se enfríe a temperatura ambiente.
2. Dejar que la muestra preparada se seque al aire durante una hora, preparar 10 gramos de recubrimiento de fraguado rápido y cepillar la superficie lateral de la muestra. Colocar la muestra en el soporte adecuado.
3. El recubrimiento debe dejarse curar hasta que ya no este pegajoso, rellenar los agujeros y dar un tiempo de curado adicional. Colocar la muestra en la cubeta de decantación y luego el recipiente en el desecador de vacío. Colocar la muestra directamente en un desecado de vacío, ambas caras de la muestra deben estar expuestas. Sellar el desecador y encender la bomba de vacío, la presión debe disminuir a menos de 50 mm Hg (6,650 Pa), se debe mantener el vacío por tres horas.
4. Llenar la cubeta de decantación con el agua hervida, con la bomba de vacío funcionando, vaciar suficiente agua en el recipiente hasta cubrir la muestra.
5. Dejar que la bomba de vacío funcione por una hora.
6. Cerrar la llave de paso de la línea de vacío y apagar la bomba. Girar la llave de paso de la línea de vacío para permitir que el aire vuelva a entrar en el desecador.
7. Sumergir el espécimen bajo el agua en la cubeta de decantación durante 18 ± 2 horas.

Procedimiento

1. Retirar la muestra del agua, quitar el exceso de agua y transferir la muestra a un recipiente sellado que mantenga la muestra en humedad relativa de mínimo el 95 %.
2. Ensamblar la muestra, usar un sellador de celdas de especímenes de dos partes y preparar de 20 a 40 gramos.
3. Cubrir la cara expuesta de la muestra con un material impermeable como láminas de caucho o plástico. Colocar el tapón en el orificio de llenado y dejar que se cure.
4. Repetir los pasos anteriores en la segunda mitad de la celda.
5. Ensamblar de la muestra: En la alternativa con junta de goma, Coloque un diámetro exterior de 100 mm (4 pulg.) por 75 mm (3 pulg.) de diámetro interno por junta de goma vulcanizada circular de 6 mm de espesor en cada mitad de la celda de ensayo. Insertar la muestra.
6. Llenar el lado de la celda que contiene la superficie superior de la muestra con una solución de cloruro de sodio. Llenar el otro lado de la celda con una solución de 0.3 N de hidróxido de sodio.
7. Conectar los cables al conector con rosca de la celda, realizar las conexiones eléctricas a la aplicación de voltaje y a los aparatos de lectura. Encender la fuente de alimentación y ajustarlo en 60.0 ± 0.1 V, registrar 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 inicie el ensayo y durante.
8. Leer y registrar la corriente, mínimo cada 30 minutos. Si se usa un voltímetro en combinación con una resistencia en derivación para la lectura de corriente, usar los factores de escala apropiados para convertir la lectura de voltaje a amperios. Todas las mitades de la celda deben permanecer llenas con la solución durante todo el ensayo.
9. Terminar el ensayo luego de 6 horas transcurridas. Retirar la muestra y enjuagar las celdas completamente en agua de la llave, despegar y desechar el sellador residual.

Cálculos

Trazar la corriente (en amperios) versus el tiempo (en segundos). Dibujar una curva suave con los datos e integrar el área debajo de la curva para obtener los amperios-segundos, o coulomb de carga pasados durante el período de ensayo de 6 horas. La carga total pasada es una medida de la conductividad eléctrica del concreto durante el período de ensayo.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + \dots + 2I_{306})$$

En dónde:

- Q = Carga pasada (coulomb).
- I_0 = Corriente (amperios) inmediatamente después de aplicar la tensión.

- I_t = Corriente (amperios) en t minutos después de aplicar la tensión.

Si el diámetro del espécimen no es de 95 mm se debe ajustar el valor de la carga total, multiplicando el valor establecido por la proporción de áreas transversales del estándar y del espécimen actual.

$$Q_s = Q_x * \left(\frac{95}{x}\right)^2$$

En dónde:

- 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.

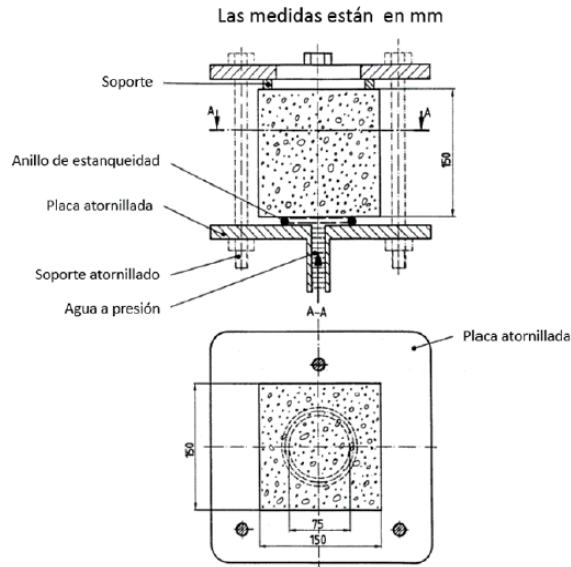
5.4.5. Método de ensayo para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido. (COGUANOR NTG 41017 h42)

Este método determina la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido. [37]

Aparato de ensayo

El equipo puede ser cualquier dispositivo en el que se pueda colocar el espécimen de ensayo, de manera que el agua pueda actuar sobre la zona de ensayo y se pueda visualizar la presión aplicada de forma continua. Se debe sellar con caucho. Las dimensiones deben ser la mitad de la longitud del lado o diámetro de la superficie de la cara del espécimen.

Figura 11: Dispositivo de ensayo



Fuente: COGUANOR. (2017)

Espécimen de ensayo

Los especímenes deben de tener una edad mínima de 28 días. Los especímenes cilíndricos no deben tener un diámetro menor de 150 mm, con una altura no menor a 100 mm con una relación entre altura y diámetro igual a mayor a 0.5.

Procedimiento

Preparación del espécimen

Después de desmoldar el espécimen, limpiar la superficie de la cara que va a estar expuesta a la presión de agua, utilizando un cepillo de cerdas metálicas.

Aplicación del agua a presión

No aplicar la presión en la cara del 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. Se debe observar periódicamente el estado de las superficies no expuestas al agua a presión para observar presencia de agua. Si existieran filtraciones, el ensayo no se considera válido.

Inspección del espécimen o núcleo

Luego de que el tiempo especificado haya transcurrido, se debe retirar el espécimen del dispositivo de ensayo. Limpiar la cara a la que se le aplicó la presión de agua para retirar cualquier exceso. Cortar el espécimen o núcleo en dos mitades, perpendicularmente a la cara a la que se le aplicó la presión. Cuando la sección esté seca, marcar la línea de penetración del agua y medir la profundidad máxima. El resultado se redondea al milímetro más próximo y se registra.

5.4.6. Determinación de la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. (COGUANOR NTG 41017 h15/ASTM C496)

Este método de ensayo determina la resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. [38]

Equipo

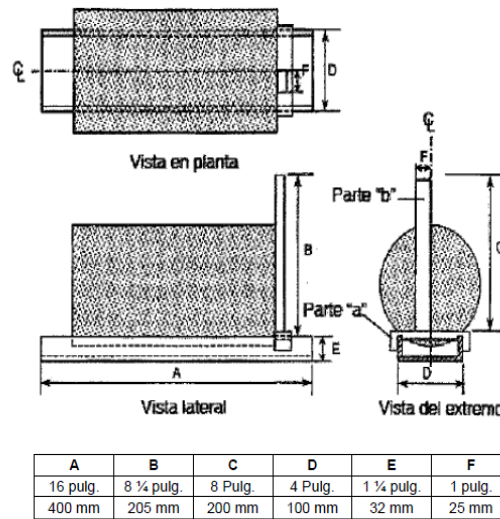
- Máquina de ensayo: Debe poder alcanzar una velocidad de carga de hasta 1.4 MPa/min.
- Barra o placa de apoyo suplementaria: La barra o placa deben ser fresadas planas dentro de 0.025 mm (0.001 pulg.), medidos en cualquier línea de contacto del área de apoyo. Debe tener un ancho de al menos 50 mm (2 pulg.) y un espesor no menor a la distancia desde el borde del bloque de apoyo esférico o rectangular hasta el extremo del cilindro. La barra o placa debe ser utilizada de manera tal que la carga sea aplicada sobre toda la longitud del espécimen.
- Listones de apoyo: Cada espécimen debe de tener dos listones de apoyo de madera prensada de 3.2 mm (1/8 pulg.) de espesor nominal, libre de imperfecciones, de aproximadamente 25 mm (1 pulg.) de ancho, y de una longitud igual o ligeramente mayor a la del espécimen.

Procedimiento

1. Dibujar líneas diametrales sobre cada extremo del espécimen utilizando un dispositivo que asegura que estén en el mismo plano axial.
2. Determinar el diámetro del espécimen de ensayo al 0.25 mm (0.01 pulg.) más cercano, con un promedio de los tres diámetros medidos cerca de los extremos y en el medio del espécimen y en el plano que contiene las líneas marcadas sobre los dos extremos. Determinar la longitud del espécimen al 2 mm (0.1 pulg.), promediando, como mínimo, dos mediciones de longitud tomadas en el plano que contiene las líneas marcadas sobre los dos extremos.
3. Centrar un listón a lo largo del centro del bloque de apoyo inferior. Colocar el espécimen sobre el listón de madera y alinearlos de manera que las líneas marcadas estén verticales

y centradas. Colocar el otro listón sobre el cilindro longitudinalmente. A continuación, se muestra el posicionamiento correcto del espécimen:

Figura 12: Vistas generales de un aparato adecuado para marcar diámetros extremos utilizados para alineación del espécimen en la máquina de ensayo



Fuente: COGUANOR. (s.f.)

4. Posicionar los listones de apoyo, el cilindro de ensayo y la barra de apoyo, centrarlos de manera que la barra de apoyo y el centro del espécimen estén directamente debajo del centro del empuje del bloque de apoyo esférico.
5. Aplicar la carga en forma continua y sin sacudidas, a una velocidad constante dentro del rango de un esfuerzo de tracción indirecta de 0.7 a 1.4 MPa/min (100 a 200 psi/min) hasta la falla del espécimen.
6. Registrar la carga máxima aplicada, el tipo de falla y la apariencia del concreto.

5.4.7. Método de muestreo y ensayo para baldosas de terrazo para pisos de uso interior y exterior. (COGUANOR NTG 41081 h1)

Esta norma presenta el método de ensayo para determinar la resistencia al impacto de las baldosas de terrazo, en esta tesis se aplica en placas de concreto con adición de caucho granulado. [39]

Equipo

- Masa de 8.58 kg, hecha de metal resistente a caídas e impactos.
- Arena de tipo triturada, basáltica con una humedad del 3% y que pase el tamiz No. 8.

- Recipiente metálico capaz de contener la arena y el espécimen de ensayo. Las dimensiones deben ser suficientes como para que su perímetro en todos sus puntos diste, mínimo 100 mm, del perímetro de la baldosa.

Espécimen de ensayo

Placa de concreto, curada por 28 días. Las dimensiones de largo y ancho deben ser de 30 cm y profundidad de 7.50 cm.

Procedimiento

Se llena hasta, aproximadamente la mitad del recipiente de arena y se aplana utilizando una regla, hasta que no quede ninguna imperfección. Se sitúa el espécimen de ensayo en el medio del recipiente. Se deja caer la masa desde una altura medida de 1 m.

5.4.8. Práctica estándar para la evaluación petrográfica del concreto endurecido. (COGUANOR NTG 41089/ASTM C856)

Esta práctica describe los procedimientos para realizar evaluaciones petrográficas a muestras de concreto. [40]

Equipo

- Sierra diamantada: Sierra automática con la capacidad para hacer un corte de 7 pulg. en una sola pasada.
- Rueda de giro horizontal: Debe ser de acero o hierro fundido. De diámetro mínimo de 16 pulg. y lo suficientemente grande para pulir un área de 4 pulg. por 6 pulg.
- Disco para pulir: De al menos 8 pulg. de diámetro y de dos velocidades.
- Placa calefactora u horno
- Placas de vidrio
- Porta objetos
- Microscopio

Procedimiento

El procedimiento incluye cortar el concreto en capas de 1/16 pulg (2 mm) de grosor si el concreto es fuerte y capas más gruesas si no lo es. Puede ser necesario impregnar el concreto con una resina antes del corte para prevenir desintegración. Resinas epóxicas flexibles diluidas o resinas termoplásticas han sido utilizadas a satisfacción. Las capas de

concreto delgadas se pegan en portaobjetos de vidrio con epóxico flexibilizado, bálsamo Canadá, o Lakeside 70, y molido en vueltas utilizando progresivamente abrasivos finos hasta que se obtenga un espesor de 30 μm o menor; un grosor no mayor que 20 μm se requiere para una evaluación detallada de la pasta en luz transmitida.

6.1. Caracterización del caucho granulado

6.1.1. Granulometría y módulo de finura (COGUANOR NTG 41010 h1/ASTM C136)

Al tener dos tamaños de caucho granulado, se realizaron los procedimientos indicados por la norma COGUANOR NTG 41010 h1, basada en la ASTM C136, para obtener la granulometría de ambos y clasificarlos como agregado fino o grueso y así predecir su comportamiento en las mezclas de concreto. Se inició con una muestra significativa del total, de 300 gramos para el proceso del tamizado. A continuación, se muestran imágenes del proceso:

Figura 13: Caucho granulado, muestra de 300 gramos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14: Proceso de tamizado



Fuente: Elaboración propia.

Debido a la granulometría de ambos tamaños de caucho granulado, estos pueden ser clasificados como agregado fino. El tamaño A (Polvo de 20), retiene una masa de 5.2 g. en el tamiz No. 200, dejando pasar el 0% de la muestra por el mismo. El Tamaño B (Mesh 8, 3-4 mm), retiene 0.2 g. de la masa inicial en el tamiz No. 200 y deja pasar el 0%. Debido a que ninguno de los dos tamaños deja pasar material por el tamiz No. 200, se concluye que no tienen ningún porcentaje de polvo y que pueden ser clasificados como agregado fino. A continuación, se muestra la granulometría de cada tamaño:

Cuadro 15: Granulometría tamaño de caucho A (Polvo de 20)

Tamaño nominal	9.5 mm 3/8"	4.75 mm No. 4	2.36 mm No. 8	1.18 mm No. 16	0.6 mm No. 30	0.3 mm No. 50	0.15 mm No. 100	0.075 mm No. 200
Masa retenida (g)	0.0	0.0	0.0	49.4	140.9	76.4	27.4	5.2
% Pasa	100	100	100	84	37	11	2	0

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 16: Granulometría tamaño de caucho B (Mesh 8, 3-4 mm)

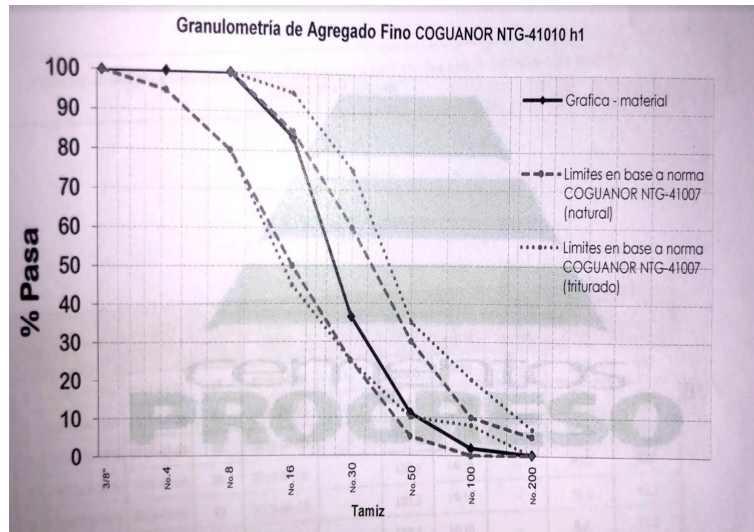
Tamaño nominal	9.5 mm 3/8"	4.75 mm No. 4	2.36 mm No. 8	1.18 mm No. 16	0.6 mm No. 30	0.3 mm No. 50	0.15 mm No. 100	0.075 mm No. 200
Masa retenida (g)	0.0	0.0	0.0	296.8	2.6	0.3	0.1	0.2
% Pasa	100	100	100	1	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la granulometría de ambos tamaños de caucho se obtuvieron sus respectivas curvas granulométricas para analizar la proporción de cada uno de los tamaños de partículas. En cada curva granulométrica se graficaron en las ordenadas el porcentaje de material que pasa cada tamiz y en las abscisas el tamaño nominal de cada tamiz. La gráfica del tamaño

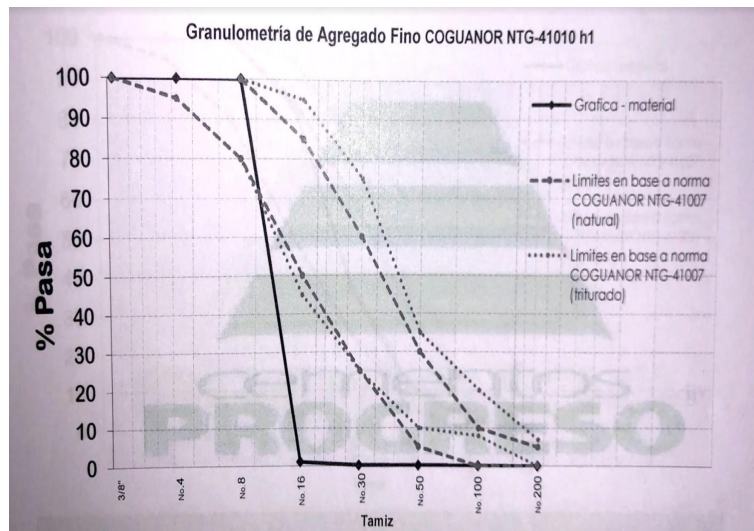
A (polvo de 20) muestra la línea de tendencia de la granulometría del caucho entre los límites de agregado natural y triturado, en base a la norma COGUANOR NTG 41007. Este tamaño de caucho también presenta una curva inclinada, lo cual indica una buena gradación en el tamaño de las partículas. Para el tamaño de caucho B (Mesh 8, 3-4 mm) la curva presenta una fuerte línea vertical, que se encuentra fuera de los límites de agregado natural y triturado, lo cual indica que existe una variabilidad muy reducida en los tamaños de las partículas. A continuación, se muestran las curvas granulométricas de ambos tamaños de caucho granulado:

Figura 15: Curva granulométrica tamaño de caucho A (Polvo de 20)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16: Curva granulométrica tamaño de caucho B (Mesh 8, 3-4 mm)



Fuente: Elaboración propia.

El módulo de finura es una medida del grosor de las partículas y para el agregado fino

se puede definir como un índice de su valor lubricante en la muestra. El módulo de finura del caucho granulado con tamaño A (polvo de 20) es de 2.67 e indica que este tamaño de partículas se puede clasificar como arena gruesa. El módulo de finura del tamaño B (mesh 8, 3-4 mm) es de 3.99 e indica que también se puede clasificar como arena gruesa. A pesar de que ambos tamaños de caucho se pueden clasificar como arena gruesa, el tamaño A (polvo de 20) posee una mejor capacidad para rellenar los espacios dejados por el agregado grueso en el concreto, mejora su trabajabilidad y contribuye a que la mezcla sea más económica.

6.1.2. Densidad aparente (COGUANOR NTG 41010 h2/ASTM C29)

Se calculó la densidad aparente compactada y la densidad aparente suelta de los dos tamaños de muestras de acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41010 h2 (ASTM C29). El procedimiento se siguió en todo momento exceptuando el secado de las muestras en el horno, debido a que, por su composición, el caucho granulado tiene a derretirse en altas temperaturas. La densidad aparente suelta no se obtuvo debido a la falta de secado en el horno de las muestras. A continuación, se muestran imágenes del proceso:

Figura 17: Llenado de recipiente con caucho granulado



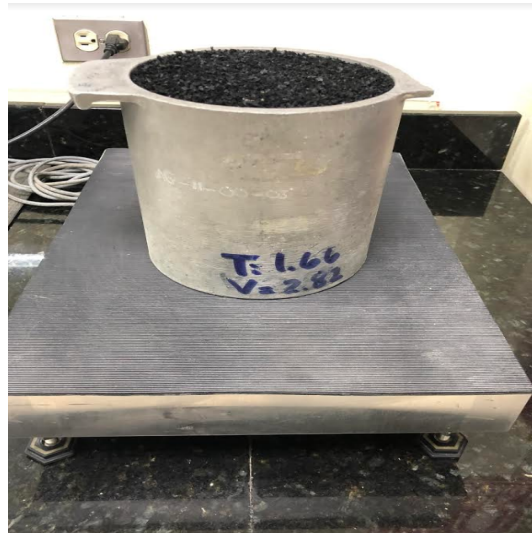
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18: Varillado en capas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19: Determinación de masa de la muestra, dimensiones del recipiente



Fuente: Elaboración propia.

La densidad aparente compactada de ambos tamaños de caucho granulado es de 440 kg/m^3 . La densidad aparente húmeda del tamaño A (polvo de 20) es de 383 kg/m^3 y la del tamaño B (mesh 8, 3-4 mm) es de 397 kg/m^3 . A continuación se muestran los resultados para cada tamaño de muestra:

Cuadro 17: Masa unitaria de muestra A (polvo de 20)

	MUSH	MUC
Volumen del recipiente, L	2.82	2.82
Masa del recipiente, kg	1.66	1.66
Masa del agregado + recipiente (1), kg	2.74	2.89
Masa del agregado + recipiente (2), kg	2.74	2.90
Promedio	2.74	2.90
Masa unitaria (kg/m³)	383	440

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 18: Masa unitaria de muestra B (Mesh 8, 3-4 mm)

	MUSH	MUC
Volumen del recipiente, L	2.82	2.82
Masa del recipiente, kg	1.66	1.66
Masa del agregado + recipiente (1), kg	2.77	2.88
Masa del agregado + recipiente (2), kg	2.79	2.92
Promedio	2.78	2.90
Masa unitaria (kg/m³)	397	440

Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Materia orgánica en los agregados finos (COGUANOR NTG 41010 h4/ASTM C40)

Para obtener la materia orgánica que contenían ambos tamaños de caucho granulado, se siguieron los procesos de la norma COGUANOR NTG 41010, basada en la ASTM B87. A continuación se muestran fotos del procedimiento:

Figura 20: Obtención de la materia orgánica



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21: Resultados materia orgánica



Fuente: Elaboración propia.

Para obtener los resultados de la materia orgánica debido a la degradación del material, se utilizó una solución de hidróxido de sodio al 3%. La materia orgánica del tamaño A (polvo de 20) dió un resultado de color número 2. El resultado del tamaño B (mesh 8, 3-4 mm) es de número de color 0. El tamaño A posee más materia orgánica que el tamaño B.

6.1.4. Determinación de la densidad del cemento hidráulico (COGUANOR NTG 41003 h2/ASTM C188)

Se utilizó el método de determinación de la densidad del cemento hidráulico para encontrar la densidad del caucho granulado debido a que, por su composición, el caucho no se puede someter a altas temperaturas y los métodos convencionales requieren que las muestras sean calentadas en un horno. Se realizó el procedimiento como dicta la norma COGUANOR NTG 41003 h2, basada en la ASTM C188, y se utilizó querosén para encontrar la diferencia de volúmenes. A continuación, se muestran fotos del procedimiento:

Figura 22: El Chatelier con querosén



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23: Llenado de El Chetelier con caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24: El Chetelier en baño de agua con caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

La densidad obtenida del tamaño A (polvo de 20) es de caucho granulado de 1.15 g/cm^3 . La densidad del tamaño B (mesh 8, 3-4 mm) es de 1.19 g/cm^3 .

6.2. Elaboración de diseños de mezclas

6.2.1. Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto de peso normal, pesado y masivo (ACI 211.1)

El diseño de mezcla se realizó en base a la norma ACI 211.1. Para realizar el diseño de las mezclas de cada dosificación de caucho granulado, primero se definieron los materiales a utilizar:

- Cemento: Cemento tipo CFB de Cementos Progreso, fabricado bajo la norma COGUANOR NTG 41095, basada en la ASTM C1157. Es un cemento de alta resistencia inicial.
- Agregados: Agregados provenientes de AGRECA (Agregados de Centroamérica). Se utilizaron 3 tamaños, piedrín de 1 y 3/8 de pulg.ada y arena de 0-1/4 de pulg.ada.

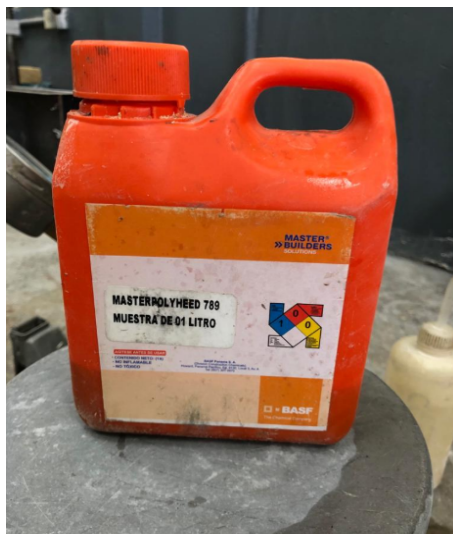
Figura 25: Agregados de AGRECA



Fuente: Elaboración propia.

- MasterPolyheed 789: Es un aditivo reductor de agua en un 12% a 20% y retardante. Cumple con los requisitos de la norma COGUANOR NTG 41070 (ASTM C-494) tipo B y D.

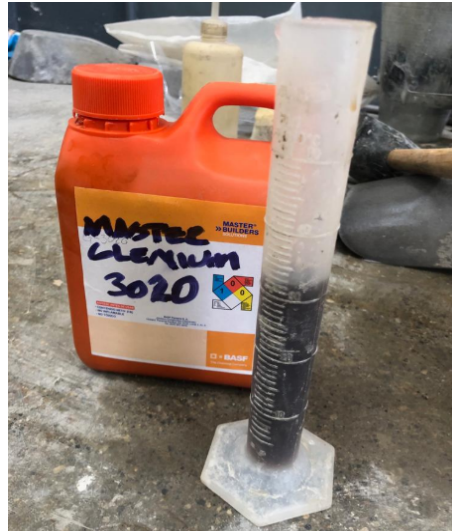
Figura 26: Aditivo MasterPolyheed 789



Fuente: Elaboración propia.

