

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA y TIC

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo final de graduación para optar por el grado académico de licenciado en Ingeniería Civil

Proyecto de graduación

Comportamiento mecánico de un concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo  
de caña de azúcar

Sustentante:

Ignacio De La Hormaza Padilla

San Pedro, Montes de Oca

Agosto, 2022

## Hoja del Tribunal Examinador



### TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Comportamiento mecánico de un concreto  $f_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar, por el estudiante: Ignacio De La Hormaza Padilla, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede San Pedro, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

Firmado digitalmente por Minor  
Murillo Chacón  
Fecha: 2022.08.16 06:49:00 -06'00'  
Minor Eduardo Murillo Chacón  
Tutor

RONALD  
EUGENIO  
JIMENEZ  
CASTRO (FIRMA)  
Firmado digitalmente  
por RONALD EUGENIO  
JIMENEZ CASTRO (FIRMA)  
Fecha: 2022.08.16  
07:49:57 -06'00'  
Ronald Jiménez Castro  
Lector

JUAN PABLO  
MONTERO  
MOREIRA  
(FIRMA)  
Firmado digitalmente  
por JUAN PABLO  
MONTERO MOREIRA  
(FIRMA)  
Fecha: 2022.08.16  
11:19:33 -06'00'  
Juan Pablo Montero Moreira  
Lector

## Carta de aprobación del tutor



### CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

San Pedro,

12/08/22

Señores

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Comportamiento mecánico de un concreto  $f_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar, elaborado por el estudiante: Ignacio De La Hormaza Padilla como requisito para que el citado estudiante pueda optar por grado académico de licenciatura en la carrera de ingeniería civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Firmado digitalmente por Minor

Murillo Chacón

Fecha: 2022.08.16 06:48:22 -06'00'

Minor Eduardo Murillo Chacón

## Carta de aprobación del lector



### CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

San Pedro,

12/08/22

Señores

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Comportamiento mecánico de un concreto  $f_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar, elaborado por el estudiante: Ignacio De La Hormaza Padilla como requisito para que el citado estudiante pueda optar por grado académico de licenciatura en la carrera de ingeniería civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

RONALD EUGENIO JIMENEZ CASTRO (FIRMA)  
Firmado digitalmente por  
RONALD EUGENIO JIMENEZ  
CASTRO (FIRMA)  
Fecha: 2022.08.16 07:47:59  
-06'00'

Ronald Jiménez Castro

## Carta de aprobación del lector



### CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

San Pedro,

12/08/22

Señores

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Comportamiento mecánico de un concreto  $f_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar, elaborado por el estudiante: Ignacio De La Hormaza Padilla como requisito para que el citado estudiante pueda optar por grado académico de licenciatura en la carrera de ingeniería civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

JUAN PABLO  
MONTERO  
MOREIRA (FIRMA)

Firmado digitalmente por  
JUAN PABLO MONTERO  
MOREIRA (FIRMA)  
Fecha: 2022.08.16 13:54:52  
-06'00'

Juan Pablo Montero Moreira

## Carta de aprobación del filólogo

Cartago, 05 de septiembre de 2022

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, incorporada a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0247, portadora de la cédula de identidad número 3-0447-0799 y, Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0245, portador de la cédula de identidad número 1-1345-0416, ambos vecinos de Quebradilla de Cartago, revisamos el trabajo final de graduación que se titula: *Comportamiento mecánico de un concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar*, sustentado por Ignacio De La Hormaza Padilla.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de ortografía, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. A pesar de esto, la originalidad y la validez del contenido son responsabilidad directa de la persona autora.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Latina de Costa Rica.

X

---

Elena Redondo Camacho  
Filóloga - Carné ACFIL n.º 0247

X

---

Daniel González Monge  
Filólogo - Carné ACFIL n.º 0245

## Declaración jurada

### DECLARACIÓN JURADA

Yo, Ignacio De La Hormaza Padilla estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual de la Trabajo Final de Graduación titulado:

Comportamiento mecánico de un concreto  $f_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar.

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en San José, 12/08/22

IGNACIO DE  
LA HORMAZA  
PADILLA  
(FIRMA)



Digitally signed by  
IGNACIO DE LA  
HORMAZA PADILLA  
(FIRMA)  
Date: 2022.08.13  
11:01:45 -06'00'

Ignacio De La Hormaza Padilla

## Licencia de distribución no exclusiva (CRAI)

### Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico) Universidad Latina de Costa Rica

<b>Yo (Nosotros):</b>	Ignacio De La Hormaza Padilla
<b>De la Carrera / Programa:</b>	Ingeniería Civil
<b>Modalidad de TFG:</b>	Proyecto Final de Graduacion
<b>Titulado:</b>	Comportamiento mecánico de un concreto f' c 280 kg/cm <sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar.

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “AUTOR”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “OBRA”). **SEGUNDO:** El **AUTOR** autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “UNIVERSIDAD”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El **AUTOR** acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El **AUTOR** garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD** **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El **AUTOR** acepta que la **UNIVERSIDAD**, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de



presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO:** El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.**, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO:** El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO:** El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO. La presente autorización se extiende el día** 12 **de** Agosto **de** 2022 **a las** 1:30pm

**Firma del estudiante(s):**

**IGNACIO DE LA  
HORMAZA  
PADILLA  
(FIRMA)**

Digitally signed by  
IGNACIO DE LA  
HORMAZA PADILLA  
(FIRMA)  
Date: 2022.08.13  
11:00:54 -06'00'

## Tabla de contenidos

Capítulo I. Introducción .....	19
Estado actual del objeto de estudio (antecedentes del problema) .....	24
Planteamiento del problema de estudio.....	27
Enunciado del problema .....	27
Formulación del problema.....	28
Justificación.....	30
Objetivos .....	31
Objetivo general .....	31
Objetivos específicos.....	31
Alcances y limitaciones.....	31
Alcances .....	31
Limitaciones .....	32
Delimitaciones.....	32
Delimitación espacial .....	32
Delimitación temporal.....	32
Capítulo II. Marco teórico.....	33
Cemento Portland.....	33
Agua .....	35
Agregados .....	37

Clasificación de los agregados .....	37
Propiedades físicas de los agregados.....	38
Propiedades mecánicas de los agregados .....	39
Fibra natural .....	40
Caña de azúcar .....	40
Propiedades físicas de la fibra de bagazo de caña.....	41
Propiedades químicas de la fibra de bagazo de caña.....	41
Propiedades mecánicas de la fibra de bagazo de caña .....	42
Concreto .....	43
Propiedades del concreto en estado fresco .....	43
Propiedades del concreto en estado endurecido .....	45
Concretos reforzados con fibra .....	48
Clasificación de las fibras.....	49
Microfibras .....	50
Macrofibras.....	51
Presencia de sustancias extractivas .....	52
Conceptos .....	52
Concreto .....	52
Durabilidad.....	53
Ductilidad .....	53

	12
Fibras naturales.....	53
Caña de azúcar en Costa Rica .....	54
Bagazo de caña de azúcar .....	55
Marco legal.....	55
Capítulo III. Marco metodológico .....	57
Definición del enfoque y método de investigación.....	57
Sujetos y fuentes de información .....	57
Sujetos de información .....	57
Fuentes de información .....	58
Definición de variables .....	58
Población y muestra .....	59
Instrumentos y técnicas que se utilizan en la recolección de los datos .....	60
Técnicas de recolección de datos .....	60
Instrumentos de recolección de datos.....	60
Procedimiento metodológico para la realización del estudio de diagnóstico .....	60
Diseño de mezcla.....	60
Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de prueba de concreto en obra (ASTM C31).....	62
Equipo.....	62
Requisitos de ensayo.....	64

	13
Procedimiento.....	65
Método de ensayo estándar de asentamiento de concreto fresco cono Abrams (ASTM C143).....	68
Equipo.....	68
Procedimiento.....	71
Método de ensayo estándar para determinar la densidad (peso unitario), volumen producido y contenido de aire en una mezcla de concreto (ASTM C138).....	73
Equipo.....	73
Procedimiento.....	74
Cálculos.....	75
Método de ensayo estándar para determinar la temperatura del concreto fresco con cemento Portland (ASTM C1064).....	76
Equipo.....	77
Procedimiento.....	77
Método de ensayo estándar de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (ASTM C39).....	78
Equipo.....	78
Procedimiento.....	79
Cálculos.....	81
Método de ensayo estándar de resistencia a la flexión de vigas de concreto (ASTM C78).....	83
Equipo.....	83

	14
Procedimiento.....	86
Cálculos.....	88
Sustentación de la confiabilidad y validez de los instrumentos de la investigación.....	89
Procedimiento metodológico para la elaboración del proyecto propuesto.....	89
Fase I: Anteproyecto.....	89
Fase II: Diseño de mezcla.....	90
Fase III: Ejecución de ensayos.....	90
Fase IV: Análisis y comparación de resultados.....	90
Fase V: Informe final.....	91
Capítulo IV. Análisis.....	95
Tratamiento de fibra natural con hidróxido de calcio.....	95
Propiedades de los componentes.....	97
Piedra cuartilla (25 mm).....	97
Piedra quintilla (16 mm).....	99
Arena de río.....	101
Cemento.....	103
Fibra natural de bagazo de caña de azúcar.....	104
Aditivo.....	104
Diseño de mezcla.....	105
Capítulo V. Resultados.....	122

Análisis de resultados.....	138
Asentamiento.....	139
Densidad (peso unitario).....	140
Contenido de aire.....	142
Temperatura.....	144
Resistencia a compresión .....	146
Resistencia a flexión.....	151
Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones .....	155
Conclusiones .....	155
Recomendaciones.....	156
Referencias bibliográficas.....	158
Anexos .....	163
Anexo 1. Fotos de ensayos realizados.....	163
Anexo 2. Informe Cacisa piedra 25 mm .....	169
Anexo 3. Informe Cacisa piedra 16 mm .....	174
Anexo 4. Informe Cacisa arena de río.....	180
Anexo 5. Ficha técnica cemento Holcim MP/A-28 .....	183
Anexo 6. Certificado de calidad cemento Holcim MP/A-28 .....	186
Anexo 7. Ficha técnica aditivo Polyheed 955.....	186

## Índice de figuras

Figura 1 Esquema de ubicación de agua en pasta de cemento hidratado .....	36
Figura 2 Resistencia a la compresión en función de la relación agua/cemento .....	46
Figura 3 Bagazo de caña de azúcar .....	55
Figura 4 Dimensiones cono Abrams .....	69
Figura 5 Varilla apisonadora .....	70
Figura 6 Cinta métrica .....	70
Figura 7 Cucharón para colocación de muestra en molde .....	71
Figura 8 Diagrama proceso ensayo de asentamiento (ASTM C143) .....	73
Figura 9 Máquina de ensayo para compresión de cilindros de concreto .....	78
Figura 10 Tipos de falla de especímenes de concreto cilíndricos .....	81
Figura 11 Máquina de ensayo dual .....	84
Figura 12 Aparato de carga .....	85
Figura 13 Condiciones de posición del espécimen de ensayo .....	86
Figura 14 Sellos de calibración de máquinas .....	89
Figura 15 Preparación de solución .....	95
Figura 16 Saco 25 kg hidróxido de calcio .....	96
Figura 17 Adición de fibras a solución .....	96
Figura 18 Solución .....	97
Figura 19 Interpolación para obtener relación agua/cemento .....	109
Figura 20 Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto patrón .....	122
Figura 21 Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 0,1 % FNBC .....	123



Figura 22 Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 0,5 % FNBC .....	124
Figura 23 Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 1 % FNBC .....	125
Figura 24 Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto patrón .....	126
Figura 25 Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 0,1 % FNBC .....	127
Figura 26 Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 0,5 % FNBC .....	128
Figura 27 Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 1 % FNBC .....	129
Figura 28 Falla de cilindro por carga axial a 28 días concreto patrón .....	130
Figura 29 Falla de cilindro por carga axial a 28 días concreto 0,1 % FNBC .....	131
Figura 30 Falla de cilindro por carga axial a 28 días concreto 0,5 % FNBC .....	132
Figura 31 Falla de cilindro por carga axial a 28 días concreto 1 % FNBC .....	134
Figura 32 Falla de vigueta a 28 días concreto patrón .....	135
Figura 33 Falla de vigueta a 28 días concreto 0,1 % FNBC .....	136
Figura 34 Falla de vigueta a 28 días concreto 0,5 % FNBC .....	137
Figura 35 Falla de vigueta a 28 días concreto 1 % FNBC .....	138

## Índice de gráficos

Gráfico 1 Asentamiento vs. porcentaje de FNBCA.....	139
Gráfico 2 Porcentaje del asentamiento diseñado alcanzado por cada mezcla .....	140
Gráfico 3 Densidad (peso unitario) vs. porcentaje de FNBCA .....	141
Gráfico 4 Porcentaje de peso unitario de mezcla patrón alcanzado por cada mezcla.....	142
Gráfico 5 Contenido de aire vs. porcentaje de FNBCA.....	143
Gráfico 6 Porcentaje de contenido de aire diseñado alcanzado por cada mezcla.....	144
Gráfico 7 Temperatura vs. porcentaje de FNBCA.....	145
Gráfico 8 Porcentaje de temperatura de mezcla patrón alcanzado por cada mezcla .....	146
Gráfico 9 Resistencia a la compresión vs. cantidad de FNBCA (7 días) .....	147
Gráfico 10 Resistencia a la compresión vs. cantidad de FNBCA (14 días) .....	148
Gráfico 11 Resistencia a la compresión vs. cantidad de FNBCA (28 días) .....	149
Gráfico 12 Comparación resistencia a la compresión vs. cantidad de FNBCA (28 días) .....	150
Gráfico 13 Porcentaje de resistencia a compresión de diseño alcanzada por cada mezcla .....	151
Gráfico 14 Resistencia a la flexión vs. cantidad de FNBCA (28 días).....	152
Gráfico 15 Porcentaje alcanzado según resistencia a flexión concreto patrón .....	153

## Índice de tablas

Tabla 1 Rendimientos del proceso de extracción de dulce de caña .....	29
Tabla 2 Compuestos químicos del cemento Portland .....	34
Tabla 3 Porcentaje de compuestos químicos del cemento Portland .....	34
Tabla 4 Características de los compuestos químicos del cemento Portland.....	35
Tabla 5 Clasificación de las partículas de un agregado según su forma.....	38
Tabla 6 Propiedades físicas de la fibra de bagazo de caña .....	41
Tabla 7 Composición química de la fibra de bagazo de caña de azúcar.....	42
Tabla 8 Propiedades mecánicas de la fibra de bagazo de caña.....	42
Tabla 9 Clasificación de un concreto según su consistencia .....	44
Tabla 10 Clasificación de fibras por material .....	50
Tabla 11 Valores de fisuración a las 24 horas para un mismo concreto sin reforzar y con diferentes alternativas de reforzamiento con Microfibra SIKA (todas las medidas en mm).....	51
Tabla 12 Distribución de las plantaciones de caña de azúcar por regiones .....	54
Tabla 13 Normativas para el uso del concreto con adición de fibras en la construcción .....	56
Tabla 14 Matriz de sujetos de información.....	58
Tabla 15 Matriz de variables.....	58
Tabla 16 Requisitos de varilla de compactación.....	63
Tabla 17 Requisitos del método de compactación.....	66
Tabla 18 Requisitos de moldeado por varillado .....	66
Tabla 19 Requisitos de moldeado por vibración.....	67
Tabla 20 Edades de ensayo con tolerancias permisibles .....	79

	20
Tabla 21 Factores de corrección L/D.....	82
Tabla 22 Formato para registrar resultados de ensayo.....	82
Tabla 23 Cronograma de actividades.....	91
Tabla 24 Cronograma estructurado de ensayos .....	92
Tabla 25 Cronograma de fallas .....	93
Tabla 26 Análisis granulométrico de piedra cuartilla (25 mm) .....	98
Tabla 27 Gravedad específica y absorción de agregado grueso (piedra 25 mm) .....	99
Tabla 28 Pesos unitarios agregado grueso (piedra 25 mm) .....	99
Tabla 29 Análisis granulométrico de piedra quintilla (16 mm).....	100
Tabla 30 Gravedad específica y absorción de agregado grueso (piedra 16 mm) .....	101
Tabla 31 Pesos unitarios agregado grueso (piedra 16 mm) .....	101
Tabla 32 Análisis granulométrico de agregado fino (arena de río) .....	102
Tabla 33 Gravedad específica y absorción de agregado fino (arena de río).....	103
Tabla 34 Pesos unitarios agregado fino (arena de río).....	103
Tabla 35 Propiedades del cemento Portland.....	104
Tabla 36 Propiedades de la fibra natural.....	104
Tabla 37 Aditivo reductor de agua Polyheed 955.....	105
Tabla 38 Características de los componentes .....	105
Tabla 39 Coeficiente de variación .....	106
Tabla 40 Factor de seguridad según el tipo de obra.....	106
Tabla 41 Asentamiento según el tipo de obra.....	107
Tabla 42 Cantidad de agua en kilogramos según asentamiento y tamaño máximo nominal del agregado .....	107

Tabla 43 Relación agua-cemento.....	108
Tabla 44 Cantidad de agregado grueso.....	109
Tabla 45 Cantidades calculadas de volumen absoluto para 1 m <sup>3</sup> de mezcla .....	110
Tabla 46 Cantidades calculadas para 1 m <sup>3</sup> de concreto con agregados secos.....	110
Tabla 47 Dosificaciones que se recomiendan por Concretera Nacional S. A. para 1 m <sup>3</sup> de mezcla de concreto f'c 280 kg/cm <sup>2</sup> patrón con agregados secos .....	111
Tabla 48 Contenido de humedad agregado grueso.....	112
Tabla 49 Contenido de humedad agregado fino .....	112
Tabla 50 Cantidades materiales primera mezcla concreto patrón .....	114
Tabla 51 Datos de peso unitario del concreto fresco patrón.....	114
Tabla 52 Asentamiento concreto fresco patrón .....	115
Tabla 53 Temperatura concreto fresco patrón .....	115
Tabla 54 Rendimiento relativo concreto patrón.....	115
Tabla 55 Contenido de aire concreto fresco patrón .....	115
Tabla 56 Cantidades materiales segunda mezcla concreto con 0.1 % de FNBCA.....	116
Tabla 57 Datos de peso unitario del concreto fresco con 0.1 % de FNBCA.....	116
Tabla 58 Asentamiento concreto fresco con 0.1 % de FNBCA .....	116
Tabla 59 Temperatura concreto fresco con 0.1 % de FNBCA .....	117
Tabla 60 Rendimiento relativo con 0.1 % de FNBCA .....	117
Tabla 61 Contenido de aire concreto fresco con 0.1 % de FNBCA .....	117
Tabla 62 Cantidades materiales tercera mezcla concreto con 0.5 % de FNBCA.....	118
Tabla 63 Datos de peso unitario del concreto fresco con 0.5 % de FNBCA.....	118
Tabla 64 Asentamiento concreto fresco con 0.5 % de FNBCA .....	118

Tabla 65 Temperatura concreto fresco con 0.5 % de FNBCA .....	119
Tabla 66 Rendimiento relativo con 0.5 % de FNBCA .....	119
Tabla 67 Contenido de aire concreto fresco con 0.5 % de FNBCA .....	119
Tabla 68 Cantidades materiales cuarta mezcla concreto con 1 % de FNBCA .....	120
Tabla 69 Datos de peso unitario del concreto fresco con 1 % de FNBCA.....	120
Tabla 70 Asentamiento concreto fresco con 1 % de FNBCA .....	120
Tabla 71 Temperatura concreto fresco con 1 % de FNBCA .....	120
Tabla 72 Rendimiento relativo con 1 % de FNBCA .....	121
Tabla 73 Contenido de aire concreto fresco con 1 % de FNBCA .....	121
Tabla 74 Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto patrón .....	123
Tabla 75 Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 0.1 % FNBC.....	124
Tabla 76 Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 0.5 % FNBC.....	125
Tabla 77 Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 1 % FNBC.....	126
Tabla 78 Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto patrón .....	127
Tabla 79 Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 0.1 % FNBC.....	128
Tabla 80 Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 0.5 % FNBC.....	129
Tabla 81 Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 1 % FNBC.....	130
Tabla 82 Falla de cilindros por carga axial a 28 días concreto patrón.....	131
Tabla 83 Falla de cilindros por carga axial a 28 días concreto 0.1 % FBNC .....	132
Tabla 84 Falla de cilindros por carga axial a 28 días concreto 0.5 % FBNC .....	133
Tabla 85 Falla de cilindros por carga axial a 28 días concreto 1 % FBNC .....	134
Tabla 86 Falla de viguetas a 28 días concreto patrón .....	135
Tabla 87 Falla de vigueta a 28 días concreto 0.1 % FNBC .....	136

Tabla 88 Falla de vigueta a 28 días concreto 0.5 % FNBC .....	137
Tabla 89 Falla de vigueta a 28 días concreto 1 % FNBC .....	138

## Capítulo I. Introducción

### Estado actual del objeto de estudio (antecedentes del problema)

El concreto es el material que más se utiliza en la construcción. Uno de los retos más importantes en este sector es hacer que las estructuras conserven su resistencia y rigidez con el paso de los años. El concreto es uno de los materiales que más se emplea debido a que cumple con estos requerimientos. No obstante, tiene una desventaja en cuanto a cambios de temperatura y cuando se somete a esfuerzos de tracción, por lo tanto, se usan otros materiales junto con el concreto para aportar estas características mecánicas.

El cemento, los agregados y el acero son materiales que resultan en un alto impacto ambiental y económico durante su producción. Por lo tanto, al tener en cuenta estos factores, se emplea la búsqueda de soluciones alternativas que permitan reducir el uso de materiales convencionales del concreto, lo que genera reducciones en costos, impacto ambiental y una mayor resistencia (Mora, 2017). En años recientes el uso de fibras como refuerzo del concreto ha tenido aumento en su uso debido al problema explicado:

Sin embargo, no se trata de una técnica nueva en el mundo de la construcción; de hecho se remonta a muchos años antes de la aparición del cemento Portland y del concreto, cuando se utilizaban materiales como pasto, hilo, vara, e inclusive, pelo animal, los cuales eran considerados agregados al adobe con el fin de evitar fisuración y mejorar la resistencia a la tensión (Antillón, 2016, s. p).

En la actualidad, en la industria existen varios tipos de fibras que se comercializan mundialmente, como la fibra de acero, vidrio y las derivadas de los hidrocarburos (plásticas). Otro grupo existente de fibras es el de las fibras naturales. Este grupo se usaba con frecuencia para reforzar varios materiales de construcción, pero es hasta años recientes que los científicos se han dedicado a expandir el conocimiento en el uso de este tipo de fibras como refuerzo en el concreto.

Algunas de las investigaciones realizadas en los últimos años referentes al tema del reforzado del concreto por medio de adición de fibras naturales son las siguientes:



Juárez Alvarado (2002) en su tesis titulada *Concretos base cemento Portland reforzados con fibras naturales (Agave Lechuguilla), como materiales para construcción en México* expone lo siguiente:

Los aspectos más relevantes que se desprenden de esta investigación, son la comprobación de que los concretos reforzados con fibras naturales de lechuguilla tienen el potencial para ser usados como materiales de construcción económicos, y que es necesario seguir investigando para asegurar una vida útil apropiada de estos nuevos materiales en México. A continuación se presentan las principales conclusiones del trabajo de investigación realizado. En el primer objetivo se estableció producir un material compuesto a base de concreto y fibras naturales de lechuguilla que posea propiedades mecánicas adecuadas para ser utilizado como elemento constructivo. Las fibras de lechuguilla tienen las propiedades físico mecánicas, tal como su resistencia última a la tensión y su flexibilidad, que les permite ser consideradas como posible refuerzo en el concreto. El tratamiento protector con parafina, le permite a la fibra mantener un porcentaje aceptable de su resistencia última a la tensión, después de haber estado expuesta durante un año a un ambiente húmedo y alcalino, lo que resulta sumamente crítico. Las fibras largas tratadas con parafina y con 0,5 % en volumen del concreto, tienen la capacidad para soportar mayores cargas de tensión y flexión en comparación con el concreto simple. La fibra de lechuguilla permite un comportamiento dúctil del concreto después del agrietamiento de la matriz (p. 124).

Según Juárez Alvarado (2002) se puede evidenciar cómo al usar porcentajes bajos, cercanos al 0.5 % de adición de fibra natural al concreto y al darle un tratamiento con parafina a las fibras de lechuguilla, se alcanza una resistencia superior a la del concreto convencional y un comportamiento más dúctil después del agrietamiento.

Por otro lado, Detan Ibáñez (2019) en su investigación titulada *Influencia de la fibra del bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión y flexión del concreto  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>* expone lo siguiente:

Se pudo concluir que el uso de fibra de bagazo de caña de azúcar con adición de tres tipos de porcentajes (2 %, 4 % y 6 %) con respecto al concreto patrón  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> a los 7, 14 y 28 días de curado, podemos denotar que la fibra de bagazo de caña de azúcar no mejora la resistencia a compresión y flexión en los tres días de curado no llegando a cumplir

con la resistencia promedio requerido por la norma técnica peruana.

El uso de la fibra de bagazo de caña de azúcar es desfavorable en sus tres adiciones (2 %, 4 % y 6 %), observando que al 2 % como refuerzo para el concreto es desfavorable un 41,23 % relacionado con el concreto patrón y gravemente desfavorable a la adición de 6 % de FBCA un 76,53 %, ya que se planteaba como un posible refuerzo a futuro para las construcciones, pero debido a su mala influencia con el concreto, queda descartado como refuerzo. Se recomienda para las futuras investigaciones, tratar de usar porcentajes mínimos, para poder obtener mejores resultados en las propiedades mecánicas y físicas del concreto. En las siguientes investigaciones, se le recomienda que la fibra de bagazo de caña de azúcar sea activada, es decir, calcinado, para activar sus propiedades como lo es silicio, que es un derivado del cemento y ayudaría a la resistencia (p. 30).

En esta investigación no se logra comprobar la hipótesis propuesta debido a que los porcentajes de adición de fibra de bagazo de caña de azúcar que se utilizan son muy altos. Por lo tanto, se propone usar porcentajes mínimos y mejorar las propiedades mecánicas de la fibra de bagazo que se utiliza.

Mora Torres (2017) en su tesis titulada *Análisis mecánico de un concreto con adición del 2 % de fibra natural de Cábamo* expone lo siguiente:

Después de elaborar especímenes, analizar sus componentes y propiedades se comparan tres porcentajes de 0,25 % - 1 % - 2% estos datos dejan como resultado que a mayor porcentaje de fibras menor van a ser las resistencias obtenidas, de tal modo que no van a cumplir normas reglamentarias como la NSR-10, norma que rige actualmente; a menor porcentaje de fibra, aunque se obtiene una buena resistencia, esta tampoco llega a cumplir la resistencia de diseño, dejando como recomendación implementar fibra natural de cáñamo al 1 %. De acuerdo a [sic] las resistencias obtenidas por los cilindros de concreto con adición de fibra de cáñamo al 2 %, se puede concluir que no es recomendable manejar porcentajes tan altos como se observó en esta investigación el volumen que ocupa la fibra es tanto que no deja ver donde se forma la grieta y es importante controlarlas, pero también ver donde están ubicadas para darles solución antes de que esta se prolongue más, además que la mezcla no queda homogénea y quedan grandes porosidades haciendo vulnerable al concreto. Y no se cumple la resistencia de diseño. La forma de agrietamiento de los cilindros

en todos los casos fue diferente, ya que para los cilindros convencionales se fracturó en su totalidad, pasó todo lo contrario con los cilindros que tenían algún porcentaje de fibra, la fractura se dio de manera parcial sin desintegrarse, a pesar de que en los cilindros con adición de fibra al 2% las resistencias no fueron altas, se mantuvo la adherencia en el momento inmediato después de fallar. Los resultados que deja esta investigación evidencian que la implementación de las fibras permite al concreto la adherencia de los materiales durante y después de realizar cada uno de los ensayos; como tal permiten que el concreto presente agrietamiento normal después de la falla, pero es controlado por las fibras quienes impiden la prolongación de dichas grietas haciendo que estas terminen allí, brindando ductilidad (carencia notable del concreto). Este resultado es importante ya que puede ser analizado para el desarrollo de nuevos materiales de construcción con un enfoque sostenible (p. 89).

En la investigación realizada por Mora Torres (2017) se evidencia nuevamente la recomendación de disminuir el porcentaje de adición de fibra natural a la mezcla de concreto. Asimismo, se evidencia la característica del aumento de ductilidad en el concreto ante el agrietamiento y cómo las dimensiones de la fibra también son de gran importancia para lograr que estas aporten un aumento en resistencia a la compresión.

### **Planteamiento del problema de estudio**

El concreto es uno de los mejores materiales para garantizar la resistencia y durabilidad de las estructuras con el paso de los años, a la vez, tiene una gran desventaja en cuanto a cambios de temperatura y esfuerzos de tracción. Además, la producción de acero y concreto es de gran impacto ambiental. La implementación de fibras naturales en el concreto ha resultado de solución a estos problemas en recientes investigaciones.

### ***Enunciado del problema***

El concreto es el material que más se utiliza en la construcción. No obstante, aunque sus propiedades le aportan características como alta resistencia a la compresión y durabilidad, carece de resistencia ante el agrietamiento y ductilidad ante la falla.

Aunado a esto, la especie humana atraviesa una gran crisis mundial climática, debido al consumo de recursos, la deforestación y polución descontrolada, causadas por actividades humanas. Por lo tanto, es esencial usar muchos recursos y materiales que se denominan *desechos* como el bagazo de caña de azúcar, el cual usualmente se quema.

También es necesario contribuir con el conocimiento existente que hay sobre concretos reforzados con fibras naturales. Aunque existen algunos trabajos de investigación y tesis sobre el tema, las investigaciones existentes son limitadas y en específico, para concretos reforzados con fibra natural de bagazo de caña, la información es todavía más reducida.