- MasterGlenium 3020: Es un aditivo reductor de agua de alto rango, se utiliza para aumentar la fluidez y reduce el agua de 15 a 40 %. Cumple con los requisitos de la norma COGUANOR NTG 41070 (ASTM C494) para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos de alto rango, tipo F.

Figura 27: Aditivo MasterGlenium 3020



Fuente: Elaboración propia.

- Caucho granulado: Se utilizaron dos tamaños de caucho granulado provenientes de RECIAVAN, S.A.

Figura 28: Caucho granulado, obtenido de RECIAVAN, S.A.



Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron los materiales mencionados para realizar 6 diseños de mezcla con distintas dosificaciones de caucho granulado: 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 25 %. Inicialmente se dosificó aditivo MasterPolyHeed 789, pero al hacer la mezcla con dosificación del 15 % de caucho

granulado, los ensayos en concreto fresco evidenciaron que era necesario lograr que la mezcla fuera más fluida y para esto se agregó al diseño el aditivo MasterGlenium 3020. Este aditivo se utilizó para las mezclas con sustitución de 15 %, 20 % y 25 % de caucho granulado. A continuación, se muestran todos los diseños de mezcla:

Cuadro 19: Diseños de mezclas

	Control (0%)	Caucho 5 %	Caucho 10 %	Caucho 15 %	Caucho 20 %	Caucho 25 %
Cemento CFB, kg	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Agua, kg	19.38	19.29	19.14	18.89	18.53	18.44
Piedrín 1"PPO, kg	62.50	62.50	62.50	62.58	62.71	62.71
Piedrín 3/8"PPO, kg	33.20	33.20	33.20	33.22	33.26	33.26
Arena 0-1/4"PPO, kg	88.90	79.10	69.2	59.40	49.60	40.59
Caucho granulado, kg	0.00	4.50	9.00	13.50	18.00	22.50
Aditivo Poly 789	120	120	120	120	120	120
Aditivo MasterGlenium 3020	0	0	0	32	48	64

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Evaluación del concreto en estado fresco

6.3.1. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico (COGUANOR NTG 41017 h4/ASTM C143)

El asentamiento se determinó bajo los procedimientos de la norma COGUANOR NTG 41017 h4, basada en la ASTM C143. A continuación, se muestran fotos del procedimiento:

Figura 29: Determinación de asentamiento



Fuente: Elaboración propia.

El asentamiento de las mezclas con dosificaciones de 0 %, 5 % y 10 %, muestran un comportamiento lineal. Las mezclas con dosificación de 15 %, 20 % y 25 %, no presentan un comportamiento lineal debido a la adición del aditivo MasterGlenium 3020. Durante la manipulación del concreto se evidenció que mientras más caucho granulado posee la

muestra, aparenta ser más trabajable. Aunque, los resultados de asentamiento para las mezclas parecieran mantenerse relativamente iguales, salvo en la muestra con 20 % de caucho en sustitución por agregado fino, que es bastante más alto que las demás. Los asentamientos se muestran a continuación:

Cuadro 20: Asentamiento para mezclas con diferentes dosificaciones

	Control (0%)	Caucho 5%	Caucho 10%	Caucho 15%	Caucho 20%	Caucho 25%
Asentamiento, pulg.	7 1/2	7	6 1/4	7	8 1/2	6 1/2

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado (COGUANOR NTG 4103/ASTM C1064)

Para la determinación de la temperatura de cada mezcla de concreto se utilizó un termómetro analógico. No se encontró correlación alguna entre la temperatura ambiente y la del concreto o la adición de caucho granulado. A continuación, se muestran la temperatura ambiente al momento de realizar cada mezcla y la temperatura del concreto:

Cuadro 21: Temperatura ambiente y de concreto para cada mezcla

	Control (0%)	Caucho 5%	Caucho 10%	Caucho 15%	Caucho 20%	Caucho 25%
Temperatura ambiente	23.5	24.0	24.5	22.5	23.0	23.5
Temperatura concreto	24.0	23.5	25.0	24.0	24.5	24.5

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3. Densidad aparente (masa unitaria) y rendimiento (volumen producido) del concreto (COGUANOR NTG 41017 h5/ASTM C138)

Se siguieron los procedimientos de la norma COGUANOR NTG 41017 h5, basada en la ASTM C138, para determinar la masa del concreto en cada mezcla. A continuación, se muestran el procedimiento:

Figura 30: Determinación de masa unitaria



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la densidad aparente muestran una disminución conforme la dosificación de caucho granulado aumenta. Durante el proceso de manejo de la mezcla también se evidenció que las mezclas con mayor dosificación de caucho eran más livianas y manejables. A continuación, se muestran los resultados de densidad aparente para cada diseño de mezcla:

Cuadro 22: Densidad aparente de cada mezcla

	Control (0 %)	Caucho 5 %	Caucho 10 %	Caucho 15 %	Caucho 20 %	Caucho 25 %
Densidad aparente, kg/m ³	2395	2228	2028	1768	1608	1539

Fuente: Elaboración propia.

6.3.4. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión (COGUANOR NTG 41017 h7/ASTM C231)

Para la determinación del contenido de aire de cada mezcla se siguieron los procesos de la norma COGUANOR NTG 41017 h7, basada en la ASTM C231, se utilizó un medidor tipo B. A continuación, se muestra la máquina utilizada durante el ensayo:

Figura 31: Determinación de contenido de aire



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran un aumento en el contenido de aire conforme la dosificación de caucho granulado aumenta. Se puede evidenciar que el caucho posee vacíos debido a su composición y que estos causan aumento en el contenido de aire. También los resultados de la densidad relativa se ven afectados por el contenido de aire, haciendo que la densidad de cada mezcla disminuya. A continuación, se muestran los resultados:

Cuadro 23: Contenido de aire de cada mezcla

	Control (0 %)	Caucho 5 %	Caucho 10 %	Caucho 15 %	Caucho 20 %	Caucho 25 %
Contenido de aire, %	1.3	6.0	11.5	20.0	25.0	26.0

Fuente: Elaboración propia.

6.4. Evaluación del concreto en estado endurecido

6.4.1. Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto (COGUANOR NTG 41017 h1/ASTM C39)

Para determinar la resistencia a compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con adición de caucho granulado se siguieron los procedimientos de la norma COGUANOR NTG 41071 h1, basada en la ASTM C39. Se realizaron ensayos a compresión de las 6 mezclas con diferentes dosificaciones de caucho granulado y se evaluó su compresión ensayando los cilindros a 1, 3, 7, 28 y 56 días.

Los resultados de la mezcla de control, con 0 % de adición de caucho granulado muestra un aumento en la resistencia a compresión conforme las edades de los cilindros crecen, tal como se esperaba. Al utilizarse un cemento CFB, de alta resistencia inicial, se puede ver que desde el primer día hay una alta resistencia de 16.996 Mpa, a los 28 días se alcanza una resistencia de 45.609 Mpa y a 56 días 53.572 Mpa. Se observa un crecimiento en la curva

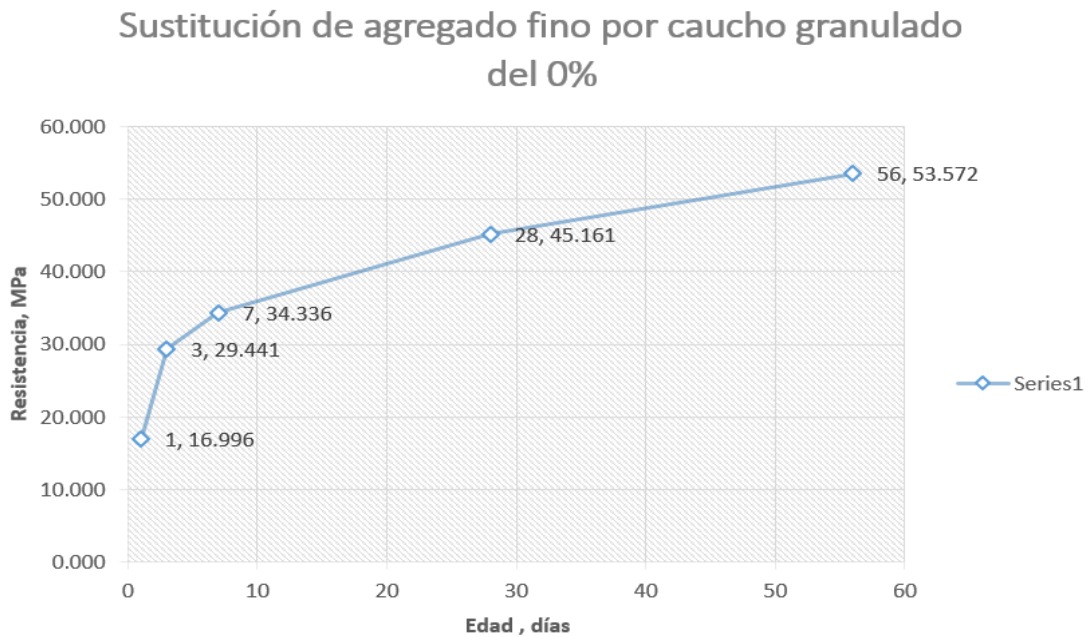
de edad vs. resistencia a compresión. En el cuadro y figura a continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Cuadro 24: Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 0% de caucho granulado

Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 0%						
Edad (días)	Masa (kg)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Resistencia (PSI)	Resistencia (MPa)	Tipo de Rotura
1	3.95	8091	129.30	2320	15.996	2
1	3.92	8091	145.70	2610	17.995	2
Promedio	3.935	8091	137.50	2465	16.996	-
3	3.96	8012	238.50	4320	29.785	2
3	3.96	8012	233.30	4220	29.096	2
Promedio	3.96	8012	235.90	4270	29.441	-
7	3.97	8012	276.20	5000	34.474	3
7	3.97	8012	274.20	4960	34.198	2
Promedio	3.97	8012	275.20	4980	34.336	-
28	3.96	8091	358.30	6420	44.264	3
28	3.97	8091	379.09	6790	46.815	3
28	3.96	8091	359.30	6440	44.402	5
Promedio	3.965	8091	369.20	6615	45.609	-
56	3.98	8012	439.20	7950	54.813	2
56	3.94	8012	419.40	7590	52.331	2
Promedio	3.96	8012	429.30	7770	53.572	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32: Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 0% de caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de resistencia de la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 5%, muestran también que la resistencia a compresión va en aumento conforme crece la edad de los cilindros. Se presenta una resistencia de 8.722 MPa a un día, a los 28 días es de 30.682 MPa y a 56 días de 32.991 MPa. En el cuadro y figura a continuación

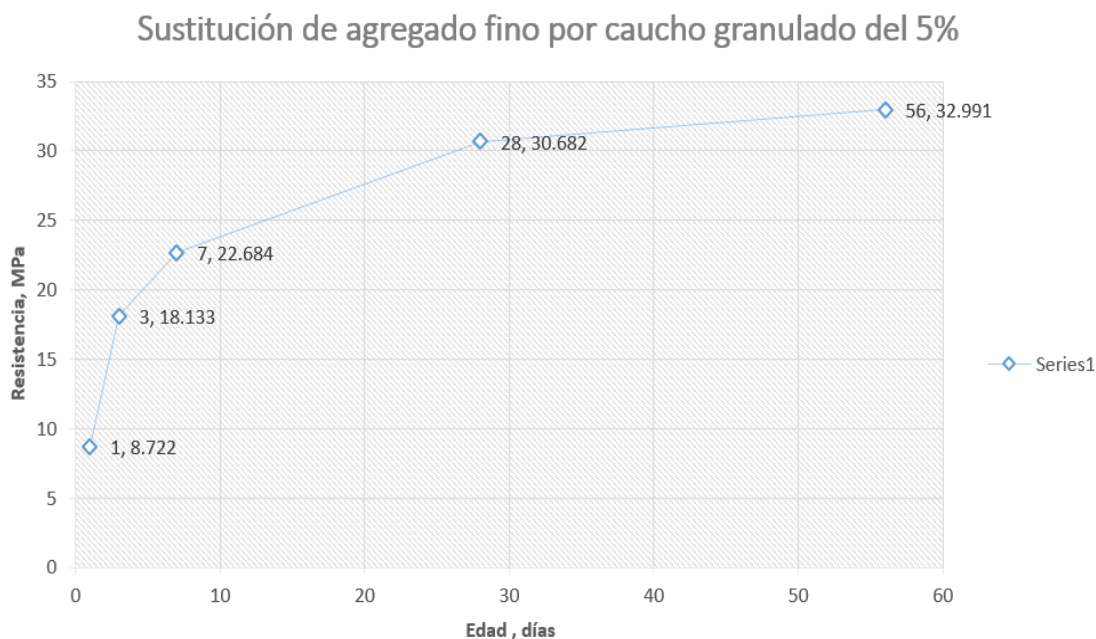
se muestran los resultados:

Cuadro 25: Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 5% de caucho granulado

Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 5%						
Edad (días)	Masa (kg)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Resistencia (PSI)	Resistencia (MPa)	Tipo de Rotura
1	3.64	8091.0	68.20	1220	8.412	3
1	3.66	8091.0	73.10	1310	9.032	2
Promedio	3.65	8091.0	70.65	1265	8.722	-
3	3.69	8091.0	143.70	2580	17.788	2
3	3.67	8012.0	148.00	2680	18.478	2
Promedio	3.68	8051.5	145.85	2630	18.133	-
7	3.70	8091.0	182.70	3280	22.615	2
7	3.70	8012.0	182.30	3300	22.753	2
Promedio	3.70	8051.5	182.50	3290	22.684	-
28	3.74	8091.0	250.10	4480	30.889	2
28	3.70	8091.0	256.30	4590	31.647	5
28	3.73	8091.0	240.60	4310	29.716	5
Promedio	3.72	8091.0	248.45	4450	30.682	-
56	3.75	8012.0	271.90	4920	33.922	2
56	3.73	8012.0	257.10	4650	32.061	2
Promedio	3.74	8012.0	264.50	4785	32.991	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33: Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 5% de caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

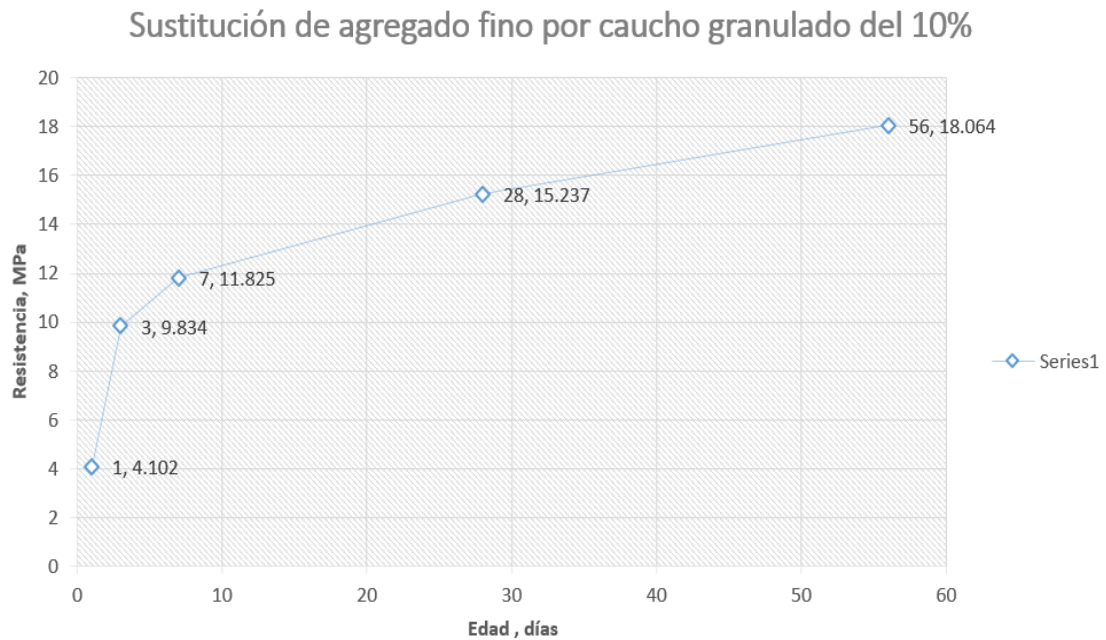
Los resultados de resistencia de la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 10%, muestra un mismo comportamiento que las mezclas anteriores. A un día se alcanza una resistencia de 4.102 MPa, a 28 días de 15.237 MPa y a 56 días de 18.064 MPa. En el cuadro y figura a continuación se muestran los resultados obtenidos:

Cuadro 26: Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 10% de caucho granulado

Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 10%						
Edad (días)	Masa (kg)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Resistencia (PSI)	Resistencia (MPa)	Tipo de Rotura
1	3.38	8091	31.70	570	3.930	2
1	3.39	8091	34.60	620	4.275	2
Promedio	3.39	8091	33.15	595	4.102	-
3	3.31	8012	73.30	1330	9.170	3
3	3.43	8012	85.30	1540	10.618	2
Promedio	3.37	8012	79.30	1435	9.894	-
7	3.38	8091	90.50	1620	11.170	2
7	3.45	8091	101.20	1810	12.480	2
Promedio	3.42	8091	95.85	1715	11.825	-
28	3.35	8091	121.40	2180	15.031	2
28	3.47	8091	122.80	2200	15.168	2
28	3.39	8091	123.90	2220	15.306	2
Promedio	3.43	8091	123.35	2210	15.237	-
56	3.41	8012	140.90	2550	17.582	2
56	3.43	8012	148.60	2690	18.547	2
Promedio	3.42	8012	144.75	2620	18.064	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34: Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 10% de caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

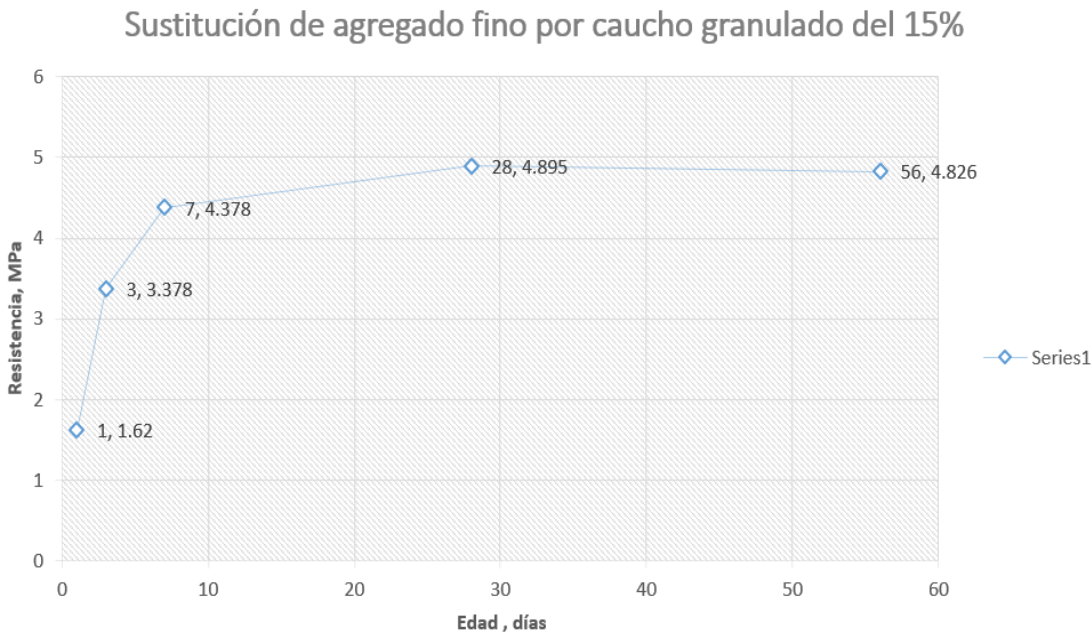
Los resultados de resistencia de la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 15%, presentan un aumento en la resistencia conforme la edad de los cilindros aumenta de 1 a 28 días, luego en 56 días disminuye. La resistencia a compresión de 1 día es de 1.620 MPa, a 28 días es de 4.895 MPa y en 56 días, se puede decir que en la práctica se mantiene constante a 4.826 MPa. En el cuadro y figura a continuación se muestran los resultados obtenidos:

Cuadro 27: Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 15 % de caucho granulado

Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 15 %						
Edad (días)	Masa (kg)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Resistencia (PSI)	Resistencia (MPa)	Tipo de Rotura
1	2.80	8091	12.60	230	1.586	3
1	2.97	8091	13.60	240	1.655	3
Promedio	2.89	8091	13.10	235	1.620	-
3	2.83	8091	26.50	480	3.309	2
3	2.87	8091	27.80	500	3.447	2
Promedio	2.85	8091	27.15	490	3.378	-
7	2.94	8012	36.50	660	4.551	2
7	2.96	8091	34.20	610	4.206	2
Promedio	2.95	8051.5	35.35	635	4.378	-
28	3.07	8091	41.20	740	5.102	2
28	2.98	8091	39.10	700	4.826	2
28	2.89	8012	40.00	720	4.964	2
Promedio	2.94	8051.5	39.55	710	4.895	-
56	3.04	8091	39.70	710	4.895	2
56	2.94	8091	38.70	690	4.757	2
Promedio	2.99	8091	39.20	700	4.826	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35: Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 15 % de caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

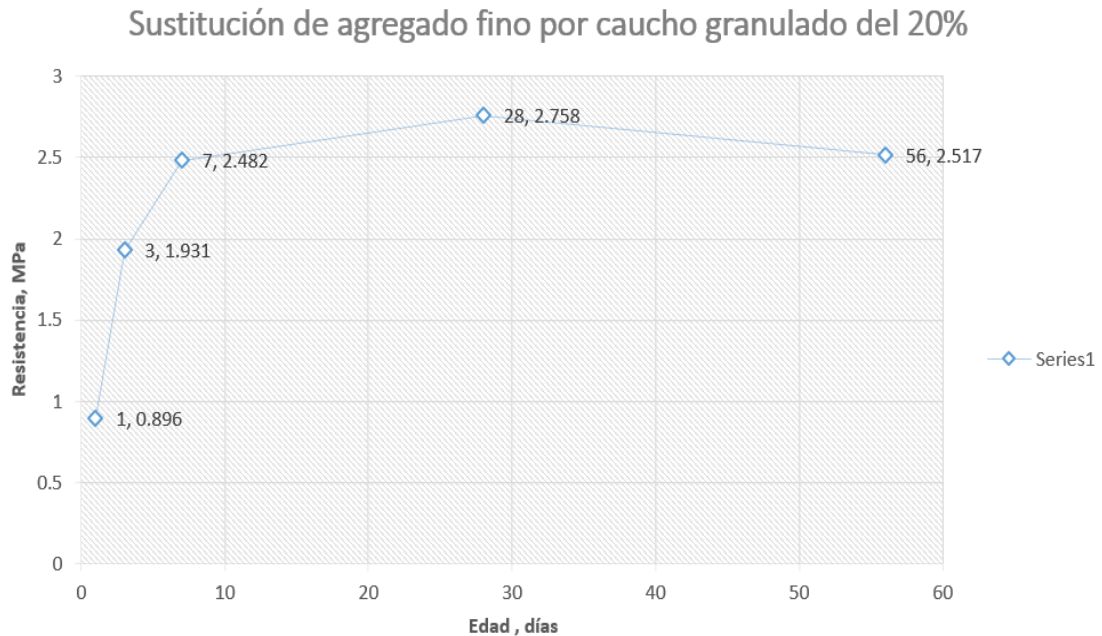
Los resultados de resistencia de la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 20 %, presentan un aumento en la resistencia conforme la edad de los cilindros aumenta de 1 a 28 días, luego en 56 días disminuye. La resistencia a compresión de 1 día es de 0.896 MPa, a 28 días es de 2.758 MPa y en 56 días se puede decir que la resistencia se mantiene constante a 2.517 MPa. En el cuadro y figura a continuación se muestran los resultados obtenidos:

Cuadro 28: Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 20 % de caucho granulado

Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 20 %						
Edad (días)	Masa (kg)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Resistencia (PSI)	Resistencia (MPa)	Tipo de Rotura
1	2.59	8091	6.50	120	0.827	2
1	2.69	8091	7.60	140	0.965	2
Promedio	2.64	8091	7.05	130	0.896	-
3	2.73	8091	15.30	270	1.862	2
3	2.77	8091	16.40	290	1.999	2
Promedio	2.75	8091	15.85	280	1.931	-
7	2.59	8091	19.10	340	2.344	2
7	2.69	8012	21.40	380	2.620	2
Promedio	2.64	8052	20.25	360	2.482	-
28	2.72	8091	24.60	440	3.034	2
28	2.80	8091	22.60	410	2.827	2
28	2.79	8091	21.70	390	2.689	2
Promedio	2.80	8091	22.15	400	2.758	-
56	2.68	8091	20.40	370	2.551	2
56	2.70	8091	20.20	360	2.482	2
Promedio	2.69	8091	20.30	365	2.517	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 36: Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 20 % de caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

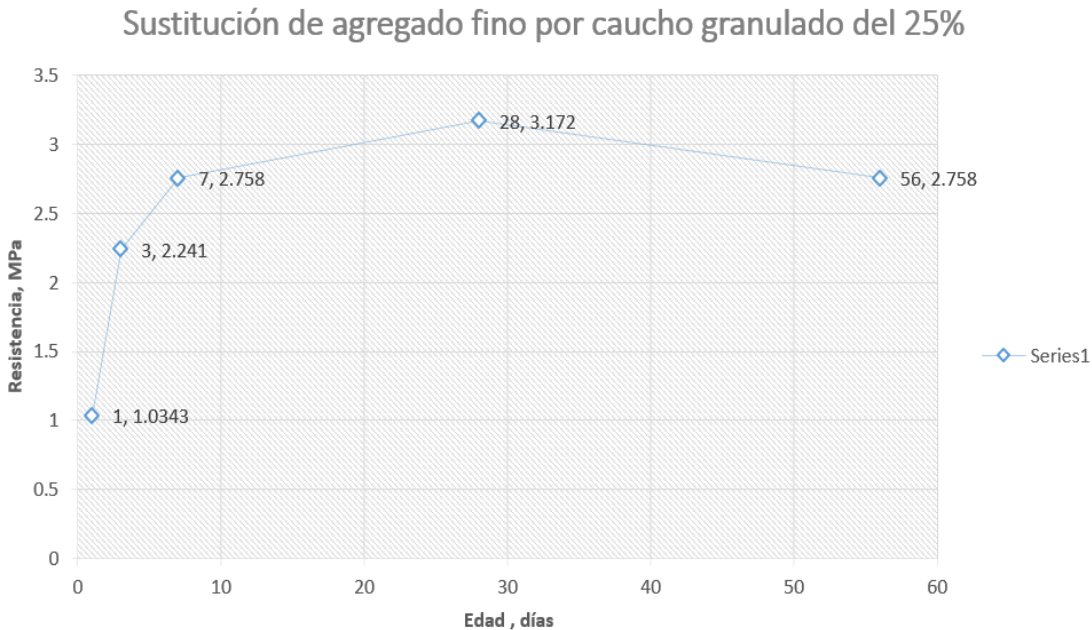
Los resultados de resistencia de la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 25 %, presentan un aumento en la resistencia conforme la edad de los cilindros aumenta de 1 a 28 días, luego en 56 días disminuye. La resistencia a compresión de 1 día es de 1.034 MPa, a 28 días es de 3.172 MPa y en 56 días se puede decir que la resistencia se mantiene constante a a 2.758 MPa. En el cuadro y figura a continuación se muestran los resultados obtenidos:

Cuadro 29: Resultados de resistencia a compresión de mezcla con 25 % de caucho granulado

Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 25 %						
Edad (días)	Masa (kg)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Resistencia (PSI)	Resistencia (MPa)	Tipo de Rotura
1	2.64	8091	8.40	150	1.034	3
1	2.59	8091	8.10	150	1.034	2
Promedio	2.62	8091	8.25	150	1.034	-
3	2.79	8091	19.20	340	2.344	2
3	2.69	8091	17.00	310	2.137	2
Promedio	2.74	8091	18.10	325	2.241	-
7	2.77	8091	23.30	420	2.896	2
7	2.63	8012	21.00	380	2.620	2
Promedio	2.70	8052	22.15	400	2.758	-
28	2.64	8091	19.00	340	2.344	2
28	2.78	8091	27.30	490	3.378	2
28	2.76	8091	24.10	430	2.965	2
Promedio	2.77	8091	25.70	460	3.172	-
56	2.73	8091	19.90	360	2.482	2
56	2.81	8091	24.30	440	3.034	2
Promedio	2.77	8091	22.10	400	2.758	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 37: Gráfica de resistencia a compresión de mezcla con 25 % de caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados anteriores muestran la tendencia del concreto a disminuir su resistencia a compresión conforme se le agrega caucho granulado. La mezcla control, con 0 % de caucho granulado, presenta una alta resistencia inicial y en todas sus edades, mientras que las mezclas con dosificaciones de caucho granulado disminuyen su resistencia notablemente.

Las mezclas con caucho granulado de 5 %, 10 % y 15 % disminuyen su resistencia, pero, extrañamente la resistencia de 25 % presenta mayor resistencia que la de 20 %. La mezcla

con sustitución de caucho del 5 %, a 28 días, presenta una resistencia de 30.682 MPa, siendo un 67 % de la resistencia de la mezcla control. La mezcla con 10 %, a 28 días, de sustitución presenta una resistencia de 15.237 MPa, siendo un 33 % de la mezcla control. La mezcla con 15 %, a 28 días, de sustitución presenta una resistencia de 4.895 MPa, siendo un 11 % de la mezcla control. La mezcla con 20 %, a 28 días, de sustitución presenta una resistencia de 2.758 MPa, siendo un 6 % de la mezcla control. La mezcla con 25 %, a 28 días, de sustitución presenta una resistencia de 3.172 MPa, siendo un 7 % de la mezcla control.

Si se compara la resistencia a compresión de 56 días se obtiene que la mezcla con sustitución de caucho del 5 % es de 32.991 Mpa, siendo un 61 % de la control con 53.572 MPa. La mezcla con sustitución de caucho del 10 % es de 18.064 MPa, siendo un 34 % de la mezcla control. La mezcla con sustitución de caucho del 15 % es de 4.826 MPa, siendo un 9 % de mezcla la control. La mezcla con sustitución de caucho del 20 % es de 2.517 MPa, siendo un 4 % de la control. La mezcla con sustitución de caucho del 20 % es de 2.758 MPa, siendo un 5 % de la control. Estos resultados muestran que a partir del 20 % la sustitución de agregado fino por caucho granulado hace que la resistencia a compresión del concreto baje más que en las sustituciones anteriores, la sustitución de agregado fino por caucho granulado, puede llegar a ser hasta del 20 % para no comprometer la resistencia de los elementos.

Los resultados de la resistencia a compresión también muestran que para las mezclas de 15 %, 20 % y 25 % la resistencia máxima se alcanza a los 28 días y luego se mantiene constante. Las gráficas de resistencia vs. edad muestran como las curvas crecen para 1, 3 y 7 días, y dejan de crecer cuando llega a los 28 días. Para las mezclas de 5 % y 10 % si existe un aumento de resistencia hasta los 56 días, en las gráficas de resistencia vs. edad, se evidencia el crecimiento exponencial en cada edad.

6.4.2. Determinación de la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. (COGUANOR NTG 41071 h15/ASTM C496)

La tracción indirecta de los especímenes fue determinada de acuerdo a los procedimientos de la norma COGUANOR NTG 41071 h15, basada en la ASTM C469. Este método de ensayo consiste en aplicarle una fuerza de compresión diametral al espécimen a lo largo de su longitud. Esta carga aplicada induce esfuerzos de tracción sobre el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión altos en el área alrededor de la carga aplicada. A continuación, se muestran los resultados de la resistencia a tracción indirecta de todas las mezclas:

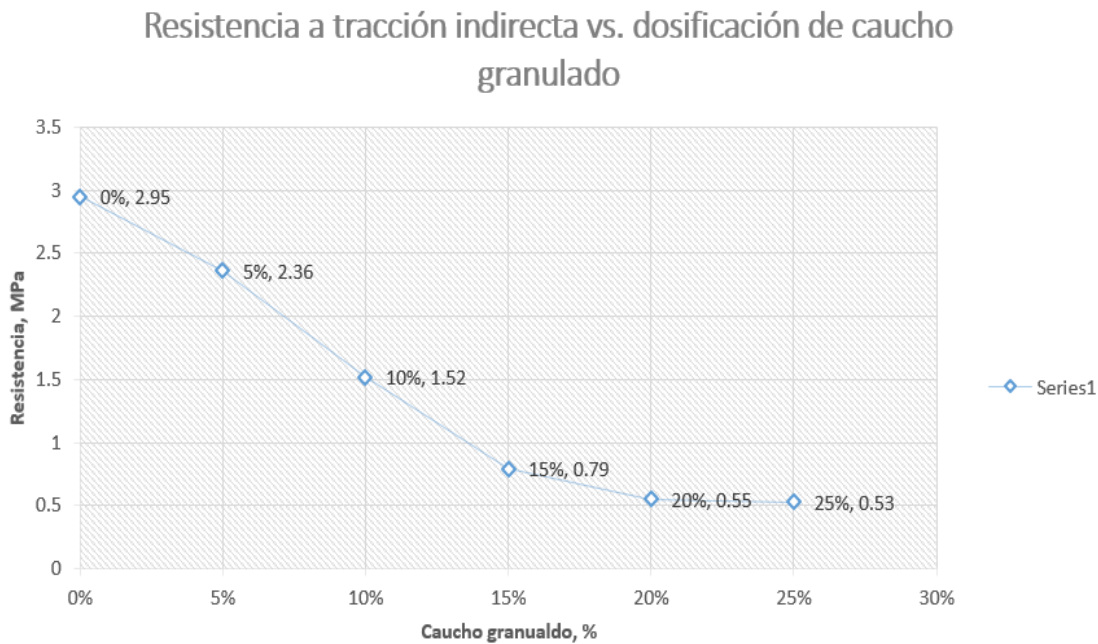
Cuadro 30: Resultados de resistencia a tracción indirecta

Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 0 %						
Edad (días)	Masa (kg)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Carga (KN)	Resistencia (PSI)	Resistencia (MPa)
28	13.29	152.50	304.00	218.50	435.00	3.00
28	13.30	152.50	304.00	121.10	422.00	2.91
Promedio	13.30	152.50	304.00	169.80	428.50	2.95
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 5 %						
28	12.39	152.50	304.00	171.20	341.00	2.35
28	12.44	152.50	305.00	172.80	343.00	2.36
Promedio	12.42	152.50	304.50	172.00	342.00	2.36
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 10 %						
28	11.46	152.50	304.00	108.60	216.00	1.49
28	11.48	152.50	305.00	1131.10	225.00	1.55
Promedio	11.47	152.50	304.50	619.85	220.50	1.52
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 15 %						
28	10.01	152.50	304.00	55.20	110.00	0.76
28	10.07	152.50	304.00	59.30	118.00	0.81
Promedio	10.04	152.50	304.00	57.25	114.00	0.79
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 20 %						
28	9.22	152.50	305.00	39.90	78.00	0.54
28	9.24	152.50	304.00	41.00	82.00	0.57
Promedio	9.23	152.50	304.50	40.45	80.00	0.55
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 25 %						
28	9.46	152.50	304.00	42.00	84.00	0.58
28	9.10	152.50	304.00	34.80	69.00	0.48
Promedio	9.28	152.50	304.00	38.40	76.50	0.53

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran una gráfica de resistencia a tracción indirecta para cada mezcla con diferentes dosificaciones de caucho granulado:

Figura 38: Gráfica de resistencia a tensión indirecta para cada mezcla con diferentes dosificaciones de caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran como la resistencia a tracción indirecta disminuye conforme se incrementa la sustitución de agregado fino por caucho granulado. La gráfica de resistencia a la tracción indirecta vs. porcentaje de dosificación de caucho granulado indica claramente esta tendencia.

Los ensayos a 28 días indican que la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 5 %, con 2.36 MPa, es el 80 % de la mezcla control, con 2.95 MPa. La mezcla con sustitución del 10 % tiene una resistencia de 1.52 MPa, que es el 51 % de la mezcla control. La mezcla con sustitución del 15 % tiene una resistencia de 0.79 MPa, que es el 26 % de la mezcla control. La mezcla con sustitución del 20 % tiene una resistencia de 0.55 MPa, que es el 18 % de la mezcla control. La mezcla con sustitución del 25 % tiene una resistencia de 0.53 MPa, que es el 17 % de la mezcla control. Al evaluar estos resultados, se puede concluir que las mezclas de 5 % y 10 % de sustitución, poseen una disminución aceptable, de menos del 50 % de la resistencia tracción indirecta.

6.4.3. Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz). (COGUANOR NTG 41017 h2/ASTM C78)

El módulo de rotura se calculó de acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41017 h2, basada en la ASTM C78. Los resultados del módulo de ruptura se muestran a continuación:

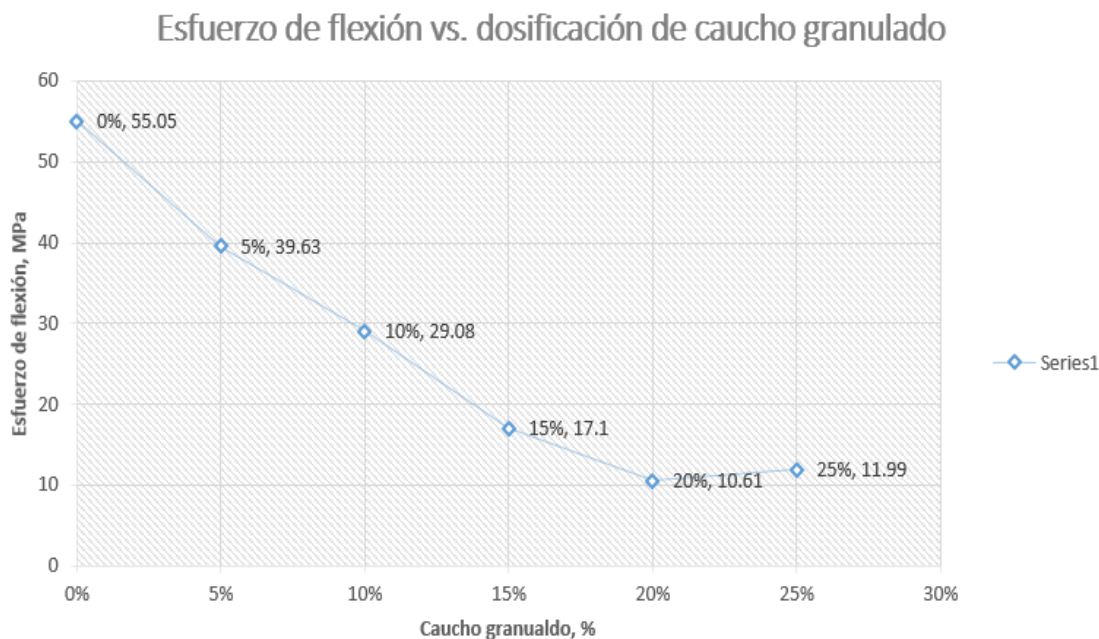
Cuadro 31: Resultados de módulo de rotura

Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 0 %					
Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
28	29.48	536.00	159.00	153.00	54.26
28	29.50	537.00	150.00	154.00	55.84
Promedio	29.49	536.50	154.50	153.50	55.05
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 5 %					
28	27.08	535.00	148.00	154.00	37.71
28	27.04	536.00	148.00	154.00	41.55
Promedio	27.06	535.50	148.00	154.00	39.63
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 10 %					
28	25.06	535.00	150.00	154.00	29.89
28	24.97	536.00	149.00	153.00	28.27
Promedio	25.02	535.50	149.50	153.50	29.08
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 15 %					
28	22.32	535.00	148.00	154.00	17.57
28	22.54	535.00	148.00	155.00	16.63
Promedio	22.43	535.00	148.00	154.50	17.10
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 20 %					
28	20.67	536.00	149.00	154.00	10.48
28	20.46	535.00	148.00	154.00	10.73
Promedio	20.57	535.50	148.50	154.00	10.61
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 25 %					
28	20.04	537.00	148.00	154.00	11.34
28	20.80	537.00	148.00	154.00	12.63
Promedio	20.42	537.00	148.00	154.00	11.99

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran una gráfica del módulo de rotura para cada mezcla con diferentes dosificaciones de caucho granulado:

Figura 39: Gráfica de módulo de rotura para cada mezcla con diferentes dosificaciones de caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que el módulo de rotura disminuye, conforme aumenta la sustitución de agregado fino por caucho granulado. Para las mezclas de sustitución del 5 %, 10 %, 15 % y 20 % la gráfica muestra una disminución, pero la mezcla de 25 % de sustitución aumenta su esfuerzo, comparada con la de 20 %.

Los resultados de los ensayos a 28 días muestran que la mezcla con sustitución del 5 %, con 39.63 kg/cm², representa un 71 % de la mezcla control, con 55.05 kg/cm². La mezcla con sustitución del 10 %, con 29.08 kg/cm², representa un 53 % de la mezcla control. La mezcla con sustitución del 15 %, con 17.1 kg/cm², representa un 31 % de la mezcla control. La mezcla con sustitución del 20 %, con 10.61 kg/cm², representa un 19 % de la mezcla control. La mezcla con sustitución del 25 %, con 11.99 kg/cm², representa un 22 % de la mezcla control. De estos resultados se puede concluir que la sustitución de agregado fino por caucho granulado es viable hasta un 10 %, debido a que solo disminuye en menos de 50 % el esfuerzo de flexión del concreto.

Cabe mencionar que conforme la dosificación de caucho aumenta, la propagación de las fisuras disminuye. En las vigas con mayor dosificación de caucho granulado no se presentaron fallas explosivas ni súbitas. A comparación del concreto convencional, de la mezcla control, el concreto con sustitución de agregados finos por caucho granulado, brinda una menor fragilidad antes de las fallas.

Figura 40: Evidencia de fallas en vigas



Fuente: Elaboración propia.

6.4.4. Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión. (COGUANOR NTG 41017 h16/ASTM C469)

El módulo de elasticidad y la relación de Poisson se determinó de acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41071 h16, basada en la ASTM C469. El módulo de elasticidad indica la resistencia o rigidez de un material a las deformaciones elásticas. El módulo de Poisson indica la relación que tienen las deformaciones unitarias transversales y las deformaciones unitarias longitudinales. A continuación, se muestran imágenes del proceso:

Figura 41: Ajuste de compresómetro en cilindro



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42: Equipo armado en máquina para empezar a aplicar cargas



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados del módulo de elasticidad y de módulo de Poisson:

Cuadro 32: Resultados de módulo de elasticidad y de módulo de Poisson

Edad (días)	Resistencia a compresión		Módulo de elasticidad			Módulo de Poisson
	N/mm ²	PSI	PSI	kg/cm ²	MPa	
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 0 %						
28	6,552	45.00	5,150,000	362,081	35,508	0.20
28	6,552	45.20	5,050,000	355,050	34,819	0.19
Promedio	6,552	45.10	5,100,000	358,566	35,164	0.20
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 5 %						
28	4,463	30.80	3,950,000	277,713	27,234	0.14
28	4,463	30.80	3,550,000	249,590	24,476	0.20
Promedio	4,463	30.80	3,750,000	263,652	25,855	0.17
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 10 %						
28	2,199	15.20	2,850,000	200,375	19,650	0.14
28	2,199	15.20	2,800,000	196,860	19,305	0.12
Promedio	2,199	15.20	2,825,000	198,618	19,478	0.13
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 15 %						
28	719	5.00	1,700,000	119,522	11,721	0.19
28	719	5.00	1,400,000	98,430	9,653	0.21
Promedio	719	5.00	1,550,000	108,976	10,687	0.20
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 20 %						
28	412	2.80	850,000	59,761	5,861	0.14
28	412	208.00	1,000,000	70,307	6,895	-
Promedio	412	105.40	925,000	65,034	6,378	0.07
Sustitución de agregado fino por caucho granulado del 25 %						
28	421	2.90	1,100,000	77,338	7,584	0.07
28	42	2.90	1,000,000	70,307	6,895	-
Promedio	232	2.90	1,050,000	73,823	7,240	0.04

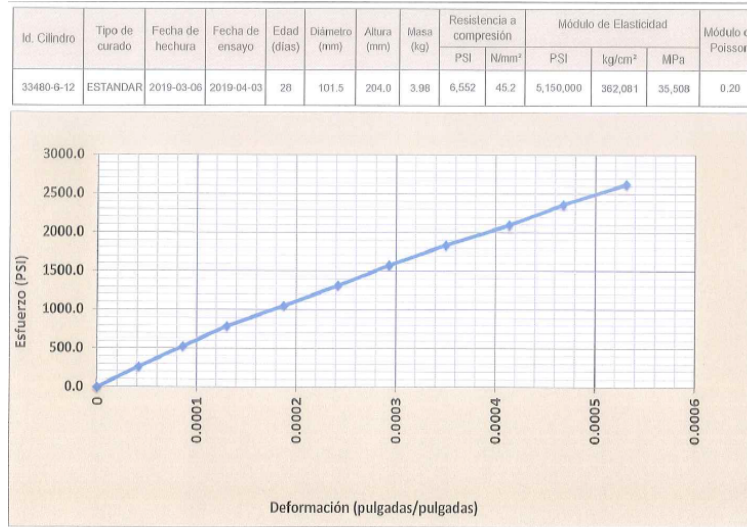
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran como la adición de caucho en el concreto disminuye la relación de Poisson. La mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 15 %, es la única en la que no disminuye el módulo de Poisson, este resultado, de 0.20, es el mismo que el de la mezcla control.

El módulo de elasticidad disminuye conforme el porcentaje de caucho granulado aumenta. La mezcla control presenta un módulo de elasticidad de 35,164 MPa. La mezcla con adición de 5 % de caucho granulado tiene un módulo de elasticidad de 25,855 MPa, que representa un 73 % de la mezcla control. La mezcla con adición de 10 % de caucho granulado tiene un módulo de elasticidad de 19,478 MPa, que representa un 55 % de la mezcla control. La mezcla con adición de 15 % de caucho granulado tiene un módulo de elasticidad de 10,687 MPa, que representa un 30 % de la mezcla control. La mezcla con adición de 20 % de caucho granulado tiene un módulo de elasticidad de 6,378 MPa, que representa un 18 % de la mezcla control. La mezcla con adición de 25 % de caucho granulado tiene un módulo de elasticidad de 7,240 MPa, que representa un 20 % de la mezcla control. Los resultados muestran un crecimiento, pero al igual que en la resistencia a compresión, la mezcla con adición de 25 % de caucho granulado posee un mayor módulo de elasticidad que la de 20 %.

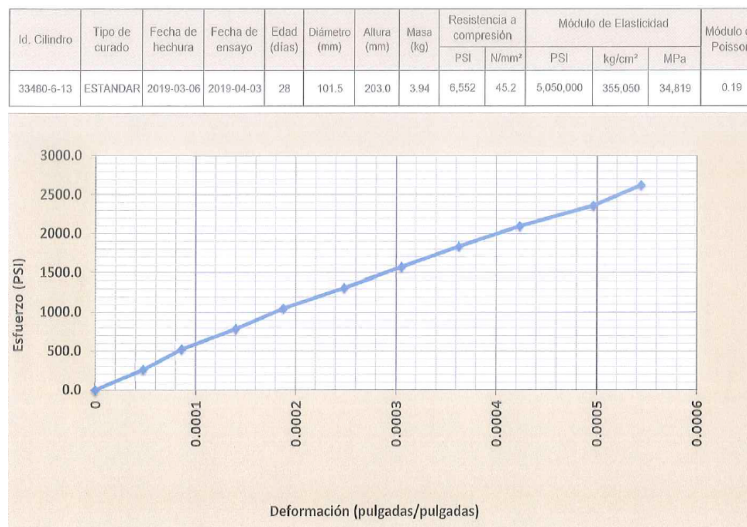
Se realizaron ensayos a dos cilindros por cada mezcla con diferente porcentaje. A continuación, se muestran las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación de la muestra control, con 0% de sustitución de agregado fino por caucho granulado:

Figura 43: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla control, cilindro 1



Fuente: Elaboración propia.

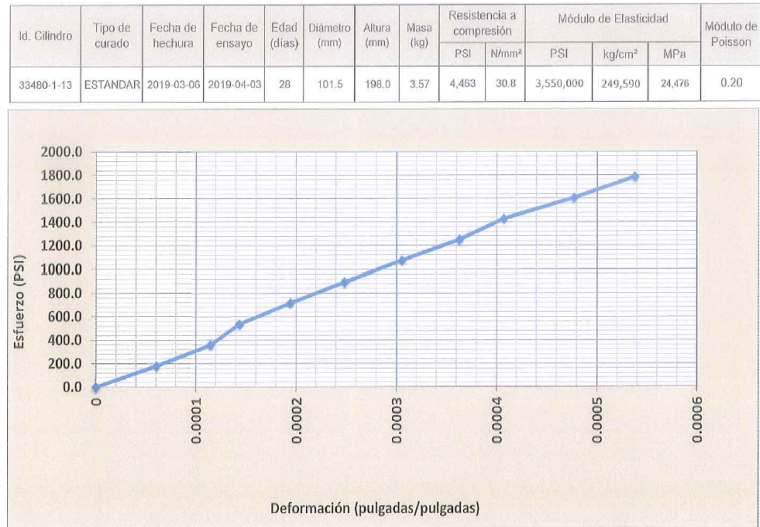
Figura 44: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla control, cilindro 2



Fuente: Elaboración propia.

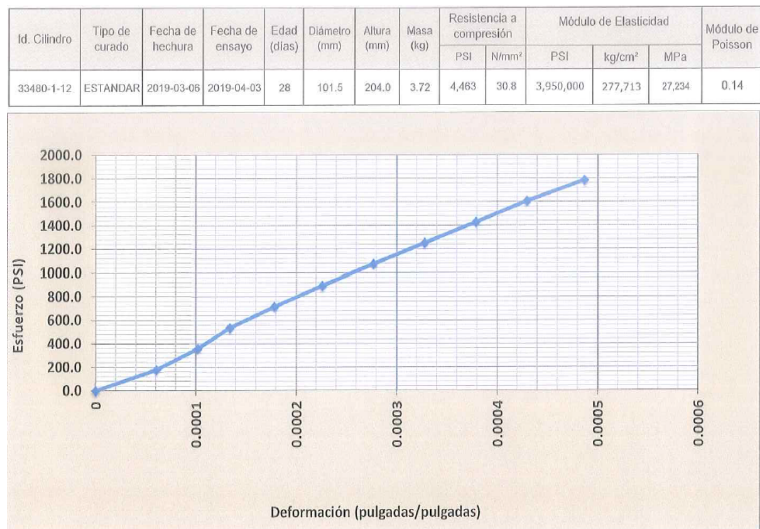
A continuación, se muestran las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación de la muestra control, con 5% de sustitución de agregado fino por caucho granulado:

Figura 45: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 5% de sustitución, cilindro 1



Fuente: Elaboración propia.

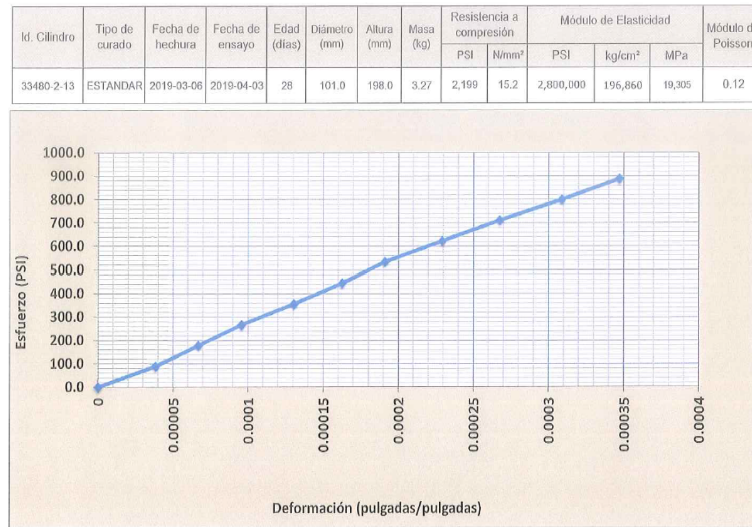
Figura 46: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 5% de sustitución, cilindro 2



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación de la muestra control, con 10% de sustitución de agregado fino por caucho granulado:

Figura 47: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 10 % de sustitución, cilindro 1



Fuente: Elaboración propia.