Debido a la existencia de los problemas mencionados, se decide desarrollar el tema de investigación expuesto en este trabajo. Se espera que la fibra natural de bagazo de caña de azúcar tratada con cal, añadida en bajas dosificaciones, mejore la resistencia del concreto ante el agrietamiento, su ductilidad y resistencia ante impactos, lo que ocasiona un concreto que cumpla con todas las normas y especificaciones, pero más ecoamigable, ideal para contrapisos de gran área.

### ***Formulación del problema***

Según un estudio realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en el 2007, el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica es una de las actividades agrícolas denominadas tradicionales, por la gran importancia en la economía del país y su aporte al producto interno bruto, la generación de divisas y el empleo directo e indirecto. La producción de dulce en panela en el ámbito mundial se elabora en 21 países y la India ocupa el primer lugar con más de 4.000.000 t al año. En Latinoamérica los países productores son: Brasil, Venezuela, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Nicaragua, México y Panamá. En Costa Rica el total de área sembrada es aproximadamente 60.000 ha, para una producción de 455000 t de dulce al año.

**Tabla 1***Rendimientos del proceso de extracción de dulce de caña*

Rendimientos del proceso	
Porcentaje	Material
50	Caldo
10	Impurezas
<b>30</b>	<b>Bagazo</b>
10	Dulce

Fuente: MAG (2007).

Al analizar esta información se puede notar que el bagazo corresponde a un alto porcentaje de los materiales que deja el proceso de la extracción de dulce de caña de azúcar. Normalmente, el bagazo se desecha y quema, en los últimos años se ha empezado a utilizar para hacer papel y envases reciclables, pero de igual manera existe una necesidad para usar este material.

Recientemente, la industria ha empezado a fomentar la implementación de las fibras naturales en muchos ámbitos, en la construcción, la durabilidad es un reto que todos los materiales deben afrontar. Debido a esto, si se utilizan materiales naturales se debe saber su comportamiento a largo plazo porque se considera que este tipo de materiales pierden sus propiedades con el paso del tiempo.

Por esto, algunas de las ideas principales de esta investigación son: buscar el porcentaje óptimo de adición de fibra natural de bagazo y darle a la fibra natural de bagazo algún tratamiento para mantener su comportamiento mecánico a largo plazo.

Por lo tanto, se emiten las siguientes interrogantes: ¿es posible que las fibras naturales de bagazo de caña de azúcar funcionen como refuerzo para el concreto? Si lo es, ¿Qué porcentaje de fibra de los comparados en esta investigación y en investigaciones recientes es recomendable implementar? ¿Cuáles propiedades del concreto se ven mejoradas o empeoradas por la adición de

fibra natural de bagazo de caña? y ¿Qué tratamiento es recomendable darle a la fibra natural antes del mezclado para mejorar su comportamiento mecánico?

### **Justificación**

Una de las grandes debilidades del concreto es que es un material frágil que se puede fisurar fácilmente al ser sometido a esfuerzos por encima de su límite elástico. Por lo tanto, se propone utilizar fibras naturales, las cuales tienen como característica el aporte de ductilidad que controlaría o limitaría la deficiencia explicada del concreto (Mora Torres, 2017).

A partir de este planteamiento, se puede afirmar que cada fibra natural tiene sus propiedades. En cuanto a las propiedades que aportan, las fibras naturales son de gran ventaja para obtener productos de calidad y no son muy usadas en el sector de la construcción. Por este motivo, es necesario realizar nuevos estudios e investigaciones que permitan implementar este tipo de fibras como refuerzo en las propiedades mecánicas del concreto. Especialmente, para proporcionar ductilidad y reemplazar fibras provenientes de hidrocarburos por fibras naturales de fácil acceso.

Esta investigación se basa en varios proyectos, uno realizado por Varón Aristizábal, Osorio Saraz y Herrera Mejía (2007) en el cual se identificó el comportamiento del concreto con adición de fibra de bagazo de caña de azúcar del entre 0.5 % y el 2.5 % a su mezcla. Otro proyecto realizado por Mora Torres (2017) en donde se analiza el comportamiento del concreto con adición de fibra de cáñamo del 2 % a su mezcla. Por lo tanto, se identifica la necesidad de darle continuación a esta investigación y aportar un porcentaje de fibra natural que se aproxime lo máximo posible al porcentaje óptimo para un concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, lo que permite también ampliar el conocimiento en el uso de nuevos materiales que no sean sintéticos o provenientes de fuentes de alto impacto ambiental.

En ambas investigaciones los resultados mostraron evidencia positiva de que las fibras naturales aportan ductilidad al concreto y ayudan a evitar la fisuración en el concreto al ser sometido a esfuerzos por encima de su límite plástico. Además, al ser usualmente un desecho de un proceso industrial, la fibra de bagazo de caña de azúcar se convierte en una alternativa de gran ahorro económico.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Caracterizar las propiedades mecánicas de un concreto con resistencia a la compresión de  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar.

### ***Objetivos específicos***

1. Elaborar los especímenes de concreto con tres diferentes adiciones de fibra natural de bagazo de caña de azúcar, las cuales serían del 0.1 %, 0.5 % y 1 % del volumen total de la mezcla y evaluar el desempeño.
2. Caracterizar las propiedades de un concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar en su estado fresco, mediante los ensayos: ASTM C143 Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico, ASTM C138 Método de ensayo estándar para densidad (peso unitario), volumen y contenido de aire en una mezcla de concreto y ASTM C1064 Método de ensayo estándar para temperatura del concreto de cemento Portland recién mezclado.
3. Comparar el desempeño del concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de caña de azúcar contra el concreto patrón  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> sin adición mediante los ensayos: ASTM C39 Método estándar para ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto y ASTM C78 Método estándar para ensayo de resistencia a la flexión del concreto (viga simple con carga a los tercios medios).

## **Alcances y limitaciones**

### ***Alcances***

Este proyecto tiene como propósito evaluar el desempeño del concreto con adición de fibras naturales de bagazo de caña de azúcar. Esto se determinará mediante prácticas de laboratorio que permitan entender cómo reacciona el concreto con adición de nuevos materiales. Además, se realiza un punto comparativo entre una mezcla de concreto convencional con el propuesto en este proyecto y con lo realizado en investigaciones existentes. Asimismo, se les dará un tratamiento a

las fibras naturales de bagazo para ayudar a mejorar sus características y se cuantificará el beneficio ambiental que se obtiene como consecuencia del uso de las fibras naturales.

### ***Limitaciones***

El contenido de este proyecto tiene como limitación estudiar el desempeño del concreto cuando se le añade fibra natural de bagazo de caña de azúcar en un 0.1 % a un 1 % del volumen total de la mezcla. De manera que se analice la adición de fibras provenientes de la naturaleza como alternativa viable, con el propósito de reforzar las características que debilitan el concreto; determinando posibles conclusiones de su adición y recomendaciones para futuras investigaciones.

### **Delimitaciones**

#### ***Delimitación espacial***

Se cuenta con el laboratorio de materiales en las instalaciones de la Universidad Latina de Costa Rica y el laboratorio de materiales de la empresa Concretera Nacional S. A. Por lo tanto, deben considerarse los horarios de uso y la disponibilidad de tiempo para ejecutar todos los ensayos, con el fin de evitar interrupciones o imprevistos.

#### ***Delimitación temporal***

El factor temporal se limita a la duración del periodo académico disponible para realizar todo el proceso investigativo y práctico, el cual es de aproximadamente 4 meses. En este periodo es importante tener en cuenta que a cada uno de los especímenes se le realizarán ensayos, los cuales tienen tiempos establecidos de duración, estos tiempos tienen que ser exactos, ya que de no hacerlo así las resistencias en el momento de falla pueden afectarse, lo que consecuentemente afectaría la parte analítica y los resultados finales de esta investigación.



## Capítulo II. Marco teórico

La idea fundamental de esta investigación es determinar el desempeño de una mezcla de concreto para 20 cilindros y 8 viguetas de concreto con adiciones del 0.1 % al 1 % de fibras naturales de bagazo en composición, tanto en estado fresco como endurecido. Por ende, es muy importante determinar los ensayos de laboratorio por realizar para cumplir con estos objetivos, los cuales se exponen en este capítulo.

### Cemento Portland

El material denominado cemento Portland es un conglomerante hidráulico, es decir, es un material inorgánico que, molido finamente, mezclado con agua, forma una pasta que fragua, endurece y conserva su resistencia y estabilidad. A este proceso se le conoce como hidratación (Cemex, 2019). En la actualidad, la alta demanda de este material ha llevado a la industria a innovar y mejorar componentes dentro de la mezcla para cumplir requisitos exigidos, lo que ocasiona diferentes tipos de cemento Portland, expuestos a continuación:

- Portland Tipo I: Uso general.
- Portland Tipo II y Tipo II (MH): Moderada resistencia a sulfatos y al calor de hidratación.
- Portland Tipo III: Altas resistencias iniciales.
- Portland Tipo IV: Para lograr bajo calor de hidratación.
- Portland Tipo V: Alta resistencia a sulfatos.
- Portland Blanco: Color blanco.
- Portland con incorporados de aire.

Para efectos de esta investigación, se opta por usar el cemento Portland Tipo I, que a diferencia de los otros tipos mencionados cuya utilidad se atribuye a soportar ataques climáticos agresivos y en su mayoría presencia de sulfatos, el cemento Portland Tipo 1 está destinado a obras de concreto en general y que no se les exige propiedades especiales. Su empleo en concreto incluye: pavimentos, pisos, puentes, tanques, embalses, tuberías, mampostería y productos de concreto prefabricado, entre otras (Cemex, 2019).

En la Tabla 2 se puede observar que las propiedades químicas de los tipos de cemento Portland son: silicato didalcico (C2S), silicato tricalcico (C3S), aluminato tricalcico (C3A) y ferroaluminato tetracalcico (C4AF).

**Tabla 2**

*Compuestos químicos del cemento Portland*

Nombre del compuesto	Composición del óxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaOSiO}_2$	C3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaOSiO}_2$	C2S
Aluminio tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C3A
Ferroaluminato tetracalcico	$4\text{CaOFe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3$	C4AF

Fuente: Constructor Civil (2011).

Además, en la Tabla 3 se pueden observar los componentes químicos de los tipos de cemento Portland con su rango de porcentajes por tipo.

**Tabla 3**

*Porcentaje de compuestos químicos del cemento Portland*

Tipo de cemento	Compuesto en %			
	C3S	C2S	C3A	C4AF
Tipo I	50	24	11	8
Tipo II	42	33	5	13
Tipo III	60	13	9	8
Tipo IV	26	50	5	12
Tipo V	40	40	4	9

Fuente: Constructor Civil (2011).

En la Tabla 4 se pueden observar las características de los componentes químicos de los tipos de cemento Portland.

**Tabla 4**

*Características de los compuestos químicos del cemento Portland*

Propiedad	C3S	C2S	C3A	C4AF
Resistencia	Buena	Buena	Baja	Baja
Rapidez de reacción	Media	Lenta	Rápida	Rápida
Calor desarrollado	Medio	Bajo	Alto	Bajo
Resistencia a los sulfatos	Buena	Buena	Baja	Media

Fuente: Mora (2017).

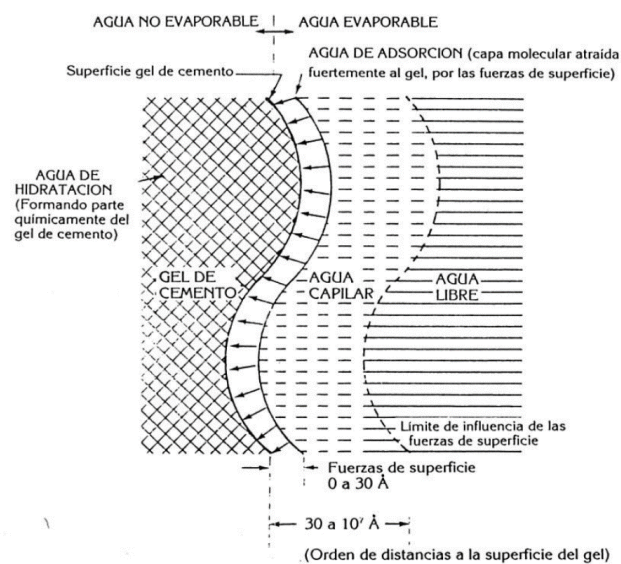
Con respecto a las propiedades físicas y mecánicas del cemento Portland, se debe cumplir con ciertos criterios establecidos. Sus características dependen de ensayos que permitan determinar si se cumple o no con las especificaciones requeridas, como: “peso específico o densidad, superficie específica (finura), expansión, fluidez, resistencia a la compresión mínima, fraguado y consistencia” (Silva, s. f., s. p.).

### **Agua**

El agua es uno de los materiales fundamentales durante el proceso de reacción del cemento. Es importante tanto en estado plástico (fresco), fraguado y estado de endurecimiento del concreto debido a que el cemento experimenta reacciones químicas que le dan propiedades de endurecimiento y fraguado para formar la pasta sólida. Durante este proceso es relevante tener controlada la cantidad y la calidad del agua que contendrá la mezcla, con el fin de obtener una pasta con buena hidratación y la suficiente manejabilidad para lograr una mezcla plástica (Mora Torres, 2017). El contenido de agua añadido durante los diferentes estados del concreto se utiliza para satisfacer los siguientes parámetros:

### Figura 1

Esquema de ubicación de agua en pasta de cemento hidratado



Fuente: Sánchez (1996).

Mora Torres (2017) plantea las siguientes definiciones:

- Agua de hidratación: Agua del contenido inicial que se une a la mezcla y reacciona químicamente con el cemento para crear la pasta hidratada.
- Agua evaporable: Agua sobrante dentro de la pasta que se evapora, pero no se encuentra libre en su totalidad. En el esquema de la Figura 3 se observa el agua evaporable en 3 posibles condiciones distintas.
- Agua de adsorción: Capa que se encuentra adherida a las superficies por fuerzas intermoleculares.
- Agua capilar: Ocupa los poros capilares de la pasta sujeta a las fuerzas de la superficie de la pasta.
- Agua libre: Se encuentra fuera de la superficie de la pasta, se puede evaporar con facilidad.
- Agua para el curado: Añadir agua durante el proceso de endurecimiento de la pasta o curado vital para hidratar la pasta y que esta alcance sus propiedades requeridas. El agua

adicionada depende en su mayoría de las condiciones de humedad y temperatura del ambiente.

Se recomienda que el agua que se le añade al cemento durante sus diferentes estados sea potable. Siempre existirán agentes que contaminen el agua, pero es importante tener garantía de que el agua no tenga presencia de sales, entre otras sustancias que pueden afectar las propiedades del concreto. Si el agua proviene de alguna fuente sospechosa es importante analizarla y comprobar su pH con el fin de verificar que esté en condiciones aptas para utilizarse.

### **Agregados**

Los agregados o áridos son materiales inertes de forma granular: “Formados por fragmentos de roca o arenas utilizados en la construcción (edificación e infraestructuras) y en numerosas aplicaciones industriales. También conocidos como arena, grava y gravilla, entre otros” (Luaces, 2010, s. p.).

Al clasificar los agregados como materiales inertes, se entiende que no reaccionan químicamente con los demás componentes del concreto. No obstante, pueden existir reacciones que alteran la calidad de la masa haciendo que esta presente expansiones y alcalinidad entre los materiales que componen la masa de concreto (Mora Torres, 2017).

Estos materiales que aglomerados con la pasta de cemento conforman la mezcla conocida como concreto, brindan adherencia y resistencia. Aproximadamente, un 70 % del concreto está constituido por los agregados, por lo tanto, determinar la calidad de estos es importante, la cual se determina por medio de su origen, distribución granulométrica, densidad y forma.

### ***Clasificación de los agregados***

Los agregados se clasifican de la siguiente forma:

- Según su tamaño: La distribución de tamaño de un agregado se conoce como granulometría. Los agregados se han clasificado como dos tipos, finos y gruesos. Los finos son aquellos cuyo rango de tamaños va de 0.075 mm a 4.76 mm, que se denominan comúnmente como arenas. Los agregados gruesos son aquellos cuyo tamaño va de 4.76 mm en adelante, los cuales se dividen en gravas de los 19 mm a 51 mm y gravillas de 4.76 mm a 19 mm.

- Según su procedencia: De acuerdo con el origen del agregado se clasifica como fuente natural o artificial. Los agregados naturales se extraen por medio de explotación de fuentes naturales, como canteras o depósitos de arrastres fluviales. Por otro lado, los agregados artificiales son aquellos que se obtienen a partir de procesos industriales, como las arcillas, escorias, Clinker y otros.

### ***Propiedades físicas de los agregados***

A continuación, se detallan las propiedades físicas de los agregados:

- Granulometría: Se define como la distribución de todos los tamaños de partícula presentes en una muestra. Esta distribución se determina mediante un ensayo de análisis granulométrico en el que se divide la muestra de agregado en fracciones de igual tamaño, para hacer pasar cada fracción de agregados por una serie de tamices con aberturas de diferentes tamaños que se ajustan a la norma especificada. Esto con el fin de obtener el porcentaje de material retenido en cada tamiz y conocer la distribución.

Es importante una buena granulometría que le permita al concreto tener una masa unitaria, lo que permite que los vacíos se reduzcan y que, de esta manera, la cantidad de pasta cementante sea mínima.

- Forma de las partículas: La forma de las partículas en una muestra de agregado depende del tipo de roca de la que se originó, ya sea ígnea, sedimentaria o metamórfica, su procedencia tiene mucho que ver debido a que su forma le permite adquirir ciertas propiedades que tienen un papel muy significativo en la fabricación del concreto. En la Tabla 5 se puede observar la clasificación de los diferentes tipos de formas de las partículas presentes en una muestra de agregado.

**Tabla 5**

*Clasificación de las partículas de un agregado según su forma*

Clasificación	Descripción
Redondeada	Totalmente desgastada por el agua o limitada completamente por ella.

---

Irregular	Irregular natural o limitada parcialmente por frotamiento y con caras redondeadas.
Angular	Posee caras definidas, que se forman en la intersección de caras más o menos planas.
Escamosa	Material en el cual el espesor es pequeño en (laminar) relación con las otras dos dimensiones.
Elongada	Material angular usualmente, en el cual la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.
Escamosa y elongada	Material cuya longitud es considerablemente mayor que el ancho y este es considerablemente mayor que el espesor.

---

Fuente: Mora (2017).

- Textura: Corresponde directamente al agregado, pero se relaciona con la roca que lo originó y de su textura superficial. Esto también afecta las propiedades del concreto, especialmente la adherencia de la pasta al agregado.
- Densidad: La densidad del agregado depende del lugar de origen de este, la diferencia de esta propiedad es que entre las partículas que constituyen un agregado existen poros o cavidades que pueden estar llenos de agua o vacíos, según la permeabilidad del agregado.

### ***Propiedades mecánicas de los agregados***

Las siguientes son algunas de las propiedades que determinan el comportamiento mecánico de los agregados:

- Tenacidad: La tenacidad es la resistencia a la falla por impacto.
- Resistencia: Es un concepto aplicado usualmente a los agregados gruesos. La resistencia a la compresión de un concreto nunca puede ser mayor que la que posea la mayor parte del agregado que contenga.
- Dureza: Es una propiedad que depende de la constitución mineralógica del agregado. La manera más directa de determinar la dureza es realizando el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles.

- Adherencia: Es una propiedad que depende de las fuerzas intermoleculares que ligan las partículas del agregado con la pasta. La adherencia es importante debido a que si hay poca se pierde resistencia en el concreto.

### **Fibra natural**

Las fibras naturales son aquellas que son originarias de la naturaleza y no han sufrido ningún tipo de alteración química. Se caracterizan por ser estructuras largas y delgadas, existen fibras de origen animal y origen vegetal, gracias a sus propiedades se usan en varios sectores, por ejemplo, la industria textil.

La fibra natural escogida para esta investigación es la de bagazo de caña de azúcar. Se opta por utilizar este material debido a la posible rentabilidad que viene justificada en el uso de procesos más ecológicos y sostenibles sumado a la gran cantidad de bagazo de caña de azúcar que se produce anualmente, no solo en Costa Rica, sino en el ámbito mundial, que por lo general se desecha por medio de la combustión.

### **Caña de azúcar**

La caña de azúcar se conoce como uno de los cultivos más antiguos del mundo. No existen datos concretos de cuándo inició su cultivo, pero se afirma que empezó en el año 3.000 A.C. como un tipo de césped en la isla de Nueva Guinea y de allí se extendió a Borneo, Sumatra e India (Procaña, 2022). La historia que se logra registrar indica que el proceso de la extracción de dulce de caña inició en la India. Hay varias leyendas que hacen referencia a la caña de azúcar (Procaña, 2022).

También está consignado que el general griego Nearchus, quien acompañó a Alejandro el Grande a la India en el siglo IV A.C. hablaba de una caña que produjo “miel” sin la ayuda de abejas. Se dice que fue Cristóbal Colón quien en 1492, en su segundo viaje, introdujo la caña en América, a la Isla de La Española pero estas cañas no prosperaron (Procaña, 2022, s. p.).

Se afirma que en 1501 se introdujeron plantas que crecieron y llegó el éxito de las plantaciones azucareras a lo largo del Caribe y América del Sur (Procaña, 2022). Para extraer el dulce



de la caña de azúcar es necesario pasar la caña por un molino en donde se corta y presiona la caña, al salir del molino se obtiene una fibra llamada bagazo.

### *Propiedades físicas de la fibra de bagazo de caña*

La fibra natural de bagazo de caña se caracteriza por ser durable y tener flexibilidad. Además, en la Tabla 6 se pueden observar algunas de las propiedades físicas de la fibra natural de bagazo de caña.

**Tabla 6**

### *Propiedades físicas de la fibra de bagazo de caña*

Módulo de Young (Gpa)	15-19
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	720-880
Diámetro prom (μm)	10-34
Largo prom (mm)	0.8-2.8
Proporción de aspecto (l/d)	76
Contenido de humedad (%)	49

Fuente: Gourav Gupta (2015).

### *Propiedades químicas de la fibra de bagazo de caña*

El alto contenido de celulosa hace que la fibra de bagazo de caña de azúcar se comporte bien ante esfuerzos de tensión. En la Tabla 7 se puede observar la composición química de la fibra natural de bagazo de caña.

**Tabla 7***Composición química de la fibra de bagazo de caña de azúcar*

Celulosa (%)	45-55
Hemicelulosa (%)	20-25
Lignina (%)	18-24
Pectina (%)	0.6-0.8
Ceniza (%)	1-4
Extraíbles (%)	1.5-9

Fuente: Gourav Gupta (2015).

***Propiedades mecánicas de la fibra de bagazo de caña***

La fibra de bagazo de caña, al igual que todas las otras fibras naturales con alto contenido de celulosa, tiene una desventaja natural por hidrofilia. Esta hace que la fibra atraiga humedad de sus alrededores, lo que ocasiona hinchamiento y pérdida de sus propiedades mecánicas.

Hasta cierto alcance, esta deficiencia natural de las fibras puede minimizarse por medio de tratamientos con agentes como álcali, permanganato de potasio, acetilación, tratamientos con silano, benzolación, tratamientos con acetona, acrilación, entre otros. En la Tabla 8 se pueden observar algunas de las propiedades mecánicas de la fibra:

**Tabla 8***Propiedades mecánicas de la fibra de bagazo de caña*

Fibras de bagazo	Esfuerzo de tensión (MPa)
Sin tratamiento	50-96
Tratamiento con álcali	156

---

Fuente: COGENT (2020).

## **Concreto**

De acuerdo con BBC (2018): “El concreto es el material fabricado por el hombre más utilizado de la historia. Solo el agua lo supera como el recurso más consumido en el planeta” (s. p.). Además, según Cemex (2022) el concreto se puede definir como:

Una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el agua y el cemento. La versatilidad, resistencia a la compresión, impermeabilidad, durabilidad y economía del concreto lo han convertido en el material de construcción más usado en el mundo (s. p.).

El concreto se caracteriza por tener diferentes propiedades, las cuales se manifiestan durante sus distintas etapas de vida. El primer estado es cuando el concreto se encuentra como material plástico y maleable. El segundo estado es el tiempo de fraguado, durante este periodo es evidente el aumento progresivo en rigidez de la mezcla. El tercer estado corresponde al endurecimiento y fraguado, que le permite al concreto adquirir sus propiedades de resistencia y durabilidad finales (Mora Torres, 2017).

### ***Propiedades del concreto en estado fresco***

Es importante mencionar que las características del concreto en estado fresco son determinantes para obtener buenos resultados de resistencia a la compresión en estado endurecido. Estas características son las siguientes:

- **Manejabilidad:** La manejabilidad o trabajabilidad es una propiedad del concreto en estado fresco. Esta propiedad influye en la capacidad del concreto para manejarse, mezclarse y compactarse debidamente sin que se produzca segregación.

Esta propiedad depende de factores como las especificaciones de diseño, contenido de agua, contenido de aire, propiedades físicas de los agregados y condiciones de humedad y

temperatura del ambiente. A estos factores se le suma el límite de tiempo en el cual la mezcla está en perfectas condiciones para colocarse, porque si se coloca después de este periodo la mezcla tiende a endurecerse y perder trabajabilidad.

- **Consistencia:** La consistencia de un concreto se encuentra relacionada directamente a su manejabilidad. Se refiere al estado de fluidez de la mezcla, cuán blanda o dura sea la mezcla de concreto cuando esta alcanza su estado plástico.

El ensayo de asentamiento (cono de Abrams), según lo especificado en la norma ASTM C143 (2017a), consiste en:

Determinar la consistencia de una mezcla de concreto tanto en laboratorio como en campo. Consiste en colocar una muestra de concreto fresco (se compacta por varillado) dentro de un molde en forma de cono truncado. El molde se levanta y se deja que el concreto se desplome, luego se mide la distancia vertical al centro desplazado y se registra el valor del asentamiento de la mezcla (s. p.).

Este ensayo permite proporcionar un método de monitoreo o control de la manejabilidad del concreto en estado fresco. En la Figura 6 se puede observar gráficamente el proceso. Seguidamente, en la Tabla 9 se encuentra la clasificación de un concreto según su consistencia.

**Tabla 9**

*Clasificación de un concreto según su consistencia*

Consistencia	Asentamiento (mm)	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0 – 50,8	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	76,2 – 101,6	Trabajable	Vibración ligera
Fluida o húmeda	127 a más	Muy trabajable	Varillado

Fuente: Constructor Civil (2011).

- **Contenido de agua:** Es uno de los principales factores que afecta la manejabilidad de la mezcla de concreto, debido a que no debe ser mucha, pero tampoco debe ser poca. En la

actualidad, existen fórmulas que permiten calcular la cantidad exacta de agua que se le debe agregar a la mezcla.

- Contenido de aire: La mezcla de concreto siempre tiene un contenido de aire, que se conoce como aire naturalmente atrapado durante el proceso de mezcla, el cual se elimina cuando se lleva a cabo el proceso de compactación.
- Segregación: Se refiere a la separación de los materiales que constituyen la mezcla de concreto fresco, lo que hace que se pierda la uniformidad de la mezcla por falta de cohesión.
- Exudación: La exudación o sangrado es una forma de segregación. Se presenta cuando en la mezcla de concreto fresco el agua tiende a elevarse hacia la superficie como consecuencia de la incapacidad de los agregados de mantenerla con ellos al irse compactando.

### ***Propiedades del concreto en estado endurecido***

Al llegar a su estado endurecido el concreto se comporta como una masa heterogénea. Las exigencias requeridas para el concreto durante el estado de endurecimiento son mayores, ya que la dependencia de propiedades como la durabilidad y la resistencia son los factores de más importancia.

Durante el estado de endurecimiento del concreto se establecen las adherencias físicas y químicas entre los componentes de la mezcla. Es en este punto en el que influyen las características físicas y químicas de cada uno de los materiales que componen la mezcla. De todos los materiales, los agregados desempeñan un papel de gran importancia, ya que sus propiedades deben estar definidas para garantizar la adherencia de la pasta de cemento.

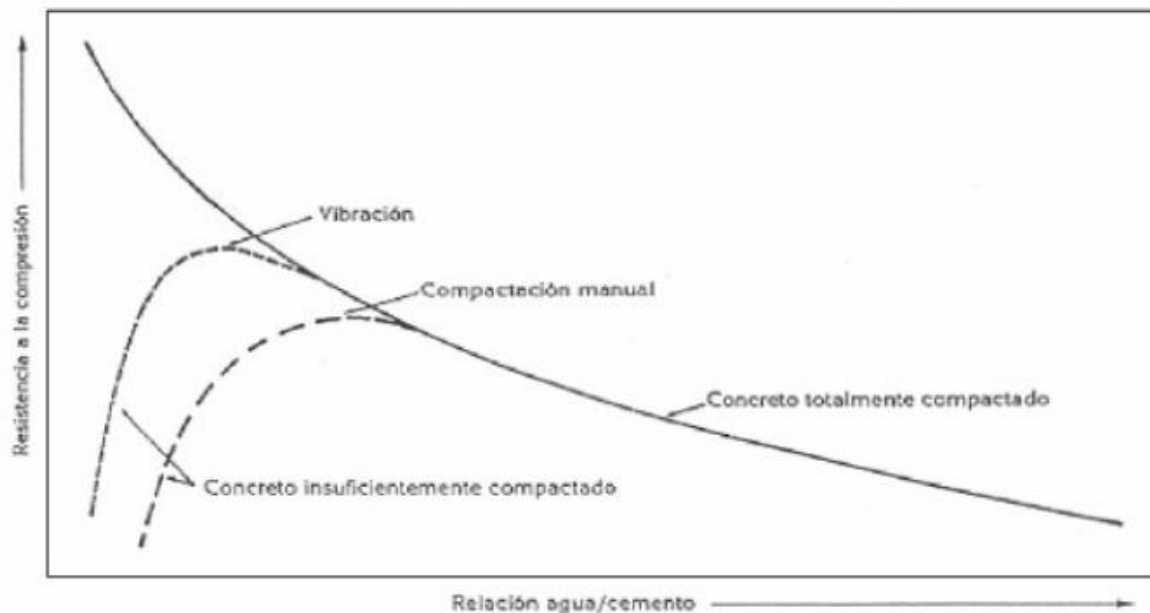
Cuando el concreto se encuentra en estado endurecido, la resistencia a la compresión es el factor de mayor importancia, casi siempre. Esta resistencia se determina por medio de ensayos de laboratorio en donde se fallan especímenes de concreto en forma de cilindro a través de la aplicación de una carga axial, a los 7, 14 y 28 días de curado. A los 28 días de curado el concreto ya debe alcanzar su resistencia de diseño, de ahí en adelante la resistencia tiende a aumentar, pero en menor magnitud. Hay otros factores influyentes en la resistencia, a continuación, se mencionan algunos:

- Contenido de cemento: Es crítico conocer bien las características técnicas del cemento por utilizar debido a que este material es el componente más activo de la mezcla. Añadir muy poco o mucho de este material en la mezcla de concreto tiene como consecuencia no llegar a la resistencia requerida y que se produzcan esfuerzos de contracción, lo que causa agrietamiento y pérdida de adherencia.
- Relación agua – cemento: La relación agua – cemento es crítica para la resistencia a la compresión del concreto. Como se puede observar en la Figura 2 si la mezcla se excede de agua en relación con el cemento el concreto perderá durabilidad y resistencia.