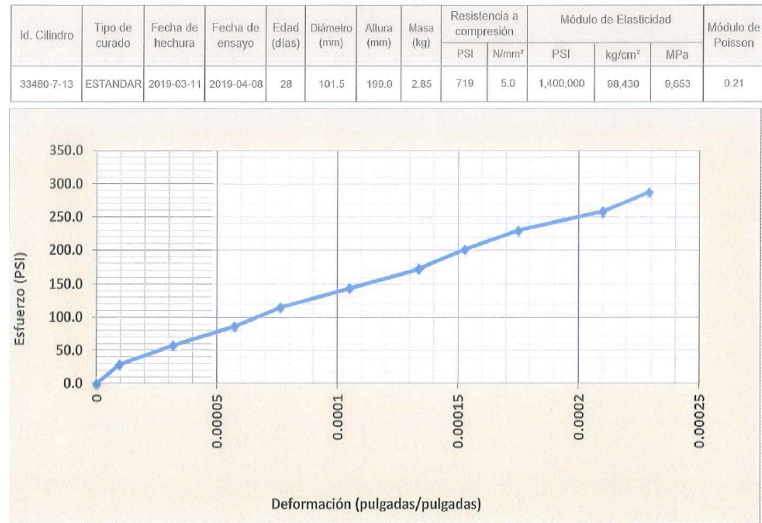
Figura 48: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 10 % de sustitución, cilindro 2



Fuente: Elaboración propia.

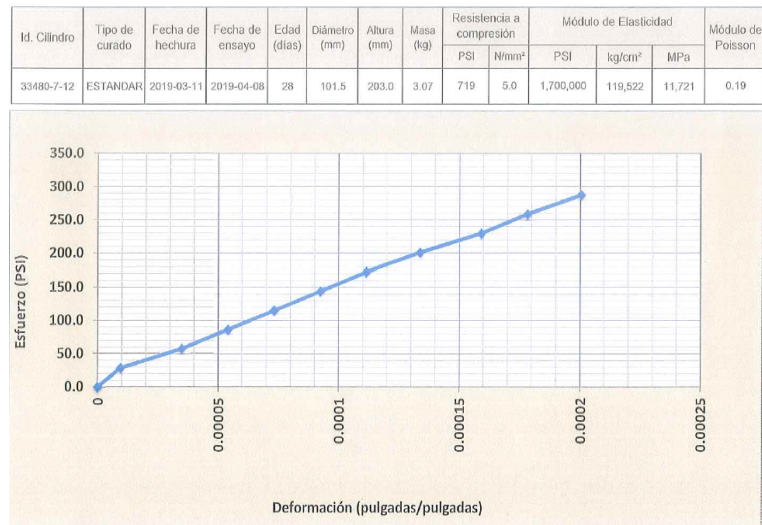
A continuación, se muestran las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación de la muestra control, con 15 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado:

Figura 49: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 15 % de sustitución, cilindro 1



Fuente: Elaboración propia.

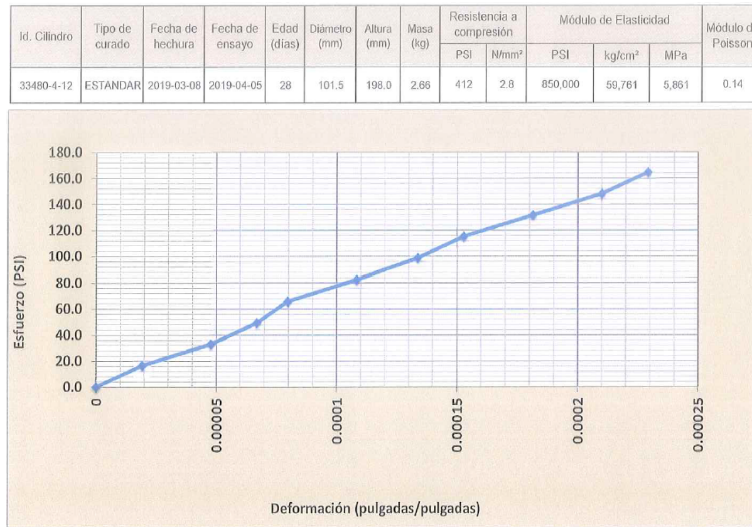
Figura 50: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 15 % de sustitución, cilindro 2



Fuente: Elaboración propia.

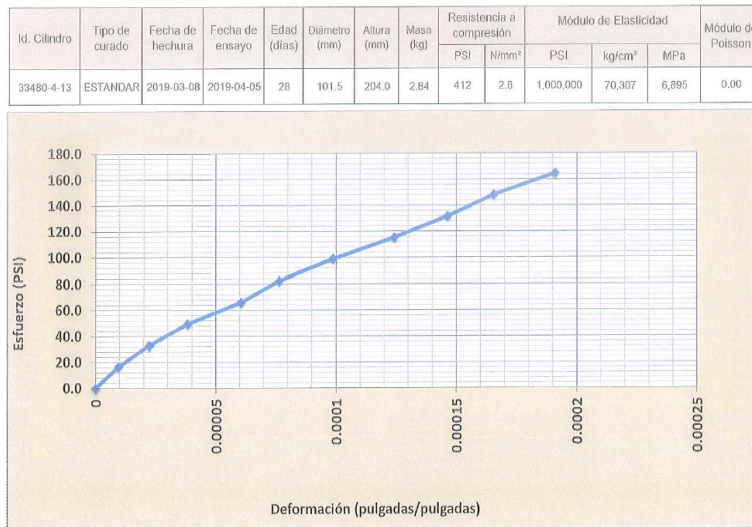
A continuación, se muestran las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación de la muestra control, con 20 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado:

Figura 51: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 20 % de sustitución, cilindro 1



Fuente: Elaboración propia.

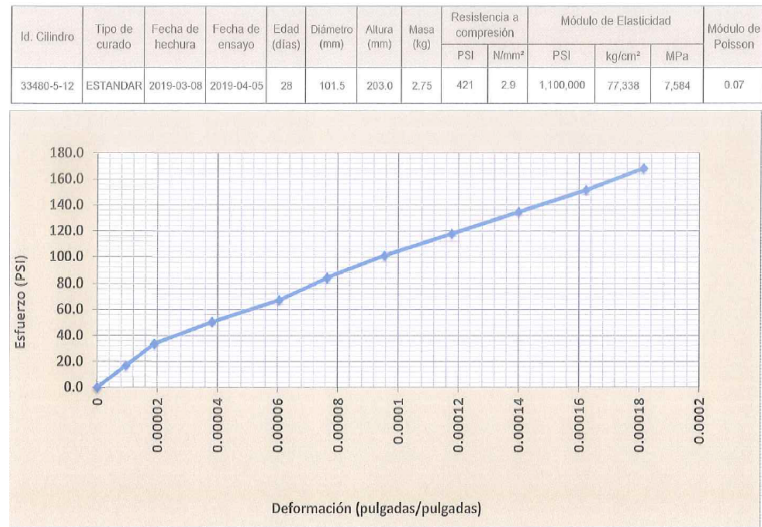
Figura 52: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 20 % de sustitución, cilindro 2



Fuente: Elaboración propia.

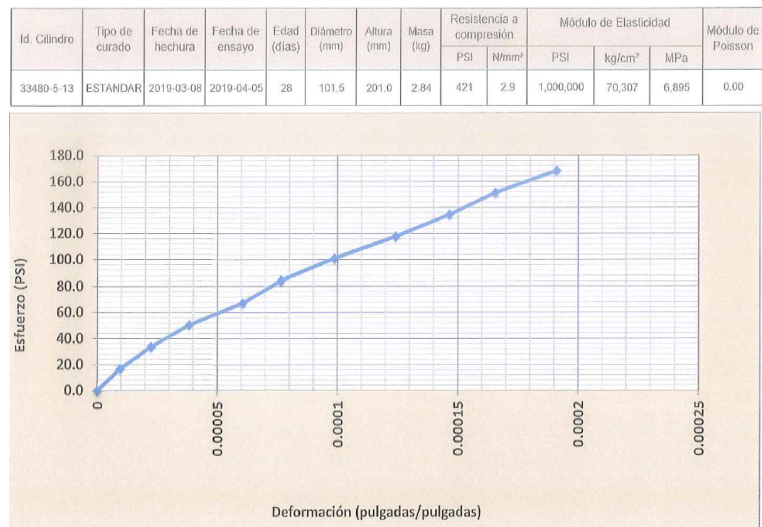
A continuación, se muestran las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación de la muestra control, con 25 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado:

Figura 53: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 25 % de sustitución, cilindro 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 54: Gráfica de Esfuerzo vs. Deformación para mezcla de 25 % de sustitución, cilindro 2



Fuente: Elaboración propia.

6.4.5. Método de ensayo para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro. (COGUANOR NTG 41017 h41/ASTM C1202)

Se determinó la capacidad del concreto para resistir la penetración de ion cloruro, siguiendo los procedimientos de la norma COGUANOR NTG 41017, basada en la ASTM C1202. El método de ensayo consiste en tomar medidas de la corriente eléctrica que pasa a través de secciones de 50 mm de cilindros, durante 6 horas. La carga que atraviesa la muestra, presenta una relación con la resistencia de la muestra a penetración de iones cloruro. A

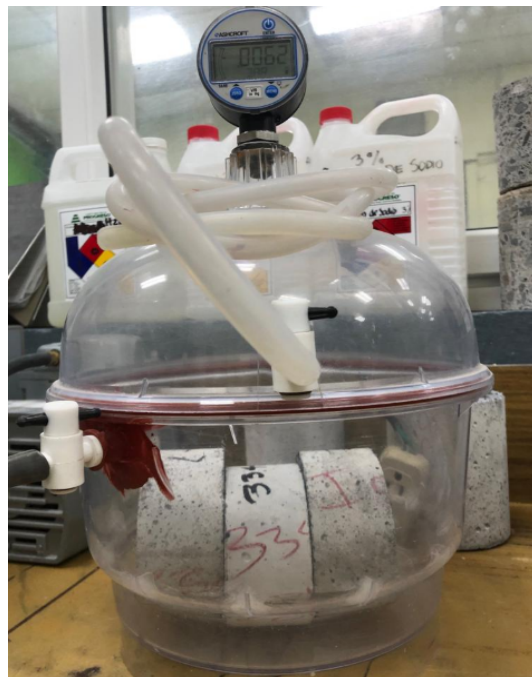
continuación se muestran imágenes del proceso:

Figura 55: Sección de 50 mm de espesor recubierta con sellante



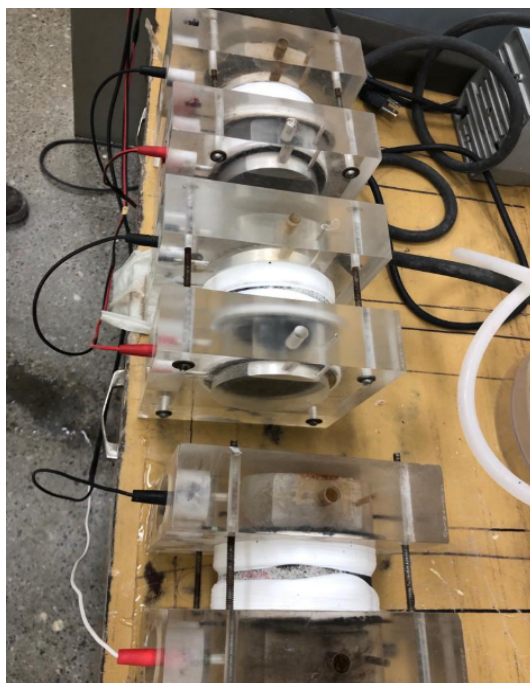
Fuente: Elaboración propia.

Figura 56: Especímenes en bomba de vacío



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57: Especímenes en celdas de voltaje



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de penetración de ion cloruro:

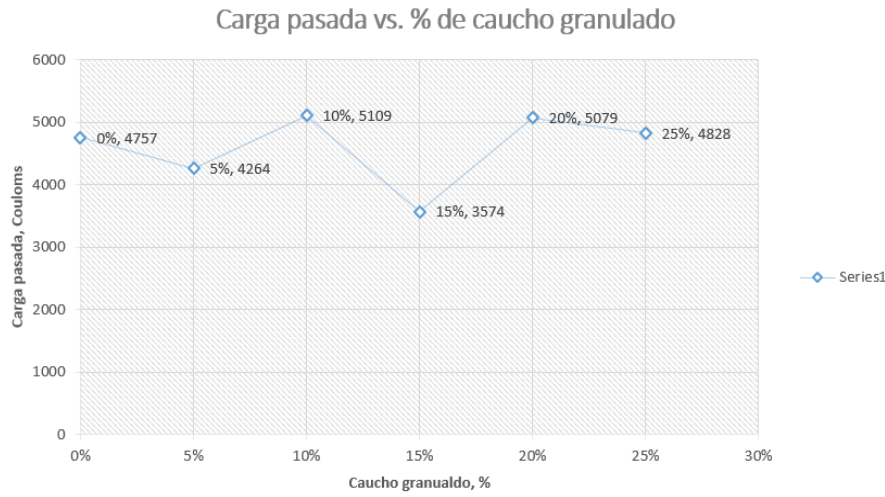
Cuadro 33: Resultados de penetración de ion cloruro

Sustitución de agregado fino por caucho granulado	Carga pasada, Coulombs	Penetrabilidad iones cloruro
0 %	4757	Alto
5 %	4264	Alto
10 %	5109	Alto
15 %	3574	Moderado
20 %	5079	Alto
25 %	4828	Alto

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra una gráfica de penetración de ion cloruro vs. porcentaje de sustitución de agregado fino por caucho granulado.

Figura 58: Gráfica de penetración de ion cloruro vs. porcentaje de sustitución de agregado fino por caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que todas las mezclas presentan una alta penetrabilidad de ion cloruro, excepto la de que contiene una sustitución de 15 % de caucho granulado, que presenta una penetrabilidad media. La mezcla control, presenta una carga de 4757 Coulomb pasados, mientras que el resto, como se puede ver en la gráfica se mantienen en el mismo rango. La penetrabilidad más alta la presenta la mezcla con 10 % de sustitución de caucho granulado, con 5109 Coulomb y la que contiene menos penetrabilidad es la de 15 % de sustitución de caucho granulado, con 3574 Coulomb. Se puede concluir que la muestra más resistente a la penetración de ion cloruro es la de 15 % de sustitución de caucho granulado.

6.4.6. Método de ensayo para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido. (COGUANOR NTG 41017 h42)

Para determinar la profundidad de penetración del agua bajo presión en el concreto se utilizó el método descrito en la norma COGUANOR NTG 41017 h42. Durante el ensayo se aplica agua bajo presión a la superficie del concreto. A continuación, se muestran imágenes del proceso:

Figura 59: Espécimen de ensayo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60: Especímenes en máquina de ensayo



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido, para cada mezcla con diferentes dosificaciones de caucho granulado, se muestran a continuación:

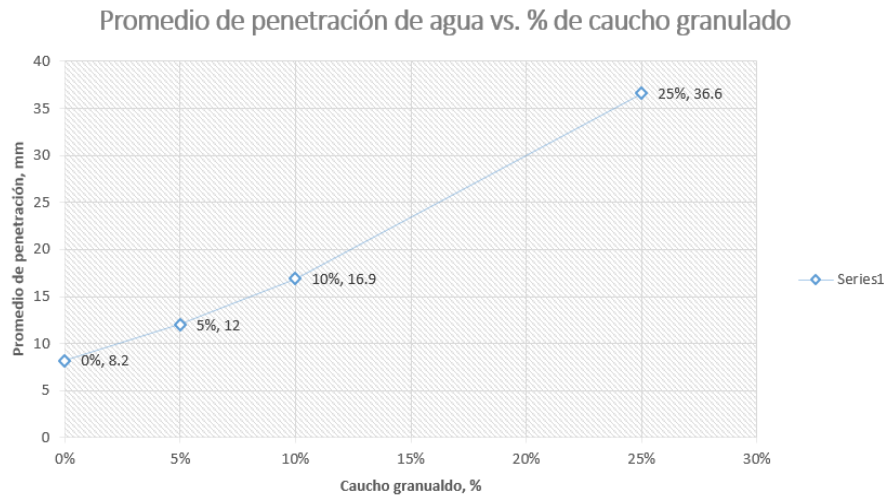
Cuadro 34: Resultados de penetración de agua bajo presión

Sustitución de agregado fino por caucho granulado	Promedio de penetración (mm)	Profundidad máxima penetración (mm)
0 %	8.2	11.3
5 %	12	12.8
10 %	16.9	20.5
15 %	-	-
20 %	-	-
25 %	36.6	42.5

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra una gráfica de penetración de agua bajo presión vs. porcentaje de sustitución de agregado fino por caucho granulado.

Figura 61: Gráfica de penetración de agua bajo presión vs. porcentaje de sustitución de agregado fino por caucho granulado



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que conforme se aumenta la sustitución de agregado fino por caucho granulado, la penetración del agua bajo presión es mayor. No fue posible obtener resultados de las mezclas de sustitución del 15 % y 20 % debido a que los especímenes se fracturaban durante el ensayo, no aguantaban la presión de la máquina ni del agua.

6.4.7. Resistencia al impacto. (COGUANOR NTG 41081 h1)

Para determinar la resistencia al impacto se siguió el procedimiento de la norma COGUANOR NTG 41081 h1, a pesar de que esta norma se utiliza para baldosas de pisos, se adaptó para ser utilizada con placas de concreto. Se utilizó una masa de 8.58 kg, que se dejó caer dos veces desde una altura de 1 metro, para realizar el impacto y una placa de concreto de ancho y largo de 30 cm, con 7.5 cm de espesor, como espécimen de ensayo. A continuación, se muestran las fotos de procedimiento:

Figura 62: Recipiente con arena y placa para ensayo



Fuente: Elaboración propia.

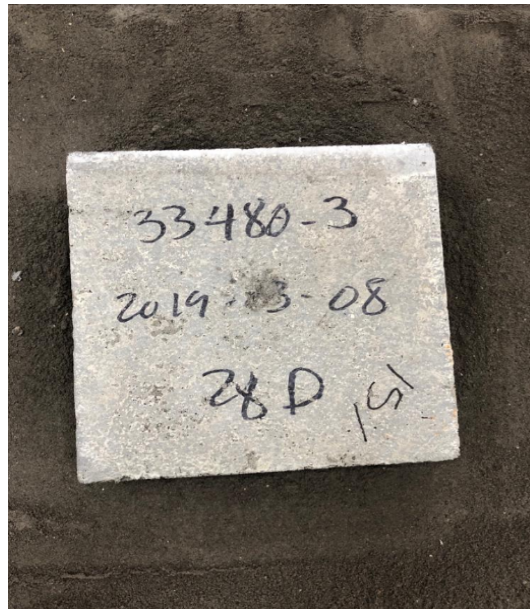
Figura 63: Procedimiento de medición de altura y caída de peso



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las imágenes de las placas luego de ser impactadas:

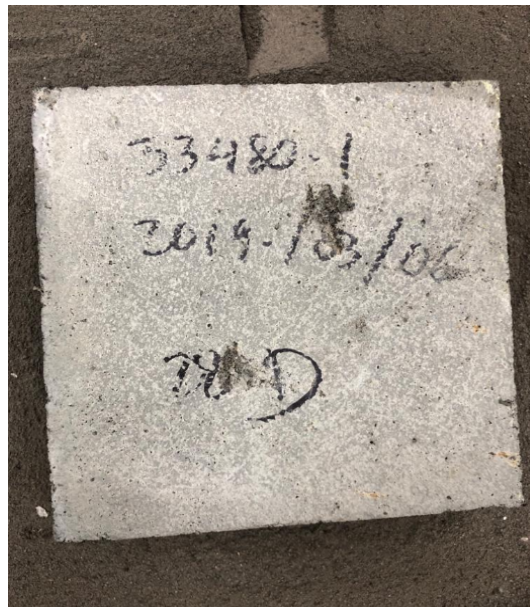
Figura 64: Placa de concreto con 0% de adición de caucho después de dos impactos



Fuente: Elaboración propia.

En esta imagen se muestra la placa con la muestra control, luego de los dos impactos. Se puede observar que no existen fisuras, los impactos solo dejaron marcas donde el peso impactó la placa. El impacto no ocasionó daño significativo al concreto.

Figura 65: Placa de concreto con 5% de adición de caucho después de dos impactos

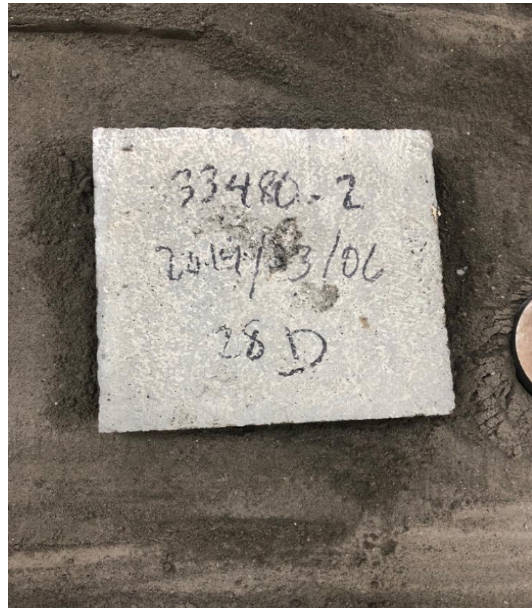


Fuente: Elaboración propia.

En la placa con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 5% se puede observar que no se causa ninguna fisura por impacto y que no existe daño significativo. El

único efecto del impacto son marcas resultantes del impacto.

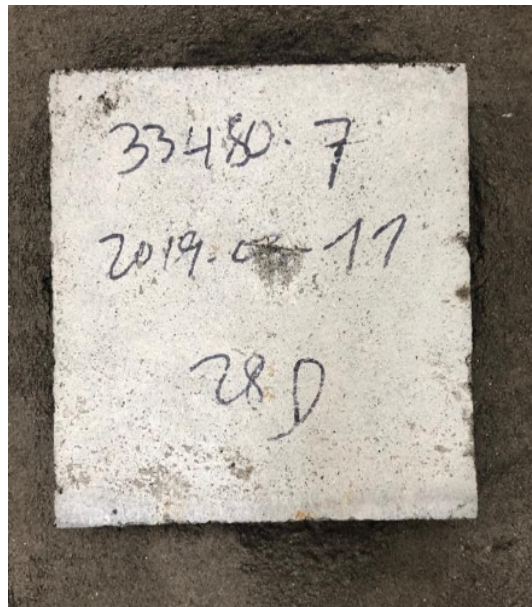
Figura 66: Placa de concreto con 10% de adición de caucho después de dos impactos



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen se muestra la placa con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 10%, no se muestran fisuras al igual que en las placas anteriores, pero las marcas de impacto que se presentaron eran más profundas que en las mezclas anteriores.

Figura 67: Placa de concreto con 15% de adición de caucho después de dos impactos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 68: Placa de concreto con 15% de adición de caucho después de dos impactos



Fuente: Elaboración propia.

En la placa con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 15% se puede observar que a simple vista no hay fisuras en la cara de la placa, sólo se observan las marcas de la masa, generadas por el impacto. Las fisuras se observan en el lado de la placa. En las placas con este porcentaje de adición de caucho granulado sí se genera daño significativo al concreto.

Figura 69: Placa de concreto con 20% de adición de caucho después de dos impactos



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior se muestra la placa con adición de caucho del 20 %, se puede observar que se fisura completamente desde el punto de impacto, en tres direcciones. Los resultados obtenidos de esta prueba muestran que la adición de caucho de 20 % genera que el concreto sea muy propenso a fallar completamente por impacto.

Figura 70: Placa de concreto con 25 % de adición de caucho después de dos impactos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 71: Placa de concreto con 25 % de adición de caucho después de dos impactos



Fuente: Elaboración propia.

En las imágenes anteriores se muestra como la placa con adición de caucho del 25 %

se fisura completamente, de ambos lados, al recibir el impacto. Este es el porcentaje de sustitución en el que se genera más fisuras al ser impactado.

En los resultados anteriores se muestra como la resistencia al impacto es aceptable en las placas con sustitución de caucho de 0 %, 5 % y 10 %. A partir de estos porcentajes las placas presentan fisuras que hacen que las placas fallen ante el impacto completamente. Se puede concluir que los porcentajes de sustitución aceptables en base a este ensayo son del 5 % y 10 %.

6.4.8. Evaluación petrográfica (COGUANOR NTG 41089/ASTM C856)

La evaluación petrográfica se realizó en base a los procedimientos de la norma COGUANOR NTG 41089, basada en la ASTM C856. Para la evaluación visual se realizaron especímenes en forma de secciones delgadas para cada mezcla de concreto con sustitución de agregado fino por caucho granulado. A continuación, se muestran imágenes del proceso:

Figura 72: Aplicación de resina a muestras cortadas



Fuente: Elaboración propia.

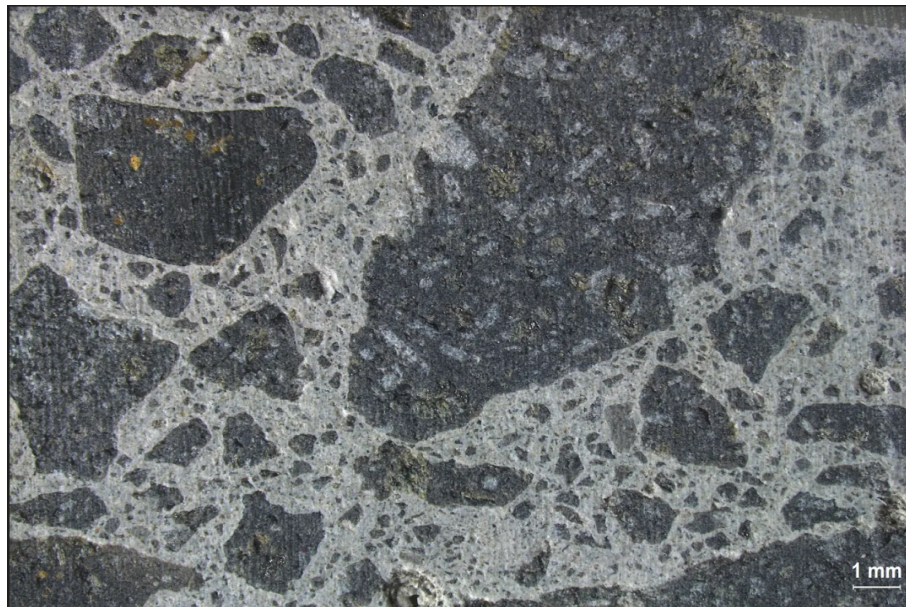
Figura 73: Secciones delgadas terminadas



Fuente: Elaboración propia.