Por otro lado, cuando la cantidad de agua es menor en relación con el cemento la mezcla pierde fluidez, pero su durabilidad y resistencia a la compresión aumenta. Sin embargo, si no se logra un compactado adecuado debido a la falta de fluidez tampoco se puede alcanzar la durabilidad y resistencia a la compresión requerida.

### **Figura 2**

Resistencia a la compresión en función de la relación agua/cemento



Fuente: Corral (2009).

- Agregados: Los agregados son otro factor de gran relevancia en el desempeño de la mezcla de concreto en estado endurecido debido a sus propiedades.
  - Granulometría: Si la granulometría es continua se dará una mejor compacidad en el concreto en estado fresco, lo que ocasiona una mejor resistencia a la compresión.
  - Textura y forma: Los agregados de forma rugosa y cúbica ayudan a mejorar la adherencia, lo cual mejora la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto.
  - Resistencia y rigidez: la resistencia y la rigidez de las partículas influyen en la resistencia a la compresión del concreto.
- Fraguado: Esta característica se define como la velocidad de endurecimiento de la mezcla de concreto al pasar de un estado fresco y maleable a un estado endurecido en condiciones ambientales dadas. Es importante conocer esta propiedad debido a que si se necesita transportar la mezcla hay que saber si durante el tiempo de transporte no se ve afectada la manejabilidad y resistencia de la mezcla de concreto.
- Calor de hidratación: Es una característica del cemento, se define como la cantidad de calor generado por gramo de cemento deshidratado después de una hidratación completa a una temperatura dada. Al entrar en contacto con el agua, el cemento libera calor por medio de la reacción exotérmica generada y si no se presenta un buen curado el calor de hidratación puede causar agrietamiento en el concreto endurecido.
- Curado: Es necesario hidratar el concreto sin interrupciones durante la etapa de fraguado, esto para que el concreto logre alcanzar todas sus propiedades. El proceso de curado se recomienda que dure por lo menos 7 días, de no realizar un proceso de curado adecuado se pone en riesgo la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto.
- Edad: Se refiere al plazo estimado que se le da a la mezcla de concreto en alcanzar su resistencia a la compresión de diseño. El proceso dura aproximadamente 28 días y para concretos de alta resistencia la edad puede ser de 50 a 90 días.

## Concretos reforzados con fibra

En la norma ASTM C1116.89 las fibras se definen como: “Filamentos delgados y elongados en forma de hace o hilos, de cualquier material natural o manufacturado, que pueda ser distribuido uniformemente en la mezcla del concreto fresco” (s. p.). De acuerdo con EMB Construcción (2006): “La norma ACI 544 considera como fibras para el hormigón los filamentos discontinuos de acero, las fibras sintéticas, las de vidrios y las naturales” (s. p.). Además, según McCormac y Brown (2018):

En años recientes ha habido un gran interés en el concreto reforzado con fibras y actualmente se llevan a cabo numerosas investigaciones sobre el tema. Muchos experimentos han mostrado que la adición de este tipo de fibras en cantidades convenientes (normalmente cerca del 1 % o 2 % por volumen) a concretos normales pueden mejorar apreciablemente sus características. Las resistencias a la compresión de los concretos reforzados con fibras no son considerablemente mayores a como lo serian si las mezclas se usaran sin fibras. Sin embargo, los concretos resultantes son considerablemente más firmes y tienen mayor resistencia al agrietamiento y el impacto. El lector debe notar que una varilla de refuerzo proporciona refuerzo solo en la dirección de la varilla, mientras que las fibras distribuidas de manera aleatoria proporcionan resistencia adicional en todas las direcciones. Las fibras usadas varían en longitud de aproximadamente 0.635 cm a 7.62 cm, mientras que sus diámetros van de aproximadamente 0.0254 cm hasta 0.0762 cm. Para mejorar la adherencia con la pasta de cemento, las fibras pueden tener ganchos o estar retorcidas. Además, las características de la superficie de las fibras pueden ser modificadas químicamente para aumentar la adherencia (s. p.).

Con esto en consideración, se expone que el comportamiento de los sistemas de cemento Portland reforzados con fibras:

Depende de la susceptibilidad de la fibra a los daños físicos durante el proceso de mezclado, su compatibilidad química con el ambiente normalmente alcalino de la pasta de cemento y su resistencia a las condiciones ambientales del medio donde el producto final, presta servicio (la exposición al dióxido de carbono, la acción de los cloruros y sulfatos disueltos en el agua y el tanque del oxígeno y la luz ultravioleta) (Juárez Alvarado, 2002,



s. p).

Entre las ventajas existentes del concreto reforzado con fibra, según Bejarano Vigoya (2019) se encuentran las siguientes:

- Refuerzo en el volumen del concreto: El volumen del concreto se ve reforzado debido a la distribución homogénea de las fibras.
- Mejoran la resistencia al flexo tracción: La implementación de fibras consigue mejorar la resistencia al flexo tracción, algo que resulta de gran necesidad para que el material logre aguantar cargas.
- Aumentan su durabilidad: La durabilidad del concreto reforzado se ve aumentada, debido a que los filamentos de fibra consiguen controlar la fisuración y evitan que las grietas se propaguen.
- Evitan la fragilidad de concreto: De igual manera, las fibras son de gran utilidad para evitar la fragilidad propia del concreto que se ha mencionado, ya que las fibras consiguen mejorar la ductilidad.
- Aumentan resistencia ante impactos y esfuerzos: Una ventaja que destacar es el aumento existente en la resistencia del concreto ante impactos y esfuerzos al utilizar fibras, lo cual es ideal para pisos de naves industriales, fábricas y almacenes.

Los concretos reforzados con fibra han encontrado su campo natural de uso y aplicación en estructuras donde la relación superficie/volumen es muy alta, como los pisos y pavimentos. La configuración del concreto en grandes áreas donde el volumen es alto, pero el espesor es bajo, hace que pavimentos, pisos y morteros de nivelación sean estructuras muy susceptibles a fisurarse durante las primeras etapas de fraguado y endurecimiento (SIKA, 2014).

### ***Clasificación de las fibras***

Las fibras que se utilizan como refuerzo para el concreto pueden clasificarse según diferentes consideraciones. En la actualidad, se emplean principalmente dos tipos de clasificaciones:

- Por material:

**Tabla 10***Clasificación de fibras por material*

Clasificación de fibra por material			
Fibras metálicas	Fibras sintéticas	Fibras de vidrio	Fibras naturales
Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general, con bajo contenido de carbón).	Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por acrílico, aramid, carbón, polipropileno, poliestileno, nylon, poliéster, etc.	Secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali.	Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12 %.

Fuente: SIKA (2014).

- Por funcionalidad, geometría y dosificación.

***Microfibras***

En la industria, las microfibras son aquellas cuya función está destinada a evitar la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. En promedio se dosifican en el concreto para volúmenes entre 0.03 % a 0.15 % de este (SIKA, 2014).

En la industria, las fibras microfibras que se utilizan con más frecuencia son las fibras en polipropileno (Tipo SikaFiber AD). Normalmente: “Se usan dosificaciones extremadamente bajas pero muy eficientes que previenen la fisuración del concreto por retracción plástica” (SIKA, 2014, s. p.). Según una investigación realizada por la empresa fabricante de la microfibra SikaFiber AD se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 11**

*Valores de fisuración a las 24 horas para un mismo concreto sin reforzar y con diferentes alternativas de reforzamiento con Microfibra SIKA (todas las medidas en mm)*

<b>Tipo de Espécimen</b>	<b>Área total de agrietamiento</b>	<b>Ancho de fisura promedio</b>	<b>Número total de fisuras</b>	<b>% total de área de agrietamiento con respecto al espécimen de referencia</b>
Patrón	994	0.1	166	100
Malla	824	0.11	102	83
Microfibra A (0.45k/gm <sup>3</sup> )	108	0.09	21	11
Microfibra A (0.45k/gm <sup>3</sup> )	34	0.09	9	3
Microfibra B (0.45k/gm <sup>3</sup> )	59	0.08	20	6
Microfibra B (0.45k/gm <sup>3</sup> )	4	0.08	2	0

Fuente: SIKA (2014).

En esta investigación se compararon varios tipos de microfibras frente a un concreto patrón sin refuerzo y frente a ese mismo concreto reforzado con una malla electrosoldada de 150 mm x 150 mm con 3.4 mm de diámetro. Además, se elaboraron placas de 50 mm de espesor en condiciones atmosféricas controladas, se puede observar la altísima eficiencia de las microfibras para controlar la fisuración antes de las 24 horas.

### ***Macrofibras***

Las macrofibras son aquellas cuya función está destinada a prevenir la fisuración del concreto en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si esta se presenta y a permitir el funcionamiento adecuado de la estructura fisurada. Las dosificaciones más frecuentes son entre 0.2 % a 0.8 % del volumen del concreto. Las macrofibras que más se utilizan son las sintéticas y las metálicas, cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00 mm. La relación de aspecto (L/d) de las macrofibras varía entre 20 a 100 (SIKA, 2014).

Las macrofibras se mezclan en el concreto como un agregado más, normalmente exigen un tiempo de mezclado adicional entre 3 a 5 minutos para garantizar su completa dispersión.

Las microfibras metálicas o sintéticas no alteran la resistencia a la compresión y lo hacen de una manera muy leve o despreciable a la tensión y flexión. Las macrofibras se incluyen para aumentar la tenacidad del concreto, es decir, para hacer que las estructuras hechas de concreto, incluso después del agrietamiento de la matriz, puedan seguir siendo cargadas (SIKA, 2014, s. p.).

### ***Presencia de sustancias extractivas***

De acuerdo con Bejarano Vigoya (2019):

La presencia de sustancias extractivas retardan [sic] o inhiben el proceso de fraguado del cemento, ya que los azúcares forman una especie de membrana alrededor de los cristales, impidiendo su unión. El azúcar puede ser disuelto por métodos químicos, pero la similitud de su estructura interna con la celulosa, llevaría a la desintegración del material).

La extracción de estas sustancias solubles se puede llevar a cabo por una de las dos opciones:

- Lavado del material: no siempre se justifica económicamente.
- Inmersión, por lo menos durante 24 horas en una solución de agente mineralizante (Cloruro de calcio, hidróxido de calcio, silicato de sodio, cloruro de magnesio y silicato de potasio) (p. 19).

## **Conceptos**

### ***Concreto***

Según Cemex (2022):

El concreto es una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el agua y el cemento. La versatilidad, resistencia a la compresión, impermeabilidad, durabilidad y economía del concreto lo han convertido en el material de construcción más usado en el mundo (s. p.).

### ***Durabilidad***

De acuerdo con Ramírez (2020):

La durabilidad es la capacidad del concreto para resistir acciones físicas, químicas, biológicas y climáticas. Una estructura durable es aquella cuya vida de servicio puede ser mayor a los 50 años; incluso, en algunos países se han diseñado estructuras de concreto con vidas útiles de 80 a 100 años (s. p.).

### ***Ductilidad***

Cuando el término ductilidad se aplica al campo del concreto reforzado define un conjunto complejo de conceptos. “La ductilidad se podría definir de una manera sencilla como la capacidad del acero para admitir deformaciones importantes una vez superado el límite elástico, manteniendo al mismo tiempo su capacidad mecánica” (Balandrano, 2021, s. p.). Se trata de una capacidad que carece el concreto por sí solo.

### ***Fibras naturales***

Carranza (2021) las define como: “Las fibras naturales son materiales filamentosos de origen biológico, cuyas características químicas, físicas y mecánicas, les confieren cualidades en su aspecto, textura, longitud, resistencia y flexibilidad, que las hacen susceptibles de uso” (s. p.). Además, Conabio (2020) afirma:

En el caso de las fibras de origen animal se trata de secreciones de glándulas especializadas, como es la seda, o bien de productos de folículos pilosos como es la lana, la alpaca, entre otros. Las fibras de origen vegetal son conjuntos de células de gran resistencia mecánica, cuyo contenido es esencialmente lignina y celulosa por lo que están asociadas principalmente a funciones de sostén de las plantas. La composición química, con alto porcentaje de celulosa, resulta poco asimilable para los microorganismos, asegurando así su durabilidad, mientras que, el elevado contenido de lignina, permite que estas fibras puedan soportar la acción mecánica a las que se someten durante los procesos de tensión que cotidianamente soportan (s. p.).

## Caña de azúcar en Costa Rica

Estupiñán y Vargas (2017, citados en Aviléz Contreras, 2022) indican que:

El tallo de la caña de azúcar se considera un fruto agrícola, ya que en él se distribuye y almacena azúcar, posee aproximadamente 75% de agua y está formado por nudos y entrenudos. Se cultiva principalmente para la producción de azúcar, aunque también se convierte en materia prima para la fabricación de papel, cemento, abonos y alimento animal, con ella se pueden producir bebidas alcohólicas destiladas (p. 6).

En Costa Rica, actualmente existen 64.250 ha de caña de azúcar sembradas, con un total de 7.078 productores, lo que genera 58.000 empleos directos e indirectos. La distribución de área de caña de azúcar sembrada en Costa Rica es la siguiente:

**Tabla 12**

*Distribución de las plantaciones de caña de azúcar por regiones*

Región	Área de caña sembrada	Porcentaje del total
Valle Central	4,201 ha	6.54 %
Turrialba	4,908 ha	7.64 %
Sur	4,512 ha	7.02 %
Guanacaste	35,197 ha	54.8 %
Norte	9,806 ha	15.3 %
Puntarenas	5,626 ha	8.76 %
<b>Total</b>	<b>64,250 ha</b>	<b>100 %</b>

Fuente: Laica (2021).

De acuerdo con un estudio a gran escala hecho en 2019 por CEDRSSA, se puede esperar una producción de aproximadamente 70.81 t de caña de azúcar por hectárea sembrada. Esto significa, que según los rendimientos del proceso de extracción de dulce expuestos en la Tabla 1 en

Costa Rica se puede calcular una producción aproximada de 4 500 000 t de caña en condición bruta. De estos 4 500 000 t de caña se producen aproximadamente 1 400 000 t de bagazo de caña de azúcar, el cual usualmente se desecha y quema.

### ***Bagazo de caña de azúcar***

Tesoro Tico (2021) señala que:

Se le conoce como bagazo de caña al residuo que queda una vez extraído el jugo azucarado de la caña. Este residuo posee grandes cantidades de fibras los cuales son considerados filamentos que entran en la composición de los tejidos orgánicos vegetales (s. p.).

### ***Figura 3***

Bagazo de caña de azúcar



Fuente: Residuos Profesional (2017).

### **Marco legal**

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se tuvieron en cuenta las siguientes normativas que se relacionan con el uso de concretos y concretos con adiciones de fibra.

**Tabla 13***Normativas para el uso del concreto con adición de fibras en la construcción*

Norma	Descripción
CSCR2010	Código Sísmico de Costa Rica
ACI 211.1	Diseño de Mezcla de Concreto
ASTM C31	Práctica estándar para fabricación y curado de especímenes de ensayo de concreto en obra
ASTM C39	Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto
ASTM C78	Método de ensayo estándar para resistencia a la flexión de vigas de concreto (viga simple con carga a los tercios del claro)
ASTM C143	Método de ensayo estándar para asentamiento de concreto fresco (cono de Abrams)
ASTM C1064	Método de ensayo estándar para temperatura del concreto de cemento Portland recién mezclado.
ASTM C138	Método de ensayo estándar para densidad (peso unitario), volumen y contenido de aire en una mezcla de concreto.



### Capítulo III. Marco metodológico

#### **Definición del enfoque y método de investigación**

Para este proyecto final se desarrolló una investigación experimental, en la cual se llevan a cabo varios ensayos de laboratorio y se aplican los principios establecidos en el método científico. Esto con el fin de verificar la teoría con datos reales y compararlos con datos existentes de otras investigaciones.

Con este alcance en consideración se evidencian enfoques metodológicos mixtos, ambos, cualitativos y cuantitativos. Esto permite extraer información medible y real sobre el uso de la fibra natural de bagazo de caña de azúcar como material de refuerzo para el concreto. El enfoque es cuantitativo ya que se aplicaron técnicas de recolección y análisis de la información por medio de resultados de pruebas de laboratorio y cualitativo debido a la investigación teórica/documental.

#### **Sujetos y fuentes de información**

A lo largo de este estudio se distinguen los tres tipos básicos de fuentes de información. Como fuentes primarias o directas se tienen los especímenes de concreto patrón (concreto f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> normal) y los especímenes de concreto f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar. Esto se debe a que, al someter estos especímenes a los diferentes ensayos de laboratorio, se extrae la información de primera mano necesaria para comprobar la teoría que se planteó.

Se logran aprovechar también varias fuentes secundarias de información a lo largo de este proyecto. Para comparar los resultados por medio de fuentes primarias se necesitan otros trabajos de investigación publicados en la misma área de conocimiento, cuyo contenido proveniente de fuentes primarias es de gran valor para lograr un análisis comparativo atinado. En el trabajo también existen fuentes terciarias de información, por ejemplo, las revistas, fichas técnicas, boletines y simposios expuestos y citados a lo largo del escrito.

#### ***Sujetos de información***

En la Tabla 14 se muestra la matriz de sujetos de información.

**Tabla 14***Matriz de sujetos de información*

Nombre	Tema para tratar	Empresa/institución/cargo
Ing. Ramón Aguilar	Suministro de materiales	INGENIO EL PORVENIR S. A.
Ing. José Hernández	Suministro de materiales	CONCRETERA NACIONAL S. A.
Ing. José Hernández	Ensayos de laboratorio	CONCRETERA NACIONAL S. A.

***Fuentes de información***

Para esta investigación se cuenta con el apoyo de la empresa Concretera Nacional S. A., cédula jurídica: 3-101-717589. Esta compañía se posiciona como uno de los mayores productores de concreto premezclado en el ámbito nacional. El apoyo se presenta por medio del suministro de materiales (cemento, agua, arena y grava) y sus propiedades (a excepción de la fibra de bagazo de caña, la cual la administró el Ingenio El Porvenir), asesoría para optimizar el diseño de mezcla y disponibilidad del laboratorio de materiales para realizar los ensayos correspondientes.

Como se mencionó, la fibra natural de bagazo de caña de azúcar la administró el Ingenio El Porvenir S. A., ubicado en Cataluña, Tacaes de Grecia, Costa Rica. Con capacidad de moler alrededor de 700 T.M.C diarias y con Caña proveniente de los cantones de Grecia, Alajuela y Poás.

**Definición de variables**

En la Tabla 15 se presenta la matriz de variables.

**Tabla 15***Matriz de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operativa
Fibra de bagazo de caña de azúcar	Se trata de filamentos de fibra natural de bagazo de caña de azúcar, que se adicionan a la mezcla de concreto, para después pasar el producto	Se añadirán diferentes porcentajes de fibra de bagazo de caña: 0.1 % a 1 % con respecto al volumen total, después se

---

	resultante por ensayos y determinar si es favorable o no.	mezclan con agua y agregados para elaborar cilindros.
Resistencia a la compresión	Es una de las propiedades del concreto, se define como la máxima resistencia frente a la carga axial del concreto, determinándose generalmente por la resistencia final de una probeta en presión.	Se realiza mediante ensayos de rotura de cilindros de concreto con adición de diferentes cantidades de fibra natural de bagazo de caña.
Resistencia a la flexión	Es una de las propiedades del concreto, se define como la capacidad de un material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal.	Se realiza mediante ensayos de rotura de viguetas de concreto con adición de diferentes cantidades de fibra natural de bagazo de caña. La rotura se hace a los 28 días para determinar la resistencia máxima.
Relación agua/cemento	La relación agua/cemento se define como la razón entre el contenido efectivo de agua y el contenido de cemento en la masa de concreto fresco.	Se debe controlar mediante un diseño de mezcla preciso y que tome en consideración las características de las adiciones.

---

### **Población y muestra**

En este estudio se le realizan ensayos a una población de 20 especímenes de concreto en forma cilíndrica de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura y 8 especímenes de concreto en forma de viga de 50 cm de largo, 15 cm de alto y 15 cm de ancho. Además, se les realizan ensayos a los especímenes de concreto cilíndricos a los 7, 14 y 28 días para encontrar la resistencia a la compresión y a los especímenes de concreto tipo viga se les aplican ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.

Los cilindros y las vigas de concreto tienen adiciones del 0.1 %, al 1 % de fibra natural de bagazo de caña de azúcar. Se opta por estos porcentajes debido a que, en la industria, como se mencionó, se dosifica entre un 0.03 % a 0.15 % para concretos con adición de microfibras y entre un 0.2 % a 0.8 % para concretos con adición de macrofibras.

## **Instrumentos y técnicas que se utilizan en la recolección de los datos**

### ***Técnicas de recolección de datos***

Para efectos de este proyecto, las técnicas de recolección de datos se ejecutan por medio del método de la observación experimental. Este método se caracteriza porque los datos se consiguen en condiciones controladas por la persona investigadora, particularmente porque esta puede manipular la o las variables. Esta es una poderosa técnica de investigación científica.

### ***Instrumentos de recolección de datos***

Los instrumentos que se utilizan son todas aquellas normas que indican el procedimiento estándar para realizar todos los ensayos necesarios, de manera adecuada. Es importante mencionar que todo el equipo de laboratorio mencionado en el procedimiento también es un instrumento de recolección de datos, al igual que lo son todas las tablas, artículos, tesis y revistas que se emplean en esta investigación.

## **Procedimiento metodológico para la realización del estudio de diagnóstico**

### ***Diseño de mezcla***

Uno de los objetivos de esta investigación es elaborar un diseño de mezcla para un concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar. Este diseño de mezcla se hace, con el fin de realizar ensayos de asentamiento, densidad, volumen, contenido de aire, temperatura y resistencia a la compresión a los 7, 14, 28 días y resistencia a la flexión a los 28 días. Los especímenes de concreto se moldean en forma tipo cilindro y tipo viga.

Es relevante mencionar que para diseñar la mezcla del concreto antes es necesario conocer los resultados de los siguientes ensayos a los materiales que componen la mezcla: Gravedad específica del cemento (ASTM C188), Granulometría de agregados (ASTM C136), Gravedad específica y Absorción de agregados (ASTM C127-128), Peso volumétrico de agregados (ASTM C29) y Contenido de humedad de agregados (ASTM C566). Para efectos de esta investigación, ya se tenían estos resultados de antemano debido a que los proporcionó el laboratorio certificado de la empresa productora de concreto premezclado Concretera Nacional S. A.

El enfoque principal de la investigación es comparar los resultados de las resistencias y el tipo de falla del concreto con adición de fibras y el concreto patrón (normal). Por lo tanto, es necesario diseñar la mezcla para 15 cilindros y 6 viguetas de concreto.

Del total de cilindros, 15 tienen adición de fibra natural de bagazo de caña en dosificaciones del 0.1 % al 1 %, mientras que los otros 5 son de concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> normal. Del total de vigas, 6 tienen adición de fibra natural de bagazo de caña en dosificaciones del 0.1 % al 1 %, mientras que 2 son de concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> normal. El otro enfoque es comparar los resultados en los ensayos con investigaciones previas realizadas con otros porcentajes de fibra.

El diseño de mezcla del concreto es un proceso delicado que consiste en seleccionar los materiales y las cantidades que se utilizan para componer la mezcla. Este diseño se lleva a cabo por medio de lo especificado en la norma A.C.I 211.1 que, a la vez, se basa en la norma ASTM C33. De acuerdo con Romero Quintero y Hernández Rico (2014):

El método A.C.I es un método de dosificación para el diseño de mezclas de concreto; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido (p. 35).

El proceso del diseño de mezcla está ligado directamente a los conceptos mencionados en donde se resaltaban las propiedades de cada uno de los componentes de la mezcla de concreto. Las características propias de cada uno de los materiales que componen la mezcla y el uso que se le asignará al concreto son aspectos esenciales por definir para diseñar la mezcla óptima. Cada proyecto tiene sus condiciones específicas que dependen del tipo de estructura, clima, tiempo y costos. Por lo tanto, el diseño de mezcla es diferente para cada proyecto. A continuación, se mencionan algunas de las especificaciones necesarias para diseñar la mezcla.

- Selección de revenimiento.
- Selección de tamaño máximo nominal del agregado.
- Selección de la resistencia a la compresión de diseño.
- Estimación del contenido de aire.
- Estimación del contenido de agua.

- Estimación de la relación agua-cemento.
- Cálculo de contenido de cemento.
- Estimación de porciones de agregado.
- Ajustes por humedad.
- Ajustes a la mezcla de prueba.

***Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de prueba de concreto en obra (ASTM C31)***

Todos los especímenes de concreto realizados en esta investigación se hicieron con base en la norma ASTM C31. La norma abarca los procedimientos para fabricar y curar especímenes de ensayo de concreto que se pueden consolidar por amasado o vibración. Si la preparación de la muestra se lleva a cabo conforme a lo estipulado en la norma ASTM C31 los especímenes resultantes pueden utilizarse para desarrollar información para fines como ensayos de aceptación para una resistencia especificada, control de idoneidad de dosificación de mezcla para resistencia, control de calidad, determinación de si una estructura es apta para ponerse en servicio y comparación con los resultados de ensayos de especímenes normalizados curados.

**Equipo.** A continuación, se define el equipo necesario para llevar a cabo el proyecto.

- **Moldes:** Los moldes para especímenes en contacto con el concreto deben estar hechos de acero, hierro fundido o de otro material no absorbente, no reactivo con el concreto que contenga cemento Portland u otros tipos de cementos hidráulicos. Los moldes deben mantener sus condiciones y forma bajo todas las condiciones de uso. Los moldes deben ser herméticos al agua durante el uso. Se debe proveer de un medio eficaz para sostener firmemente las placas de base de los moldes. Los moldes reutilizables deben limpiarse y cubrirse ligeramente con aceite mineral o un material desengrasante adecuado antes de utilizarlos (ASTM, 2021b).
- **Moldes cilíndricos:** Los moldes cilíndricos para colar especímenes de ensayo de concreto deben cumplir con los requisitos de la especificación ASTM C-470 (ASTM, 2021b).

- **Moldes de viga:** Las superficies interiores de los moldes deben ser lisas. Los lados, el fondo y extremos deben estar en ángulos rectos uno de otros y deben estar derechos y alineados y libres de alabeo. La máxima variación de la sección transversal nominal no debe exceder 3 mm. Para moldes con una profundidad o ancho de 150 mm o más. Los moldes deben producir especímenes de al menos una longitud no menor que 2 mm (ASTM, 2021b).
- **Varilla de compactación:** Debe ser una varilla redonda, recta de acero con las dimensiones conformes a las de la Tabla 16, con el extremo compactador o ambos extremos redondeados en una punta hemisférica del mismo diámetro de la varilla (ASTM, 2021b).

**Tabla 16***Requisitos de varilla de compactación*

Diámetro de cilindro o ancho de la viga (mm)	Dimensiones de la varilla	
	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
150	10	300
150	16	500
225	16	650

Fuente ASTM C31.

- **Vibradores:** Los vibradores internos por utilizar deben tener una frecuencia de al menos 7000 vibraciones por minuto (150 Hz) cuando el vibrador funciona en el concreto. El diámetro del vibrador cilíndrico no debe ser mayor que un cuarto del diámetro del molde cilíndrico o un cuarto del ancho del molde de la viga (ASTM, 2021b).
- **Mazo:** Se debe utilizar un mazo con cabeza de goma o de cuero crudo con un peso de 0.6 ± 0.2 kg (ASTM, 2021b).
- **Herramientas para el llenado del molde:** Las herramientas deben ser de tamaño suficientemente grande como para que cada cantidad de concreto obtenida del recipiente de muestreo sea representativa y, suficientemente, pequeño como para que el concreto sea depositado

dentro del molde sin derramarse. Para colocar el concreto en un molde cilíndrico se recomienda utilizar una cuchara de albañil (ASTM, 2021b).

- Herramientas de acabado: Se recomienda utilizar una llana de mano o fratás.
- Aparatos de asentamiento: En esta investigación se especifica todo el equipo necesario para realizar este ensayo (ASTM, 2021b).
- Recipiente de muestreo: El recipiente debe ser una batea de lámina gruesa de metal, carretilla o un tablero plano limpio no absorbente (ASTM, 2021b).
- Aparatos de contenido de aire: Los aparatos para medir contenido de aire deben cumplir con los requisitos del método de ensayo ASTM C173 (ASTM, 2021b).
- Dispositivos de medición de temperatura: Los aparatos para medir temperatura deben cumplir con los requisitos del método de ensayo ASTM C1064 (ASTM, 2021b).

**Requisitos de ensayo.** A continuación, se detallan los requisitos del ensayo.

- Especímenes cilíndricos: Los especímenes de resistencia a la compresión deben colarse y fraguarse en una posición vertical. La longitud debe ser 3 veces el diámetro. El diámetro del cilindro debe ser 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Para ensayos de aceptación respecto a una resistencia a la compresión especificada, los cilindros deben ser de 150 mm por 300 mm (ASTM, 2021a).
- Especímenes de viga: Los especímenes de resistencia a la flexión deben ser vigas de concreto colado y endurecido en la posición horizontal. La longitud debe ser al menos 50 mm más grande que 3 veces la profundidad ensayada. La viga normalizada debe tener una sección transversal de 150 mm por 150 mm y debe utilizarse para concreto con un agregado grueso de tamaño máximo nominal de hasta 50 mm. La menor dimensión de la sección transversal debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso (ASTM, 2021a).
- Técnicos de obra: Los técnicos de obra que preparen y curen especímenes para ensayos de aceptación deben ser técnicos de ensayo de obra de ACI, grado I o equivalente (ASTM, 2021a).



**Procedimiento.** El procedimiento se detalla a continuación:

- Muestreo del concreto:
  - Obtener las muestras de acuerdo con lo especificado en la norma ASTM C172. Registrar la identificación de la muestra con respecto a la ubicación y tiempo de colado. Medir y registrar el asentamiento de cada amasada de concreto de la cual se preparan los especímenes, según lo especificado en la norma ASTM C143. Determinar y registrar el contenido de aire y la temperatura del concreto de muestra (ASTM, 2021a).
- Moldeado de especímenes:
  - Lugar de moldeo: Los especímenes deben moldearse en una superficie rígida a nivel, libre de vibración y otras perturbaciones (ASTM, 2021a).
  - Colado de cilindros: Seleccionar una varilla de compactación apropiada según la Tabla 16 o el vibrador apropiado de acuerdo con la tabla normada determinar el método de compactación según la Tabla 17. Si el método de compactación es varillado determinar los requisitos de moldeo de la Tabla 18, si el método de compactación es vibración determinar los requisitos de moldeo de la Tabla 19. (ASTM, 2021a).

Colocar el concreto en el molde con una cuchara de albañil, mover la cuchara alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución pareja y segregación mínima. Cada capa debe compactarse como se necesita y cuando se coloca la capa final agregar una cantidad de concreto que llene el molde (ASTM, 2021a).

- Colado de vigas: Seleccionar una varilla de compactación apropiada según la Tabla 16 o el vibrador apropiado de acuerdo con la tabla normada determinar el método de compactación según la Tabla 17. Si el método de compactación es varillado determinar los requisitos de moldeo de la Tabla 18, si el método de compactación es vibración determinar los requisitos de moldeo de la Tabla 19. (ASTM, 2021a).

Seleccionar una herramienta para el llenado del molde, usando la cuchara de albañil o una pala para colocar el concreto en el molde hasta la altura requerida por cada capa. Colocar el concreto, de manera que el mismo se distribuya uniformemente en cada capa con una segregación mínima. Cada capa debe compactarse como se necesita. Cuando

se coloca la capa final agregar una cantidad de concreto que llene el molde. A continuación, se presentan las tablas para determinar el método y características para cada tipo de compactación (ASTM, 2021a):

**Tabla 17**

*Requisitos del método de compactación*

Asentamiento (mm)	Método de compactación
$\geq 25$	Varillado o vibración
$< 25$	Vibración

Fuente: ASTM C31.

**Tabla 18**

*Requisitos de moldeado por varillado*

Tipo y tamaño espécimen	Número de capas de igual profundidad	Número de golpes de varilla por capa
<b>Cilíndricos</b>		
Diámetro (mm)		
100	2	25
150	3	25
225	4	50
<b>Vigas</b>		
Ancho (mm)		
150 a 200	2	Uno cada 14 cm <sup>2</sup> del área de la superficie superior

Mayor a 200	3 o más, cada uno menor que 150 mm	Uno cada 14 cm <sup>2</sup> del área de la superficie superior
-------------	------------------------------------	--

Fuente: ASTM C31.

### Tabla 19

#### *Requisitos de moldeado por vibración*

Tipo y tamaño espécimen	Número de capas de igual profundidad	Número de inserciones por capa
<b>Cilíndricos</b>		
Diámetro (mm)		
100	2	1
150	2	2
225	2	4
<b>Vigas</b>		
Ancho (mm)		
150 a 200	1	Ver en norma ASTM C-31
Mayor a 200	2 o más	Ver en norma ASTM C-31

Fuente: ASTM C31.

- Curado:
  - Curado inicial: Inmediatamente después de moldear y acabar los especímenes deben almacenarse por un periodo de hasta 48 horas en un rango de temperatura entre 16 °C y 27 °C. En un ambiente que evita la pérdida de humedad de los especímenes.
  - Curado final: Al completar el curado inicial y entre los 30 min después de quitar los moldes cure los especímenes con agua libra mantenida sobre sus superficies todo el

tiempo a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C, utilizando tanques de almacenamiento de agua o cuartos húmedos que cumplan con los requisitos.

### ***Método de ensayo estándar de asentamiento de concreto fresco cono Abrams (ASTM C143)***

Como se mencionó, este método de ensayo sirve para determinar el revenimiento o asentamiento de una mezcla de concreto fresco en laboratorio y en campo. El ensayo de asentamiento de concreto fresco (cono Abrams) según la norma ASTM C143 pretende proporcionar al usuario con un dato de asentamiento de la mezcla de concreto, el cual permite conocer la consistencia de la mezcla de concreto y con esto clasificar la manejabilidad o trabajabilidad de esta. El método de ensayo según la norma ASTM C143 se considera aplicable a concreto en estado fresco, el cual contenga un tamaño de agregado grueso de hasta 1 ½ pulgada (37,5 mm).

**Equipo.** A continuación, se define el equipo necesario para llevar a cabo el proyecto.

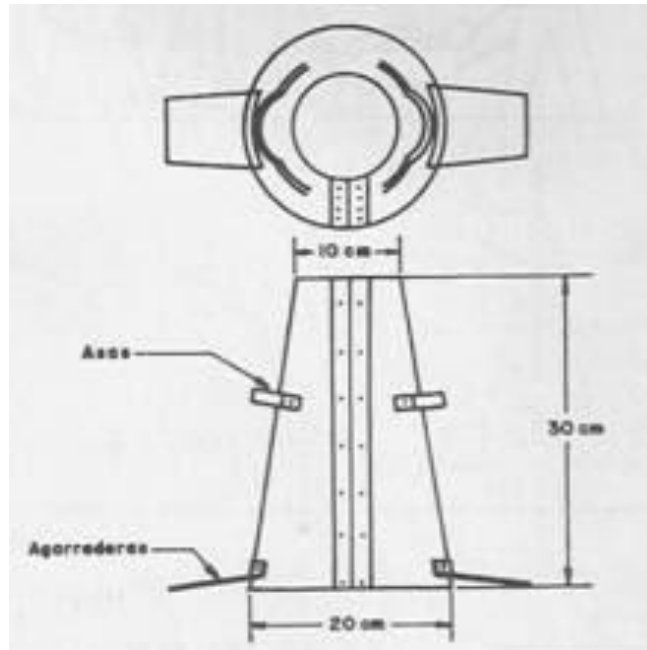
- Molde: De acuerdo con ASTM (2017a):

El espécimen de ensayo debe hacerse en un molde metálico que no reaccione con la pasta de cemento. La lámina no debe tener un espesor menor a 1,5 mm. El molde debe tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado, con la base de 200 mm de diámetro, la parte superior de 100 mm de diámetro y una altura de 300 mm. Los diámetros y alturas del cono deben tener una tolerancia de  $\pm 3$  mm de las dimensiones especificadas (s. p.).

La base y la parte superior deben estar abiertas y ser paralelas entre sí y formar un ángulo recto con el eje longitudinal del cono. El molde por utilizar debe cumplir con la forma, altura y requisitos de las dimensiones mostradas en el diagrama de la Figura 4 (ASTM, 2017a).

**Figura 4**

Dimensiones cono Abrams



Fuente: Ingevil (2008).

- Varilla apisonadora: Debe ser una varilla de acero recta, de sección circular de 16 mm de diámetro y, aproximadamente, 600 mm de longitud, que tenga un extremo de apisonamiento o ambos extremos redondeados a una punta semiesférica, el diámetro de los cuales es 16 mm (ASTM, 2017a).

**Figura 5**

Varilla apisonadora



Fuente: Pinzuar (2019).

- Dispositivo de medición: Debe ser una regla, una cinta métrica enrollable o un instrumento de medición rígido o semirrígido marcado en incrementos de 5 mm o más pequeños. La longitud del instrumento debe ser de por lo menos 300 mm (García Estrada, 2020).

**Figura 6**

Cinta métrica



Fuente: Tuherramienta (2022).

- Cucharón: El cucharón debe ser de tamaño suficiente para que cada cantidad de concreto obtenida del recipiente de la muestra sea representativa y lo suficientemente pequeña para que no se derrame durante su colocación en el molde (ASTM, 2017a).

**Figura 7**

Cucharón para colocación de muestra en molde



Fuente: Pinzuar (2019).

**Procedimiento.** El siguiente procedimiento describe cómo realizar el ensayo de asentamiento de concreto fresco por medio del cono Abrams, según lo establecido en la norma ASTM C143 (2017a):

- Humedecer el molde y colocarlo en una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. El molde debe ser mantenido firmemente en su lugar durante su llenado y limpieza de su perímetro, por el operador parado sobre los estribos, o por un dispositivo de sujeción a una placa.
- Extraer el concreto con el cucharón de la muestra y llenar el molde en tres capas, cada una de aproximadamente  $1/3$  del volumen del molde.
- Mover el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución pareja del concreto con una mínima segregación.
- Varillar cada capa 25 veces uniformemente en toda la sección transversal de cada capa. Para la capa del fondo es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente

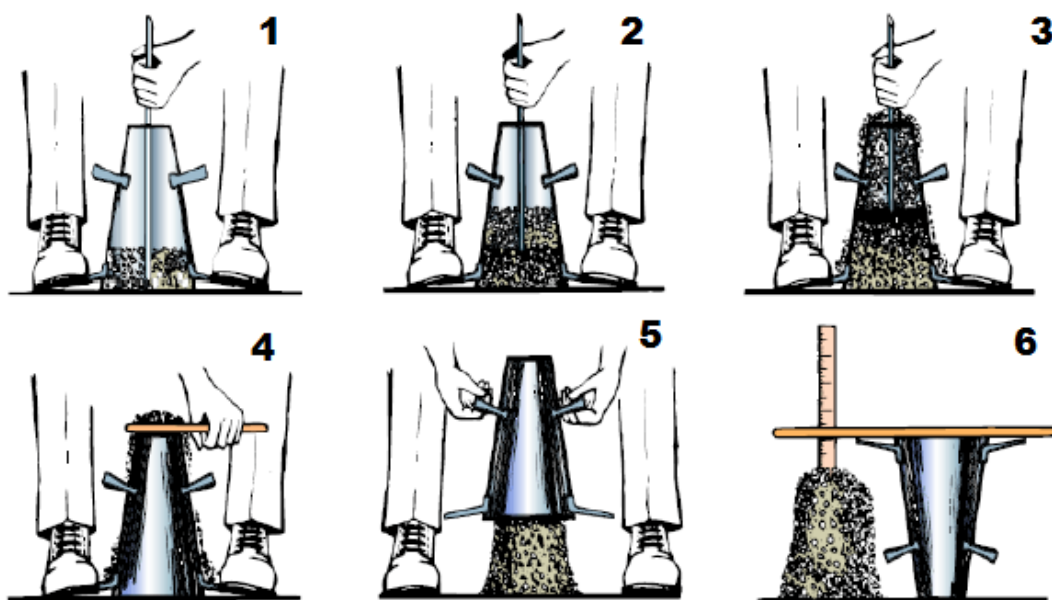
la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuando con golpes verticales en forma de espiral hacia el centro.

- Consolidar la segunda y la capa superior en todo su espesor, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa inferior aproximadamente 25 mm.
- 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 en la superficie del molde.
- Después de haber varillado la última capa, emparejar la superficie del concreto mediante el enrase y rodamiento de la varilla.
- Continuar sosteniendo el molde firmemente hacia abajo y remover el concreto del área que rodea la base del cono, para evitar interferencia.
- De inmediato retirar el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical.
- Levantar el molde a una altura de 300 mm en  $5 \pm 2$  segundos, con un movimiento ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión.
- La prueba se debe realizar sin ninguna interrupción desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un periodo de 2 ½ minutos.
- De inmediato medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen.
- Si ocurriera la caída evidente de una porción, el desplome o el desprendimiento de una parte de la masa de concreto, desechar la prueba y hacer una nueva prueba con otra porción de muestra.
- Reportar el asentamiento del espécimen en milímetros con aproximación de 5 mm al más cercano (s. p.).



**Figura 8**

Diagrama proceso ensayo de asentamiento (ASTM C143)



Fuente: Wajid (2013).

***Método de ensayo estándar para determinar la densidad (peso unitario), volumen producido y contenido de aire en una mezcla de concreto (ASTM C138)***

Para este ensayo se trabaja con base en lo especificado en la norma ASTM C138 Método de ensayo estándar para determinar la densidad (peso unitario), volumen y contenido de aire en una mezcla de concreto. El ensayo mencionado es importante para medir el desempeño de la mezcla de concreto en estado fresco debido a que permite determinar la densidad del concreto y proporciona fórmulas para calcular el volumen producido, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. Este volumen se define como el volumen de concreto preparado con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que la componen (Rosas Rozas y Valer Vera, 2018).

**Equipo.** El equipo que se necesita es el siguiente:

- Balanza.
- Pisón.
- Vibrador interno.

- Recipiente para medición.
- Placa para enrasar.
- Mazo de hule.

**Procedimiento.** El siguiente procedimiento describe cómo realizar el Método de ensayo estándar para determinar la densidad, volumen y contenido de aire, según lo establecido en la norma ASTM C138 (2017b):

- Obtener una muestra de concreto fresco según lo establecido en la práctica ASTM C172.
- Seleccionar el método de consolidación conforme al descenso del cono. Los métodos de consolidación son la vibración interna o el apisonado.
- Apisonar los concretos con descenso de cono mayor que 75 mm. Apisonar o vibre los concretos con descenso de cono de entre 25 mm a 75 mm. Consolidar por vibración los concretos con descenso de cono menor que 25,4 mm.
- Para consolidación por apisonado coloque el concreto en el recipiente en tres capas del mismo volumen cada una. Apisone cada capa con 25 golpes del pisón en recipientes de 14 l o menos, con 50 golpes del pisón en recipientes de 14 l a 28 l y un golpe por cada 20 cm<sup>2</sup> de superficie para recipientes mayores que 28 l. Los golpes deben distribuirse de manera uniforme sobre la sección transversal del recipiente. Después de apisonar cada capa se debe golpear suavemente los lados del recipiente con un mazo adecuado.
- La consolidación por vibración interna se debe hacer llenando y vibrando el recipiente en dos capas de aproximadamente igual volumen. Colocar el concreto en el recipiente para cada capa antes de iniciar la vibración. Insertar el vibrador en tres puntos distintos de cada capa.
- Al terminar la consolidación del concreto, el recipiente no debe contener ninguna carencia o exceso sustancial de concreto. Un exceso de concreto de aproximadamente 3 mm por encima del tope del recipiente es lo óptimo.
- Una vez consolidada la mezcla proceder a enrasar el excedente de concreto de la superficie superior y terminarla suavemente con la placa de enrasado. El enrase y el aplanado se

logran, de mejor manera, presionando la placa de enrase sobre la superficie superior del recipiente, cubriendo dos terceras partes de la superficie y retirando la placa con un movimiento aserrado. Varias pasadas con el borde de la placa inclinada deben producir una superficie plana y lisa.

- Después del enrasado, limpiar todo el concreto del exterior del recipiente y colocarlo en la balanza para determinar su masa.

**Cálculos.** Los cálculos necesarios son los siguientes:

- Cálculo de densidad (peso unitario): Calcular la densidad del concreto por medio de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

D= Densidad (peso unitario).

M<sub>c</sub>=Masa recipiente+concreto.

M<sub>m</sub>=Masa recipiente.

V<sub>m</sub>=Volumen recipiente.

- Volumen de concreto producido por amasada: Calcular el volumen producido de concreto por medio de la siguiente ecuación:

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

Y= volumen de concreto producido.

D= densidad (peso unitario).

M=Masa total de todos los materiales usados.

- Rendimiento relativo: Calcular el rendimiento relativo de concreto producido por medio de la siguiente ecuación:

$$Ry = \frac{Y}{Yd}$$

Ry= Rendimiento relativo.

Y= Volumen de concreto producido.

Yd=Volumen de concreto diseñado.

- Contenido de cemento: Calcular el contenido de cemento por medio de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Cb}{Y}$$

C= Contenido de cemento.

Cb= Masa del cemento en la amasada.

Y= Volumen de concreto producido.

- Contenido de aire: Calcular el contenido de aire por medio de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{T - D}{T} \times 100.$$

A= Contenido de aire.

T= Densidad teórica del concreto.

D= Densidad (peso unitario) del concreto.

***Método de ensayo estándar para determinar la temperatura del concreto fresco con cemento Portland (ASTM C1064)***

Para este ensayo se trabaja con base en lo especificado en la norma ASTM C1064 Método de ensayo estándar para determinar la temperatura del concreto fresco con cemento Portland. Este ensayo es relevante debido a que permite evaluar el desempeño de un concreto en estado fresco. El procedimiento descrito en este ensayo permite medir la temperatura de mezclas de concreto en estado fresco, lo cual es de gran utilidad para verificar que el concreto cumpla los requerimientos especificados en cuanto a temperatura. Para mezclas con contenido de áridos con tamaño máximo

nominal mayor que 75 mm se puede tardar hasta 20 minutos para que el calor se transfiera del árido al mortero.

**Equipo.** El equipo que se necesita es el siguiente:

- Recipiente: El recipiente debe estar compuesto por un material no absorbente lo suficientemente grande para tener al menos 75 mm de concreto en todas las direcciones alrededor del aparato para medición de temperatura (ASTM, 2017a).
- Aparato de medición de temperatura: Se debe usar un aparato de medición de temperatura que sea capaz de medir la temperatura del concreto fresco con una precisión de  $\pm 0,5$  °C dentro del rango de 0 °C a 50 °C de temperatura. La inmersión del aparato para medir la temperatura debe ser de 75 mm o menos durante la ejecución del ensayo. La verificación del aparato para medir la temperatura directa debe hacerse cada 12 meses (ASTM, 2017a).

**Procedimiento.** El siguiente procedimiento describe cómo realizar el Método de ensayo estándar para determinar la temperatura del concreto fresco con cemento Portland, según lo establecido en la norma ASTM C1064 (2017a):

- Antes de obtener la muestra de concreto fresco, humedecer el recipiente con agua.
- Tomar la muestra de concreto fresco según lo establecido en la norma ASTM C172.
- Colocar el concreto fresco en el recipiente.
- Colocar el aparato medidor de temperatura en la mezcla de concreto fresco, de manera que el sensor de temperatura del aparato esté sumergido al menos 75 mm. Presionar suavemente la superficie del hormigón, de modo que la temperatura ambiental no afecte la muestra.
- Dejar el aparato de medición de temperatura sumergido en la mezcla de concreto fresco por un periodo mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura aparente estabilizarse.
- Completar el proceso de medición de temperatura de la mezcla de concreto fresco dentro de un periodo de 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra.

### ***Método de ensayo estándar de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (ASTM C39)***

Para este ensayo se trabaja con base en lo especificado en la norma ASTM C39 Método estándar de ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto. La importancia de este ensayo es de gran magnitud, en el Capítulo II de esta investigación se explica acerca de la importancia y utilidad del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto según la norma ASTM C39. A continuación, se describe el equipo necesario, el procedimiento y los cálculos especificados en la norma que se mencionó:

**Equipo.** El equipo que se necesita es el siguiente:

- **Máquina de ensayo:** La máquina de ensayo debe estar calibrada según la norma ASTM E4. Esta calibración debe hacerse cada 13 meses o si se tiene duda de su precisión o exactitud. El diseño de la máquina de ensayo debe operarse por corriente eléctrica y aplicar una carga continua en lugar de intermitente. El espacio para colocar especímenes debe ser grande, suficiente para acomodar los cilindros. El porcentaje de error para la determinación de la carga aplicada no debe exceder  $\pm 1 \%$  (ASTM, 2021a).

### ***Figura 9***

Máquina de ensayo para compresión de cilindros de concreto



Fuente: Pinzuar (2019).

**Procedimiento.** El procedimiento se detalla a continuación, de acuerdo con la norma ASTM C39 (2021a):

- Muestra de concreto:
  - Se debe verificar antes del ensayo que ninguno de los bordes del espécimen se aleje de su perpendicular al eje del cilindro por más de  $0.5^\circ$  aproximadamente 1 mm en 100 mm.
  - Se deben medir 2 diámetros en ángulo recto y descartar el espécimen si estos difieren más de 2 %.
  - Se debe pulir, esmerilar o capear según la norma ASTM C617 aquellos especímenes que no tengan sus extremos planos dentro de 0.05 mm.
  - Medir la longitud del espécimen con una precisión de 1 mm en tres lugares espaciados alrededor de la circunferencia.
- Ensayo:
  - El ensayo compresión del cilindro curado debe hacerse inmediatamente después de extraer el cilindro del tanque de almacenamiento de agua o la cámara húmeda.
  - Los especímenes de ensayo deben mantener su humedad en todo momento durante el periodo de extracción del lugar de almacenamiento hasta el lugar de ensayo.
  - Todos los especímenes de ensayo de una edad dada de curado deben fallarse entre las tolerancias de tiempo descritas en la Tabla 20:

**Tabla 20**

*Edades de ensayo con tolerancias permisibles*

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 horas	$\pm 0,5$ horas o 2.1 %
3 días	2 horas o 2.8 %

---

7 días	6 horas o 3.6 %
28 días	20 horas o 3 %
90 días	2 días 2.2 %

---

Fuente: ASTM C39.

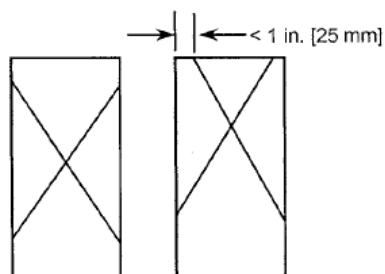
- Limpiar la superficie de los soportes inferior y superior de la prensa.
- Colocar el espécimen en el bloque de soporte.
- Alinear los ejes del espécimen con el centro del bloque de empuje superior.
- Verificar que el indicador de carga se encuentre en cero.
- Mover el bloque de soporte inferior lentamente para poner el espécimen en contacto con los platos de compresión de la prensa.
- Aplicar la carga, de manera continua, con un rango de velocidad de  $0.25 \pm 0.05$  Mpa/s.
- Aplicar la carga hasta que el espécimen falle.
- Registrar la máxima carga soportada por el espécimen.



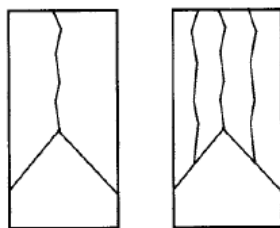
- Anotar el tipo de fractura y la apariencia del concreto. En la Figura 10 se pueden observar los posibles tipos de falla especificados en la norma.

**Figura 10**

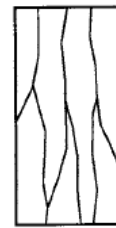
Tipos de falla de especímenes de concreto cilíndricos



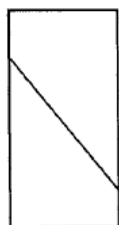
**Type 1**  
Reasonably well-formed cones on both ends, less than 1 in. [25 mm] of cracking through caps



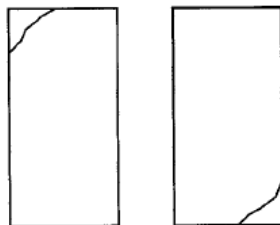
**Type 2**  
Well-formed cone on one end, vertical cracks running through caps, no well-defined cone on other end



**Type 3**  
Columnar vertical cracking through both ends, no well-formed cones



**Type 4**  
Diagonal fracture with no cracking through ends; tap with hammer to distinguish from Type 1



**Type 5**  
Side fractures at top or bottom (occur commonly with unbonded caps)



**Type 6**  
Similar to Type 5 but end of cylinder is pointed

Fuente: ASTM C39.

**Cálculos.** Los cálculos necesarios son los siguientes:

- Calcular el esfuerzo de compresión con una precisión de 0.1 Mpa. Por medio de la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$\sigma$  = Esfuerzo de compresión.

F=Carga máxima soportada.

A=Área superficie superior de cilindro.

- Si la relación  $L/D < 1,75$ , aplicar el factor de corrección según la Tabla 21 (usar interpolación para valores de  $L/D$  que no estén indicados).

**Tabla 21**

*Factores de corrección L/D*

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor:	0.98	0.96	0.93	0.87

Fuente: ASTM C39.

- Registrar los datos. Se puede utilizar el formato de la Tabla 22 para registrar toda la información.

**Tabla 22**

*Formato para registrar resultados de ensayo*

Número de identificación	Diámetro promedio	Área sección transversal	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
-	Cm	Cm <sup>2</sup>	Kn	Mpa	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>

- Cuando se requiera, calcular la densidad del espécimen redondeando a los 10 kg/m<sup>3</sup> más cercanos. Por medio de la siguiente fórmula:

$$Densidad = \frac{W}{V}$$

W= Masa del espécimen (kg).

V=Volumen del espécimen (m<sup>3</sup>).

### ***Método de ensayo estándar de resistencia a la flexión de vigas de concreto (ASTM C78)***

Para este ensayo, se trabaja con base en lo especificado en la norma ASTM C78 Método estándar para ensayo de resistencia a la flexión del concreto (viga simple con carga a los tercios medios).

Según lo mencionado en el Capítulo II, este ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con la norma ASTM C31. De acuerdo con Rodríguez Pairzaman y Sánchez Huatay (2018):

Los resultados son calculados e informados como el Módulo de Ruptura. El esfuerzo determinado variara donde haya diferencias en el tamaño del espécimen, preparación, condiciones de humedad, curado o cuando la viga ha sido moldeada o cortada al tamaño requerido (s. p.).

La importancia de este ensayo es de gran magnitud, en el Capítulo II de esta investigación se explica acerca la relevancia y utilidad del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto según la norma ASTM C78. A continuación, se describe el equipo necesario, el procedimiento y los cálculos especificados en la norma que se mencionó:

**Equipo.** El equipo necesario es el siguiente:

- **Máquina de ensayo:** La máquina de ensayo debe estar en conformidad con los requerimientos de secciones sobre bases de verificación, correcciones e intervalos entre verificaciones de prácticas especificados en la norma ASTM E-4.

**Figura 11**

Máquina de ensayo dual



Fuente: Pinzuar (2019).

- Aparato de carga: El método de carga al tercio medio debe aplicarse en ensayos de flexión de vigas de concreto utilizando bloques de soporte que aseguren que las fuerzas aplicadas sobre la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y aplicada sin excentricidad. En la Figura 12 se puede observar el aparato de carga (ASTM, 2022).

**Figura 12**

Aparato de carga

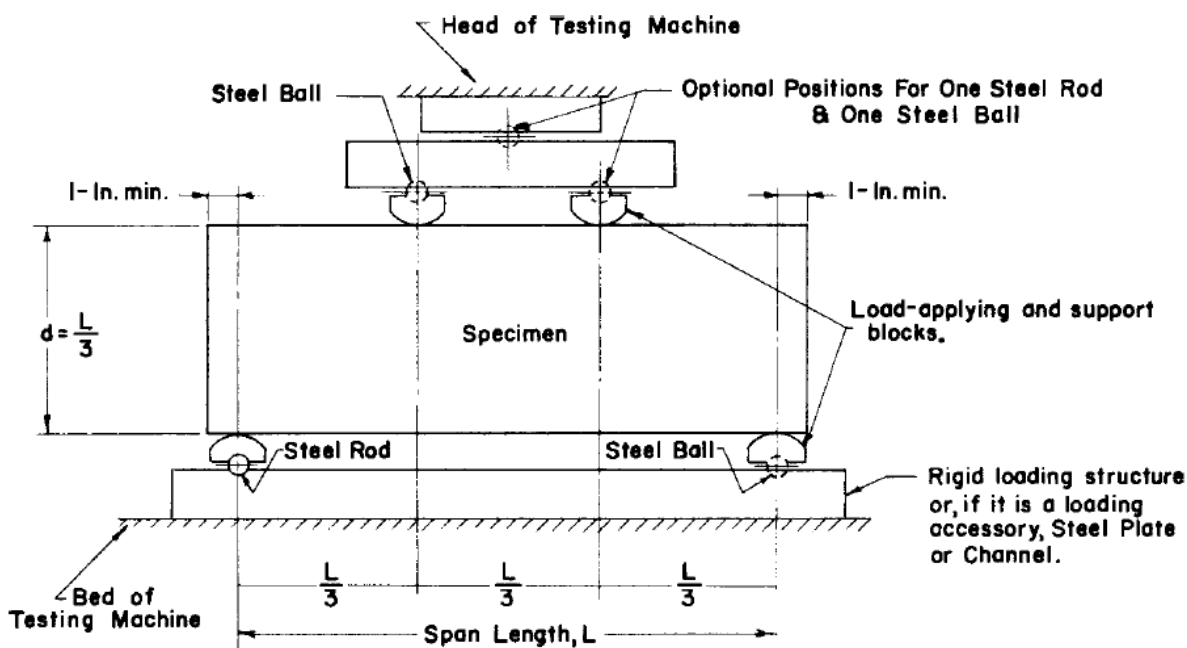


Fuente: Pinzuar (2019).