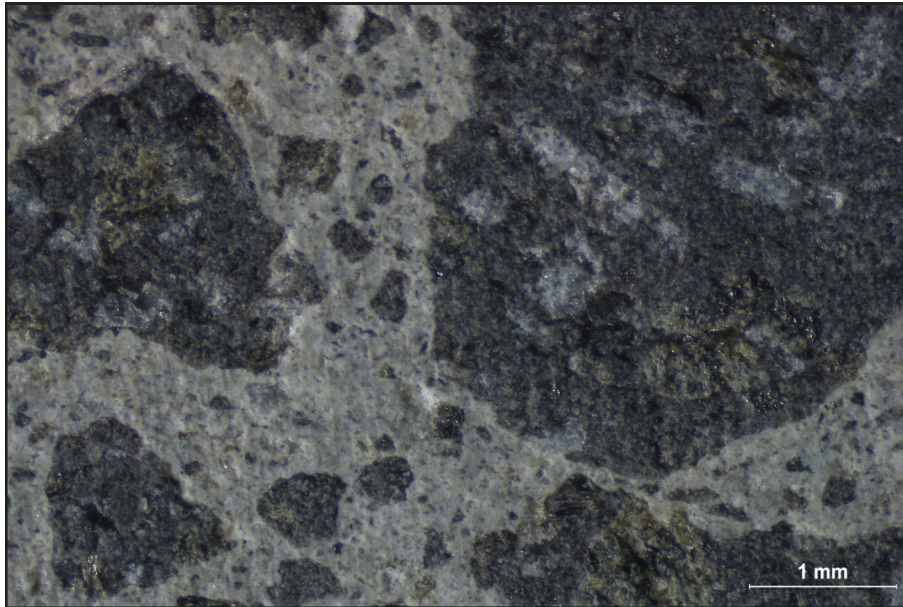
Cada sección delgada fue evaluada en un microscopio LEICA MZ 10 F, a un aumento de 10X y 32X. Las imágenes se muestran a continuación:

Figura 74: Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 0%



Fuente: Elaboración propia.

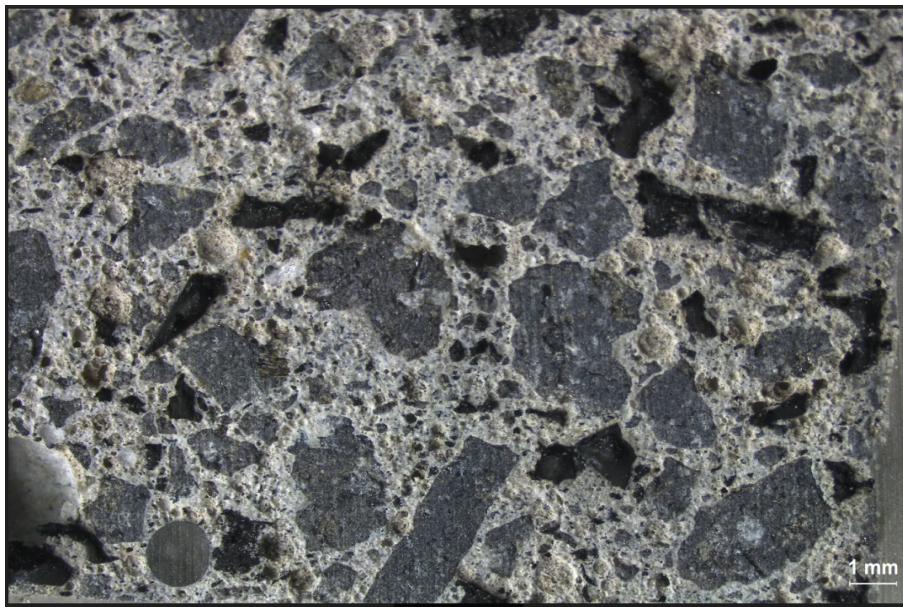
Figura 75: Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 0%



Fuente: Elaboración propia.

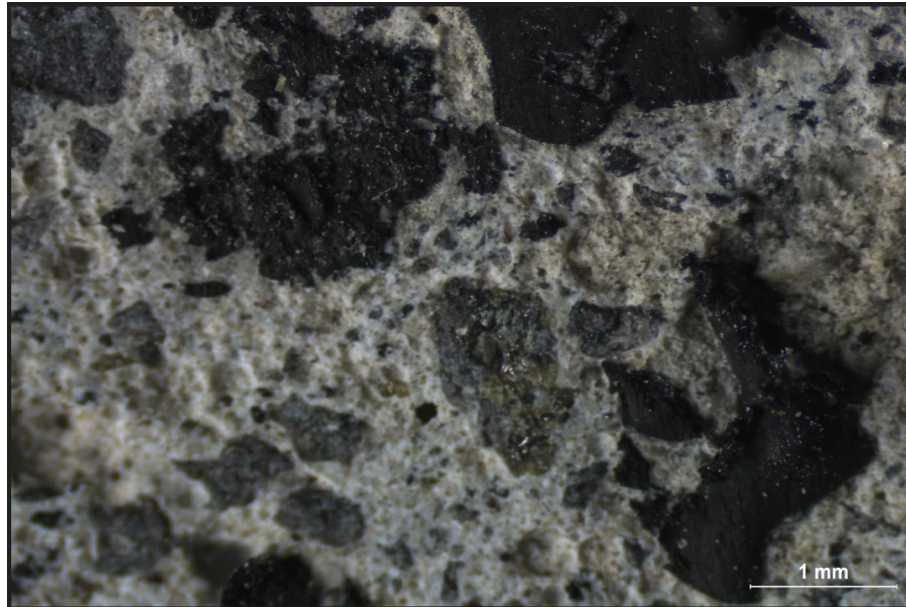
En las imágenes anteriores se muestra la mezcla control, que no tiene adición de caucho granulado. Se puede observar que el agregado fino y el grueso están adheridos completamente a la mezcla de concreto, no se muestra segregación. Los agregados se distribuyen homogéneamente en la pasta y se llenan los vacíos dejados por el agregado fino, con agregado grueso.

Figura 76: Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 5%



Fuente: Elaboración propia.

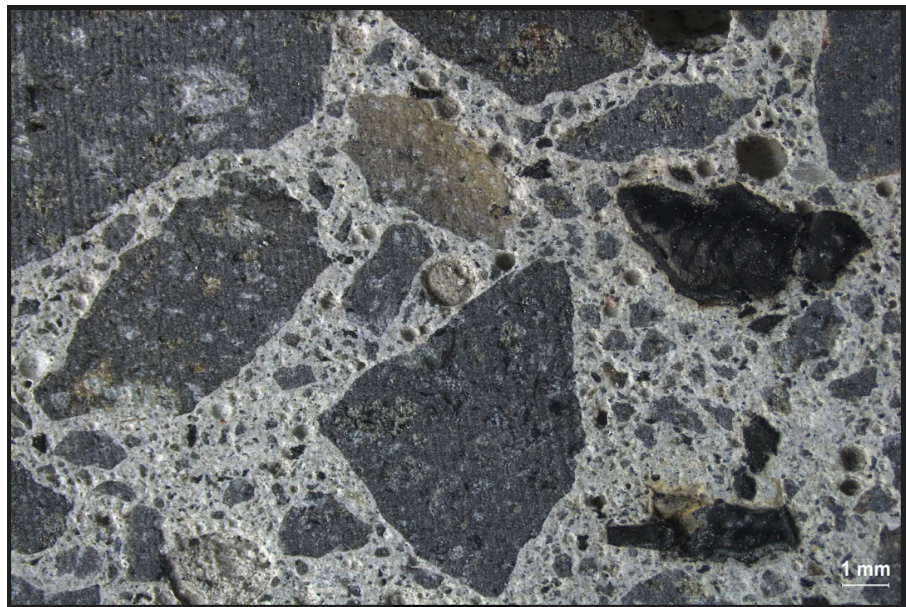
Figura 77: Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 5%



Fuente: Elaboración propia.

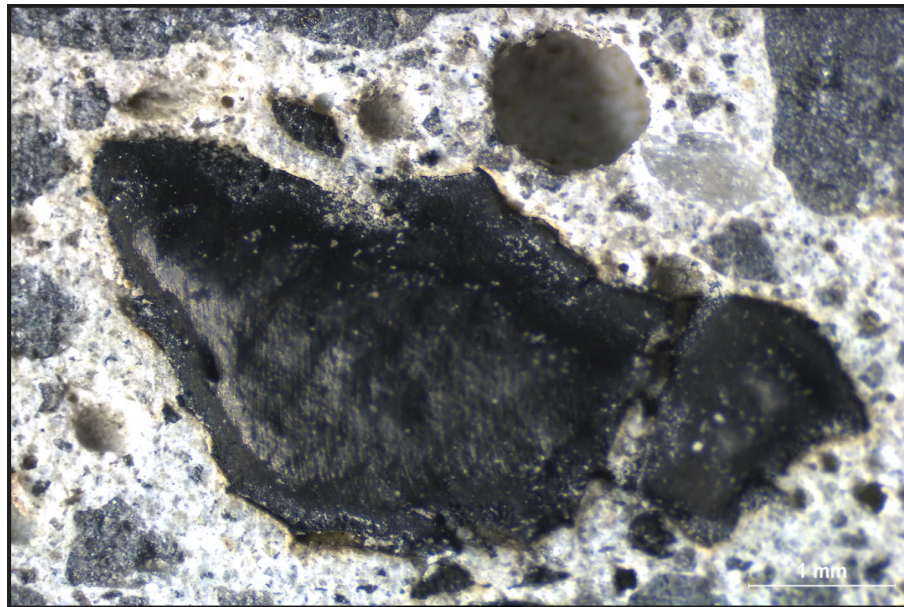
En las imágenes anteriores se muestra la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 5%. Los agregados están adheridos completamente al concreto, el caucho granulado presenta el mismo nivel de adherencia que los demás agregados. El caucho granulado esta uniformemente distribuido en la mezcla y no se presenta segregación. Se observan burbujas de aire.

Figura 78: Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 10%



Fuente: Elaboración propia.

Figura 79: Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 10 %



Fuente: Elaboración propia.

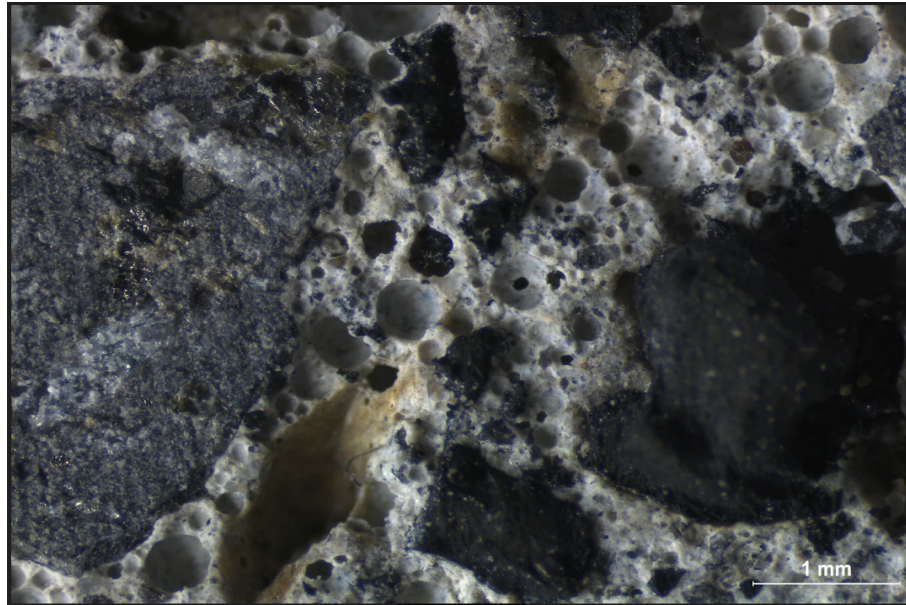
En las imágenes anteriores se muestra la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 10 %. El caucho granulado está igual de adherido al concreto que el agregado fino y agregado grueso, pero se presentan más burbujas de aire que en la mezcla anterior. El caucho granulado se presenta solo en la parte inferior de la muestra, mostrando segregación. En la Figura 81 se muestra una partícula de caucho y se puede observar como alrededor de está hay burbujas de aire y vacíos entre ella y el concreto.

Figura 80: Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 15 %



Fuente: Elaboración propia.

Figura 81: Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 15 %



Fuente: Elaboración propia.

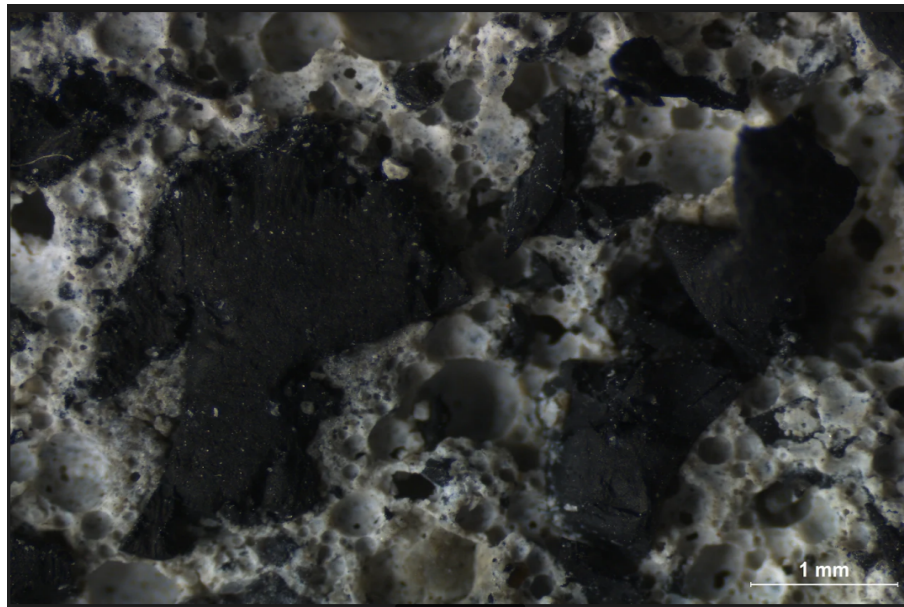
En las imágenes anteriores se muestra la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 15 %. El caucho granulado no se muestra tan adherido al concreto como en las mezclas anteriores, en la Figura 83 se muestran espacios dejados por el caucho granulado que se desprendió durante la manipulación de la muestra. El caucho está distribuido uniformemente en la mezcla y no se presenta segregación. Se observan más burbujas de aire, que en las mezclas anteriores.

Figura 82: Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 20 %



Fuente: Elaboración propia.

Figura 83: Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 20 %



Fuente: Elaboración propia.

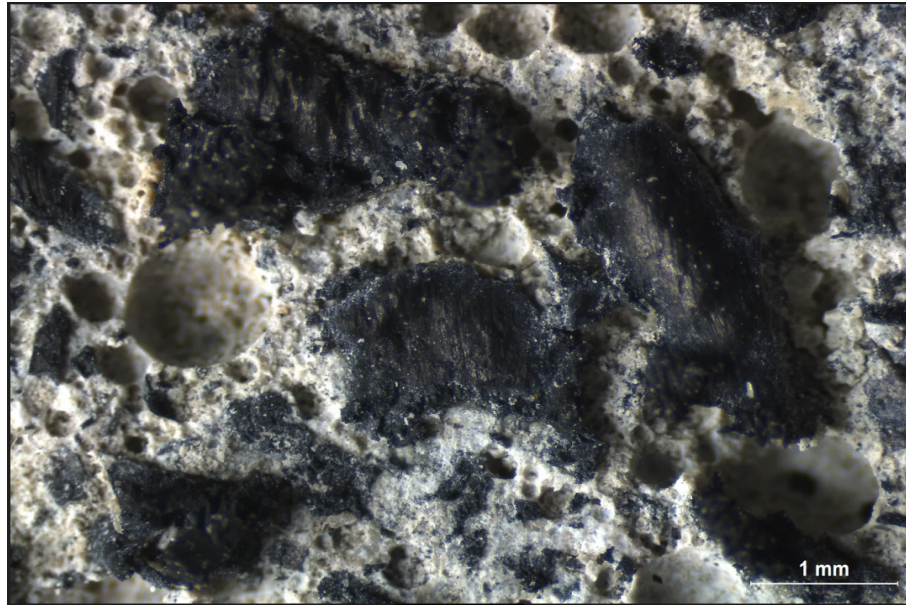
En las imágenes anteriores se muestra la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 20 %. En esta muestra, especialmente en la Figura 83, se evidencia como el caucho granulado se desprende del concreto, conforme aumenta el porcentaje de caucho granulado, se presentan muchos vacíos dejados por las partículas de caucho. Existen muchas burbujas de aire.

Figura 84: Imagen 10X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 25 %



Fuente: Elaboración propia.

Figura 85: Imagen 32X de mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado del 25 %



Fuente: Elaboración propia.

En las imágenes anteriores se muestra la mezcla con sustitución de agregado fino por caucho granulado en un 20 %. Se observa un aumento de burbujas de aire y también de los espacios dejados por el caucho granulado desprendido de la muestra. En esta mezcla es en donde está mejor distribuido el caucho en toda la mezcla.

De acuerdo a las imágenes anteriores se corrobora información de los ensayos anteriores, cómo que el contenido de aire aumenta, conforme la sustitución de agregado fino aumenta, esto se evidencia en la cantidad de burbujas que se muestran. También al manipular las muestras se evidenció su baja resistencia y el concreto no soporta cortes hechos por la sierra y la pulidora, causando desprendimiento de las partículas de caucho.

- El caucho granulado se puede clasificar como agregado fino para utilizar en mezclas de concreto, al realizarle las pruebas indicadas en las normas COGUANOR Y ASTM pertinentes, como granulometría, densidad aparente y materia orgánica. Es posible además, utilizar otros métodos para procedimientos que no apliquen por la composición del material, como la obtención de la densidad por medio de la norma COGUANOR NTG 41003 h2 (ASTM C188), que comúnmente es utilizada para cemento hidráulico pero puede ser modificada y aplicable a otros materiales, en este caso, como el caucho granulado.
- La evaluación del concreto en estado fresco mostró como el caucho granulado afecta la consistencia de la mezcla, haciendo que la densidad aparente disminuya conforme aumenta la dosificación de caucho granulado; también aumenta el contenido de aire, conforme aumenta la dosificación de caucho granulado. Existe una correlación entre estos resultados, provocando que la densidad disminuya conforme el contenido de aire aumenta porque este se queda atrapado alrededor de las partículas de caucho, como se muestra en las imágenes obtenidas en la evaluación petrográfica.
- Los resultados de resistencia a compresión muestran que conforme aumenta la dosificación de caucho granulado, disminuye la resistencia a compresión. Los resultados de los ensayos a compresión muestran que la resistencia de la mezcla con 5 % de sustitución, disminuye en un 33 %, en comparación a la mezcla control, la resistencia de la mezcla con 10 % de sustitución disminuye un 67 %, la mezcla con 15 % de sustitución disminuye un 89 %, la resistencia de la mezcla con 20 % de sustitución disminuye un 94 %, y la resistencia de la mezcla con 20 % de sustitución disminuye un 93 %. La disminución de la resistencia se debe al alto contenido de aire atrapado en las mezclas y a la menor densidad del caucho granulado que se adiciona.
- En las mezclas con sustitución de agregado fino por caucho granulado de 15 %, 20 % y 25 % existe una pequeña disminución en la resistencia a 56 días, comparada con la de 28 días. Debido a que la disminución es mínima, se asume que la resistencia se mantiene constante y no aumenta ni disminuye conforme aumenta la edad del concreto.

- La resistencia a la tracción indirecta disminuye conforme aumenta el porcentaje de sustitución de agregado fino por caucho granulado. De acuerdo a los resultados de los ensayos se concluye que la resistencia de la mezcla con 5 % de sustitución disminuye en un 20 %, en comparación a la mezcla control, la resistencia de la mezcla con 10 % de sustitución disminuye un 49 %, la resistencia de la mezcla con 15 % de sustitución disminuye un 74 %, la resistencia de la mezcla con 20 % de sustitución disminuye un 82 % y la resistencia de la mezcla con 25 % de sustitución disminuye un 83 %.
- Los resultados obtenidos de los ensayos a flexión muestran que el módulo de rotura disminuye conforme aumenta la dosificación de caucho granulado. De acuerdo a los resultados de los ensayos, se concluye que la resistencia de la mezcla con 5 % de sustitución disminuye en un 33 %, en comparación a la mezcla control, la resistencia de la mezcla con 10 % de sustitución disminuye un 47 %, la resistencia de la mezcla con 15 % de sustitución disminuye un 69 %, la resistencia de la mezcla con 20 % de sustitución disminuye un 81 % y la resistencia de la mezcla con 25 % de sustitución disminuye un 78 %.
- La adición de caucho granulado en las mezclas de concreto permite que se tenga una falla menos frágil, menos repentina. En las mezclas con mayor adición de caucho granulado, las fisuras no se esparcen tan rápido, en comparación con las mezclas sin caucho granulado.
- De acuerdo a los resultados de los ensayos realizados para obtener la capacidad del concreto para resistir la penetración de ion cloruro, se puede concluir que no existe correlación entre el porcentaje de caucho granulado presente en las mezclas de concreto y la penetrabilidad de ion cloruro. La mezcla con mayor resistencia es la de 15 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado, presentando una penetrabilidad moderada.
- Debido a la baja resistencia a compresión del concreto con adición de caucho granulado, el ensayo para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión, no fue concluyente para las mezclas con 15 % y 20 % de adición de caucho. Para las mezclas en las que sí se realizó el ensayo se puede concluir que conforme aumenta el porcentaje de caucho granulado, aumenta la penetración de agua en el concreto. Esto se debe a la porosidad y contenido de aire que causa la incorporación del caucho granulado.
- De acuerdo a los resultados de los ensayos de la resistencia al impacto, se puede concluir que a medida que se aumenta la dosificación de caucho granulado, se disminuye la resistencia a compresión y por lo tanto la resistencia al impacto es menor.
- La evaluación petrográfica corrobora los resultados de todos los ensayos, mostrando las diferencias entre cada mezcla, en comparación a la mezcla control.
- Se puede concluir, en base a todos los resultados obtenidos, que la adición de caucho granulado en las mezclas de concreto disminuye su resistencia de tal manera, que el concreto no puede ser utilizado para elementos estructurales ni pavimentos. De acuerdo a su tendencia a disminuir las fisuras y evitar que el concreto falle abruptamente, las mezclas de 5 %, 10 % y 15 % pueden ser utilizadas para recubrimiento de pisos para uso agropecuario y para usos en pisos decorativos y de juegos infantiles.

Recomendaciones

- Se recomienda continuar con el estudio de las propiedades del concreto al adicionar caucho granulado para obtener un porcentaje que cumpla con los requerimientos necesarios para que este tipo de concreto pueda ser utilizado en elementos estructurales, aunque sea de baja capacidad de carga.
- Se recomienda cambiar los diseños de mezcla, variando las relaciones agua cemento e incorporando aditivos que permitan obtener resistencias más altas, de acuerdo a las especificaciones del proyecto a construir y a las solicitaciones a las que será sometido el concreto.
- Se recomienda que se diseñen las mezclas de acuerdo a una resistencia a compresión definida previamente, para ajustar la relación agua cemento y la cantidad de aditivos para que la mezcla alcance la resistencia deseada.
- Se recomienda evaluar el uso del concreto con adición de caucho granulado en piso de uso agrícola o decorativo, haciendo pruebas a nivel industrial durante un determinado periodo de tiempo, para corroborar sus propiedades y resistencia ante el desgaste del uso diario y constante.
- Se recomienda evaluar las mezclas con diferentes dosificaciones de caucho en un periodo mayor a los 56 días para determinar si la resistencia se mantiene constante luego de este periodo de tiempo o existe un comportamiento que no se analizó en este estudio.

-
- [1] T. E. Harmsen, *Diseño de estructuras de concreto armado*, Tercera edición. Pontifica Universidad Católica de Perú, 2002.
 - [2] N. Gerges, C. Issa y S. Fawaz, “Rubber Concrete: Mechanical and Dynamical Properties”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 9, jul. de 2018. DOI: 10.1016/j.cscm.2018.e00184.
 - [3] L. Gutiérrez de López, *El concreto y otros materiales para la construcción*, Segunda edición. Universidad Nacional de Colombia Sede Manzanales, 2003.
 - [4] A. Commette, *Cement and concrete terminology*. American Concrete Institute, 2009.
 - [5] S. H. Kostmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese y J. Tanese, *Diseño y control de mezclas de concreto*, Primera edición. Portland Cement Association, 2004.
 - [6] I. M. del Cemento y del Concreto, *Mezclas de concreto*. IMCYC, 2009.
 - [7] COGUANOR1, *Cementos Hidráulicos. Especificaciones por desempeño (NTG 41095)*. COGUANOR, 2012.
 - [8] COGUANOR2, *Agua de mezcla para uso en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. (NTG 41073)*. COGUANOR, s.f.
 - [9] J. McCormac y R. Brown, *Diseño de Concreto Reforzado*. Alfaomega, 2011.
 - [10] COGUANOR3, *Aditivos químicos para concreto. Especificaciones. (NTG 41070)*. COGUANOR, s.f.
 - [11] D. Sánchez de Guzmán, *Tecnología del concreto y del mortero*, Quinta edición. Bhandar Editores, 2001.
 - [12] E. Rivvas López, *Materiales para el concreto*, Tercera edición. Instituto de la Construcción y Gerencia, 2000.
 - [13] COGUANOR4, *Agregados para Concreto. Especificaciones. (NTG 41007)*. COGUANOR, s.f.
 - [14] COGUANOR5, *Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico. (NTG 41017 h4)*. COGUANOR, s.f.

- [15] M. V. Quiroz Crespo y L. E. Salamanca Osuna, *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura “Tecnología del hormigón”*. Universidad mayor de San Simón, 2006.
- [16] G. Delgado Contreras, *Diseño de estructuras aperticadas de concreto armado*, Novena edición. EDICIVIL, 2011.
- [17] COGUANOR6, *Método de ensayo. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado. (NTG 41053)*. COGUANOR, s.f.
- [18] COGUANOR7, *Concreto premezclado. Especificaciones. (NTG 41068)*. COGUANOR, s.f.
- [19] COGUANOR9, *Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión. (NTG 41017 h7)*. COGUANOR, 2006.
- [20] COGUANOR10, *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. (NTG 41017 h1)*. COGUANOR, 2017.
- [21] COGUANOR11, *Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz). (NTG 41017 h2)*. COGUANOR, 2017.
- [22] J. D. Osorio, *¿Qué es el módulo de elasticidad del concreto?*, [urlhttps://www.360enconcreto.com/blog/detalle-del-concreto](https://www.360enconcreto.com/blog/detalle-del-concreto), 2018.
- [23] COGUANOR12, *Método de ensayo. Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión. (NTG 41017 h16)*. COGUANOR, 2017.
- [24] O. J. Silva, *Tipos de agregados y su influencia en el diseño de la mezcla de concreto*, [urlhttps://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto](https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto), 2018.
- [25] R. Uribe, *El control de calidad en los agregados para concreto*, Tercera edición. 1991.
- [26] O. G. Bolívar, *Manual de agregados para el hormigón*. Univesidad nacional de Colombia, 2003.
- [27] EcoGreen, *Caucho Granulado*, [urlhttps://ecogreenequipment.com/es/equipcat/crumb-rubber-es/](https://ecogreenequipment.com/es/equipcat/crumb-rubber-es/), 2018.
- [28] COGUANOR13, *Método de Ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso. (NTG 41010 h1)*. COGUANOR, 2009.
- [29] COGUANOR14, *Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados. (NTG 41010 h2)*. COGUANOR, s.f.
- [30] COGUANOR15, *Método de ensayo. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto. (NTG 41010 h4)*. COGUANOR, 2009.
- [31] COGUANOR16, *Determinación de la densidad del cemento hidráulico. (COGUANOR NTG 41003 h2)*. COGUANOR, 2009.
- [32] A. Committe, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1)*. American Concrete Insitute, 2002.
- [33] COGUANOR17, *Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico. (NTG 41017 h4)*. COGUANOR, s.f.

- [34] COGUANOR8, *Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto. (NTG 41017 h5)*. COGUANOR, s.f.
- [35] COGUANOR19, *Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio. (COGUANOR NTG 41060)*. COGUANOR, s.f.
- [36] COGUANOR20, *Método de ensayo para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro. (COGUANOR NTG 41017 h41)*. COGUANOR, 2017.
- [37] COGUANOR21, *Método de ensayo para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido. (COGUANOR NTG 41017 h42)*. COGUANOR, 2017.
- [38] COGUANOR22, *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. (COGUANOR NTG 41017 h15)*. COGUANOR, s.f.
- [39] COGUANOR23, *Métodos de muestreo y ensayo para baldosas de terrazo para pisos de uso interior y exterior. (COGUANOR NTG 41081 h1)*. COGUANOR, 2009.
- [40] COGUANOR24, *Práctica estándar para la evaluación petrográfica del concreto endurecido. (COGUANOR NTG 41089)*. COGUANOR, 2009.

10.1. Ficha técnica de aditivo PolyHeed 789



3	03 30 00	Concreto colado in situ
	03 40 00	Concreto prefabricado
	03 70 00	Concreto masivo

MasterPolyheed® 789

Aditivo reductor de agua de medio rango y retardante

Polyheed® 789*

Descripción

MasterPolyheed 789 es un aditivo líquido, listo para su uso, reductor de agua de medio rango que mantiene su trabajabilidad en ambientes con altas temperaturas. MasterPolyheed 789 cumple con los requisitos de la norma ASTM C-494 Tipo B y D, AASHTO M 194 y CRD C-B7.

Usos recomendados

- Concreto donde se requiera extender el tiempo de fraguado y la trabajabilidad
- Concreto donde se requiera un rango de revenimiento medio de 15 a 20 cm (6 a 8 in)
- Mezclas de concreto con una amplia variedad de cementos tipo portland o adicionados
- Concretos compactados con rodillo para la construcción de presas y pavimentos
- Mezcla de suelos de cemento con tiempo extendido de inicio de fragüe

Características

- Reduca la segregación en concretos de altos revenimientos.
- Reducción de agua de 12 al 20 % y excelente desempeño en un amplio rango de revenimientos, especialmente de 10 a 20 cm (4 a 8 in).
- Mejora las características de trabajabilidad, bombeado y acabado aún en mezclas de concreto con bajas cantidades de material cementante.
- Características de fraguado moderadamente retardado en las dosis recomendadas.

Beneficios

- Mejor desempeño con una amplia variedad de cementos, cenizas volantes, escorias de alto horno y agregados, incluyendo arenas gruesas o de trituración.
- Mejor resistencia al daño por los ciclos de congelamiento y deshielo.
- Incremento en el desarrollo de resistencia a compresión y flexión durante su vida útil.

Desempeño

Datos técnicos

Estado físico	Líquido
Color	Café oscuro
Densidad, 25 °C (77 °F)	1.14 ± 0.014 g/ml
pH	10 ± 1

Recomendaciones de uso

Dosificación: El rango de dosificación recomendado para el aditivo MasterPolyheed 789 es de 400 a 800 mL por 100 kg de material cementicio (6 a 12 oz fl por 100 lb de material cementicio) en los concretos convencionales. En el caso de mezclas con bajos contenidos de cementos y compactados con rodillos, la dosificación puede variar de 400 a 1,800 mL por 100 kg de material cementicio (6 a 28 oz fl por 100 lb) según el retardo de fraguado inicial y final deseado. Para usar otras dosificaciones que estén fuera del rango recomendado consulte a su representante de ventas de BASF.

Consideraciones

Corrosividad. No corrosivo, No contiene cloruros: MasterPolyheed 789 no iniciará o promoverá la corrosión del acero de refuerzo en el concreto. En la manufactura de este aditivo no se añadió cloruro de calcio ni ingredientes a base de cloruro adicionados intencionalmente.

Compatibilidad: MasterPolyheed 789 puede utilizarse en combinación con cualquier otro aditivo de BASF. Cuando se usa con otros aditivos, cada uno deberá dosificarse a la mezcla en forma separada. MasterPolyheed 789 puede utilizarse con aditivos inclusores de aire siempre que satisfagan las especificaciones ASTM, AASHTO y CRD.

Almacenamiento y manejo

Temperatura de almacenamiento: MasterPolyheed 789 debe almacenarse a temperaturas superiores a 0 °C (32 °F) en sus recipientes originales sellados. Si el aditivo MasterPolyheed 789 se congela, descongele a 2 °C (35 °F) o más y homogeneice el producto por completo con agitación mecánica ligera. **No use aire presurizado para agitar.**

Vida útil: MasterPolyheed 789 tiene una vida útil de 18 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, esta puede ser mayor.

Seguridad: MasterPolyheed 789 no contiene sustancias peligrosas que deban indicarse en la etiqueta. Se usa con seguridad siguiendo las precauciones estándares para la industria de la construcción como, guantes y lentes de seguridad.

Presentación

MasterPolyheed 789 se suministra en tambores de 208 L o a granel.

Documentos Relacionados

Hoja de Datos de Seguridad (SDS): MasterPolyheed 789.

Información Adicional

Para obtener información adicional sobre el aditivo MasterPolyheed 789 o su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características de desempeño especiales, entre en contacto con su representante de ventas de BASF.

La división de Construction Chemicals de BASF es el proveedor líder en soluciones para mejorar las características de colocación, bombeo, acabado y apariencia del concreto de alto desempeño usado en los mercados de premezclados, prefabricados, productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y de pavimentos. Por más de 100 años hemos ofrecido productos confiables y tecnologías innovadoras y ahora conectamos a través de la marca Master Builders Solutions el conocimiento y experiencia mundial de profesionales en muchos campos para proporcionar soluciones sustentables a la industria de la construcción.

10.2. Ficha técnica de aditivo MaterGlenium 3020



3	03 30 00	Concreto colado in situ
	03 40 00	Concreto prefabricado
	03 70 00	Concreto masivo

MasterGlenium® 3020

Aditivo reductor de agua de alto rango

Glenium® 3020*

Descripción

MasterGlenium 3020 es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para su uso que pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología de polycarboxilato. Es muy efectivo en la producción de concreto con diferentes grados de trabajabilidad incluyendo aplicaciones que requieren concreto autoconsolidable (SCC).

MasterGlenium 3020 cumple con los requisitos de la norma ASTM C 494 para aditivos reductores de agua, Tipo A y aditivos reductores de agua de alto rango, Tipo F.

Usos recomendados

- Concreto donde se requieran tiempos de fraguado normales hasta acelerados
- Concreto que requiera una reducción de agua de 15 a 40%
- Concreto que requiera el desarrollo de resistencias iniciales extremadamente altas (prefabricados, rápidas reparaciones de pavimentos)
- Concreto que requiera una alta fluidez y mayor durabilidad
- Producción de mezclas de concreto autoconsolidables (SCC)

Características

- Menor contenido de agua para una determinada trabajabilidad
- Reducción lineal de agua en todo el rango de dosificación recomendado
- Puede usarse en una amplia variedad de mezclas de concreto que requieren aditivos Tipo A o Tipo F
- Reología controlada
- Desarrollo de resistencia inicial extremadamente alta

Beneficios

- Produce concretos cohesivos y sin segregación
- Reduce o elimina la necesidad de vibración y curado por vapor
- Incrementa la productividad de las operaciones de prefabricados
- Permite el paso del tráfico más rápido para las reparaciones de pavimentos de concreto
- Reducción de costos de construcción debido a una mayor productividad
- Incrementa la vida de servicio de las estructuras

Desempeño

Mantenimiento del revenimiento: El aditivo MasterGlenium 3020 ha sido desarrollado para obtener una resistencia inicial extremadamente alta en el concreto. En consecuencia, el asentamiento del concreto con este aditivo se mantiene por menos tiempo que el concreto tratado con aditivos reductores de agua de alto rango convencionales o con el concreto sin tratar. Para facilitar la colocación, el concreto con aditivo MasterGlenium 3020 se debe colocar en un lapso de veinte minutos después de su adición.

Con el uso de un aditivo retardador o del aditivo de control de fraguado extenso MasterSet® DELVO se puede mantener el asentamiento del concreto tratado con MasterGlenium 3020. Se recomienda realizar pruebas de campo para asegurar que se puede lograr el asentamiento deseado por un tiempo especificado.

Recomendaciones de uso

Dosificación: El rango de dosificación recomendado para MasterGlenium 3020 es de 200 – 800 mL/100 kg del material cementicio para la mayoría de las mezclas de concreto. Debido a las variaciones de los materiales de concreto, condiciones de la obra y/o aplicaciones, se podrán requerir rangos de dosificación diferentes a los recomendados.

MASTER®
»BUILDERS
SOLUTIONS

En tales casos, casos contacte a su representante de ventas de BASF.

Mezclado: Para obtener un mayor tiempo de manejabilidad, deberá dosificar el aditivo MasterGlenium 3020 en la obra en forma tardía. Puede adicionar MasterGlenium 3020 con el agua inicial del lote si el concreto se va a colocar inmediatamente después del mezclado.

Colocación del concreto: El concreto que contiene MasterGlenium 3020 puede colocarse usando los métodos convencionales de colocación. La colocación debe ser continua y sin interrupción.

Consideraciones

Corrosividad, No contiene Cloruros, No Corrosivo: El aditivo MasterGlenium 3020 no iniciará ni promoverá la corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto, en el concreto preesforzado o concreto colocado en sistemas de techos y pisos de acero galvanizado. En la manufactura de este aditivo no se ha añadido cloruro de calcio ni ingredientes a base de cloruros adicionados intencionalmente.

En todas las aplicaciones de concreto, el aditivo MasterGlenium 3020 cumple con los límites mínimos o más estrictos para ión de cloruro sugeridos normalmente por los estándares y prácticas de la industria de la construcción.

Compatibilidad: MasterGlenium 3020 es compatible con la mayoría de aditivos usados en la producción de concreto incluyendo otros aditivos reductores de agua de rango normal, medio y alto, inclusores de aire, acelerantes, retardantes, aditivos para control de fraguado extenso, inhibidores de la corrosión y reductores de retracción.

MasterGlenium 3020 también es compatible con la escoria y puzolanas como la ceniza volante y microsilica. No utilice MasterGlenium 3020 en combinación con aditivos que contengan sulfonato de beta-naftaleno, ya que pueden ocurrir comportamientos erráticos con el revenimiento y el bombeado.

Almacenamiento y manejo

Temperatura de almacenamiento: MasterGlenium 3020 debe almacenarse a temperaturas superiores de 5 °C. Si MasterGlenium 3020 se congela, descongele y homogeneice el producto con una agitación mecánica ligera. **No use aire presurizado para agitar.**

Vida útil: MasterGlenium 3020 tiene una vida útil de 6 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

Presentación

MasterGlenium 3020 se suministra en tambores de 200 L (53 gal), en totes de 1,000 L (264 gal) y a granel.

Documentos Relacionados

Hoja de Datos de Seguridad (SDS): MasterGlenium 3020.

Información Adicional

Para obtener información adicional sobre el aditivo MasterGlenium 3020 o su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características de desempeño especiales, entre en contacto con su representante de ventas de BASF.

La división de Construction Chemicals de BASF es el proveedor líder en soluciones para mejorar las características de colocación, bombeo, acabado y apariencia del concreto de alto desempeño usado en los mercados de premezclados, prefabricados, productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y de pavimentos. Por más de 100 años hemos ofrecido productos confiables y tecnologías innovadoras y ahora conectamos a través de la marca Master Builders Solutions el conocimiento y experiencia mundial de profesionales en muchos campos para proporcionar soluciones sustentables a la industria de la construcción.

10.3. Resultados de resistencia a compresión, 0% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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



Fecha Impresión: 2019.05.02
Página: 1 de 2
Usuario: DVILLATORO
OT: 33480-6
Fecha OT: 2019.03.06

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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		33480-6-01		2019.03.06	2019.03.07	1	CONTRO	7.50	3.95	8091	129.3	16.0	2320	2
2		33480-6-02		2019.03.06	2019.03.07	1	CONTRO	7.50	3.92	8091	145.7	18.0	2610	2
3		33480-6-05		2019.03.06	2019.03.13	7	CONTRO	7.50	3.97	8012	276.2	34.5	5000	2
4		33480-6-03		2019.03.06	2019.03.09	3	CONTRO	7.50	3.96	8012	238.5	29.8	4320	2
5		33480-6-04		2019.03.06	2019.03.09	3	CONTRO	7.50	3.96	8012	233.3	29.1	4220	2
6		33480-6-06		2019.03.06	2019.03.13	7	CONTRO	7.50	3.97	8012	274.2	34.2	4960	2
7	33480-6	33480-6-12	M. ELÁSTICO	2019.03.06	2019.04.03	28	M.E.	7.50						
8	33480-6	33480-6-13	M. ELÁSTICO	2019.03.06	2019.04.03	28	M.E.	7.50						
9		33480-6-07		2019.03.06	2019.04.03	28	CONTRO	7.50	3.96	8091	358.3	44.3	6420	2
10		33480-6-08		2019.03.06	2019.04.03	28	CONTRO	7.50	3.97	8091	379.0	46.8	6790	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 1.3%; MASA UNITARIA 2395KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.0OC TEMPERATURA AMBIENTE: 23.5OC

Analista

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 laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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



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



Fecha impresión: 2019.05.02
Página: 2 de 2
Usuario: DVILLATORO
OT: 33480-6
Fecha OT: 2019.03.06

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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
11		33480-6-09		2019.03.06	2019.04.03	28	CONTRO	7.50	3.96	8091	359.3	44.4	8440	5
12		33480-6-10		2019.03.06	2019.05.01	56	CONTRO	7.50	3.98	8012	439.2	54.8	7950	2
13		33480-6-11		2019.03.06	2019.05.01	56	CONTRO	7.50	3.94	8012	419.4	52.3	7590	2

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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 1.3%; MASA UNITARIA 2395KG/M3
TEMPERATUR A DEL CONCRETO: 24.00C TEMPERATURA AMBIENTE: 23.50C


Analista


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 laboratorioctec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

10.4. Resultados de resistencia a compresión, 5% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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



Fecha impresión: 2019.05.02
Página: 1 de 2
Usuario: DVILLATORO
OT: 33480-1
Fecha OT: 2019.03.06

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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		33480-1-01		2019.03.06	2019.03.07	1	CAUCHO 5%	7.00	3.64	8091	88.2	8.4	1220	3
2		33480-1-02		2019.03.06	2019.03.07	1	CAUCHO 5%	7.00	3.66	8091	73.1	9.0	1310	2
3		33480-1-06		2019.03.06	2019.03.13	7	CAUCHO 5%	7.00	3.70	8012	182.3	22.8	3300	2
4		33480-1-03		2019.03.06	2019.03.09	3	CAUCHO 5%	7.00	3.69	8091	143.7	17.8	2580	2
5		33480-1-04		2019.03.06	2019.03.09	3	CAUCHO 5%	7.00	3.67	8012	148.0	18.5	2680	2
6	33480-1	33480-1-12	M. ELÁSTICO	2019.03.06	2019.04.03	28	M.E.	7.00						
7	33480-1	33480-1-13	M. ELÁSTICO	2019.03.06	2019.04.03	28	M.E.	7.00						
8		33480-1-07		2019.03.06	2019.04.03	28	CAUCHO 5%	7.00	3.74	8091	250.1	30.9	4480	2
9		33480-1-08		2019.03.06	2019.04.03	28	CAUCHO 5%	7.00	3.70	8091	256.3	31.7	4590	5
10		33480-1-09		2019.03.06	2019.04.03	28	CAUCHO 5%	7.00	3.73	8091	240.6	29.7	4310	5

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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 6.0%; MASA UNITARIA 2228KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 23.50C TEMPERATURA AMBIENTE: 24.00C

Analista

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 laboratoriocitec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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
11		33480-1-05		2019.03.06	2019.03.13	7	CAUCHO 5%	7.00	3.70	8091	182.7	22.6	3280	2
12		33480-1-10		2019.03.06	2019.05.01	56	CAUCHO 5%	7.00	3.75	8012	271.9	33.9	4920	2
13		33480-1-11		2019.03.06	2019.05.01	56	CAUCHO 5%	7.00	3.73	8012	257.1	32.1	4650	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 6.0%; MASA UNITARIA 2228KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 23.50C TEMPERATURA AMBIENTE: 24.00C


Analista


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 laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

10.5. Resultados de resistencia a compresión, 10% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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



Fecha impresión: 2019.05.02
Página: 1 de 2
Usuario: DVILLATORO
OT: 33480-2
Fecha OT: 2019.03.06

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES 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		33480-2-01		2019.03.06	2019.03.07	1	CAUCHO 10	6.25	3.38	8091	31.7	3.9	570	2
2		33480-2-02		2019.03.06	2019.03.07	1	CAUCHO 10	6.25	3.39	8091	34.6	4.3	620	2
3		33480-2-05		2019.03.06	2019.03.13	7	CAUCHO 10	6.25	3.38	8091	90.5	11.2	1620	2
4		33480-2-06		2019.03.06	2019.03.13	7	CAUCHO 10	6.25	3.45	8091	101.2	12.5	1810	2
5		33480-2-03		2019.03.06	2019.03.09	3	CAUCHO 10	6.25	3.31	8012	73.3	9.1	1330	3
6		33480-2-04		2019.03.06	2019.03.09	3	CAUCHO 10	6.25	3.43	8012	85.3	10.6	1540	2
7	33480-2	33480-2-12	M. ELÁSTICO	2019.03.06	2019.04.03	28	M.E.	6.25						
8	33480-2	33480-2-13	M. ELÁSTICO	2019.03.06	2019.04.03	28	M.E.	6.25						
9		33480-2-07		2019.03.06	2019.04.03	28	CAUCHO 10	6.25	3.35	8091	121.4	15.0	2180	2
10		33480-2-08		2019.03.06	2019.04.03	28	CAUCHO	6.25	3.47	8091	122.8	15.2	2200	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 11.5%; MASA UNITARIA 2028KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 25.0OC TEMPERATURA AMBIENTE: 24.5OC


Analista


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 laboratorioctec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES 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
							10							
11		33480-2-09		2019.03.06	2019.04.03	28	CAUCHO 10	6.25	3.39	8091	123.9	15.3	2220	2
12		33480-2-10		2019.03.06	2019.05.01	56	CAUCHO 10	6.25	3.41	8012	140.9	17.6	2550	2
13		33480-2-11		2019.03.06	2019.05.01	56	CAUCHO 10	6.25	3.43	8012	148.6	18.5	2690	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 11.5%; MASA UNITARIA 2028KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 25.00C TEMPERATURA AMBIENTE: 24.50C



Analista



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 laboratorioctec@cmpro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

10.6. Resultados de resistencia a compresión, 15% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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



Fecha impresión: 2019.05.06
Página: 1 de 2
Usuario: DVILLATORO
OT: 33480-7
Fecha OT: 2019.03.11

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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		33480-7-05		2019.03.11	2019.03.18	7	CAUCHO 15	7.00	2.94	8012	36.5	4.6	660	2
2		33480-7-06		2019.03.11	2019.03.18	7	CAUCHO 15	7.00	2.96	8091	34.2	4.2	610	2
3		33480-7-08		2019.03.11	2019.04.08	28	CAUCHO 15	7.00	3.07	8091	41.2	5.1	740	2
4		33480-7-09		2019.03.11	2019.04.08	28	CAUCHO 15	7.00	2.98	8091	39.1	4.8	700	2
5		33480-7-01		2019.03.11	2019.03.12	1	CAUCHO 15	7.00	2.80	8091	12.6	1.6	230	3
6		33480-7-02		2019.03.11	2019.03.12	1	CAUCHO 15	7.00	2.97	8091	13.6	1.7	240	2
7		33480-7-03		2019.03.11	2019.03.14	3	CAUCHO 15	7.00	2.83	8091	26.5	3.3	480	3
8		33480-7-04	4	2019.03.11	2019.03.14	3	CAUCHO 15	7.00	2.87	8091	27.8	3.4	500	3
9		33480-7-07		2019.03.11	2019.04.08	28	CAUCHO 15	7.00	2.89	8012	40.0	5.0	720	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 20.0%; MASA UNITARIA 1768KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.00C TEMPERATURA AMBIENTE: 22.50C

Analista

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 laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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)	Resistencia (N/mm²)	Resistencia (PSI)	T. Rot
							15							
10	33480-7	33480-7-12	M. ELÁSTICO	2019.03.11	2019.04.08	28	M.E.	7.00						
11	33480-7	33480-7-13	M. ELÁSTICO	2019.03.11	2019.04.08	28	M.E.	7.00						
12		33480-7-10		2019.03.11	2019.05.06	56	CAUCHO 15	7.00	3.04	8091	39.7	4.9	710	2
13		33480-7-11		2019.03.11	2019.05.06	56	CAUCHO 15	7.00	2.94	8091	38.7	4.8	690	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 20.0%; MASA UNITARIA 1768KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.00C TEMPERATURA AMBIENTE: 22.50C


Analista


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 laboratorioctec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

10.7. Resultados de resistencia a compresión, 20% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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



Fecha impresión: 2019.05.06
Página: 1 de 2
Usuario: DVILLATORO
OT: 33480-4
Fecha OT: 2019.03.08

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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)	Resistencia (N/mm ²)	Resistencia (PSI)	T. Rot
1		33480-4-01		2019.03.08	2019.03.09	1	CAUCHO 20	8.50	2.59	8091	6.5	0.8	120	2
2		33480-4-02		2019.03.08	2019.03.09	1	CAUCHO 20	8.50	2.69	8091	7.6	0.9	140	2
3		33480-4-03		2019.03.08	2019.03.11	3	CAUCHO 20	8.50	2.73	8091	15.3	1.9	270	2
4		33480-4-04		2019.03.08	2019.03.11	3	CAUCHO 20	8.50	2.77	8091	16.4	2.0	290	2
5		33480-4-05		2019.03.08	2019.03.15	7	CAUCHO 20	8.50	2.59	8091	19.1	2.4	340	2
6		33480-4-06		2019.03.08	2019.03.15	7	CAUCHO 20	8.50	2.69	8091	21.4	2.6	380	2
7	33480-4	33480-4-12	M. ELÁSTICO	2019.03.08	2019.04.05	28	M.E.	8.50						
8	33480-4	33480-4-13	M. ELÁSTICO	2019.03.08	2019.04.05	28	M.E.	8.50						
9		33480-4-07		2019.03.08	2019.04.05	28	CAUCHO 20	8.50	2.72	8091	24.6	3.0	440	2
10		33480-4-08		2019.03.08	2019.04.05	28	CAUCHO 20	8.50	2.80	8091	22.6	2.8	410	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 25%; MASA UNITARIA 1608KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.5OC TEMPERATURA AMBIENTE: 23.0OC


Analista


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 laboratorioctec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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
11		33480-4-09		2019.03.08	2019.04.05	28	CAUCHO 20	8.50	2.79	8091	21.7	2.7	390	2
12		33480-4-10		2019.03.08	2019.05.03	56	CAUCHO 20	8.50	2.68	8091	20.4	2.5	370	2
13		33480-4-11		2019.03.08	2019.05.03	56	CAUCHO 20	8.50	2.70	8091	20.2	2.5	360	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 25%; MASA UNITARIA 1608KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.5OC TEMPERATURA AMBIENTE: 23.0OC


Analista


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 laboratoriocotec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

10.8. Resultados de resistencia a compresión, 25 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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



Fecha impresión: 2019.05.06
Página: 1 de 2
Usuario: DVILLATORO
OT: 33480-5
Fecha OT: 2019.03.08

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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		33480-5-01		2019.03.08	2019.03.09	1	CAUCHO 25	6.50	2.64	8091	8.4	1.0	150	3
2		33480-5-02		2019.03.08	2019.03.09	1	CAUCHO 25	6.50	2.59	8091	8.1	1.0	150	2
3		33480-5-03		2019.03.08	2019.03.11	3	CAUCHO 25	6.50	2.79	8091	19.2	2.4	340	2
4		33480-5-04		2019.03.08	2019.03.11	3	CAUCHO 25	6.50	2.69	8091	17.0	2.1	310	2
5		33480-5-05		2019.03.08	2019.03.15	7	CAUCHO 25	6.50	2.77	8091	23.3	2.9	420	2
6		33480-5-06		2019.03.08	2019.03.15	7	CAUCHO 25	6.50	2.63	8091	21.0	2.6	380	2
7	33480-5	33480-5-12	M. ELÁSTICO	2019.03.08	2019.04.05	28	M.E.	6.50						
8	33480-5	33480-5-13	M. ELÁSTICO	2019.03.08	2019.04.05	28	M.E.	6.50						
9		33480-5-07		2019.03.08	2019.04.05	28	CAUCHO 25	6.50	2.64 ^s	8091	19.0	2.3	340	2
10		33480-5-08		2019.03.08	2019.04.05	28	CAUCHO 25	6.50	2.78	8091	27.3	3.4	490	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 26%; MASA UNITARIA 1539KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.50C TEMPERATURA AMBIENTE: 23.50C

Analista

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 22864175 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 íntegramente.