Todos los aparatos para desarrollar el ensayo de flexión deben ser capaces de mantener las separaciones especificadas de longitud y distancias constantes entre bloques de aplicación de carga y de soporte, con una variación de  $\pm 1.3$  mm (ASTM, 2022). Si se utiliza un aparato de carga similar al de la Figura 12, los bloques de aplicación de carga y soportes no deben ser mayores que 64 mm de altura, medidos desde el centro o el eje de pivote y deben extenderse por la sección transversal o más allá del ancho completo de la sección (ASTM, 2022).

**Figura 13**

Condiciones de posición del espécimen de ensayo



Fuente: ASTM C78.

Los bloques de soporte y la carga aplicada deben mantenerse en una posición vertical y en contacto con el rodo o esfera por medio de tornillos que ejerzan control a través de resortes (ASTM, 2022).

**Procedimiento.** El procedimiento se detalla a continuación de acuerdo con la norma ASTM C-8 (2022).

- Muestra de concreto:
  - El espécimen de ensayo debe estar conforme con todos los requerimientos del Método de ASTM C42, C31 o C192.
  - La longitud de la viga debe ser igual a tres veces su altura.
  - Los lados del espécimen deben formar un ángulo recto con la superficie superior e inferior de esta.
  - Todas las superficies deben estar lisas y libres de escamas, dientes, agujeros o marcas.

- Ensayo:
  - El ensayo debe hacerse inmediatamente después de remover los especímenes de su almacenamiento húmedo.
  - En especímenes moldeados, girar con respecto a su posición de moldeo y centrarlo en los bloques de soporte.
  - En especímenes aserrados, la posición es que la cara de tensión corresponda al fondo o superficie del espécimen como se cortó del material madre.
  - Centrar el sistema de carga en relación con la fuerza aplicada.
  - Colocar los bloques de carga en contacto con la superficie del espécimen en el tercio medio.
  - Aplicar una carga entre 3 % de la carga última estimada.
  - Usando un medidor de espesor, determinar si existe alguna hendidura entre el espécimen y la carga aplicada o los apoyos.
  - Pulir, cabecear o usar empaques de neopreno en la superficie en contacto con el espécimen para eliminar hendiduras en exceso a 0.1 mm de ancho.
  - Hendiduras mayores que 0.38 mm deben eliminarse únicamente por cabeceado o pulido según la norma ASTM C617.
  - Una vez revisado el espécimen aplicar la carga, de manera continua, sin interrupciones o golpes hasta que alcance el punto de rotura. A una velocidad entre 0.86 Mpa/min y 1.21 Mpa/min. La velocidad de carga se calcula por medio de la siguiente ecuación:

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

r=Velocidad de carga (Kn/min).

S=Rango de incremento de esfuerzo en fibra inferior (Mpa/min).

b=Ancho promedio del espécimen (mm).

d=Profundidad promedio del espécimen (mm).

L=Longitud del espécimen (mm).

- Una vez alcanzada la ruptura tomar una medida a lo largo de una de las caras fracturadas.
- Para cada dimensión de la viga tomar una medida de cada borde y una del centro de la sección transversal.
- Usar tres medidas para cada dirección para determinar el ancho promedio y la profundidad promedio de la viga.
- Tomar todas las medidas al milímetro más cercano.
- Si la fractura ocurre en una sección capeada incluir el espesor de la capa en la medida.

**Cálculos.** Si la fractura de la viga inicia en la cara en tensión, dentro del medio tercio del largo de la viga, calcular el módulo de ruptura por medio de la siguiente ecuación:

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

R=Velocidad de carga (Kn/min).

P=Carga máxima aplicada indicada por máquina de ensayo (lbf,N).

L=Longitud del espécimen (mm).

b=Ancho promedio del espécimen (mm).

d=Profundidad promedio del espécimen (mm).

- Si la fractura de la viga ocurre en la cara en tensión, fuera del medio tercio del largo de la viga, pero no por más del 5 % del largo, calcular el módulo de ruptura por medio de la siguiente ecuación:

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

a=Distancia prom. entre línea de fractura y soporte más cercano (mm).



## Sustentación de la confiabilidad y validez de los instrumentos de la investigación

Los resultados por obtener de los equipos de laboratorio que se utilizan para ejecutar los 20 ensayos de resistencia a compresión de cilindros y los 8 ensayos de resistencia a la flexión de viguetas necesarios para cumplir con lo que se planteó en este proyecto son confiables y válidos. Esto se logra mediante una revisión de la última calibración que tuvo la máquina por utilizar y respetando toda la normativa que se establece en las normas ASTM para cada ensayo realizado, por lo tanto, si se siguen estos puntos de manera correcta es muy probable que los resultados sean confiables. En la Figura 14 se puede observar una foto del sello colocado en la máquina por el laboratorio LanammeUCR con la última fecha de calibración siendo el 07 de junio de 2022.

**Figura 14**

Sellos de calibración de máquinas



Fuente: Captura propia (2022).

## Procedimiento metodológico para la elaboración del proyecto propuesto

### **Fase I: Anteproyecto**

La primera fase para la elaboración del proyecto propuesto tiene como objetivo conseguir toda la información y antecedentes necesarios sobre el uso de las fibras naturales y el concreto con adiciones de fibras. Esto se lleva a cabo mediante el uso de fuentes de información como artículos,

tesis, revistas, libros, entre otras, las cuales permiten conocer más a fondo este tipo de materiales. Al tener como base toda la información que se recopiló sobre el uso de fibras naturales como adiciones al concreto se decide utilizar la fibra natural de bagazo de caña de azúcar.

### ***Fase II: Diseño de mezcla***

En la segunda fase para la elaboración del proyecto propuesto se debe diseñar la mezcla para 20 cilindros de concreto con resistencia a la compresión de 280 kg/cm<sup>2</sup>, 15 de estos tienen adiciones de fibra natural de bagazo de caña en dosificaciones del 0.1 % al 1 %, los 5 restantes son con un diseño de mezcla sin adición de fibra natural de caña para utilizar como espécimen de comparación. Además, se realiza un diseño de mezcla para 8 viguetas de concreto, 6 de las 8 viguetas tienen adiciones del 0.1 % al 1 %, de fibra natural de bagazo de caña de azúcar. Las 2 viguetas restantes tienen un diseño de mezcla sin adiciones de fibra natural para utilizar como espécimen de comparación.

Las fibras naturales tienen algunos agentes químicos que pueden afectar la pasta cementante, como se había explicado esto puede hacer que la mezcla presente alcalinidad, por lo que es necesario darle algún tratamiento para mejorar esta característica de la fibra natural. Por lo tanto, se opta por impregnar las fibras con aproximadamente 48 horas de anterioridad en un baño de 10 g de cal hidratada por litro de agua. Después de esto las fibras se escurren y se dejan secar.

### ***Fase III: Ejecución de ensayos***

En la tercera fase por ejecutar para la elaboración del proyecto propuesto se harán ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto según lo especificado en la norma ASTM C39 y resistencia a la flexión de vigas simples con apoyos a los tercios medios de acuerdo con lo especificado en la norma ASTM C78. Antes de estos ensayos se deben elaborar y curar los especímenes de concreto según lo requerido en la norma ASTM C31.

### ***Fase IV: Análisis y comparación de resultados***

La cuarta fase para la elaboración del proyecto propuesto consiste en realizar el análisis de los resultados una vez terminados los ensayos de laboratorio y llevar a cabo los cálculos. Una vez que se obtienen todos los resultados se procede a comparar estos resultados con la información obtenida del concreto patrón y de las investigaciones previas realizadas.



<b>Análisis de datos y conclusiones</b>				
<b>Entrega de borradores de TFG a tribunal</b>				
<b>Defensa pública TFG</b>				

**Tabla 24***Cronograma estructurado de ensayos*

Tarea	Comienzo	Fin	Día
Cronograma total de ensayos	Sábado 28 de mayo	Sábado 18 de junio	
Práctica de ensayos de asentamiento, temperatura, densidad, volumen, contenido de aire y moldeo de especímenes.	Sábado 28 de mayo	Sábado 28 de mayo	
Diseño de mezcla concreto patrón.	Sábado 11 de junio	Sábado 11 de junio	
Elaboración de mezcla, ensayos: asentamiento, temperatura, densidad, volumen, contenido de aire y moldeo de especímenes concreto patrón.			Lunes 13 de junio
Retiro de moldes de especímenes.			Martes 14 de junio
Diseño de mezcla concreto con 0.1 %, 0.5 % y 1 % de FNBCA	Martes 14 de junio	Martes 14 de junio	
Elaboración de mezcla, ensayos: asentamiento, temperatura, densidad, volumen, contenido de aire y moldeo de especímenes concreto con 0.1 % de FNBCA			Miércoles 15 de junio
Retiro de moldes de especímenes.			Jueves 16 de junio

Elaboración de mezcla, ensayos: asentamiento, temperatura, densidad, volumen, contenido de aire y moldeo de especímenes concreto con 0.5 % de FNBCA	Jueves 16 de junio
Retiro de moldes de especímenes.	Viernes 17 de junio
Elaboración de mezcla, ensayos: asentamiento, temperatura, densidad, volumen, contenido de aire y moldeo de especímenes concreto con 1 % de FNBCA	Viernes 17 de junio
Retiro de moldes de especímenes.	Sábado 18 de junio

**Tabla 25***Cronograma de fallas*

Tarea	Comienzo	Fin	Día
Cronograma total de ensayos	Lunes 20 de junio	Viernes 15 de julio	
Prueba de compresión (7 días)	Lunes 20 de junio	Viernes 24 de junio	
Prueba de compresión mezcla patrón			Lunes 20 de junio
Prueba de compresión mezcla con 0.1 % FNBCA			Miércoles 22 de junio
Prueba de compresión mezcla con 0.5 % FNBCA			Jueves 23 de junio
Prueba de compresión mezcla con 1 % FNBCA			Viernes 24 de junio
Prueba de compresión (14 días)	Lunes 27 de junio	Viernes 01 de julio	

---

Prueba de compresión mezcla patrón			Lunes 27 de junio
Prueba de compresión mezcla con 0.1 % FNBCA			Miércoles 29 de junio
Prueba de compresión mezcla con 0.5 % FNBCA			Jueves 30 de junio
Prueba de compresión mezcla con 1 % FNBCA			Viernes 01 de julio
Prueba de compresión (28 días)	Lunes 11 de julio	Viernes 15 de julio	
Prueba de compresión mezcla patrón			Lunes 11 de julio
Prueba de compresión mezcla con 0.1 % FNBCA			Miércoles 13 de julio
Prueba de compresión mezcla con 0.5 % FNBCA			Jueves 14 de julio
Prueba de compresión mezcla con 1 % FNBCA			Viernes 15 de julio
Prueba de flexión (28 días)	Lunes 11 de julio	Viernes 15 de julio	
Prueba de flexión mezcla patrón			Lunes 11 de julio
Prueba de flexión mezcla con 0.1 % FNBCA			Miércoles 13 de julio
Prueba de flexión mezcla con 0.5 % FNBCA			Jueves 14 de julio
Prueba de flexión mezcla con 1 % FNBCA			Viernes 15 de julio

---

## Capítulo IV. Análisis

### Tratamiento de fibra natural con hidróxido de calcio

Según se menciona en la fundamentación teórica de este estudio, es importante preparar las fibras naturales de bagazo antes de realizar las mezclas. Esto se debe a que por ser de origen natural las fibras contienen agentes contaminantes que pueden afectar la pasta de cemento y producir alcalinidad en el concreto. Por lo tanto, se procedió a generar una solución de 10 g de hidróxido de calcio por cada litro de agua y se sumergieron las fibras durante 48 horas. Posteriormente, se retiraron las fibras de la solución y se secaron. En las siguientes imágenes se puede observar el saco de hidróxido de calcio que se utiliza y unas capturas del proceso:

#### *Figura 15*

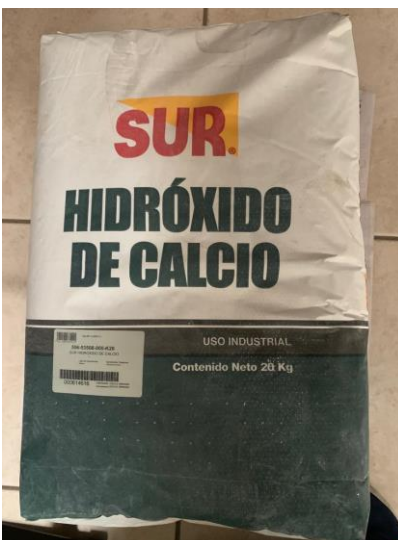
Preparación de solución



Fuente: Captura propia (2022).

**Figura 16**

Saco 25 kg hidróxido de calcio



Fuente: Captura propia (2022).

**Figura 17**

Adición de fibras a solución



Fuente: Captura propia (2022).



**Figura 18**

Solución



Fuente: Captura propia (2022).

**Propiedades de los componentes**

Para iniciar con los diseños de mezcla es necesario obtener toda la información de las pruebas preliminares de los componentes por utilizar. A continuación, se expone la información proporcionada por la empresa Concretera Nacional S. A. de la caracterización de los agregados, cemento y aditivos por emplear para elaborar las mezclas, los informes de laboratorio oficiales se pueden encontrar en el anexo. Es importante mencionar que esta compañía trabaja con estos materiales de manera diaria y los informes de laboratorio provienen de un laboratorio certificado reconocido, por lo tanto, se puede afirmar que los siguientes datos son de gran confiabilidad.

***Piedra cuartilla (25 mm)***

Uno de los agregados por utilizar para la elaboración de las mezclas es la piedra cuartilla proveniente de Guápiles, Pococí, Limón. Se adjunta en el anexo el informe del laboratorio Cacisa emitido el 23 de febrero de 2022. El muestreo para obtener los resultados lo ejecuta el laboratorio mencionado por medio de la metodología establecida en la norma ASTM D75M Método estándar para muestreo de agregados. En la Tabla 26 se puede observar el análisis granulométrico hecho por el laboratorio Cacisa al seguir la metodología establecida en la norma ASTM C136.

**Tabla 26***Análisis granulométrico de piedra cuartilla (25 mm)*

Tamiz	Porcentaje pasando (%)			
	Piedra 25 mm	Inferior	Superior	Incertidumbre
Tamiz 25, 4 mm (1")	100	-	-	0,0058
Tamiz 19 mm (¾")	64	-	-	0,0067
Tamiz 12,5 mm (½")	3	-	-	0,0075
Tamiz 9,5 mm (¾")	1	-	-	0,0083
Tamiz 4,75 mm (n.º 4)	1	-	-	0,0090
Tamiz 2,36 mm (n.º 8)	1	-	-	0,0080
Tamiz 1,18 mm (n.º 16)	1	-	-	0,0080
Tamiz 0,6 mm (n.º 30)	1	-	-	0,0090
Tamiz 0,3 mm (n.º 50)	1	-	-	0,0100
Tamiz 0,15 mm (n.º 100)	1	-	-	0,0110
Tamiz 0,075 mm (n.º 200)	0,4	-	-	0,0119

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

Seguidamente, se brindan los datos de gravedad específica y absorción del agregado grueso. En la Tabla 27 se expone la información que se brinda en el informe del laboratorio Cacisa, la cual se consigue por medio de la metodología establecida en la norma AASHTO T85 Método estándar para ensayo de gravedad específica y absorción de agregados.

**Tabla 27***Gravedad específica y absorción de agregado grueso (piedra 25 mm)*

Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Gravedad específica bruta (g/cm <sup>3</sup> )	2,636	0,00041
Gravedad de superficie saturada seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,684	0,00033
Absorción (%)	1,8	0,0059

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

A continuación, se presentan los datos de pesos unitarios de agregado grueso. Estos datos se exponen en la Tabla 28 y provienen de la información que se brinda en el informe de Cacisa, el cual se ejecuta al seguir la metodología establecida en la norma ASTM C29 Método estándar para ensayo de densidad aparente (“peso unitario”) e índice de huecos en agregados.

**Tabla 28***Pesos unitarios agregado grueso (piedra 25 mm)*

Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Peso unitario seco sin compactar (kg/m <sup>3</sup> )	1460	8
Peso unitario seco compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1580	8

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

***Piedra quintilla (16 mm)***

Otro de los agregados gruesos por utilizar para la elaboración de las mezclas es la piedra quintilla proveniente de Guápiles, Pococí, Limón. Se adjunta en el anexo el informe del laboratorio Cacisa emitido el 23 de febrero de 2022. El muestreo para obtener los resultados lo ejecuta el laboratorio mencionado por medio de la metodología establecida en la norma ASTM D75M Método estándar para muestreo de agregados. En la Tabla 29 se puede observar el análisis

granulométrico hecho por el laboratorio Cacisa al seguir la metodología establecida en la norma ASTM C136.

**Tabla 29**

*Análisis granulométrico de piedra quintilla (16 mm)*

Tamiz	Porcentaje pasando (%)			
	Piedra 16 mm	Inferior	Superior	Incertidumbre
Tamiz 19 mm (¾")	100	-	-	0,0067
Tamiz 12,5 mm (½")	98	-	-	0,0075
Tamiz 9,5 mm (¾")	79	-	-	0,0083
Tamiz 4,75 mm (n.º 4)	7	-	-	0,0090
Tamiz 2,36 mm (n.º 8)	1	-	-	0,0080
Tamiz 1,18 mm (n.º 16)	1	-	-	0,0080
Tamiz 0,6 mm (n.º 30)	1	-	-	0,0090
Tamiz 0,3 mm (n.º 50)	1	-	-	0,0100
Tamiz 0,15 mm (n.º 100)	1	-	-	0,0110
Tamiz 0,075 mm (n.º 200)	0,7	-	-	0,0119

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

Seguidamente, se brindan los datos de gravedad específica y absorción del agregado grueso. En la Tabla 30 se expone la información que se brinda en el informe del laboratorio Cacisa, la cual se consigue por medio de la metodología establecida en la norma AASHTO T85 Método estándar para ensayo de gravedad específica y absorción de agregados.

**Tabla 30***Gravedad específica y absorción de agregado grueso (piedra 16 mm)*

Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Gravedad específica bruta (g/cm <sup>3</sup> )	2,595	0,00041
Gravedad de superficie saturada seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,658	0,00033
Absorción (%)	2,4	0,0059

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

A continuación, se presentan los datos de pesos unitarios de agregado grueso. Estos datos se exponen en la Tabla 31 y provienen de la información se brinda en el informe de Cacisa, el cual se ejecuta al seguir la metodología establecida en la norma ASTM C29 Método estándar para ensayo de densidad aparente (“peso unitario”) e índice de huecos en agregados.

**Tabla 31***Pesos unitarios agregado grueso (piedra 16 mm)*

Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Peso unitario seco sin compactar (kg/m <sup>3</sup> )	1450	8
Peso unitario seco compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1540	8

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

***Arena de río***

El agregado fino que se utiliza para la elaboración de las mezclas es la arena de río proveniente de Guápiles, Pococí, Limón. Se adjunta en el anexo el informe del laboratorio Cacisa emitido el 23 de febrero de 2022. El muestreo para obtener los resultados lo ejecuta el laboratorio mencionado por medio de la metodología establecida en la norma ASTM D75M Método estándar para muestreo de agregados. En la Tabla 32 se puede observar el análisis granulométrico hecho por el laboratorio Cacisa al seguir la metodología establecida en la norma ASTM C136.

**Tabla 32***Análisis granulométrico de agregado fino (arena de río)*

Tamiz	Porcentaje pasando (%)			
	Arena natural	Inferior	Superior	Incertidumbre
Tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ "	100	-	-	0,0083
Tamiz 4,75 mm (n.º 4)	96	-	-	0,0090
Tamiz 2,36 mm (n.º 8)	74	-	-	0,0080
Tamiz 1,18 mm (n.º 16)	51	-	-	0,0080
Tamiz 0,6 mm (n.º 30)	32	-	-	0,0090
Tamiz 0,3 mm (n.º 50)	16	-	-	0,0100
Tamiz 0,15 mm (n.º 100)	7	-	-	0,0110
Tamiz 0,075 mm (n.º 200)	3,4	-	-	0,0119

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

Seguidamente, se brindan los datos de gravedad específica y absorción del agregado fino. En la Tabla 33 se expone la información que se brinda en el informe del laboratorio Cacisa, la cual se consigue por medio de la metodología establecida en la norma AASHTO T85 Método estándar para ensayo de gravedad específica y absorción de agregados.

**Tabla 33***Gravedad específica y absorción de agregado fino (arena de río)*

Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Gravedad específica bruta (g/cm <sup>3</sup> )	2,602	0,0027
Gravedad de superficie saturada seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,660	0,0025
Absorción (%)	2,2	0,0264

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

A continuación, se presentan los datos de pesos unitarios de agregado fino. Estos datos se exponen en la Tabla 34 y provienen de la información que se brinda en el informe de Cacisa, el cual se ejecuta al seguir la metodología establecida en la norma ASTM C29 Método estándar para ensayo de densidad aparente (“peso unitario”) e índice de huecos en agregados.

**Tabla 34***Pesos unitarios agregado fino (arena de río)*

Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Peso unitario seco sin compactar (kg/m <sup>3</sup> )	1540	8
Peso unitario seco compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1680	8

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

***Cemento***

El cemento Portland que se utiliza para elaborar las mezclas también fue lo brindó la Concretera Nacional S. A., se presenta la ficha técnica y certificado de calidad en el anexo. En la Tabla 35 se expone la información necesaria para el diseño de mezcla.

**Tabla 35***Propiedades del cemento Portland*

Marca	Holcim
Modelo	Industrial
Tipo	MP/A-28
Tiempo fragua inicial (min)	45
Tiempo fragua final (min)	420
Gbs	2,97

Fuente: Holcim (2022).

***Fibra natural de bagazo de caña de azúcar***

A continuación, se expone la información de la fibra natural de bagazo de caña de azúcar que se utiliza para elaborar las mezclas. El contenido de humedad después del tratamiento con hidróxido de calcio y el secado es aproximadamente un 50 % del peso total de la fibra.

**Tabla 36***Propiedades de la fibra natural*

Tipo de fibra	Bagazo de caña
Gravedad específica (g/cm <sup>3</sup> )	1,25
Absorción (%)	78,5

***Aditivo***

Por recomendación de Concretera Nacional S. A. se decide utilizar un aditivo reductor de agua para darle más beneficios a la mezcla. Se presenta la ficha técnica en el anexo y en la Tabla 37 se encuentra la información necesaria para el diseño de mezcla.



**Tabla 37***Aditivo reductor de agua Polyheed 955*

Marca	Master Builders
Modelo	Polyheed 955
Dosificación recomendada:	3 a 10 cc/kg de cemento

Fuente: Master Builders (2022).

**Diseño de mezcla**

Una vez conocidas las características de los materiales que se utilizan se procede con los diseños de mezcla. Se utilizaron las siguientes tablas proporcionadas en la metodología ACI 211.1 Práctica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal.

**Tabla 38***Características de los componentes*

Características	Arena	Piedra 16 mm	Piedra 25 mm	Cemento	Fibra bagazo
Módulo de finura	2,94	-	-	-	-
Material pasando el tamiz #200 (%)	3,4	-	-	-	-
TMN (mm)	0,0047	12,5	19	-	-
Pu suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1540	1450	1460	-	-
PU compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1680	1540	1580	-	-
Gbs (g/cm <sup>3</sup> )	2,60	2,60	2,64	3	1,25
Gbsss (g/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,66	2,68	-	-

Gba	-	-	-	-	-
Absorción (%)	2,2	2,4	1,8	-	78,5

Fuente: ACI 211.1.

**Tabla 39**

*Coefficiente de variación*

Control de calidad	Tipo de dosificación	Coefficiente de variación
Excelente	En planta	5
Bueno	Por peso	10
Regular	Por volumen	15
Malo	Volumen sin control	20
Deficiente	Sin control	25

Fuente: ACI 211.1.

**Tabla 40**

*Factor de seguridad según el tipo de obra*

Tipo de obra	Coefficiente de variación	5	10	15	20	25
	t'student	Factor de seguridad				
Normal	1:5	1,05	1,09	1,14	1,20	1,27
Importante	1:10	1,07	1,14	1,23	1,34	1,47

Fuente: ACI 211.1.

**Tabla 41***Asentamiento según el tipo de obra*

Tipo de construcción	Asentamiento (cm)	
	Max.	Min.
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas, capones y muros de subestructura no reforzados	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas de edificios	10	2
Losas y pavimentos	8	2
Concreto en masa	5	2

Fuente: ACI 211.1.

**Tabla 42***Cantidad de agua en kilogramos según asentamiento y tamaño máximo nominal del agregado*

Agua en kg por m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos de agregados indicados							
Asentamiento (cm)	9,5 mm	12,5 mm	19,5 mm	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm
Concreto sin aire incluido							
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
Contenido de aire (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3

Concreto con aire incluido							
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	165	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
Contenido de aire (%)	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5

Fuente: ACI 211.1.

### Tabla 43

#### Relación agua-cemento

Resistencia a la compresión a 28 días kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua/cemento, en peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0,38	-
400	0,43	-
350	0,48	0,40
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,71

Fuente: ACI 211.1.

La resistencia a la compresión a 28 días multiplicada por el factor de seguridad según el tipo de obra da un valor de 305,20 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, se debe interpolar para obtener el valor de relación agua-cemento de la Tabla 42.

**Figura 19**

Interpolación para obtener relación agua/cemento

Nuestra resistencia 305.2	Resistencia Superior 350	Resistencia inferior 300	Ra/c Superior 0.48
<b>A</b> 45	<b>B</b> 50	<b>C</b> -0.07	Ra/c Inferior 0.55
	Ra/c= Ra/c=	Ra/c Superior - (C/B) x A <b>0.54</b>	

**Tabla 44***Cantidad de agregado grueso*

Volumen de agregado grueso, seco y compactado por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena				
Agregado (mm)	2,40	2,60	2,80	3,00
Tamaño máximo nominal				
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19,5	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: ACI 211.1.

**Tabla 45***Cantidades calculadas de volumen absoluto para 1 m<sup>3</sup> de mezcla*

Componente	Cantidad	Unidad
Volumen de agua	0,195	M <sup>3</sup>
Volumen de aire	0,015	M <sup>3</sup>
Volumen de cemento	0,119	M <sup>3</sup>
Volumen de piedra 16 mm	0,154	M <sup>3</sup>
Volumen de piedra 25 mm	0,234	M <sup>3</sup>
Volumen total	0,717	M <sup>3</sup>
Volumen de arena	0,283	M <sup>3</sup>
Volumen de fibra 0.1 %	0,001	M <sup>3</sup>

Fuente: ACI 211.1.

**Tabla 46***Cantidades calculadas para 1 m<sup>3</sup> de concreto con agregados secos*

Componente	Cantidad	Unidad
Agua	195,00	L
Cemento	359,30	Kg
Piedra 16 mm	400,40	Kg
Piedra 25 mm	616,20	Kg
Arena	735,25	Kg

Fibra natural de bagazo 0.1 %	1,25	Kg
Aditivo 5 cc/kg de cemento	1,80	L

Fuente: ACI 211.1.

#### **Tabla 47**

*Dosificaciones que se recomiendan por Concretera Nacional S. A. para 1 m<sup>3</sup> de mezcla de concreto f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> patrón con agregados secos*

Componente	Cantidad	Unidad
Agua	240	L
Cemento	326	Kg
Piedra 16 mm	344	Kg
Piedra 25 mm	606	Kg
Arena	870	Kg
Aditivo 5 cc/kg de cemento	1,63	L

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

Para efectos de este trabajo investigativo no entra en el alcance diseñar la mezcla del concreto f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> patrón, por lo que se opta por utilizar la dosificación recomendada por la empresa Concretera Nacional debido a su gran experiencia con diseños de mezcla y su amplio conocimiento de los componentes por emplear. Una vez que se plantearon las dosificaciones se procede a obtener el contenido de humedad de los agregados por usar para hacer la corrección y obtener las cantidades para el volumen de mezcla requerido.

El método estándar para contenido de humedad total del agregado por secado según la norma ASTM C566 consiste en obtener las medidas del peso de la bandeja y el peso de la muestra más la bandeja para colocar posteriormente las muestras en el horno que tiene temperatura de 110 °C ± 5 °C por un periodo de 24 horas. Al cumplir las horas que se plantearon en la norma

retirar las bandejas del horno, esperar a que se enfríen y obtener los pesos secos de la muestra más la bandeja para calcular el contenido de humedad.

**Tabla 48**

*Contenido de humedad agregado grueso*

Muestra	Wb (g)	Wb+m (g)	Wm (g)	Wb+ms (g)	Wms (g)	Ww (g)	% Hume- dad
(Piedra 16 mm)	280	1244	964	1215,5	935,5	28,5	3
(Piedra 25 mm)	278,5	1556	1277,5	1526,5	1248	29,5	2

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

**Tabla 49**

*Contenido de humedad agregado fino*

Muestra	Wb (g)	Wb+m (g)	Wm (g)	Wb+ms (g)	Wms (g)	Ww (g)	% Humedad
Arena de río	232,5	547,5	315	515	282,5	32,5	12

Fuente: Concretera Nacional S. A. (2022).

Como se puede observar en la Tabla 47 y la Tabla 48 la piedra cuartilla (25 mm) y quintilla (16 mm) que se utiliza no contiene un alto porcentaje de humedad, mientras que la arena de río contiene un porcentaje de humedad de mayor magnitud. Por lo tanto, su aporte de agua a la mezcla es mayor y esto debe tomarse en cuenta en el momento de hacer la corrección de cantidad de agua por humedades.

A partir de lo que se planteó se ejecuta la primera batida de mezcla de concreto, que consiste en la mezcla patrón. Esta mezcla se elaboró en una tanda debido a que la capacidad de la batidora fue suficiente para realizar el volumen necesario. Los pasos fueron los siguientes:

- En la balanza se pesaron los baldes con las cantidades exactas de cada material y se llenaron las probetas con las cantidades exactas de agua y aditivo.



- Verificar que se tengan listos y a mano todos los equipos necesarios y verificar que todos los moldes estén limpios y con desmoldante en su superficie interna.
- Se coloca en la batidora una cantidad suficiente de cada material para *ensuciar* la superficie interna del tambor. Esto se lleva a cabo para evitar que una superficie limpia y seca altere la mezcla al extraerle materiales.
- Se desecha la mezcla para *ensuciar* el tambor y se procede a colocar el agregado grueso con un poco de agua. El agregado grueso no se coloca en su totalidad, sino en diferentes proporciones para asegurar un buen mezclado.
- Seguidamente, se colocó el agregado fino con agua, de la misma manera que el agregado grueso, por proporciones.
- Finalmente, se procedió a colocar el cemento con el agua y aditivo y se dejó mezclar por 3 minutos. Una vez pasados los 3 minutos se detuvo la batidora y se dejó reposar por otros 2 minutos.
- Una vez pasado el tiempo de reposo se prendió la batidora para mezclar por 2 minutos más y se detuvo después de los 2 minutos para iniciar con los ensayos y el moldeo de los especímenes.
- El primer ensayo por realizarle a la mezcla en estado fresco fue la prueba de asentamiento. En los 2 minutos permitidos por la norma se llenó el cono de Abrams al seguir la metodología normada y se calculó la diferencia entre la altura del cono y el centro de la superficie desplazada. Con esto se pudo comprobar que se llegó al asentamiento deseado.
- Posteriormente, se tomó la temperatura del concreto y se determinó el peso unitario del concreto fresco, llenando el recipiente con la cantidad de capas y golpes estipulados en la norma, tanto en el concreto con la varilla apisonadora como en la pared de alrededor del recipiente con el mazo de hule para sacar el aire atrapado. Finalmente, se limpió el recipiente y se pesó en la balanza.
- Una vez realizados los ensayos de desempeño en estado fresco se procedió a moldear los cilindros y las vigas colocándoles 3 capas con los golpes, tanto de varilla como de mazo

estipulados en la norma por capa. Finalmente, se enrasó la superficie de cada molde y se dejaron secar durante 24 horas.

- Al pasar las 24 horas se desencofraron los cilindros y las vigas y se colocaron en la cámara de curado. Esto asegura que la humedad relativa del ambiente no sea menor que un 95 %.

El procedimiento que se planteó se replicó para todos los diseños de mezcla. La única diferencia es que se agregó la fibra natural de bagazo de caña de azúcar en diferentes porcentajes después de colocar los agregados. El contenido de humedad no tuvo ninguna variabilidad debido a que en la planta de Concretera Nacional S. A. los agregados se almacenan en un ambiente donde la humedad se controla y se mantiene constante. Para la primera mezcla de concreto patrón se realizaron en total 5 cilindros y 2 vigas. En las siguientes tablas se pueden observar los resultados de la primera mezcla:

**Tabla 50**

*Cantidades materiales primera mezcla concreto patrón*

Agua (L)	Cemento (kg)	Piedra 16 mm (kg)	Piedra 25 mm (kg)	Arena de río (kg)	Aditivo (L)	Peso total (kg)
6,92	19,56	21,26	37,21	58,23	0,098	143,28

Fuente: Medición propia.

**Tabla 51**

*Datos de peso unitario del concreto fresco patrón*

Peso muestra + recipiente (kg)	Peso del recipiente (kg)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso unitario concreto fresco (kg/m <sup>3</sup> )
20,18	3,61	6973,50	2376,14

Fuente: Medición propia.

**Tabla 52***Asentamiento concreto fresco patrón*

Asentamiento (cm)
10,50

Fuente: Medición propia.

**Tabla 53***Temperatura concreto fresco patrón*

Temperatura (°C)
26

Fuente: Medición propia.

**Tabla 54***Rendimiento relativo concreto patrón*

Peso unitario concreto fresco (kg/cm <sup>3</sup> )	Volumen de la mezcla (m <sup>3</sup> )	Volumen teórico (m <sup>3</sup> )	Rendimiento (%)
2376,14	0,0603	0,0600	100,5

Fuente: Medición propia.

**Tabla 55***Contenido de aire concreto fresco patrón*

Peso unitario concreto fresco (kg/cm <sup>3</sup> )	Densidad teórica (kg/cm <sup>3</sup> )	Contenido de aire (%)
2376,14	2388	0,50

Fuente: Medición propia.

Para la segunda mezcla de concreto también se lleva a cabo el diseño para un total de 5 cilindros y 2 vigas. Para esta mezcla se usan exactamente las mismas cantidades del diseño de concreto patrón debido a que el volumen es el mismo, pero se procede a añadir la fibra natural de bagazo de caña de azúcar, la cual se añadió en un 0.1 % del volumen total de la mezcla. En las siguientes tablas se pueden observar los resultados de la segunda mezcla, correspondiente al concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> con 0.1 % de fibra natural de bagazo:

**Tabla 56**

*Cantidades materiales segunda mezcla concreto con 0.1 % de FNBCA*

Agua (L)	Cemento (kg)	Piedra 16 mm (kg)	Piedra 25 mm (kg)	Arena de río (kg)	FNBCA (kg)	Aditivo (L)	Peso total (kg)
6,92	19,56	21,26	37,21	58,23	0,075	0,098	143,35

Fuente: Medición propia.

**Tabla 57**

*Datos de peso unitario del concreto fresco con 0.1 % de FNBCA*

Peso muestra + recipiente (kg)	Peso del recipiente (kg)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso unitario concreto fresco (kg/m <sup>3</sup> )
20,10	3,61	6973,50	2364,68

Fuente: Medición propia.

**Tabla 58**

*Asentamiento concreto fresco con 0.1 % de FNBCA*

Asentamiento (cm)
10,50

Fuente: Medición propia.

**Tabla 59***Temperatura concreto fresco con 0.1 % de FNBCA*

Temperatura (°C)
26

Fuente: Medición propia.

**Tabla 60***Rendimiento relativo con 0.1 % de FNBCA*

Peso unitario concreto fresco (kg/cm <sup>3</sup> )	Volumen de la mezcla (m <sup>3</sup> )	Volumen teórico (m <sup>3</sup> )	Rendimiento (%)
2364,68	0,0606	0,0600	101

Fuente: Medición propia.

**Tabla 61***Contenido de aire concreto fresco con 0.1 % de FNBCA*

Peso unitario concreto fresco (kg/cm <sup>3</sup> )	Densidad teórica (kg/cm <sup>3</sup> )	Contenido de aire (%)
2364,68	2389.17	1

Fuente: Medición propia.

En la tercera mezcla de concreto también se lleva a cabo el diseño para un total de 5 cilindros y 2 vigas. Para esta mezcla se usan exactamente las mismas cantidades del diseño de concreto patrón debido a que el volumen es el mismo, pero se procede a añadir la fibra natural de bagazo de caña de azúcar, la cual se añadió en un 0.5 % del volumen total de la mezcla. En las siguientes tablas se pueden observar los resultados de la tercera mezcla, correspondiente al concreto f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> con 0.5 % de fibra natural de bagazo:

**Tabla 62***Cantidades materiales tercera mezcla concreto con 0.5 % de FNBCA*

Agua (L)	Cemento (kg)	Piedra 16 mm (kg)	Piedra 25 mm (kg)	Arena de río (kg)	FNBCA (kg)	Aditivo (L)	Peso total (kg)
6,92	19,56	21,26	37,21	58,23	0,375	0,098	143,65

Fuente: Medición propia.

**Tabla 63***Datos de peso unitario del concreto fresco con 0.5 % de FNBCA*

Peso muestra + recipiente (kg)	Peso del recipiente (kg)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso unitario concreto fresco (kg/m <sup>3</sup> )
19,97	3,61	6973,50	2346,02

Fuente: Medición propia.

**Tabla 64***Asentamiento concreto fresco con 0.5 % de FNBCA*

Agua (L)	Cemento (kg)	Piedra 16 mm (kg)	Piedra 25 mm (kg)	Arena de río (kg)	FNBCA (kg)	Aditivo (L)	Peso total (kg)
6,92	19,56	21,26	37,21	58,23	0,750	0,098	144,03
Asentamiento (cm)							
7,50							

Fuente: Medición propia.

**Tabla 65***Temperatura concreto fresco con 0.5 % de FNBCA*

Temperatura (°C)
26

Fuente: Medición propia.

**Tabla 66***Rendimiento relativo con 0.5 % de FNBCA*

Peso unitario concreto fresco (kg/cm <sup>3</sup> )	Volumen de la mezcla (m <sup>3</sup> )	Volumen teórico (m <sup>3</sup> )	Rendimiento (%)
2346,02	0,0612	0,0600	102

Fuente: Medición propia.

**Tabla 67***Contenido de aire concreto fresco con 0.5 % de FNBCA*

Peso unitario concreto fresco (kg/cm <sup>3</sup> )	Densidad teórica (kg/cm <sup>3</sup> )	Contenido de aire (%)
2346,02	2394.17	2

Fuente: Medición propia.

Por último, para la cuarta y última mezcla de concreto, también se lleva a cabo el diseño para un total de 5 cilindros y 2 vigas. Para esta mezcla se usan exactamente las mismas cantidades del diseño de concreto patrón debido a que el volumen es el mismo, pero se procede a añadir la fibra natural de bagazo de caña de azúcar, la cual se añadió en un 1 % del volumen total de la mezcla. En las siguientes tablas se pueden observar los resultados de la cuarta mezcla, correspondiente al concreto f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> con 1 % de fibra natural de bagazo:

**Tabla 68***Cantidades materiales cuarta mezcla concreto con 1 % de FNBCA*

Fuente: Medición propia.

**Tabla 69***Datos de peso unitario del concreto fresco con 1 % de FNBCA*

Peso muestra + recipiente (kg)	Peso del recipiente (kg)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso unitario concreto fresco (kg/m <sup>3</sup> )
19,79	3,61	6973,50	2320,21

Fuente: Medición propia.

**Tabla 70***Asentamiento concreto fresco con 1 % de FNBCA*

Asentamiento (cm)
4

Fuente: Medición propia.

**Tabla 71***Temperatura concreto fresco con 1 % de FNBCA*

Temperatura (°C)
26,5

Fuente: Medición propia.



**Tabla 72***Rendimiento relativo con 1 % de FNBCA*

Peso unitario concreto fresco (kg/cm <sup>3</sup> )	Volumen de la mezcla (m <sup>3</sup> )	Volumen teórico (m <sup>3</sup> )	Rendimiento (%)
2320,21	0,0620	0,0600	103,33

Fuente: Medición propia.

**Tabla 73***Contenido de aire concreto fresco con 1 % de FNBCA*

Peso unitario concreto fresco (kg/cm <sup>3</sup> )	Densidad teórica (kg/cm <sup>3</sup> )	Contenido de aire (%)
2320,21	2400,50	3,3

Fuente: Medición propia.

## Capítulo V. Resultados

En el presente capítulo se detallan los resultados para las pruebas de resistencia a la compresión (ASTM C39) y resistencia a la flexión (ASTM C173) del concreto patrón y con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar en estado endurecido. A continuación, se detallan los resultados:

### *Figura 20*

Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto patrón



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 74***Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto patrón*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,08	30,54	15,19	181,22	0,00553	50,80	280,32	Tipo 5	7	2363,19

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 21**

Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 0,1 % FNBC



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 75**

*Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 0.1 % FNBC*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,34	30,35	15,30	183,88	0,00558	60,95	331,54	Tipo 5	7	2390,50

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 22**

*Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 0,5 % FNBC*



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 76**

*Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 0.5 % FNBC*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,22	30,47	15,33	184,47	0,00562	46,52	252,04	Tipo 6	7	2352,23

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 23**

*Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 1 % FNBC*



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 77**

*Falla de cilindro por carga axial a 7 días concreto 1 % FNBC*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,15	30,43	15,37	185,58	0,00565	44,10	237,68	Tipo 5	7	2328,85

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 24**

Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto patrón



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 78***Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto patrón*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,23	30,48	15,21	181,64	0,00554	51,75	284,79	Tipo 6	14	2389,62

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 25**

Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 0,1 % FNBC



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 79**

*Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 0.1 % FNBC*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,34	30,53	15,35	185,17	0,00565	62,17	335,96	Tipo 5	14	2359,51

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 26**

*Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 0,5 % FNBC*



Fuente: Captura propia (2022).



**Tabla 80**

*Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 0.5 % FNBC*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,19	30,59	15,30	183,73	0,00562	54,05	294,02	Tipo 2	14	2347,15

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 27**

Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 1 % FNBC



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 81**

*Falla de cilindro por carga axial a 14 días concreto 1 % FNBC*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,10	30,46	15,40	186,16	0,00567	47,70	256,09	Tipo 5	14	2310,11

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 28**

Falla de cilindro por carga axial a 28 días concreto patrón



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 82**

*Falla de cilindros por carga axial a 28 días concreto patrón*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,27	30,43	15,28	183,48	0,00558	60,13	327,92	Tipo 5	28	2376,67
13,23	30,53	15,21	181,69	0,00555	65,69	361,54	Tipo 5	28	2385,49
13,20	30,59	15,30	183,85	0,00562	67,20	365,60	Tipo 5	28	2346,95

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 29**

Falla de cilindro por carga axial a 28 días concreto 0,1 % FNBC



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 83**

*Falla de cilindros por carga axial a 28 días concreto 0.1 % FBNC*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,20	30,39	15,30	183,87	0,00559	76,40	415,56	Tipo 5	28	2362,34
13,13	30,29	15,24	182,30	0,00552	72,30	396,29	Tipo 5	28	2378,08
13,23	30,38	15,27	183,22	0,00557	67,63	369,31	Tipo 5	28	2377,04

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 30**

*Falla de cilindro por carga axial a 28 días concreto 0,5 % FNBC*



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 84***Falla de cilindros por carga axial a 28 días concreto 0.5 % FBNC*

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,12	30,47	15,26	182,95	0,00558	63,80	348,63	Tipo 3	28	2353,34
13,23	30,43	15,39	185,91	0,00566	59,53	320,03	Tipo 6	28	2338,66
13,20	30,41	15,36	185,40	0,00564	62,19	335,63	Tipo 1	28	2341,25

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 31**

Falla de cilindro por carga axial a 28 días concreto 1 % FNBC



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 85**

Falla de cilindros por carga axial a 28 días concreto 1 % FNBC

Peso	Altura promedio	Diámetro promedio	Área sección transversal	Volumen	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
Kg	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	-	Días	Kg/m <sup>3</sup>
13,10	30,35	15,30	183,93	0,00558	58,79	319,79	Tipo 5	28	2346,88
13,08	30,47	15,25	182,76	0,00557	58,57	320,26	Tipo 5	28	2348,57
13,03	30,33	15,27	183,12	0,00555	56,56	308,86	Tipo 5	28	2346,39

**Figura 32**

Falla de vigueta a 28 días concreto patrón



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 86***Falla de viguetas a 28 días concreto patrón*

Peso	Ancho promedio	Alto promedio	Longitud promedio	Área sección	Carga máxima	Carga máxima	Módulo de rotura	Edad
Kg	Cm	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	Ton	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Días
26,88	14,79	15,15	51,20	224,13	3,62	3620,00	46,54	28
28,32	15,31	15,28	51,00	233,84	3,75	3750,00	47,28	28

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 33**

Falla de vigueta a 28 días concreto 0,1 % FNBC



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 87***Falla de vigueta a 28 días concreto 0.1 % FNBC*

Peso	Ancho promedio	Alto promedio	Longitud promedio	Área sección	Carga máxima	Carga máxima	Módulo de rotura	Edad
Kg	Cm	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	Ton	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Días
27,44	15,14	15,12	51,10	228,85	3,67	3670,00	47,73	28
26,92	14,91	15,12	51,10	225,40	3,30	3300,00	44,00	28

Fuente: Medición propia (2022).



**Figura 34**

Falla de vigueta a 28 días concreto 0,5 % FNBC



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 88***Falla de vigueta a 28 días concreto 0.5 % FNBC*

Peso	Ancho promedio	Alto promedio	Longitud promedio	Área sección	Carga máxima	Carga máxima	Módulo de rotura	Edad
Kg	Cm	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	Ton	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Días
27,50	14,98	15,13	51,20	226,57	3,64	3640,00	47,78	28
27,88	15,44	15,28	51,20	235,90	3,57	3570,00	44,56	28

Fuente: Medición propia (2022).

**Figura 35**

Falla de vigueta a 28 días concreto 1 % FNBC



Fuente: Captura propia (2022).

**Tabla 89***Falla de vigueta a 28 días concreto 1 % FNBC*

Peso	Ancho promedio	Alto promedio	Longitud promedio	Área sección	Carga máxima	Carga máxima	Módulo de rotura	Edad
Kg	Cm	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	Ton	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Días
26,88	14,97	15,07	51,10	225,72	2,98	2980,00	39,36	28
27,70	15,45	14,91	51,50	230,48	3,24	3240,00	42,42	28

Fuente: Medición propia (2022).

**Análisis de resultados**

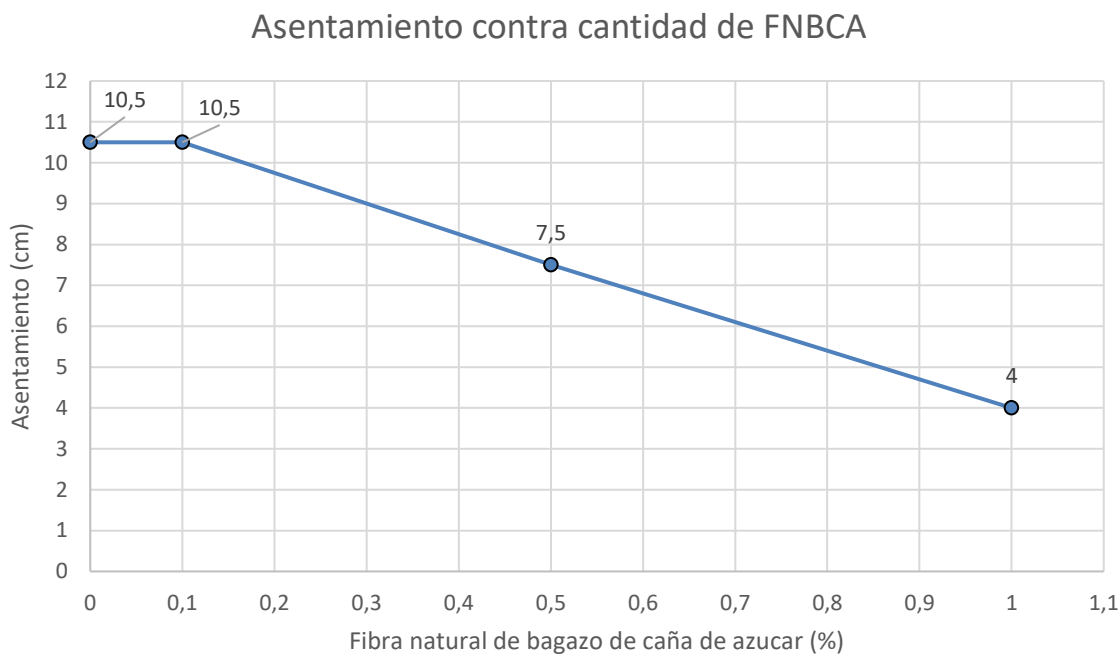
Seguidamente, se analizan los resultados de las pruebas de asentamiento (ASTM C143), densidad, volumen y contenido de aire (ASTM C138), temperatura (ASTM C1064), resistencia a la compresión (ASTM C39) y resistencia a la flexión (ASTM C173) del concreto patrón y del concreto con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar.

## Asentamiento

En los siguientes gráficos se detalla la información sobre el asentamiento.

### Gráfico 1

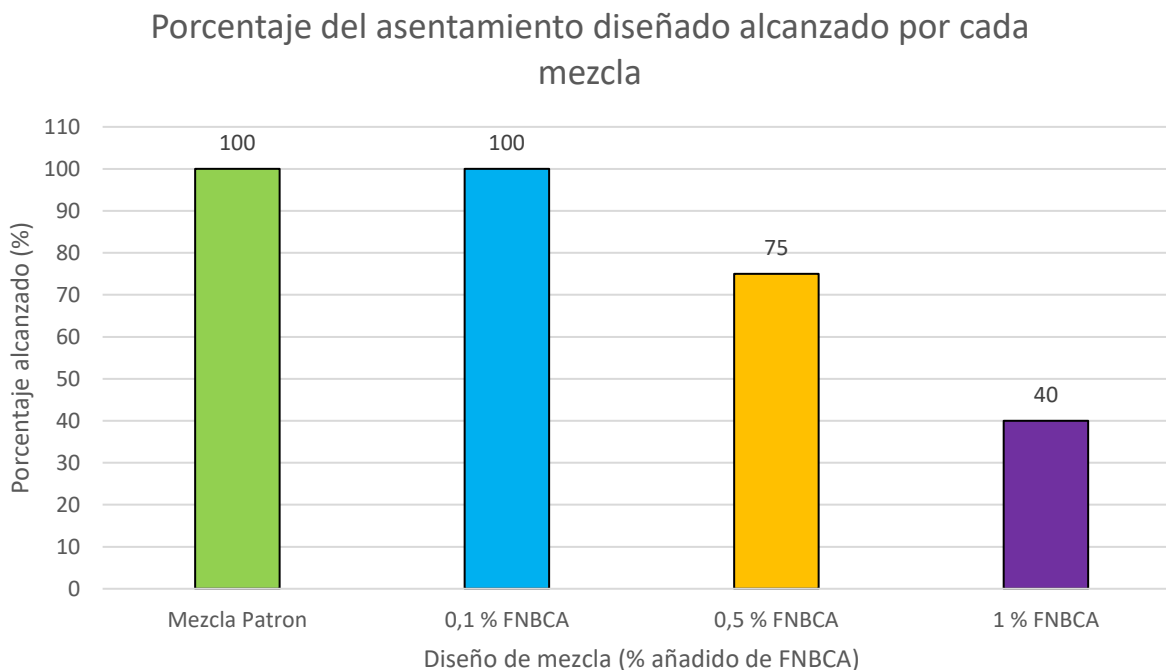
Asentamiento vs. porcentaje de FNBCA



En el Gráfico 1 se demuestra una tendencia lineal bajista, lo cual indica que ante mayor cantidad de fibra natural de bagazo de caña de azúcar (FNBCA) el asentamiento se ve reducido, por lo tanto, se puede afirmar que la mezcla va perdiendo trabajabilidad. El concreto patrón y el concreto con adición de 0.1 % de FNBCA lograron alcanzar el asentamiento de diseño, el cual fue 10,5 cm. Por otro lado, el asentamiento para el concreto con adición de 1 % de FNBCA tuvo un asentamiento de 4 cm, incluso así el menor valor de asentamiento nunca se salió del mínimo permitido por el ACI 211.1 donde el valor mínimo es 2 cm para vigas, muros y columnas.

## Gráfico 2

Porcentaje del asentamiento diseñado alcanzado por cada mezcla



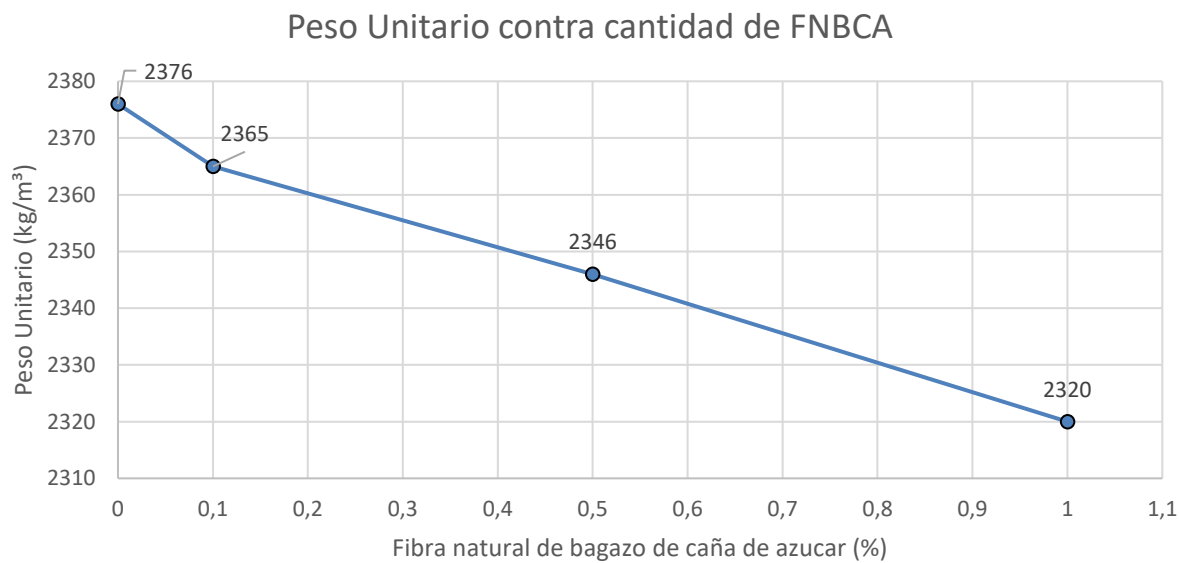
Al analizar el Gráfico 2 se puede observar otra vez cómo disminuye el asentamiento conforme se adiciona más fibra natural de bagazo. La trabajabilidad de la mezcla disminuyó en un 25 % al utilizar una dosificación de FNBCA de 0.5 % del volumen total y un 60 % al utilizar 1 % de FNBCA. El asentamiento se puede mejorar con un aditivo reductor de agua para la mezcla con 0.5 % de FNBCA, pero como se puede observar, para la mezcla de 1 % de FNBCA se dificulta la mejora de la trabajabilidad por medio de aditivos debido a que el 60 % de disminución ya es un porcentaje demasiado alto.

### ***Densidad (peso unitario)***

En los siguientes gráficos se detalla la información sobre la densidad.

**Gráfico 3**

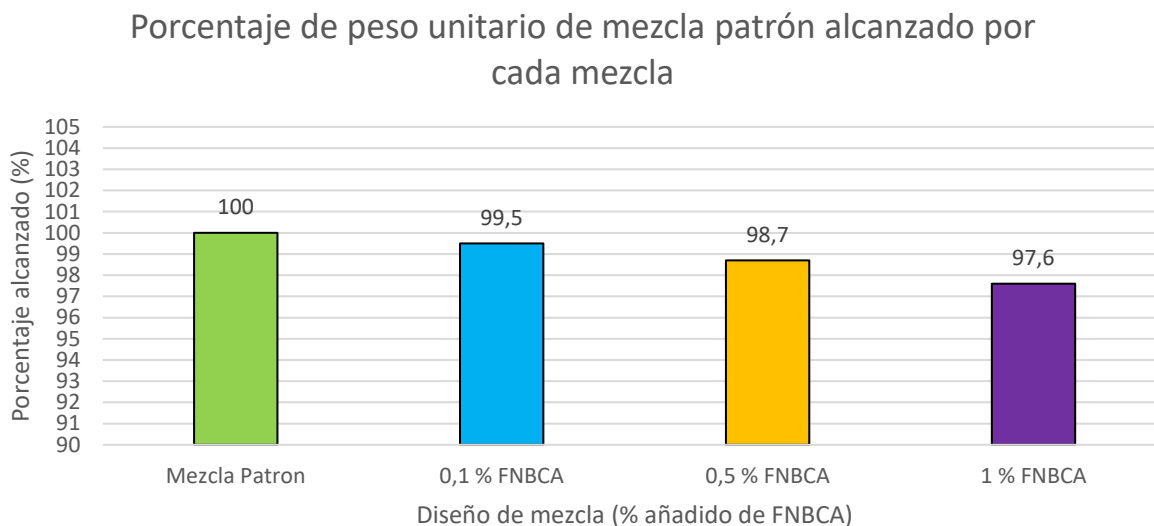
Densidad (peso unitario) vs. porcentaje de FNBCA



Según se puede observar en el Gráfico 3, el peso unitario, al igual que el asentamiento, se ve disminuido conforme se le agrega más fibra natural de bagazo de caña a la mezcla. El menor peso unitario obtenido fue el del concreto con 1 % de adición de FNBCA con un valor de 2320,21 kg/m<sup>3</sup>. Cuanto mayor contenido de fibra la mezcla se hace menos densa, lo cual ocasiona un mayor contenido de vacíos en los especímenes.