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

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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
11		33480-5-09		2019.03.08	2019.04.05	28	CAUCHO 25	6.50	2.76	8091	24.1	3.0	430	2
12		33480-5-10		2019.03.08	2019.05.03	56	CAUCHO 25	6.50	2.73	8091	19.9	2.5	360	2
13		33480-5-11		2019.03.08	2019.05.03	56	CAUCHO 25	6.50	2.81	8091	24.3	3.0	440	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 26%; MASA UNITARIA 1539KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.50C TEMPERATURA AMBIENTE: 23.50C



Analista



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 laboratoriocetec@campro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haya íntegramente.

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

10.9. Resultados de resistencia a compresión, 25 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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



Fecha impresión: 2019.05.06
Página: 1 de 2
Usuario: DVILLATORO
OT: 33480-5
Fecha OT: 2019.03.08

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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)	Resistencia (N/mm ²)	Resistencia (PSI)	T. Rot
1		33480-5-01		2019.03.08	2019.03.09	1	CAUCHO 25	6.50	2.64	8091	8.4	1.0	150	3
2		33480-5-02		2019.03.08	2019.03.09	1	CAUCHO 25	6.50	2.59	8091	8.1	1.0	150	2
3		33480-5-03		2019.03.08	2019.03.11	3	CAUCHO 25	6.50	2.79	8091	19.2	2.4	340	2
4		33480-5-04		2019.03.08	2019.03.11	3	CAUCHO 25	6.50	2.69	8091	17.0	2.1	310	2
5		33480-5-05		2019.03.08	2019.03.15	7	CAUCHO 25	6.50	2.77	8091	23.3	2.9	420	2
6		33480-5-06		2019.03.08	2019.03.15	7	CAUCHO 25	6.50	2.63	8091	21.0	2.6	380	2
7	33480-5	33480-5-12	M. ELÁSTICO	2019.03.08	2019.04.05	28	M.E.	6.50						
8	33480-5	33480-5-13	M. ELÁSTICO	2019.03.08	2019.04.05	28	M.E.	6.50						
9		33480-5-07		2019.03.08	2019.04.05	28	CAUCHO 25	6.50	2.64 [*]	8091	19.0	2.3	340	2
10		33480-5-08		2019.03.08	2019.04.05	28	CAUCHO 25	6.50	2.78	8091	27.3	3.4	490	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 26%; MASA UNITARIA 1539KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.50C TEMPERATURA AMBIENTE: 23.50C

Analista

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 22864176 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	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
							25							
11		33480-5-09		2019.03.08	2019.04.05	28	CAUCHO 25	6.50	2.76	8091	24.1	3.0	430	2
12		33480-5-10		2019.03.08	2019.05.03	56	CAUCHO 25	6.50	2.73	8091	19.9	2.5	360	2
13		33480-5-11		2019.03.08	2019.05.03	56	CAUCHO 25	6.50	2.81	8091	24.3	3.0	440	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

Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 26%; MASA UNITARIA 1539KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.50C TEMPERATURA AMBIENTE: 23.50C



Analista

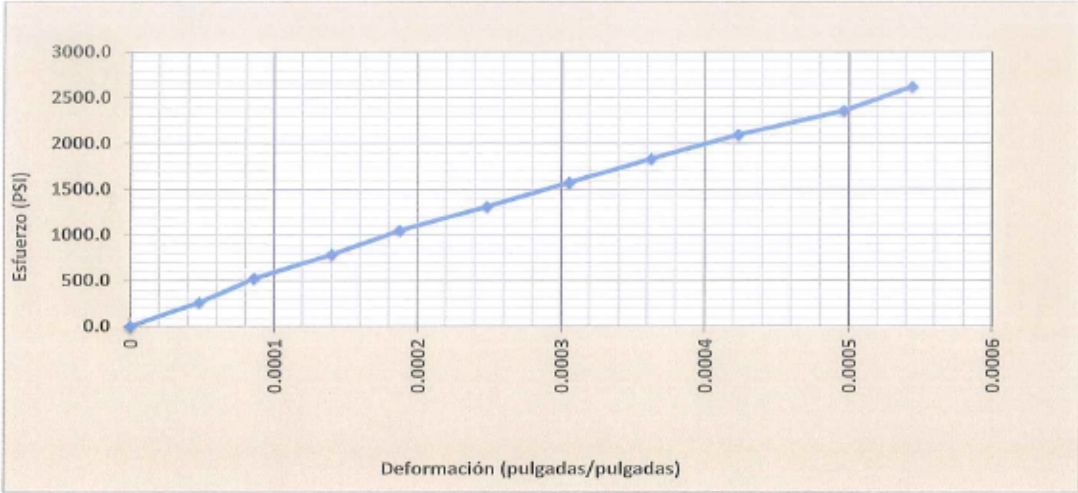

Jefe Laboratorio/Coordinador



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: laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

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

10.10. Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 0% de sustitución de agregado fino por caucho granulado

		Cementos Progreso Centro Tecnológico 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala Tel: 2286-4178 email: laboratorioctec@cempro.com		OT: 33480-6 FECHA OT: 2019-03-06 PAGINA: 2 DE 2 IMPRESION: 2019-04-22									
CLIENTE:	CI+D / CETEC												
CONTACTO:	ARIEL OSORIO												
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA												
MUESTRA:	CILINDROS												
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA												
INFORME DE ENSAYO													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO													
ASTM C 469													
Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-6-13	ESTANDAR	2019-03-06	2019-04-03	28	101.5	203.0	3.94	6,552	45.2	5,050,000	355,050	34,819	0.19



 Edwin Barrios Analista de laboratorio	 Jefe / Coordinador de laboratorio
---	---

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 comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratorioctec@cempro.com.
 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:

LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-6-07,08 Y 09

* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.



Cementos Progreso
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala
 Tel: 2286-4178 email: laboratoriocefec@cempro.com

OT: 33480-6
 FECHA OT: 2019-03-06
 PAGINA: 1 DE 2
 IMPRESION: 2019-04-22

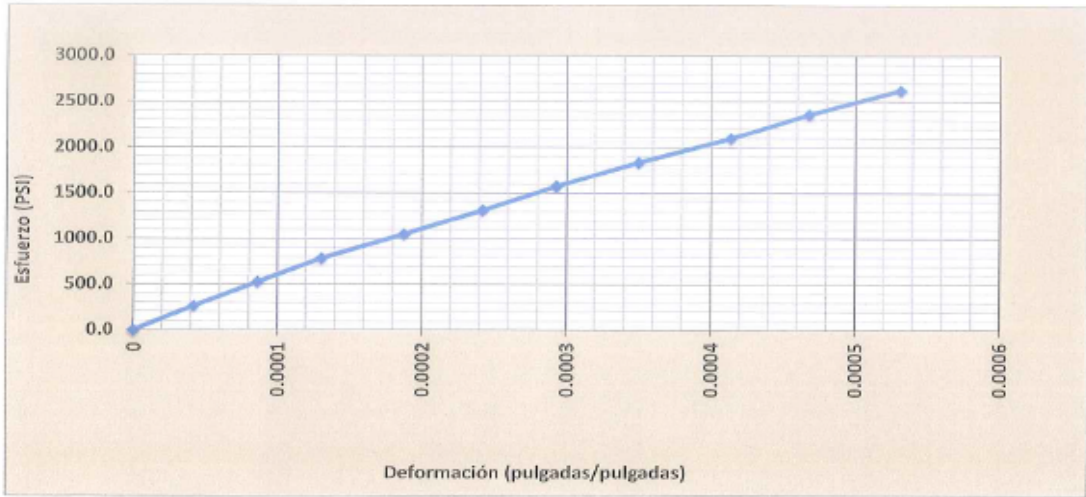
CLIENTE:	CI+D / CETEC
CONTACTO:	ARIEL OSORIO
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
MUESTRA:	CILINDROS
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA

INFORME DE ENSAYO

MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO

ASTM C 469

Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-6-12	ESTANDAR	2019-03-06	2019-04-03	28	101.5	204.0	3.98	6,552	45.2	5,150,000	362,081	35,508	0.20




 Edwin Barrios
 Analista de laboratorio



 Jefe / Coordinador de laboratorio

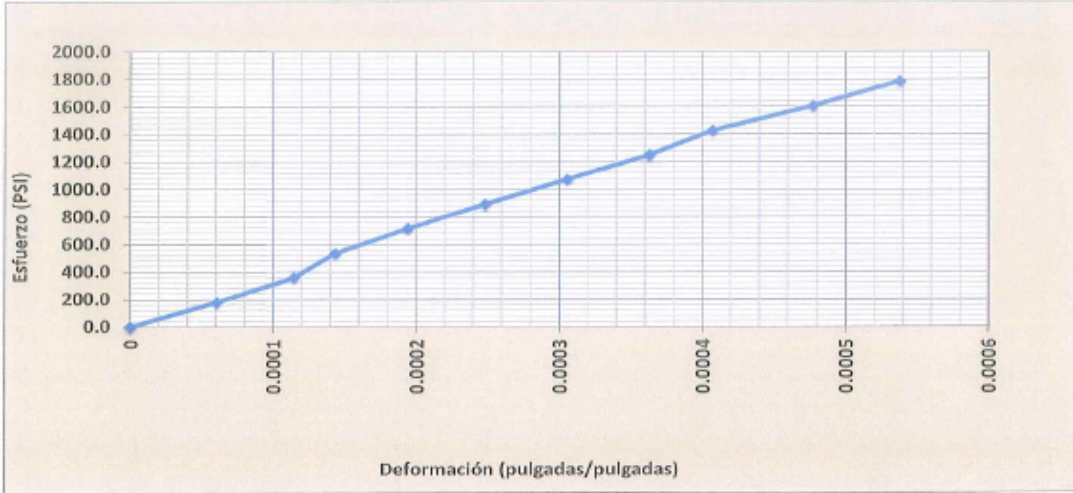
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratoriocefec@cempro.com .
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras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

Observaciones:

LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-6-07,08 Y 09
* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.


10.11. Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 5 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado

 <p>Cementos Progreso Centro Tecnológico</p> <p>15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala Tel: 2286-4178 email: laboratoriocetec@cempro.com</p>		OT:	33480-1										
		FECHA OT:	2019-03-06										
		PAGINA:	2 DE 2										
		IMPRESION:	2019-04-22										
CLIENTE:	CI+D / CETEC												
CONTACTO:	ARIEL OSORIO												
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA												
MUESTRA:	CILINDROS												
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA												
INFORME DE ENSAYO													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO													
ASTM C 469													
Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-1-13	ESTANDAR	2019-03-06	2019-04-03	28	101.5	198.0	3.57	4,463	30.8	3,550,000	249,590	24,476	0.20




Esfuerzo (PSI)

Deformación (pulgadas/pulgadas)



Edwin Barrios,
Analista de laboratorio




Jefe / Coordinador de laboratorio

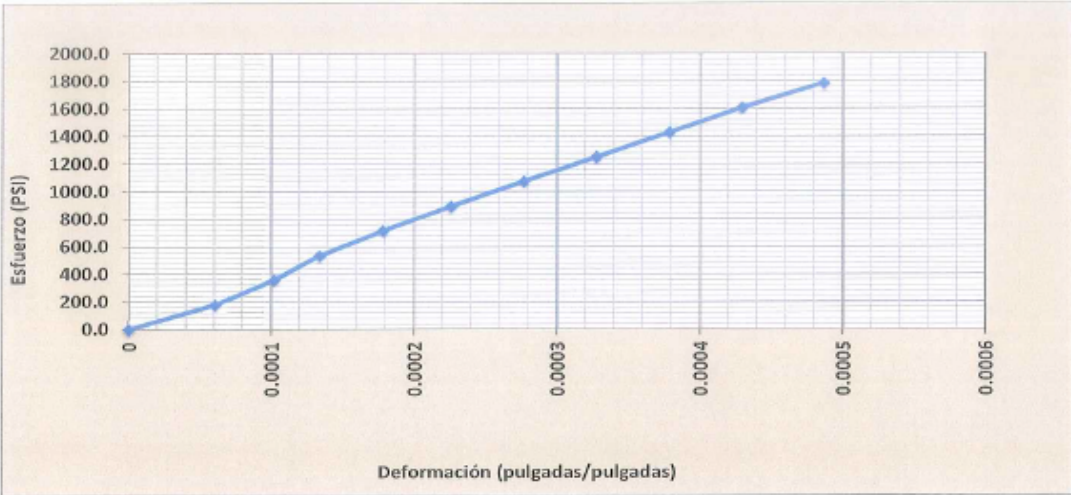
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com .
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras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

Observaciones:


LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-1-07,08 Y 09

* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.


	Cementos Progreso		OT:	33480-1									
	Centro Tecnológico		FECHA OT:	2019-03-06									
	15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala		PAGINA:	1 DE 2									
	Tel: 2286-4178 email: laboratorioctec@cempro.com		IMPRESION:	2019-04-22									
CLIENTE:	CI+D / CETEC												
CONTACTO:	ARIEL OSORIO												
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA												
MUESTRA:	CILINDROS												
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA												
INFORME DE ENSAYO													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO													
ASTM C 469													
Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-1-12	ESTANDAR	2019-03-06	2019-04-03	28	101.5	204.0	3.72	4,463	30.8	3,950,000	277,713	27,234	0.14



Deformación (pulgadas/pulgadas)



Edwin Barrios
Analista de laboratorio



Jefe / Coordinador de laboratorio


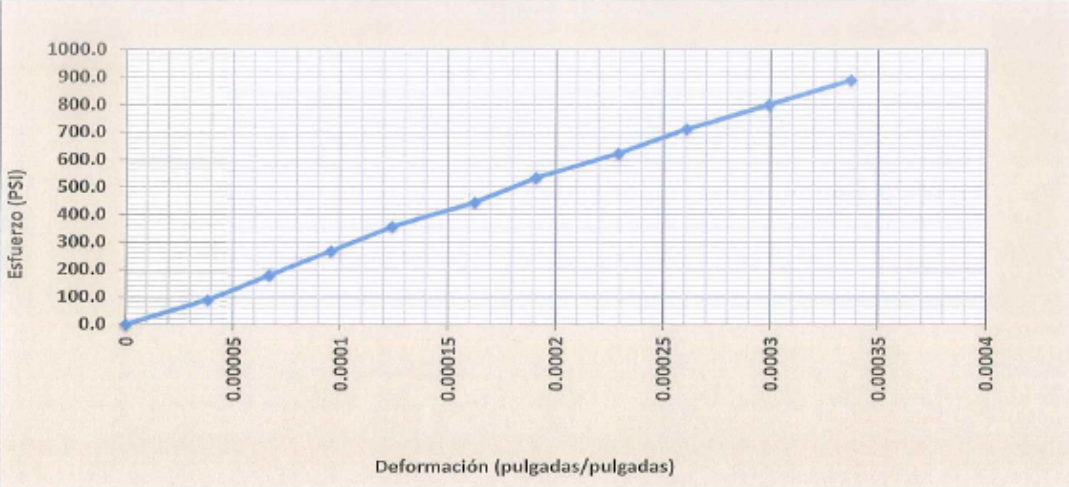


Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratorioctec@cempro.com .
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras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

Observaciones:

LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-1-07,08 Y 09

* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.

10.12. Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 10 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado

 Cementos Progreso Centro Tecnológico 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala Tel: 2286-4178 email: laboratoriocetec@cempro.com		OT: 33480-2 FECHA OT: 2019-03-06 PAGINA: 1 DE 2 IMPRESION: 2019-04-22											
CLIENTE:	CI+D / CETEC												
CONTACTO:	ARIEL OSORIO												
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA												
MUESTRA:	CILINDROS												
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA												
INFORME DE ENSAYO													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO													
ASTM C 469													
Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
33480-2-12	ESTANDAR	2019-03-06	2019-04-03	28	101.0	202.0	3.45	2,199	15.2	2,850,000	200,375	19,850	0.14
													
 Edwin Barrios Analista de laboratorio				 Jefe / Coordinador de laboratorio									
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 comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.													
Observaciones: LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-2-07,08 Y 09 * MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.													



Cementos Progreso
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala
 Tel: 2286-4178 email: laboratorioctec@cempro.com

OT: 33480-2
 FECHA OT: 2019-03-06
 PAGINA: 2 DE 2
 IMPRESION: 2019-04-22

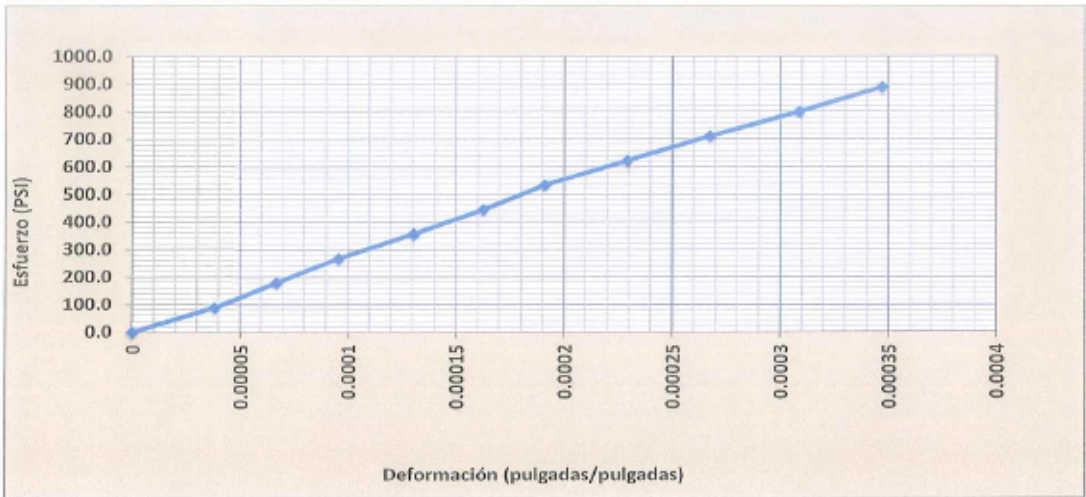
CLIENTE:	CI+D / CETEC
CONTACTO:	ARIEL OSORIO
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
MUESTRA:	CILINDROS
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA

INFORME DE ENSAYO

MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO

ASTM C 469

Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-2-13	ESTANDAR	2019-03-06	2019-04-03	28	101.0	198.0	3.27	2,199	15.2	2,800,000	196,860	19,305	0.12




 Edwin Espinos
 Analista de laboratorio



 Jefe y Coordinador de Laboratorio

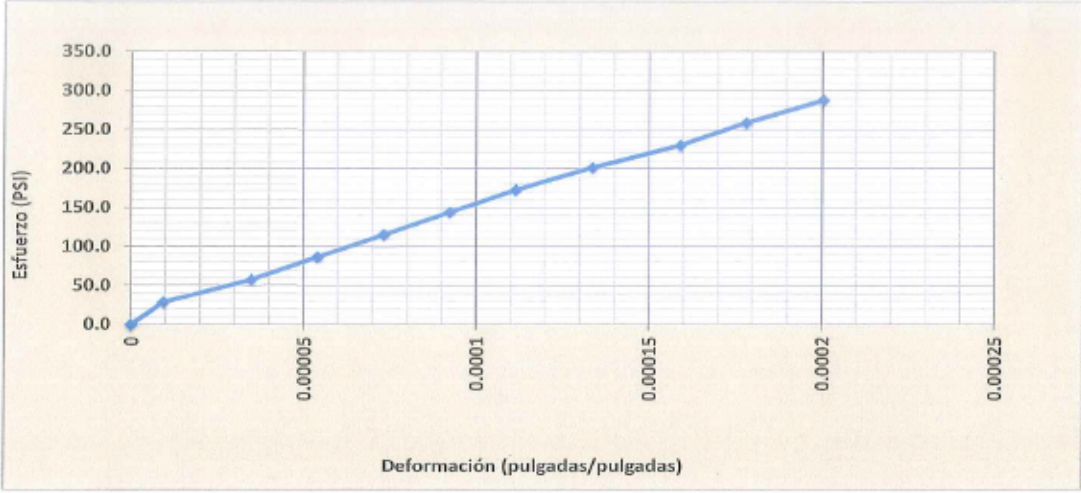
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratorioctec@cempro.com .
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras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


Observaciones:


LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-2-07,08 Y 09
* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.

10.13. Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 15% de sustitución de agregado fino por caucho granulado

		Cimentos Progreso Centro Tecnológico 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala Tel: 2286-4178 email: laboratorioctec@cempro.com		OT: 33480-7 FECHA OT: 2019-03-06 PAGINA: 1 DE 2 IMPRESION: 2019-04-22									
CLIENTE:	CI+D / CETEC												
CONTACTO:	ARIEL OSORIO												
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA												
MUESTRA:	CILINDROS												
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA												
INFORME DE ENSAYO													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO													
ASTM C 469													
Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-7-12	ESTANDAR	2019-03-11	2019-04-08	28	101.5	203.0	3.07	719	5.0	1,700,000	119,522	11,721	0.19




 Edwin Barrios
 Analista de laboratorio


 Jefe / Coordinador de laboratorio

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 comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratorioctec@cempro.com.
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-7-07,08 Y 09

* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.



Cementos Progreso
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala
 Tel: 2286-4178 email: laboratorioctec@cempro.com

OT: 33480-7
 FECHA OT: 2019-03-06
 PAGINA: 2 DE 2
 IMPRESION: 2019-04-22

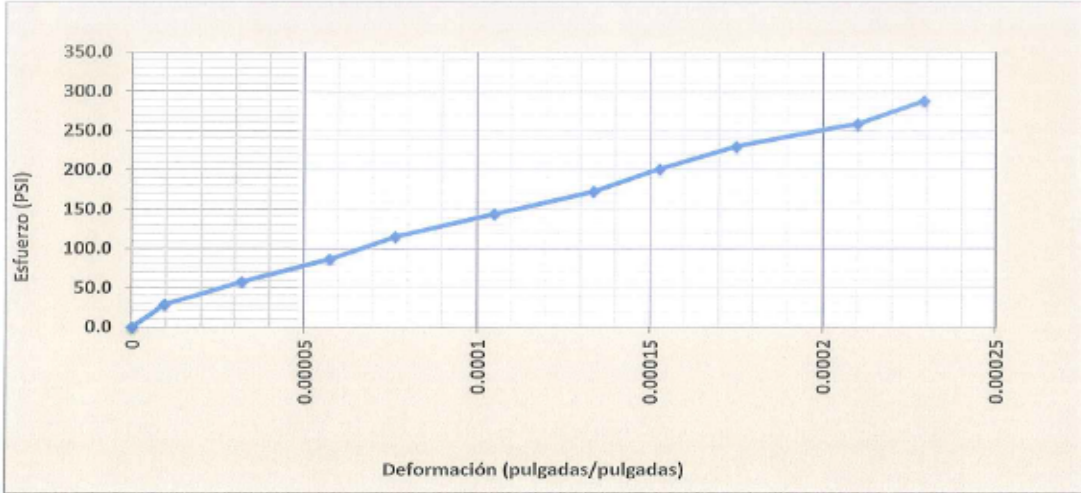
CLIENTE:	CI+D / CETEC
CONTACTO:	ARIEL OSORIO
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
MUESTRA:	CILINDROS
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA

INFORME DE ENSAYO

MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO

ASTM C 469

Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-7-13	ESTANDAR	2019-03-11	2019-04-08	28	101.5	198.0	2.85	719	5.0	1,400,000	98,430	9,653	0.21




Edwin Borrero
 Analista de laboratorio

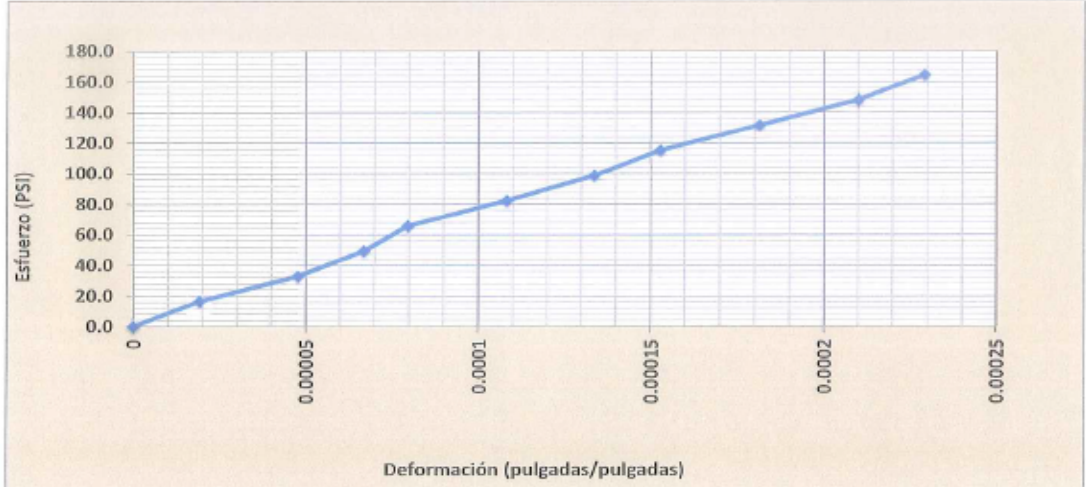
Jefe / Coordinador de laboratorio



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 comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratorioctec@cempro.com .
 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:
LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-7-07,08 Y 09
 * MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.

10.14. Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 20 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado

 <p>Cementos Progreso Centro Tecnológico 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala Tel: 2286-4178 email: laboratoriocetec@cempro.com</p>		OT:	33480-4										
		FECHA OT:	2019-03-06										
		PAGINA:	1 DE 2										
		IMPRESION:	2019-04-22										
CLIENTE:	CI+D / CETEC												
CONTACTO:	ARIEL OSORIO												
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA												
MUESTRA:	CILINDROS												
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA												
INFORME DE ENSAYO													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO													
ASTM C 469													
Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-4-12	ESTANDAR	2019-03-08	2019-04-05	28	101.5	198.0	2.66	412	2.8	850,000	59,761	5,861	0.14



 Edvin Barrios Analista de laboratorio	 Jefe / Coordinador de laboratorio
---	---

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 comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com .
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-4-07,08 Y 09

* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.



Cementos Progreso
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala
 Tel: 2286-4178 email: laboratoriocetec@cempro.com

OT:	33480-4
FECHA OT:	2019-03-06
PAGINA:	2 DE 2
IMPRESION:	2019-04-22

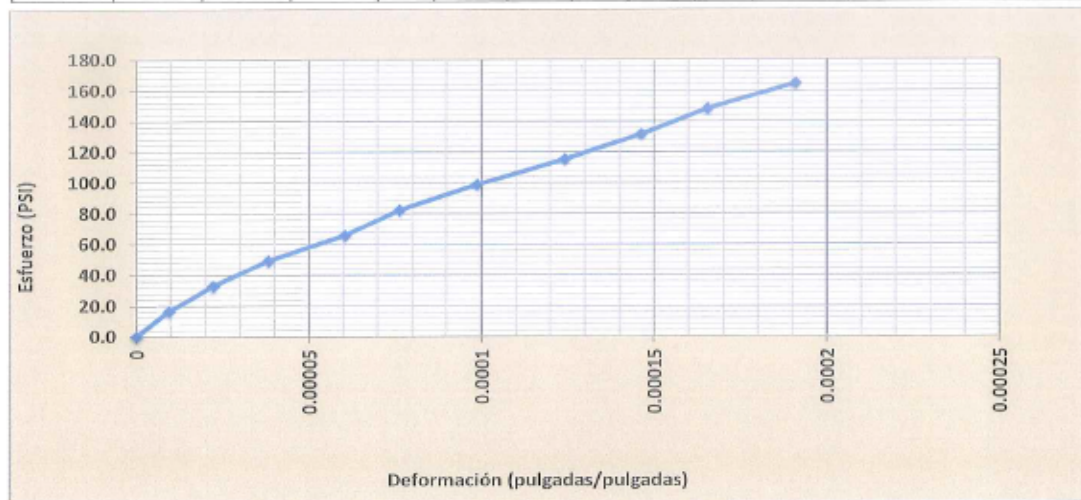
CLIENTE:	CI+D / CETEC
CONTACTO:	ARIEL OSORIO
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
MUESTRA:	CILINDROS
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA

INFORME DE ENSAYO

MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO

ASTM C 469

Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-4-13	ESTANDAR	2019-03-08	2019-04-05	28	101.5	204.0	2.84	412	2.8	1,000,000	70,307	6,895	0.00




 Edwin Barrios
 Analista de laboratorio


 Jefe / Coordinador de laboratorio


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 comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com.
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

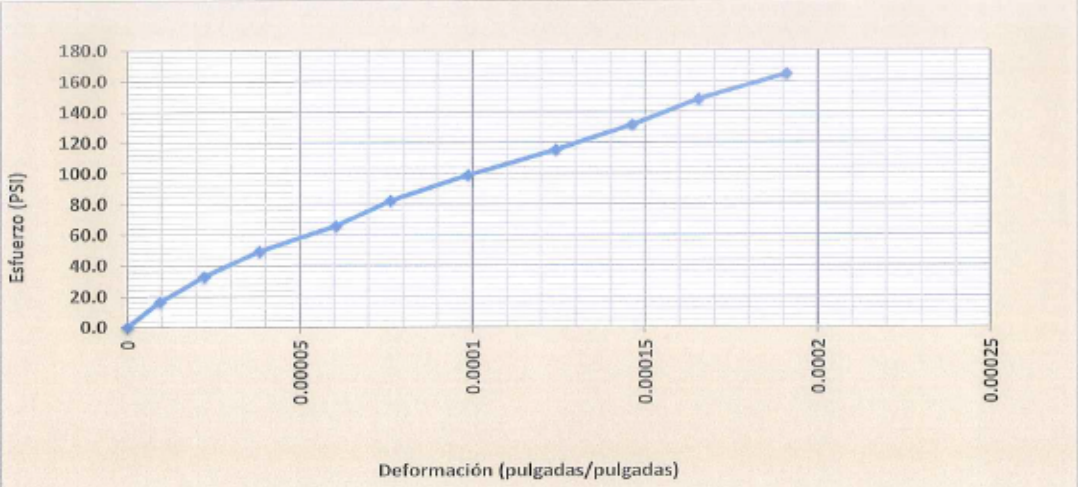
Observaciones:


LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-4-07,08 Y 09


* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.

10.15. Resultados del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, 25 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado

		Cementos Progreso Centro Tecnológico 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala Tel: 2286-4178 email: laboratoriocetec@cempro.com		OT: 33480-4 FECHA OT: 2019-03-06 PAGINA: 2 DE 2 IMPRESION: 2019-04-22									
CLIENTE:	CI+D / CETEC												
CONTACTO:	ARIEL OSORIO												
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA												
MUESTRA:	CILINDROS												
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA												
INFORME DE ENSAYO													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO													
ASTM C 469													
Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-4-13	ESTANDAR	2019-03-08	2019-04-05	28	101.5	204.0	2.84	412	2.8	1,000,000	70,307	6,895	0.00




 Edwin Barrios
 Analista de laboratorio


 Jefe / Coordinador de laboratorio

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 comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com .
 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:

LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-4-07,08 Y 09

* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.



Cementos Progreso
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Ciudad de Guatemala
 Tel: 2286-4178 email: laboratorioctec@cempro.com

OT:	33480-5
FECHA OT:	2019-03-06
PAGINA:	2 DE 2
IMPRESION:	2019-04-22

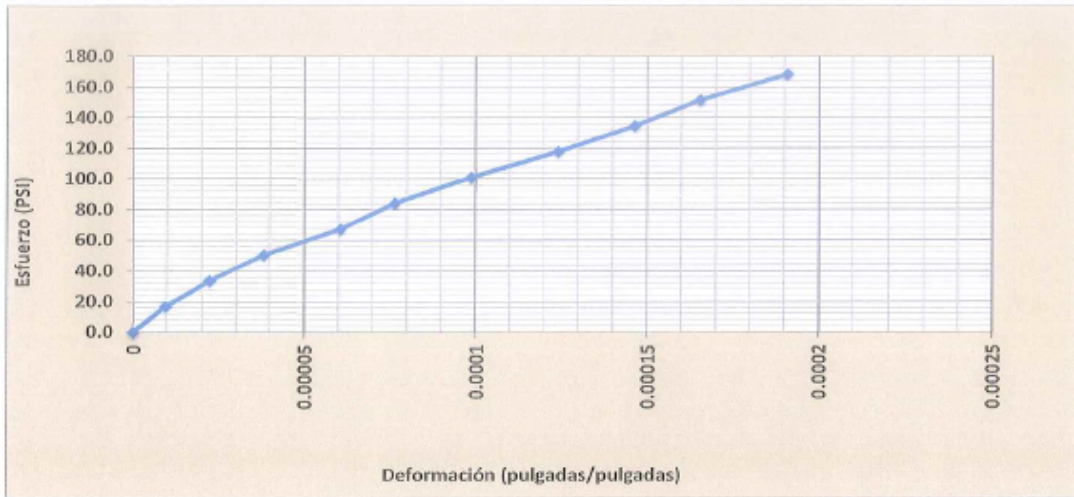
CLIENTE:	CI+D / CETEC
CONTACTO:	ARIEL OSORIO
DIRECCIÓN:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
MUESTRA:	CILINDROS
PROYECTO:	TESIS CARMEN FIGUEROA

INFORME DE ENSAYO

MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON EN CONCRETO

ASTM C 469

Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresión		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
33480-5-13	ESTANDAR	2019-03-08	2019-04-05	28	101.5	201.0	2.84	421	2.9	1,000,000	70,307	6,895	0.00




 Edwin Barrios
 Analista de laboratorio


 Jefe / Coordinador de laboratorio

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 comunicarse al tel. 2286-4178 o al correo laboratorioctec@cempro.com.
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:	LA RESISTENCIA A COMPRESION CORRESPONDE AL PROMEDIO DE LOS CILINDROS No. 33480-5-07,08 Y 09
	* MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE.

10.16. Resultados de la profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto endurecido


	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 2286-4100 Fax: 2286-4178 ctec@cempro.com		OT: 33480 FECHA OT: 2019-03-11 PÁGINA: 1 DE 1
	Cliente: CI + D CETEC Dirección: 15 AV 18-01 ZONA 6 LA PEDRERA Contacto: ARIEL OSORIO	Telefono: 2286-4100 Analista: EDWIN BARRIOS Fecha de impresión: 2019-04-16	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA

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

No.	ID. De muestra	Fecha de hechura	Edad en días.	Fecha de ensayo	Tipo de concreto:	Diametro (mm)	Hora inicio de ensayo	Ubicación elemento fundido	Promedio de penetración (mm)	Profundidad máxima penetración (mm)
1	CAUCHO 5%	2019-03-06	28	2019-04-03	--	152.5	14:15	--	12.0	12.8
2	CAUCHO 10%	2019-03-06	28	2019-04-03	--	152.5	14:15	--	16.9	20.5
3	CAUCHO 15%	2019-03-08	28	2019-04-05	--	152.5	14:15	--	22.1	27.9
4	CAUCHO 20%	2019-03-08	28	2019-04-05	--	152.5	14:15	--	N/C	N/C
5	CAUCHO 25%	2019-03-08	28	2019-04-05	--	152.5	14:15	--	36.6	42.5
6	CONTROL	2019-03-06	28	2019-04-03	--	152.5	14:15	--	8.2	11.3
7	CAUCHO 15%	2019-03-11	28	2019-04-08	--	152.5	11:30	--	N/C	N/C
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NOTA:
* NC - NO CUMPLE; SE FRACTURA AL MOMENTO DE REALIZAR EL ENSAYO.


 Analista de Laboratorio



 Jefe de Laboratorio / Coordinador

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@cempro.com

SOL-CT-CP-E-30 Rev.0

10.17. Resultados de la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro


	CEMENTOS PROGRESO, S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181 laboratoriocefec@cempro.com			Orden de Trabajo:	33480
				Fecha:	2019-03-07
				Página:	1 De 1
				Impresión:	2019-04-22
Cliente:	GH+ / CETEC	Contacto:	ARIEL OSORIO		
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Teléfono:	2286-4100		
Procedencia:	PROYECTO	Proyecto:	TESIS CARMEN FIGUEROA		


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 Hechura	Fecha de Ensayo	Carga pasada Coulombs	Penetrabilidad iones de cloruro
7	33480-7	---	PROBETA 4'X8'	2019-03-11	2019-04-08	3574	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 comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocefec@cempro.com.
 La reducción de la muestra se llevo 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 éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

SGL-CT-CC-IE-03. Rev. 0

No.20011 CETEC



CEMENTOS PROGRESO, S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO

15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera

Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181 laboratoriocetec@cempro.com

Orden de Trabajo:	33480
Fecha:	2019-03-07
Página:	1 De 1
Impresión:	2019-04-22

Cliente:	CHD / CETEC	Contacto:	ARIEL OSORIO
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Teléfono:	2286-4100
Procedencia:	PROYECTO	Proyecto:	TESIS CARMEN FIGUEROA

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 Hechura	Fecha de Ensayo	Carga pasada Coulombs	Penetrabilidad iones de cloruro
1	33480-1	---	PROBETA 4"X8"	2019-03-08	2019-04-03	4264	Alto
2	33480-2	---	PROBETA 4"X8"	2019-03-08	2019-04-03	5109	Alto
3	33480-3	---	PROBETA 4"X8"	2019-03-08	2019-04-05	3612	Moderado
4	33480-4	---	PROBETA 4"X8"	2019-03-08	2019-04-05	5079	Alto
5	33480-5	---	PROBETA 4"X8"	2019-03-08	2019-04-05	4828	Alto
6	33480-6	---	PROBETA 4"X8"	2019-03-08	2019-04-03	4757	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 correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com.
La reducción de la muestra se llevo 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 éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

SGL-CT-CC-IE-03. Rev. 0

No. 20012 CETEC

10.18. Resultados de tracción indirecta, 0% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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

Fecha impresión: 2019.04.15
Hora impresión: 14:55:55
Página: 1 de 1
Usuario: EBARRIOS
OT: 33480-6-1
Fecha OT: 2019.03.19

A TRACCIÓN INDIRECTA - NORMA NTG 41017 h15

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: TESIS CARMEN FIGUEROA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	Analista: EDWIN BARRIOS

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/Flujo (mm)	Aire (%)	M.U. (kg/m ³)	Masa (kg)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Carga (KN)	Resistencia (N/mm ²)	Resistencia (PSI)
1	CONTROL	33480-6-1-01	TENSION INDIRECTA	2019.03.06	2019.04.03	28	T.IND	7.50	1.3	2,395	13.29	152.5	304.0	218.5	3.00	435
2	CONTROL	33480-6-1-02	TENSION INDIRECTA	2019.03.06	2019.04.03	28	T.IND	7.50	1.3	2,395	13.30	152.5	304.0	212.1	2.91	422

Observaciones: ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO CETEC. TEMP. AMBIENTE : 23.5°C.


Analista


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 laboratoriocetec@campro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-12/Rev.04

10.19. Resultados de tracción indirecta, 5% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181
INFORME DE CILINDROS
A TRACCIÓN INDIRECTA - NORMA NTG 41017 h15

Fecha impresión: 2019.04.15
Hora impresión: 14:55:20
Página: 1 de 1
Usuario: EBARRIOS
OT: 33480-1-1
Fecha OT: 2019.03.19

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: TESIS CARMEN FIGUEROA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	Analista: EDWIN BARRIOS

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/Flujo (mm)	Aire (%)	M.U. (kg/m ³)	Masa (kg)	Diáme-tro (mm)	Altura (mm)	Carga (KN)	Resis-tencia (N/mm ²)	Resis-tencia (PSI)
1	CAUCHO 5%	33480-1-1-01	TENSION INDIRECTA	2019.03.06	2019.04.03	28	T.IND	7.00	6.0	2,228	12.39	152.5	304.0	171.2	2.35	341
2	CAUCHO 5%	33480-1-1-02	TENSION INDIRECTA	2019.03.06	2019.04.03	28	T.IND	7.00	6.0	2,228	12.44	152.5	305.0	172.8	2.37	343

Observaciones: ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO CETEC. TEMP. AMBIENTE : 2 4.0°C.


Analista


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 laboratoriocetec@compro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-12/Rev.04

10.20. Resultados de tracción indirecta, 10% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181
INFORME DE CILINDROS
A TRACCIÓN INDIRECTA - NORMA NTG 41017 h15

Fecha impresión: 2019.04.15
Hora impresión: 14:55:31
Página: 1 de 1
Usuario: EBARRIOS
OT: 33480-2-1
Fecha OT: 2019.03.19

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: TESIS CARMEN FIGUEROA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	Analista: EDWIN BARRIOS

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/Flujo (mm)	Aire (%)	M.U. (kg/m ³)	Masa (kg)	Diáme -tro (mm)	Altura (mm)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)
1	CAUCHO 10%	33480-2-1-02	TENSION INDIRECTA	2019.03.06	2019.04.03	28	T.IND	6.25	11.5	2,028	11.46	152.5	304.0	108.6	1.49	216
2	CAUCHO 10%	33480-2-1-01	TENSION INDIRECTA	2019.03.06	2019.04.03	28	T.IND	6.25	11.5	2,028	11.48	152.5	304.0	113.1	1.55	225

Observaciones: ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO CETEC. TEMP. AMBIENTE : 24.5°C.

Analista

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 laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-12/Rev.04

10.21. Resultados de tracción indirecta, 15% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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

Fecha impresión: 2019.04.15
Hora impresión: 14:56:02
Página: 1 de 1
Usuario: EBARRIOS
OT: 33480-7-1
Fecha OT: 2019.03.19

A TRACCIÓN INDIRECTA - NORMA NTG 41017 h15

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: TESIS CARMEN FIGUEROA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	Analista: EDWIN BARRIOS

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/Flujo (mm)	Aire (%)	M.U. (kg/m ³)	Masa (kg)	Diáme -tro (mm)	Altura (mm)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)
1	CAUCHO 15%	33480-7-1-01	TENSION INDIRECTA	2019.03.11	2019.04.08	28	T.IND	7.00	20.0	1,768	10.01	152.5	304.0	55.2	0.76	110
2	CAUCHO 15%	33480-7-1-02	TENSION INDIRECTA	2019.03.11	2019.04.08	28	T.IND	7.00	20.0	1,768	10.07	152.5	304.0	59.3	0.81	118

Observaciones: ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO CETEC. TEMP. AMBIENTE : 22.5°C.


Analista


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 laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-12/Rev.04

10.22. Resultados de tracción indirecta, 20% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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

INFORME DE CILINDROS
A TRACCIÓN INDIRECTA - NORMA NTG 41017 h15

Fecha impresión: 2019.04.15
Hora impresión: 14:55:43
Página: 1 de 1
Usuario: EBARRIOS
OT: 33480-4-1
Fecha OT: 2019.04.03

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: TESIS CARMEN FIGUEROA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	Analista: EDWIN BARRIOS

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/Flujo (mm)	Aire (%)	M.U. (kg/m ³)	Masa (kg)	Diáme-tro (mm)	Altura (mm)	Carga (KN)	Resis-tencia (N/mm ²)	Resis-tencia (PSI)
1	CAUCHO 20%	33480-4-1-01	TENSION INDIRECTA	2019.03.08	2019.04.05	28	T.IND	8.50	25	1,608	9.22	152.5	305.0	39.3	0.54	78
2	CAUCHO 20%	33480-4-1-02	TENSION INDIRECTA	2019.03.08	2019.04.05	28	T.IND	8.50	25	1,608	9.24	152.5	304.0	41.0	0.56	82

Observaciones: ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO CETEC. TEMP. AMBIENTE : 23.0°C.


Analista


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 laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP/IE-12/Rev.04

10.23. Resultados de tracción indirecta, 25% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



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


Fecha impresión: 2019.04.15
Hora impresión: 14:55:50
Página: 1 de 1
Usuario: EBARRIOS
OT: 33480-5-1
Fecha OT: 2019.03.19

A TRACCIÓN INDIRECTA - NORMA NTG 41017 h15

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: TESIS CARMEN FIGUEROA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	Analista: EDWIN BARRIOS

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Aire (%)	M.U. (kg/m³)	Masa (kg)	Diáme -tro (mm)	Altura (mm)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm²)	Resis -tencia (PSI)
1	CAUCHO 25%	33480-5-1-01	TENSION INDIRECTA	2019.03.08	2019.04.05	28	T.IND	6.50	26	1,539	9.46	152.5	304.0	42.0	0.58	84
2	CAUCHO 25%	33480-5-1-02	TENSION INDIRECTA	2019.03.08	2019.04.05	28	T.IND	6.50	26	1,539	9.10	152.5	304.0	34.8	0.48	69

Observaciones: ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO CETEC. TEMP. AMBIENTE : 23.5°C.





Analista


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 laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-12/Rev.04

10.24. Resultados de resistencia al impacto

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864100 Fax: 22864181 cetec@cempro.com		OT	93400		
			FECHA	2019-03-06		
			PÁGINA	1 DE 1		
			FECHA IMPRESIÓN	2019-05-15		
Cliente	CHD CETEC	Proyecto	TESIS CARMEN FIGUEROA			
Dirección	35 AV 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Muestra	PLANCHAS DE CONCRETO			
Contacto	ARIEL OSORIO	Analista	WILSON AIFAN			
Teléfono	2286-6100					
INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA AL IMPACTO BALDOSAS DE TERRAZO PARA PISOS DE USO INTERIOR Y EXTERIOR NORMA COGUANOR NTG 41081 h1						
RESULTADOS						
Nº. Lab.	ID. Cliente	FECHA HECHURA	FECHA ROTURA	EDAD (Años)	ALTURA MINIMA DE CAIDA (mm)	PONDERACIÓN
1	9%	2019-03-06	2019-05-02	57	200	-
2	10%	2019-03-06	2019-05-02	57	200	-
3	15%	2019-03-08	2019-05-02	56	200	-
4	20%	2019-03-08	2019-05-02	56	100	-
5	25%	2019-03-08	2019-05-02	56	100	-
6	CONTROL	2019-03-06	2019-05-02	57	100	-
 Analista		 Jefe Laboratorio / Coordinador				
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 teléfono 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com						
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga integramente.						

10.25. Resultados de módulo de rotura, 0 % de sustitución de agregado fino por caucho granulado

 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: 2019.04.08 Página: 1 de 1 Usuario: EBARRIOS OT: 33480-8 Fecha OT: 2019.03.08	
INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2					
Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO			Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA		
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA			Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA		
Contacto: ARIEL OSORIO			Muestra: VIGAS		
Teléfono:			Analista: WILSON AIFAN		

No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1		33480-8-01	2019.03.06	2019.04.03	28	27.08	535	148	154	3.70	37.71
2		33480-8-02	2019.03.06	2019.04.03	28	27.04	536	148	154	4.08	41.55



Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 6.0%; MASA UNITARIA 2228KG/M3
 TEMPERATURA DEL CONCRETO: 23.5OC TEMPERATURA AMBIENTE: 24.0OC


 Analista


 Jefe Laboratorio/Coordinador

No. 18964 CETEC

SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04

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@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

10.26. Resultados de módulo de rotura, 5% de sustitución de agregado fino por caucho granulado

Fecha impresión: 2019.04.08
 Página: 1 de 1
 Usuario: EBARRIOS
 OT: 33480-9
 Fecha OT: 2019.03.08

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
 CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181
INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN
CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2

cementos PROGRESO®
 Compartamos Sueños. Construimos Realidades.

Cliente:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto:	TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto:	ARIEL OSORIO	Muestra:	VIGAS
Teléfono:		Analista:	WILSON AIFAN

No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1		33480-9-01	2019.03.06	2019.04.03	28	25.06	535	150	154	2.93	29.89
2		33480-9-02	2019.03.06	2019.04.03	28	24.97	536	149	153	2.77	28.27



(Handwritten signature and blue circular stamp)
 Analista


Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 11.5%; MASA UNITARIA: 2028KG/M3
 TEMPERATURA DEL CONCRETO: 25.00C TEMPERATURA AMBIENTE: 24.50C

(Handwritten signature)
 Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04

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 laboratorios@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren Únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

10.27. Resultados de módulo de rotura, 10% de sustitución de agregado fino por caucho granulado




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
**INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN
CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2**


Fecha impresión: 2019.04.08
Página: 1 de 1
Usuario: EBARRIOS
OT: 33480-10
Fecha OT: 2019.03.08


Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: VIGAS
Teléfono:	Analista: WILSON AIFAN

No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1		33480-10-01	2019.03.08	2019.04.05	28	26.35	536	150	154	3.29	33.52
2		33480-10-02	2019.03.08	2019.04.05	28	26.18	536	149	153	3.10	31.63



Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 5.8%; MASA UNITARIA 2106KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 23.50C TEMPERATURA AMBIENTE: 22.00C


 Analista


 Jefe Laboratorio/Coordinador

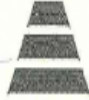
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorioctec@campro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe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

SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04

No. 18971

CETEC

10.28. Resultados de módulo de rotura, 15% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



**cementos
PROGRESO®**
Compartamos 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: 2019.04.08
Página: 1 de 1
Usuario: EBARRIOS
OT: 33480-11
Fecha OT: 2019.03.08


**INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN
CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2**


Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: VIGAS
Teléfono:	Analista: DELBERT VILLATORO

No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1		33480-11-01	2019.03.08	2019.04.05	28	20.67	536	149	154	1.03	10.48
2		33480-11-02	2019.03.08	2019.04.05	28	20.48	535	148	154	1.05	10.73



Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 25%; MASA UNITARIA 1608KG/M3
TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.50C TEMPERATURA AMBIENTE: 23.00C


 Analista


 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 laboratorioceotec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

No. 18970
CETEC


SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04


10.29. Resultados de módulo de rotura, 20% de sustitución de agregado fino por caucho granulado

		CEMENTOS PROGRESO, S.A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181		Fecha impresión: 2019.04.08 Página: 1 de 1 Usuario: EBARRIOS OT: 33480-12 Fecha OT: 2019.03.08							
INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2											
Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO			Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA								
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA			Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA								
Contacto: ARIEL OSORIO			Muestra: VIGAS								
Teléfono:			Analista: WILSON AIFAN								
No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1		33480-12-01	2019.03.08	2019.04.05	28	20.04	537	148	154	1.11	11.34
2		33480-12-02	2019.03.08	2019.04.05	28	20.80	537	148	154	1.24	12.63



Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 26%; MASA UNITARIA 1539KG/M3
 TEMPERATURA DEL CONCRETO: 24.5OC TEMPERATURA AMBIENTE: 23.5OC


 Analista


 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 laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

No. 18969
CETEC

SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04

10.30. Resultados de módulo de rotura, 25% de sustitución de agregado fino por caucho granulado



**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: 2019.04.08
Página: 1 de 1
Usuario: EBARRIOS
OT: 33480-13
Fecha OT: 2019.03.08


**INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN
CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2**

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS CARMEN FIGUEROA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: VIGAS
Teléfono:	Analista: WILSON AIFAN

No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm²)	Módulo Rotura (kg/cm²)
1		33480-13-01	2019.03.06	2019.04.03	28	29.48	536	149	153	5.32	54.26
2		33480-13-02	2019.03.06	2019.04.03	28	29.50	537	150	154	5.48	55.84



Observaciones: CONTENIDO DE AIRE: 1.3%; MASA UNITARIA 2395KG/M3
TEMPERATUR A DEL CONCRETO: 24.00C TEMPERATURA AMBIENTE: 23.50C


Analista


Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04

No. 18968
CETEC

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativeo único, para verificar la validez 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 íntegramente.

- ACI** American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto).. 11
- aditivos** Componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco.. 10
- agregado** Conjunto de materiales de composición mineral, natural o artificial. Pueden ser finos o gruesos.. 7
- asentamiento** Medida de la consistencia de concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto.. 16
- ASTM** American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales).. 10
- caucho** Tipo de elastómero, invariablemente un polímero.. 30
- cemento** Conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas.. 7
- COGUANOR** Comisión Guatemalteca de Normas.. 10
- concreto** Material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade agregados, agua y aditivos específicos.. 7
- curado** El curado es el proceso de controlar y mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto, durante la hidratación de los materiales cementantes, para el desarrollo de las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla.. 19
- exudación** Desarrollo de una camada de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado.. 17

- fisuras** Consecuencia de factores tales como esfuerzos de tensión que superan los esfuerzos del concreto, deficiencias en los recubrimientos del acero de refuerzo, elementos embebidos en el concreto como tuberías, malas prácticas de colocación y pérdida excesiva de agua que genera contracción en el concreto.. 118
- fluides** Medida de la consistencia de la pasta de cemento.. 16
- fraguado** Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto. 11
- granulometría** Medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis.. 17
- módulo de elasticidad** Relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo.. 21
- módulo de rotura** Medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada.. 20
- resistencia a compresión** Característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo.. 19
- segregación** Separación de los componentes del concreto una vez amasado provocando que la mezcla de hormigón fresco presente una distribución de sus partículas no uniforme.. 18
- trabajabilidad** Facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad.. 13