### Gráfico 4

Porcentaje de peso unitario de mezcla patrón alcanzado por cada mezcla



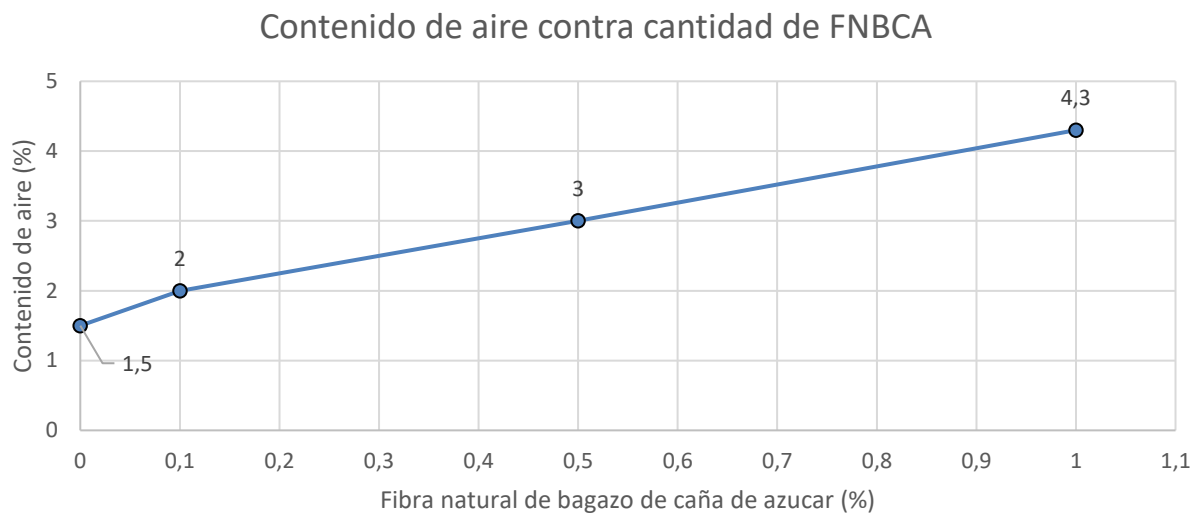
En el Gráfico 4 se demuestra el porcentaje de peso unitario que se alcanzó con respecto a la mezcla patrón. El concreto con adición de 0.1 % de FNBCA estuvo muy cercano al peso unitario del concreto patrón con una diferencia de 0.5 %, mientras que las otras 2 mezclas, la de 0.5 % y 1 % de FNBCA, tuvieron una disminución más considerable, lo cual no es bueno para el concreto al hacerlo más permeable.

### Contenido de aire

En los siguientes gráficos se detalla la información sobre el contenido de aire.

**Gráfico 5**

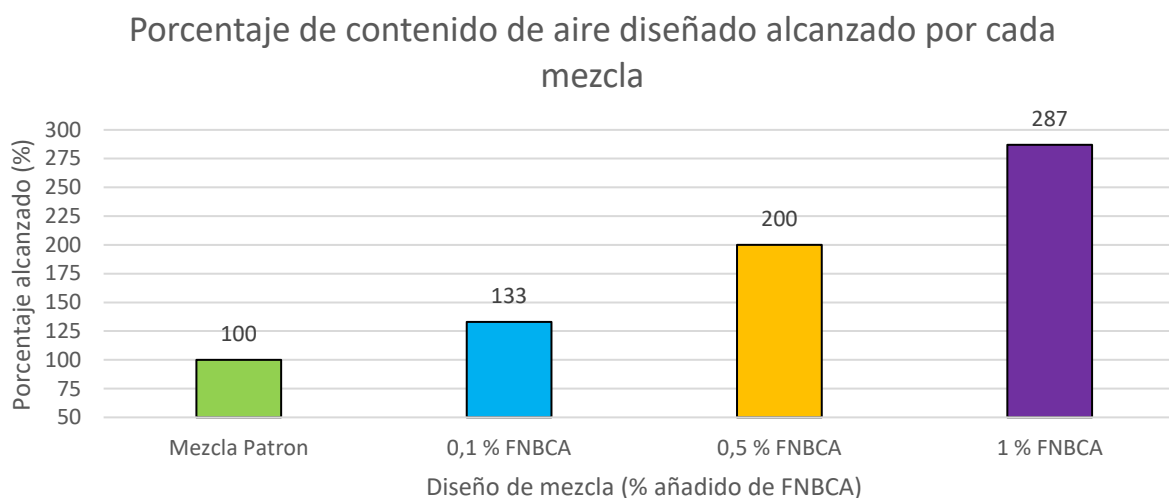
Contenido de aire vs. porcentaje de FNBCA



Como se puede observar en el Gráfico 5, existe una relación lineal creciente entre el contenido de aire en la mezcla y el porcentaje añadido de FNBCA. Por lo tanto, el contenido de aire aumenta de manera significativa conforme se agrega más fibra natural de bagazo. Esto es bastante congruente con la disminución en peso unitario y, efectivamente, la permeabilidad de la mezcla aumenta por consecuencia.

**Gráfico 6**

Porcentaje de contenido de aire diseñado alcanzado por cada mezcla



Al analizar el Gráfico 6 se puede observar el porcentaje de contenido de aire que se alcanzó con respecto al diseñado. El contenido de aire del concreto con adición de 0.1 % y 0.5 % de FNBCA estuvo muy cercano al contenido de aire diseñado (1.5 %), la mezcla con 1 % de FNBCA tuvo un 4.3 % de aire, lo cual no es bueno para el concreto al hacerlo más permeable.

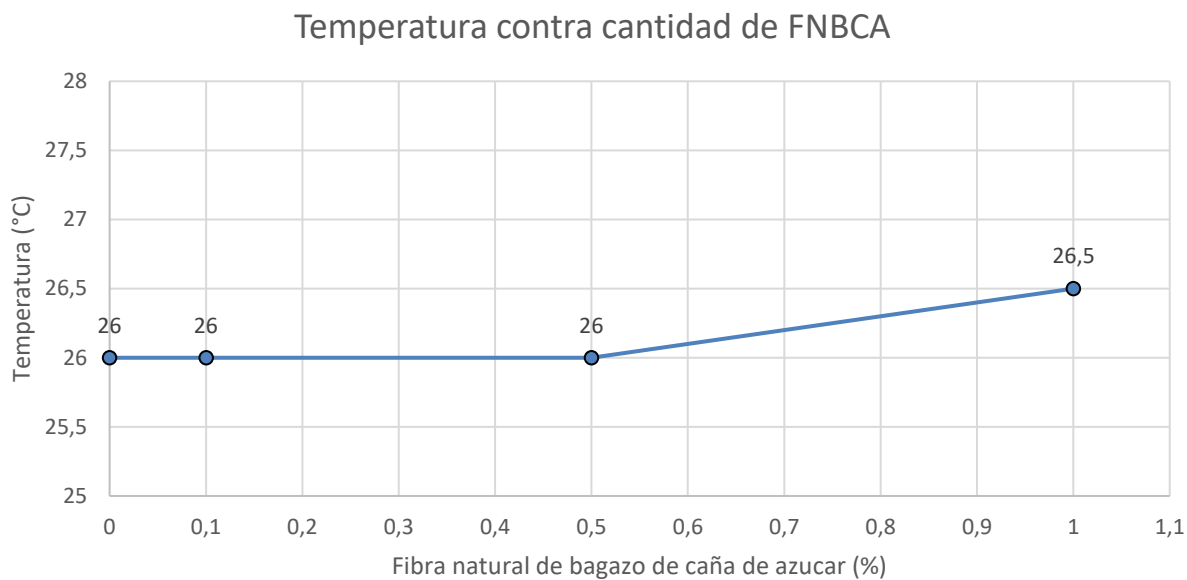
**Temperatura**

En los siguientes gráficos se detalla la información sobre la temperatura.



**Gráfico 7**

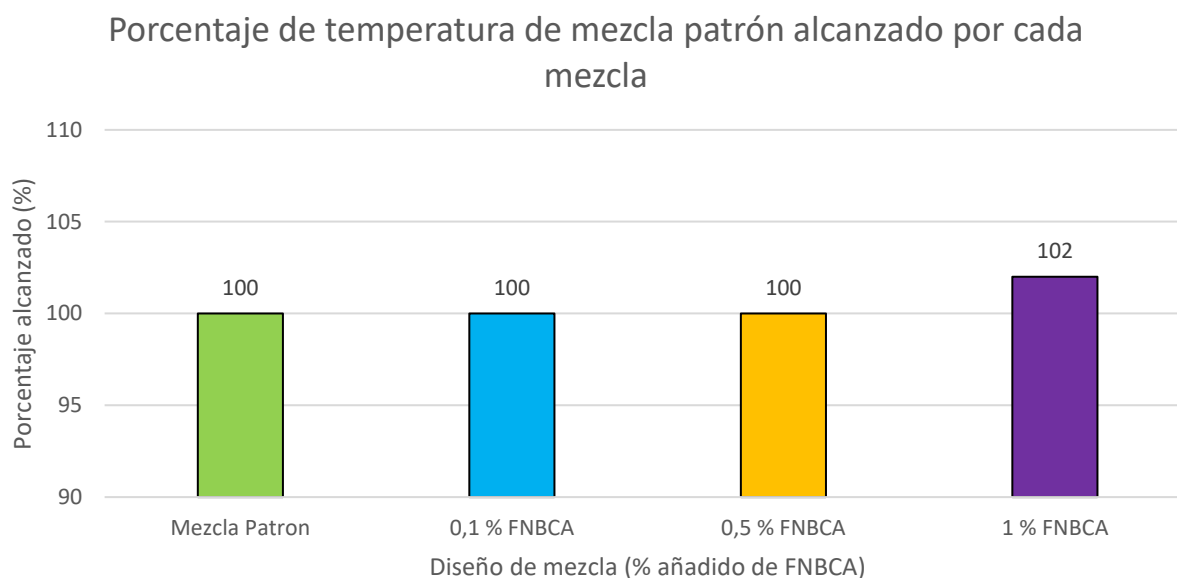
Temperatura vs. porcentaje de FNBCA



Según se puede observar en el Gráfico 7 la temperatura se mantiene en un rango constante entre 26 °C y 26,5 °C. Esto indica que la temperatura del concreto no se ve afectada por la adición de la fibra natural de bagazo de caña de azúcar.

**Gráfico 8**

Porcentaje de temperatura de mezcla patrón alcanzado por cada mezcla



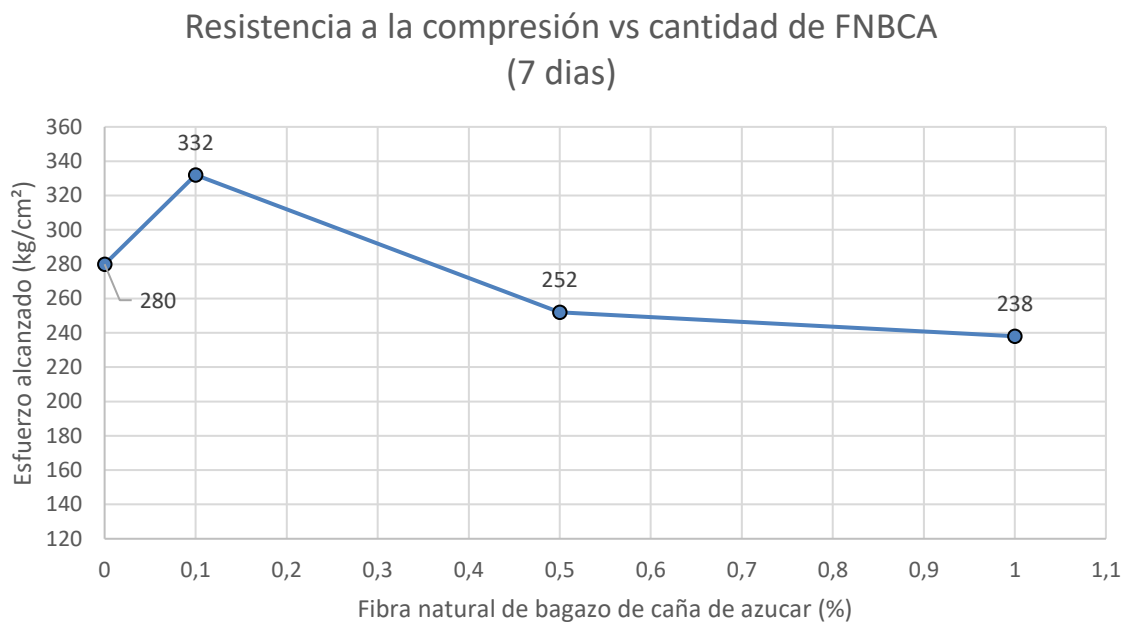
En el Gráfico 8 se puede observar claramente la poca variación que hubo entre las temperaturas de las diferentes mezclas realizadas. En la única mezcla que se observa un ligero aumento de temperatura de un 2 % es la mezcla con adición de 1 % de fibra natural de bagazo de caña de azúcar.

***Resistencia a compresión***

En los siguientes gráficos se detalla la información sobre la resistencia a compresión.

**Gráfico 9**

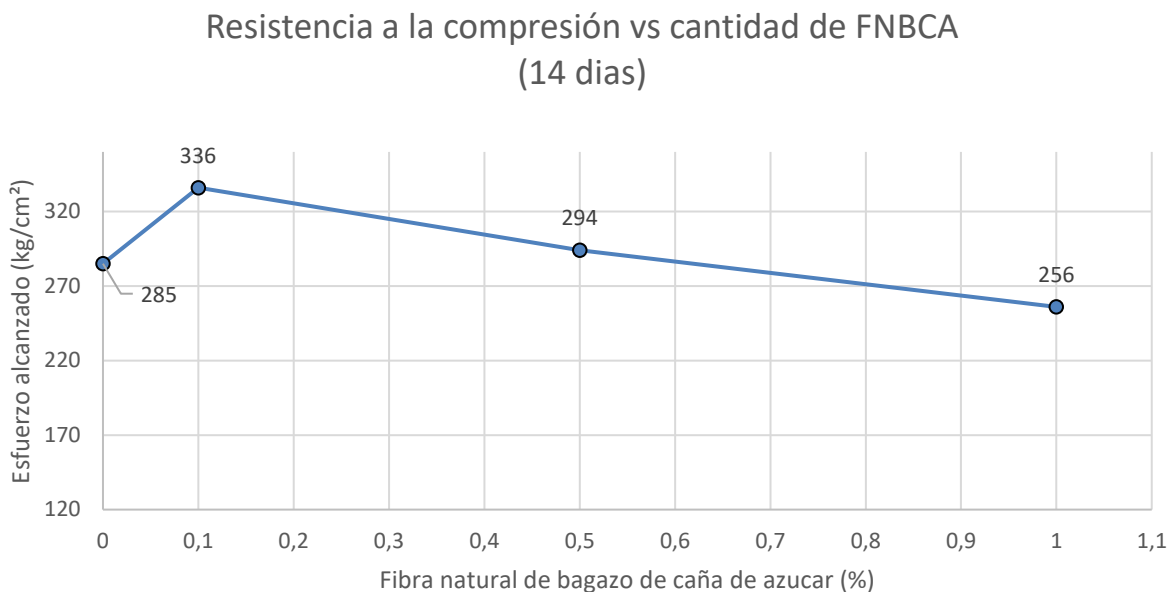
Resistencia a la compresión vs. cantidad de FNBCA (7 días)



En el Gráfico 9 se exponen las resistencias a compresión alcanzadas a los 7 días de curado contra las cantidades de fibra natural de bagazo de caña de azúcar que se utilizaron en las diferentes mezclas. Se utilizó la resistencia a la compresión alcanzada por un solo cilindro por mezcla. Además, en el gráfico se demuestra cómo la resistencia a la compresión a 7 días de curado aumenta significativamente con 0.1 % de FNBCA, pero conforme se agrega más fibra disminuye la resistencia a la compresión del concreto.

**Gráfico 10**

Resistencia a la compresión vs. cantidad de FNBCA (14 días)

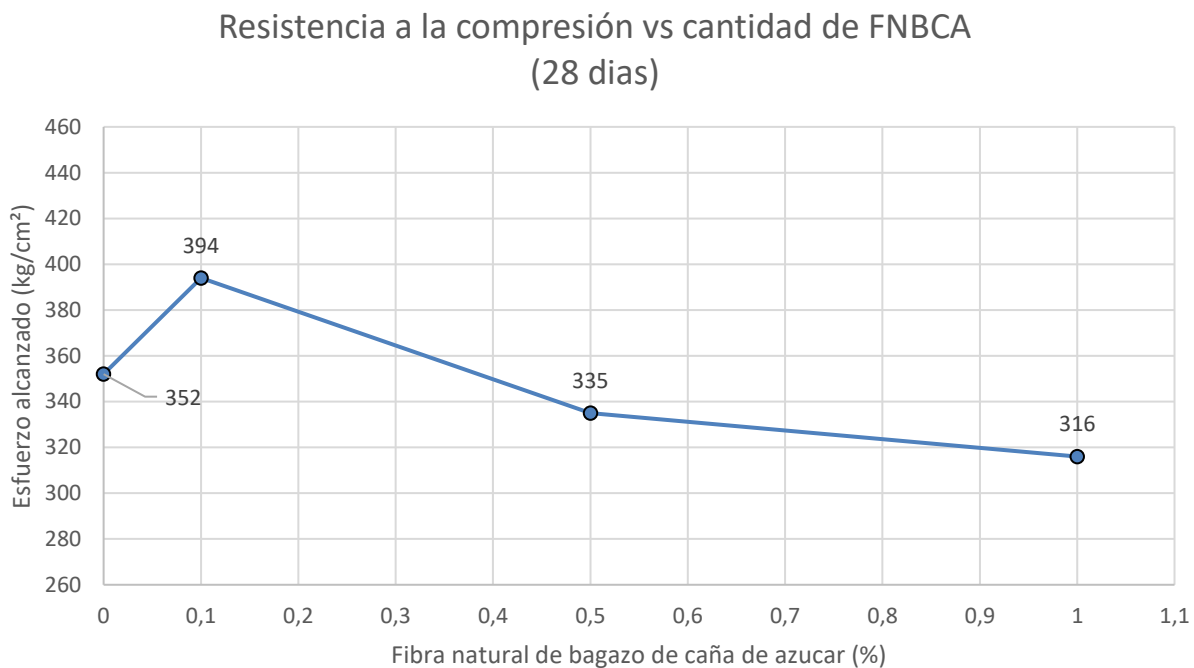


En el Gráfico 10 se exponen las resistencias a compresión alcanzadas a los 14 días de curado contra las cantidades de fibra natural de bagazo de caña de azúcar que se utilizaron en las diferentes mezclas. Se utilizó la resistencia a la compresión alcanzada por un solo cilindro por mezcla.

Además, en el Gráfico 10 se puede observar cómo la resistencia a la compresión a 14 días de curado aumenta en todas las mezclas. Con 0.1 % y 0.5 % de FNBCA se alcanzan resistencias mayores que la de concreto patrón, pero conforme se agrega más fibra disminuye la resistencia a la compresión del concreto.

**Gráfico 11**

Resistencia a la compresión vs. cantidad de FNBCA (28 días)

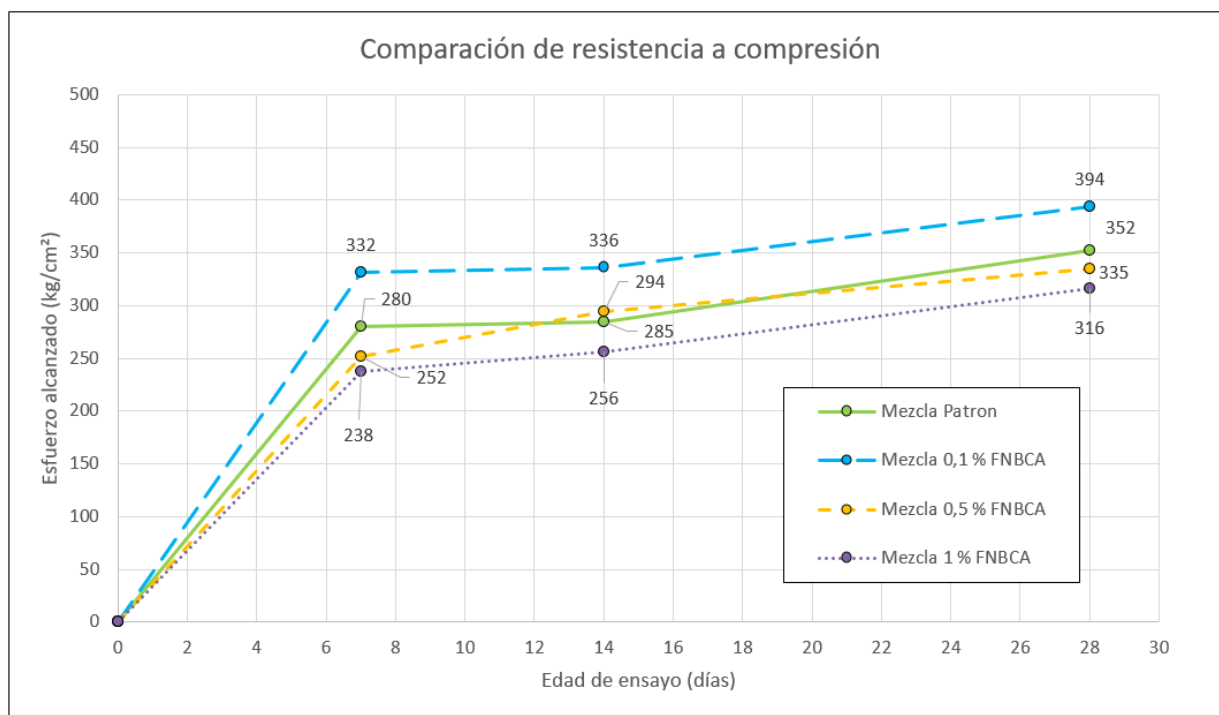


En el Gráfico 11 se exponen las resistencias a compresión alcanzadas a los 28 días de curado contra las cantidades de fibra natural de bagazo de caña de azúcar que se utilizaron en las diferentes mezclas. Se utilizó la resistencia a la compresión promedio alcanzada por 3 cilindros por mezcla.

En el Gráfico 11 se puede observar, al igual que en el Gráfico 9, cómo la resistencia a la compresión a 28 días de curado de la mezcla de concreto con 0.1 % de FNBCA supera la resistencia alcanzada por el concreto patrón por más de un 10 %, pero conforme se agrega más fibra disminuye la resistencia a la compresión del concreto. Es relevante mencionar que todas las mezclas cumplen con la resistencia de diseño requerida, incluso con el factor de seguridad establecido por el ACI 211.1.

### Gráfico 12

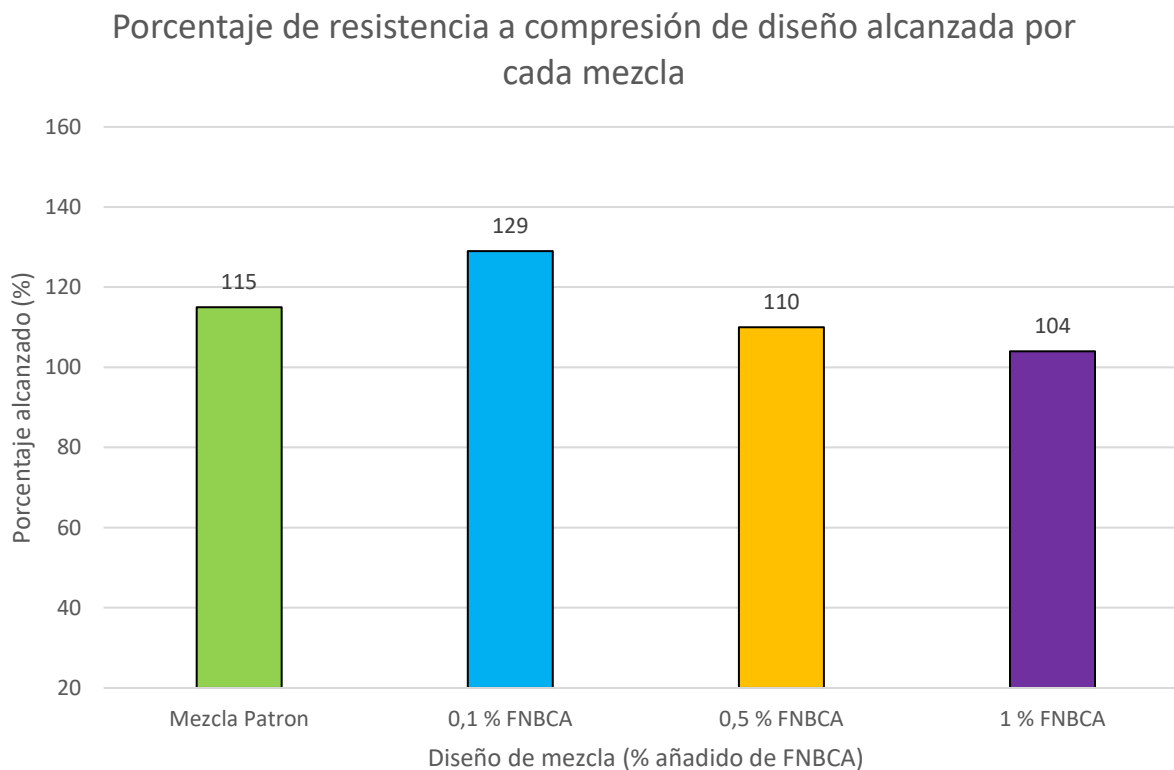
Comparación resistencia a la compresión vs. cantidad de FNBCA (28 días)



En el Gráfico 12 se puede observar una comparación de las resistencias a compresión alcanzadas por las diferentes mezclas en sus distintas edades de ensayo. Además, según los resultados y lo demostrado en el Gráfico 12 es notable que la mezcla con 0.1 % de fibra natural de bagazo de caña de azúcar fue la que alcanzó el mayor valor de esfuerzo a compresión, el cual fue 394 kg/cm<sup>2</sup>. Por otra parte, el menor valor alcanzado de resistencia a compresión fue la mezcla con adición de 1 % de fibra natural de bagazo, con un valor de resistencia de 316 kg/cm<sup>2</sup>.

### Gráfico 13

Porcentaje de resistencia a compresión de diseño alcanzada por cada mezcla



El Gráfico 13 es importante debido a que expone el porcentaje de resistencia a compresión que se obtuvo con respecto a la resistencia del diseño que se planteó.

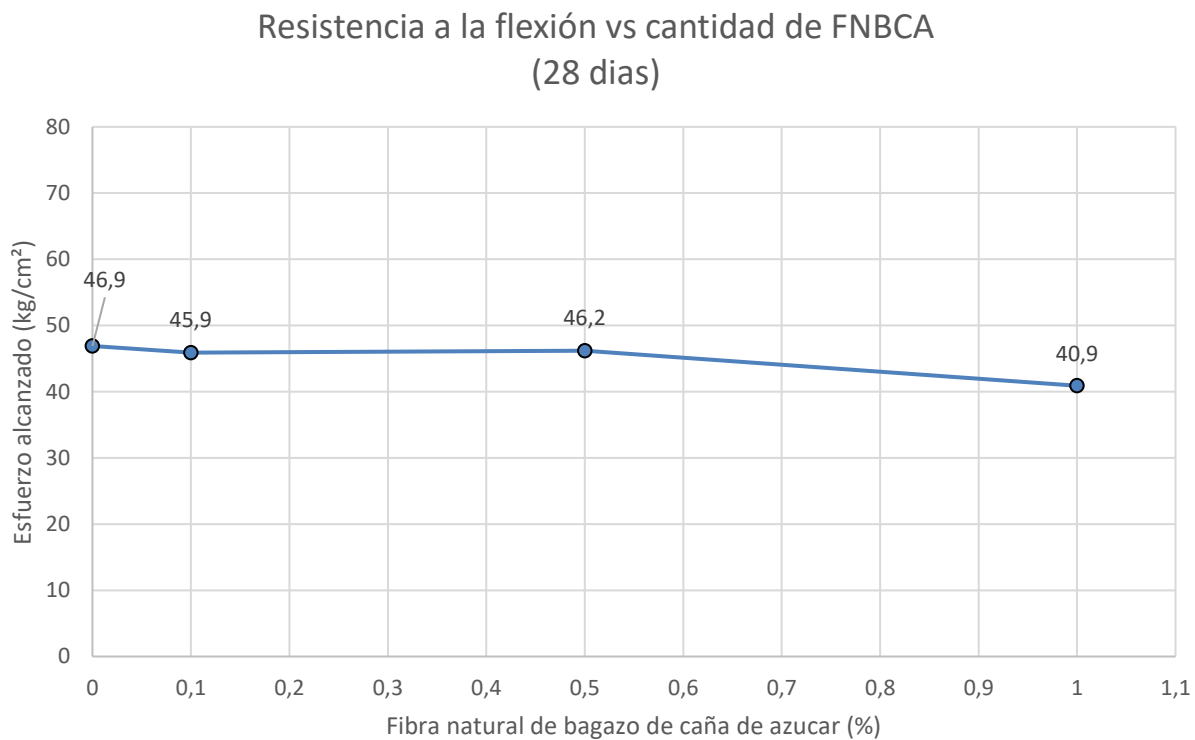
Finalmente, es importante mencionar que todas las mezclas superaron la resistencia a compresión de diseño, la cual era de  $305 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo tanto, se puede afirmar que el concreto con adición de FNBCA en las cantidades que se utilizan es apto para soportar esfuerzos mayores que  $280 \text{ kg/cm}^2$ . En especial el concreto con 0.1 % de fibra natural de bagazo de caña de azúcar, debido a que su resistencia a la compresión fue la que superó por mayor porcentaje a la resistencia de diseño.

### *Resistencia a flexión*

En los siguientes gráficos se detalla la información sobre la resistencia a flexión.

**Gráfico 14**

Resistencia a la flexión vs. cantidad de FNBCA (28 días)

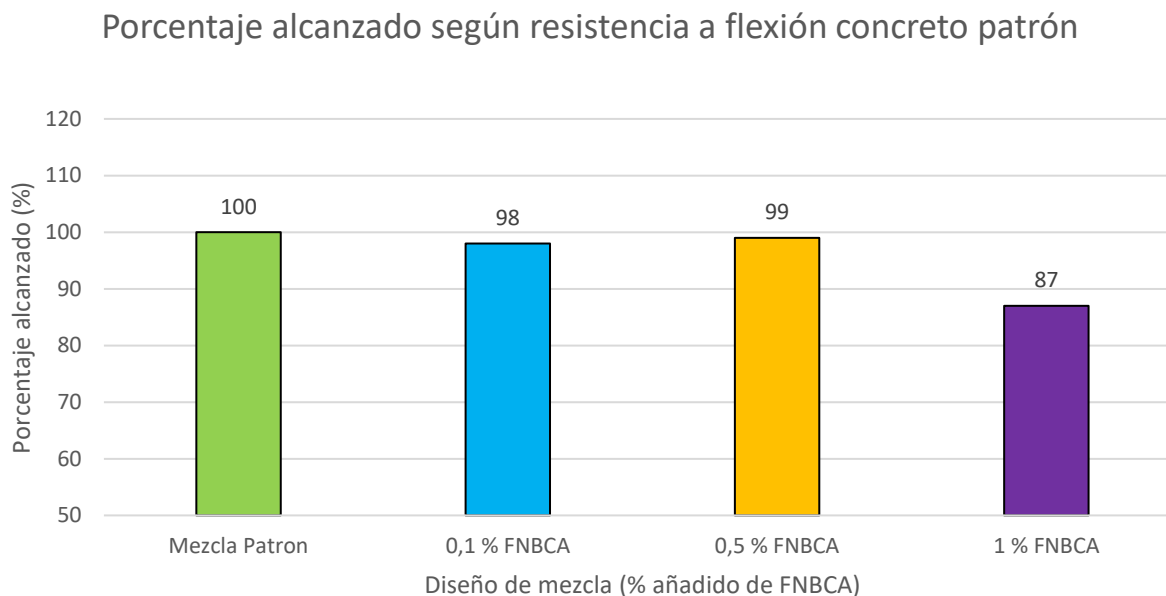


En el Gráfico 14 se puede observar la resistencia a flexión alcanzada por las viguetas hechas con las diferentes mezclas. Para esta prueba se utilizó el promedio de 2 módulos de rotura por cada mezcla. En el Gráfico 14 también se aprecia claramente cómo el módulo de rotura mayor es el de la mezcla patrón con un valor promedio de 46,9 kg/cm<sup>2</sup>, pero este no se ve muy afectado en las mezclas de 0.1 % y 0.5 % de adición de FNBCA, mientras que al adicionar 1 % de fibra la resistencia a la flexión se ve reducida.



### Gráfico 15

Porcentaje alcanzado según resistencia a flexión concreto patrón



Como se puede observar en el Gráfico 15 y como se mencionó, en las mezclas con adición de 0.1 % y 0.5 % de fibra natural de bagazo de caña de azúcar no se ve una disminución significativa de la resistencia a flexión de las vigas en comparación con la mezcla patrón. Sin embargo, al adicionar 1 % de fibra natural de bagazo a la mezcla se reduce la resistencia a la flexión de las vigas en un 13 % en comparación con la mezcla patrón. Por lo tanto, no se recomienda utilizar dosificaciones de fibra natural de bagazo mayores que 0.5 % del volumen total de la mezcla por elaborar.

A partir de todos los resultados del análisis del desempeño de las propiedades fisicomecánicas del concreto con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar, mediante las pruebas de asentamiento (ASTM C143), densidad, volumen y contenido de aire (ASTM C138), temperatura (ASTM C1064), resistencia a la compresión (ASTM C39) y resistencia a la flexión (ASTM C173) se puede afirmar que este material puede ser viable para su adición en mezclas de concreto. Lo anterior siempre y cuando se controle adecuadamente la adición de la fibra natural de bagazo y esta no supere valores mayores que los que se utilizan en esta investigación.

Al analizar el desempeño de las mezclas en estado fresco, la trabajabilidad de la mezcla se vio afectada conforme se adicionaba más fibra, pero esto puede corregirse fácilmente por medio del uso de aditivos, como el Polyheed 955. El contenido de aire de la mezcla de concreto incrementó de manera significativa conforme se agregaba más porcentaje de fibra de bagazo de caña, por lo tanto, se recomienda utilizar la fibra en no más de 0.5 % del volumen total de la mezcla. Esto para evitar aumentar mucho la permeabilidad del concreto y no afectar su durabilidad.

El peso unitario de la mezcla disminuye conforme se adiciona más fibra, lo cual se espera con el aumento en el contenido de aire. La temperatura del concreto no se vio afectada de manera considerable, todas las mezclas se mantuvieron en el rango de  $26\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, la fibra no afecta negativamente a la mezcla de concreto, lo que genera aumentos en temperatura.

Según se mencionó, el desempeño mecánico de la mezcla de concreto en estado endurecido no se ve afectado gravemente por la adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar. Con todas las mezclas se alcanzó una resistencia a compresión superior a  $305\text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde a la resistencia requerida ( $280\text{ kg/cm}^2$ ) multiplicada por el factor de seguridad recomendado por el ACI 211.1 de acuerdo con el tipo de obra.

Es importante destacar que la única mezcla en la cual la resistencia a flexión se vio disminuida, de manera considerable, fue la mezcla con 1 % de fibra natural. El certificado de calidad del lote de cemento que se utiliza se encuentra en el anexo.

En los trabajos de grado mencionados en el Capítulo I de esta investigación se utilizaron porcentajes de adición de fibra natural muy elevados de 2 %, 3 % y hasta 6 %, por lo que los resultados de desempeño de las resistencias del concreto, tanto a compresión como flexión, se vieron afectadas gravemente. Por esta razón, se emplearon porcentajes bajos de fibra natural en las mezclas de concreto y según lo esperado se obtuvieron resultados bastante mejorados, tanto en resistencia a compresión como a flexión. Se esperaba que cuanto más se le adicione fibra natural de bagazo a la mezcla de concreto mejor es su resistencia a flexión, pero en la mezcla con 1 % de adición se observa lo contrario y en las mezclas con 0.1 % y 0.5 % de FNBCA la resistencia a la flexión no se observó ninguna variación apreciable.

## Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

Al finalizar la investigación se plantean las siguientes conclusiones:

- Se logró caracterizar las propiedades de un concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> patrón y con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar en su estado fresco, mediante los ensayos realizados. Se observa una disminución en el asentamiento de la mezcla de concreto de más de 25 % según se adicionan cantidades mayores que 0.5 % de FNBCA, haciendo la mezcla menos trabajable, pero el valor de asentamiento se mantiene dentro del rango aceptable por el ACI 211.1 para todas las mezclas. El contenido de aire de la mezcla aumenta conforme se adiciona más FNBCA. La densidad de la mezcla disminuye en un 3 % en comparación con la mezcla patrón cuando se adiciona un 1 % de FNBCA. El valor de temperatura de la mezcla de concreto no sufre ninguna afectación significativa con la adición de FNBCA.
- Según las pruebas realizadas a los especímenes en estado endurecido se observa un aumento de resistencia a compresión de un 12 % con la mezcla de 0.1 % de adición de FNBCA en comparación con la resistencia alcanzada por la mezcla patrón a 28 días. Por otro lado, con la mezcla con 1 % de adición de FNBCA se puede observar una disminución de resistencia a compresión de 10 % con respecto a la resistencia a compresión a 28 días de la mezcla patrón. Todas las mezclas lograron alcanzar una resistencia a compresión superior a 305 kg/cm<sup>2</sup>, la cual corresponde a la resistencia requerida (280 kg/cm<sup>2</sup>) multiplicada por el factor de seguridad recomendado por el ACI 211.1. La única resistencia a flexión que se ve afectada considerablemente es la de la mezcla con 1 % de FNBCA, viéndose impactada con una disminución de 13 % con respecto a la resistencia a compresión a 28 días de la mezcla patrón.
- Se puede concluir que el concreto con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar en dosificaciones no mayores que 0.5 % del volumen total de la mezcla es una opción viable como material de construcción, el cual cumplirá con los requerimientos. No utilizar cantidades de FNBCA mayores que 0.5 % del volumen total de la mezcla debido a que se

arriesga una disminución en la resistencia a compresión y flexión, la trabajabilidad del concreto se reduce y se aumenta la permeabilidad.

### **Recomendaciones**

Para dar por finalizada esta investigación se plantean las siguientes recomendaciones:

- Agregar un aditivo reductor de agua para mejorar la trabajabilidad de la mezcla con adición de FNBCA, debido a que la condición se ve reducida conforme se adiciona más fibra natural.
- Investigar sobre el desempeño de una mezcla de concreto con porcentajes de adición de FNBCA entre el 0.1 % y 0.5 % del volumen total de la mezcla para descubrir el porcentaje óptimo de adición de FNBCA.
- Investigar sobre tratamientos de bajo costo e impacto ambiental que puedan darle a la fibra natural de bagazo de caña de azúcar más resistencia a la tensión.
- Realizar paños de concreto con y sin adición de FNBCA y hacer una prueba de medición de agrietamiento para obtener el porcentaje de agrietamiento que experimenta cada paño, para comparar y ver si la FNBCA aporta una mejora considerable ante el agrietamiento del concreto.
- Investigar sobre pruebas de impacto en el concreto y someter el concreto con adición de FNBCA ante este tipo de pruebas para averiguar si existe una mejora considerable ante la resistencia al impacto como consecuencia de la adición de FNBCA.
- Tratar de conseguir fibras de bagazo cuya longitud sea más uniforme debido a que al salir del molino la fibra que se utiliza venía en longitudes que variaban entre 5 mm y 50 mm, por lo tanto, no se puede controlar de manera satisfactoria la distribución apropiada de la fibra en la mezcla de concreto.
- Investigar sobre los beneficios económicos que pueden obtener los productores de caña de azúcar y los productores de concreto al utilizar concretos con adición de fibra natural de bagazo de caña de azúcar.

- Investigar sobre pruebas de elasticidad en el concreto y someter el concreto con adición de FNBCA a este tipo de ensayos para medir esta condición.

### Referencias bibliográficas

- American Society for Testing and Material. (2017a). *Ensayo estándar de asentamiento de concreto con cemento Portland (Norma núm. ASTM C143)*. <https://www.astm.org/standards/c1>
- American Society for Testing and Material. (2017b). *Ensayo estándar de densidad (peso unitario, volumen y contenido de aire) (Norma núm. ASTM C138)*. <https://www.astm.org/astm-tpt-192.html>
- American Society for Testing and Material. (2017c). *Ensayo estándar para determinar la temperatura de concreto con cemento Portland (Norma núm. ASTM C1064)*. <https://www.astm.org/astm-tpt-172.html>
- American Society for Testing and Material. (2021a). *Ensayo estándar de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (Norma núm. ASTM C-39)*. [https://www.astm.org/c0039\\_c0039m-21.html](https://www.astm.org/c0039_c0039m-21.html)
- American Society for Testing and Material. (2021b). *Práctica estándar para hacer y curar especímenes de concreto (Norma núm. ASTM C31)*. [https://www.astm.org/c0031\\_c0031m-21a.html](https://www.astm.org/c0031_c0031m-21a.html)
- American Society for Testing and Material. (2022). *Ensayo estándar de resistencia a la flexión de vigas de concreto (Norma núm. ASTM C-8)*. <https://www.astm.org/c0078-c0078m-22.html>
- Antillón, J. (2016). *Uso de fibras en el concreto*. <http://imcyc.com/revistacyt/pdf/enero2016/experto.pdf>
- Aviléz Contreras, O. (2022). *Análisis en el manejo de las labores culturales en el cultivo de caña de azúcar*. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/11327/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000371.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Balandrano, Y. (2021). *¿Qué es la contracción del concreto?* <https://aleph.org.mx/que-es-la->

contraccion-del-concreto

- BBC. (2018). *La enorme fuente de emisiones de CO2 que esta por todas partes y que quizás no conocías*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>
- Bejarano Vigoya, F. D. (2019). *Estudio de la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de Guadua Angustifolia Kunt* [Tesis para título de ingeniero civil, Universidad Católica de Colombia] <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24124/1/ESTUDIO%20DE%20LA%20RESISTENCIA%20MEC%C3%81NICA%20DEL%20CONCRETO%20REFORZADO%20CON%20FIBRAS%20DE%20GUADUA%20ANGUSTIFOLIA%20KUNT.pdf>
- Carranza, C. (2021). *Qué es fibras naturales*. <https://brainly.lat/tarea/53844519>
- CEDRSSA. (2019). *Determinación del precio de la caña de azúcar al productor*. [http://www.cedrssa.gob.mx/post\\_determinacinin\\_del\\_n-precio\\_n\\_de\\_la\\_n-can-a\\_de\\_azn-car\\_n\\_al\\_productor.htm](http://www.cedrssa.gob.mx/post_determinacinin_del_n-precio_n_de_la_n-can-a_de_azn-car_n_al_productor.htm)
- Cemex. (2019). *Hablando de Cementos Portland*. <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>
- CEMEX. (2022). *Concretos*. <https://www.cemexcostarica.com/soluciones-al-constructor/concretos>
- Conabio. (2020). *Fibras naturales*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>
- Constructor Civil. (2010). *Composición química del cemento Portland*. <https://www.elconstructorcivil.com/2011/01/composicion-quimica-del-cemento.html>
- Corral, J. (2009). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras. *Ciencia y sociedad*, 34(4), 463-504. <https://revistas.intec.edu.do/index.php/ciso/article/view/867>
- Detan, E. L. (2019). *Influencia de la fibra del bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la*

- compresión y flexión del concreto  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> en Chimbote - 2016* [Tesis para título de ingeniero civil, Universidad César Vallejo] <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36464>
- Devadiga, D. (2020). *Sugarcane bagasse fiber reinforced composites*. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23311916.2020.1823159>
- EMB Construcción. (2006). *Fibras en hormigones y morteros de cemento*. <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1535&ni=fibras-en-hormigones-y-morteros-de-cemento>
- García Estrada, J. (2020). *Guía teórica básica del concreto, como material de construcción*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/15021/1/JORGE%20MARIO%20GARC%C3%8DA%20ESTRADA.pdf>
- Gourav Gupta, R. (2015). *A Review on Composition and Properties of Bagasse Fibers*. <https://www.ijser.org/researchpaper/A-Review-on-Composition-and-Properties-of-Bagasse-Fibers.pdf>
- Ingevil. (2008). *Ensayo de Abrams toma de muestras para ensayos de compresión*. [http://ingevil.blogspot.com/2008/10/ensayo-de-abrams-toma-de-muestras-para\\_07.html](http://ingevil.blogspot.com/2008/10/ensayo-de-abrams-toma-de-muestras-para_07.html)
- Juárez Alvarado, C. (2002). *Concretos base cemento Portland reforzados con fibras naturales (Agave Lecheguilla), como materiales para construcción en México* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León] <http://eprints.uanl.mx/5833/1/1020150648.PDF>
- Laica. (2021). *Productores*. <https://laica.cr/productores/>
- Luaces, C. (2022). *Los áridos*. <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/37082-Los-aridos.html>
- McCormac, J. y Brown, R. (2018). *Diseño de concreto reforzado* (10.<sup>a</sup> ed.). Editorial Alfaomega, S. A. de C. V.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2007). *Agrocadena de la caña de azúcar para la*



- producción de dulce*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-10273.pdf>
- Mora Torres, J. A. (2017). *Análisis mecánico de un Concreto con Adición del 2 % de Fibra Natural de Cáñamo* [Tesis para título de ingeniero civil, Universidad Católica de Colombia] <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14547/1/Tra-bajo%20de%20Grado%20Final.pdf>
- Nayarit, S. (2018). *La caña de azúcar y su importancia para la industria azucarera*. <https://www.gob.mx/agricultura/nayarit/articulos/la-cana-de-azucar-y-su-importancia-para-la-industria-azucarera?idiom=es>
- Pinzuar. (2019a). *Cinta métrica: que es, tipos, partes, usos, lectura y más*. <https://www.tuherramienta.net/cinta-metrica/>
- Pinzuar. (2019b). *Productos*. <https://www.pinzuar.com.co/pinzuar/es/>
- Procaña. (s. f.). *Historia de la caña*. <https://procana.org/site/historia-de-la-cana>
- Ramírez, M. (2020). *Investigadores estudian la durabilidad del concreto en México*. <https://transferencia.tec.mx/2020/04/15/investigadores-estudian-la-durabilidad-del-concreto-en-mexi-co/#:~:text=La%20durabilidad%20es%20la%20capacidad,de%2080%20a%20100%20a%C3%B1os>
- Residuos Profesional. (2017). *Residuos de la caña de azúcar para producir productos*. <https://www.residuosprofesional.com/bagazo-cana-azucar-papel-reciclado/>
- Rodríguez Pairzaman, O. y Sánchez Huatay, N. (2018). *Influencia de las fibras metálicas Dramix serie 4D en las propiedades Físico-Mecánicas del concreto permeable*. <https://vsip.info/tesis-2pdf-7-pdf-free.html>
- Romero Quintero, A. y Hernández Rico, J. (2014). *Diseño de mezclas de hormigón por el método A.C.I. y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseño%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1>

- Rosas Rozas, R. y Valer Vera, J. (2020). *Análisis comparativo de las propiedades reológicas del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con un concreto con superplastificante del 0.6% - 1.5%*, Cusco 2018. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3999>
- Sánchez, D. (2018). *Tecnología del concreto y del mortero (Biblioteca de la Construcción)*. Editorial Shandar.
- SIKA. (2014). *Concreto reforzado con fibras*. <https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/6/Concreto%20reforzado%20con%20fibras.pdf>
- Silva, O. J. (s. f.). *Conociendo las propiedades físicas del cemento: ¿qué y cómo?* <https://360enconcreto.com/blog/detalle/propiedades-fisicas-del-cemento/>
- Tesoro Tico. (2021). *Bagazo de la caña de azúcar*. <https://tesorotico.com/bagazo-de-la-cana-de-azucar/>
- Varón Aristizábal, F.; Osorio Saraz, A. y Herrera Mejía, J. A. (2007). *Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caña de Azúcar*. Universidad Nacional de Colombia. [https://www.researchgate.net/publication/26549604\\_Comportamiento\\_Mecanico\\_del\\_Concreto\\_Reforzado\\_con\\_Fibras\\_de\\_Bagazo\\_de\\_Cana\\_de\\_Azucar](https://www.researchgate.net/publication/26549604_Comportamiento_Mecanico_del_Concreto_Reforzado_con_Fibras_de_Bagazo_de_Cana_de_Azucar)
- Wajid, M. (2013). *Slump Test for Concrete*. <https://cemsolutions.org/concrete-slump-test/>

## Anexos

### Anexo 1. Fotos de ensayos realizados

Estación de trabajo y batidora



### Probetas para medición de agua y aditivo



### Estación de pesado de materiales



ASTM C138 Ensayo densidad



ASTM C138 Ensayo densidad



ASTM C1064 Temperatura



ASTM C143 Asentamiento



Moldeo de viguetas



Moldeo de viguetas



Curado de viguetas



Curado de cilindros





## Anexo 2. Informe Cacisa piedra 25 mm



**INFORME DE ENSAYO**  
**CR-LAB-SR-2022-648**  
**Fecha Emisión: 23 de febrero del 2022**



### IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

**Empresa:** Agregados Guápiles S.A.  
**Dirección:** Guápiles, Pococí, Limón  
**Dirigido a:** Jhorsua Castrillo González

### IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y DATOS DE CONTROL

**Número de muestra asignado:** 22/0989  
**Proyecto:** Control Calidad de Materiales  
**Lugar de muestreo:** Agregados Guápiles  
**Fuente del material:** Agregados Guápiles  
**Descripción de la muestra:** Piedra 25 mm  
**Fecha de muestreo:** 03 de febrero del 2022  
**Método de muestreo utilizado:** Muestreo de Agregados (AASHTO R 90, ASTM D 75M) \*  
**Fecha de recepción:** 04 de febrero del 2022  
**Lugar de realización de los ensayos:** Laboratorio Central  
**Período de realización de ensayos:** Febrero del 2022

### FIRMA DE APROBACIÓN

Firmado digitalmente por:

JORGE ISAAC CAMACHO BERMUDEZ (FIRMA)

Fecha de firma: 23/02/22

Ing. Jorge Camacho Bermúdez  
 Supervisor de Laboratorio

c/c: Archivo,

\*ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1365  
 Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte  
 E-mail: [Info@cacisa.cr](mailto:Info@cacisa.cr) Página web: [www.cacisa.cr](http://www.cacisa.cr) Apartado: 1621-1100

Página 1 de 5



F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9

**RESULTADOS**

<b>Análisis Granulométrico del Agregado Fino y Grueso (AASHTO T27, ASTM C136) *</b>					
Tamiz	Porcentaje pasando (%)				
	PIEDRA 25 mm	Inferior	Superior	Incertidumbre	Cumplimiento
Tamiz 25,4 mm (1")	100	-	-	0,0058	-
Tamiz 19 mm (3/4")	64	-	-	0,0067	-
Tamiz 12,5 mm (1/2")	3	-	-	0,0075	-
Tamiz 9,5 mm (3/8")	1	-	-	0,0083	-
Tamiz 4,75 µm (N° 4)	1	-	-	0,0090	-
Tamiz 2,36 µm (N° 8)	1	-	-	0,0080	-
Tamiz 1,18 µm (N° 16)	1	-	-	0,0080	-
Tamiz 0,6 µm (N° 30)	1	-	-	0,0090	-
Tamiz 0,3 µm (N° 50)	1	-	-	0,0100	-
Tamiz 0,15 µm (N° 100)	1	-	-	0,0110	-
Tamiz 0,075 µm (N° 200)	0,4	-	-	0,0119	-

<b>Gravedad específica y absorción del agregado grueso (AASHTO T85) *</b>		
Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Gravedad específica bruta	2,636	0,00041
Gravedad de superficie saturada seca	2,684	0,00033
Absorción (%)	1,8	0,0050

<b>Pesos Unitarios (ASTM C29/ AASHTO T19) *</b>		
Ensayos	Resultado	Incertidumbre
Peso Unitario Seco Sin Envarillar (kg/m³)	1460	8
Peso Unitario Seco Envarillado (kg/m³)	1580	8

<b>Pérdida por abrasión, Tipo B, (ASTM C131M) *</b>					
Tamaño Máximo Nominal (mm): 25					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Porcentaje de pérdida (%)	17	-----	-----	0,0031	-----

\* ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 2 de 5

Índice de durabilidad del agregado grueso (AASHTO T210, ASTM D3744/ D3744M) *					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Durabilidad del agregado	90	-	-	1,53	-

Nota: En la realización del ensayo de durabilidad se utiliza agua destilada.

Partículas Planas y Elongadas (ASTM D4791) * Método B, determinado por masa.					
Ensayo	Resultado	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Partículas planas y elongadas (%)	0,0	-	-	0,0018	-

Nota: Se emplea una razón dimensional de 1:5

Determinación de Caras Fracturadas, (ASTM D5821) * Porcentaje de partículas fracturadas determinado por masa de la muestra (Material retenido en malla #4).					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Masa Total de Muestra (g)	2356,8	-	-	-	-
1 o más Caras Fracturadas (%)	98,7	-	-	0,0018	-
2 o más Caras Fracturadas (%)	97,8	-	-	0,0018	-
Caras Redondeadas (%)	1,3	-	-	-	-

Nota: Se define como cara fracturada a las partículas que tengan más del 25% de la superficie fracturada.

Presencia de arcillas y partículas friables en agregado grueso (AASHTO T112/ ASTM C142M) *					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Partículas Friables (%)	0,1	-	-	0,0080	-

\*ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 3 de 5

Pérdida por sanidad con sulfato de sodio (AASHTO T104, ASTM C88) *										
Agregado Grueso										
Tamices		Masa inicial (g)	% Retenido (graduación)	Pérdida (%)	Pérdida corregida (%)	Pérdida Total (%)	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
Pasando	Retenido						Inferior	Superior		
63 mm (2 1/2 in)	50 mm (2 in)	0	0	0,0	0	1	-	-	0,010	-
50 mm (2 in)	37,5 mm (1 1/2 in)	0								
37,5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1 in)	0	36	0,7	0,3					
25 mm (1 in)	19 mm (3/4 in)	503,5								
19 mm (3/4 in)	12,5 mm (1/2 in)	670,7	63	1,5	1,0					
12,5 mm (1/2 in)	9,5 mm (3/8 in)	330								
9,5 mm (3/8 in)	4,75 mm (N°4)	0	0	0,0	0,0					

*Nota: Para la realización del ensayo se emplea solución recién preparada*



## INFORME DE ENSAYO CR-LAB-SR-2022-648



### ACLARACIONES

1. *Los resultados que se presentaron anteriormente, se refieren solo a las muestras ensayadas y/o pruebas realizadas en campo y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos.*
2. *No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de CACISA, así mismo no es válido sin la firma de autorización respectiva*
3. *Si la información o muestras son aportadas por el cliente, los resultados son únicamente aplicables a la muestra suministrada.*
4. *Se exime de toda responsabilidad al laboratorio, cuando el cliente proporcione información que pueda afectar la validez de los resultados.*
5. *Siempre que se reporta la incertidumbre expandida, se declara como la incertidumbre estándar de la medición multiplicada por un factor de cobertura  $k=2$  que corresponde a una probabilidad de cobertura aproximadamente del 95 %.*
6. *Cuando se requiera declarar la conformidad de los resultados, se tomará como regla de decisión lo siguiente: "sí al menos un 50% del valor de la medición (resultado +/- incertidumbre) se encuentra entre lo especificado se da conformidad de aceptación, caso contrario se declara incumplimiento con la especificación". Cuando el cliente no la aporte, esta será la regla de decisión a utilizar.*
7. *El plan de muestreo utilizado sigue la metodología descrita en el documento PT-LAB-31 Plan de Muestreo.*
8. *Cualquier comentario acerca de nuestros servicios, favor enviarlo a [calidad@cacisa.cr](mailto:calidad@cacisa.cr)*

----- Última Línea -----

\*ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 5 de 5

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385  
Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte  
E-mail: [info@cacisa.cr](mailto:info@cacisa.cr) Página web: [www.cacisa.cr](http://www.cacisa.cr) Apartado: 1621-1100



F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9

## Anexo 3. Informe Cacisa piedra 16 mm



**INFORME DE ENSAYO**  
**CR-LAB-SR-2022-646**  
**Fecha Emisión: 23 de febrero del 2022**




---

**IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE**


---

**Empresa:** Agregados Guápiles S.A.  
**Dirección:** Guápiles, Pococí, Limón  
**Dirigido a:** Jhorsua Castrillo González

---

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y DATOS DE CONTROL**


---

**Número de muestra asignado:** 22/0993  
**Proyecto:** Control Calidad de Materiales  
**Lugar de muestreo:** Control de calidad, Guápiles  
**Fuente del material:** Agregados Guápiles  
**Descripción de la muestra:** Piedra 16 mm  
**Fecha de muestreo:** 03 de febrero del 2022  
**Método de muestreo utilizado:** Muestreo de Agregados (AASHTO R 90, ASTM D 75M) \*  
**Fecha de recepción:** 04 de febrero del 2022  
**Lugar de realización de los ensayos:** Laboratorio Central  
**Período de realización de ensayos:** Febrero del 2022

---

**FIRMA DE APROBACIÓN**


---

Firmado digitalmente por:

JORGE ISAAC CAMACHO BERMUDEZ (FIRMA)

Fecha de firma: 23/02/22

---

Ing. Jorge Camacho Bermúdez  
 Supervisor de Laboratorio

c/c: Archivo,

\*ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 1 de 5

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385  
 Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte  
 E-mail: [info@cacisa.cr](mailto:info@cacisa.cr) Página web: [www.cacisa.cr](http://www.cacisa.cr) Apartado: 1621-1100



F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9

**RESULTADOS**

<b>Análisis Granulométrico del Agregado Fino y Grueso (AASHTO T27, ASTM C136) *</b>					
Tamiz	Porcentaje pasando (%)				
	-				
	Piedra 16,0 mm	Inferior	Superior	Incertidumbre	Cumplimiento
Tamiz 19 mm (3/4")	100	-	-	0,0067	-
Tamiz 12,5 mm (1/2")	98	-	-	0,0075	-
Tamiz 9,5 mm (3/8")	79	-	-	0,0083	-
Tamiz 4,75 µm (N° 4)	7	-	-	0,0090	-
Tamiz 2,36 µm (N° 8)	1	-	-	0,0080	-
Tamiz 1,18 µm (N° 16)	1	-	-	0,0080	-
Tamiz 0,6 µm (N° 30)	1	-	-	0,0090	-
Tamiz 0,3 µm (N° 50)	1	-	-	0,0100	-
Tamiz 0,15 µm (N° 100)	1	-	-	0,0110	-
Tamiz 0,075 µm (N° 200)	0,7	-	-	0,0119	-

<b>Gravedad específica y absorción del agregado grueso (AASHTO T85) *</b>		
Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Gravedad específica bruta	2,595	0,00041
Gravedad de superficie saturada seca	2,658	0,00033
Absorción (%)	2,4	0,0059

<b>Pesos Unitarios (ASTM C29/ AASHTO T19) *</b>		
Ensayos	Resultado	Incertidumbre
Peso Unitario Seco Sin Envarillar (kg/m³)	1450	8
Peso Unitario Seco Envarillado (kg/m³)	1540	8

<b>Presencia de arcillas y partículas friables en agregado grueso (AASHTO T112/ ASTM C142M) *</b>					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Partículas Friables (%)	0,1	-	-	0,0080	-

\* ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 2 de 5

Determinación de Caras Fracturadas, (ASTM D5821) *					
Porcentaje de partículas fracturadas determinado por masa de la muestra (Material retenido en malla #4).					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Masa Total de Muestra (g)	2148,1	-	-	-	-
1 o más Caras Fracturadas (%)	97,8	-	-	0,0018	-
2 o más Caras Fracturadas (%)	97,0	-	-	0,0018	-
Caras Redondeadas (%)	2,2	-	-	-	-

Nota: Se define como cara fracturada a las partículas que tengan más del 25% de la superficie fracturada.

Partículas Planas y Elongadas (ASTM D4791) *					
Método B, determinado por masa.					
Ensayo	Resultado	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Partículas planas y elongadas (%)	0,0	-	-	0,0018	-

Nota: Se emplea una razón dimensional de 1:5

Pérdida por abrasión, Tipo C, (ASTM C131M) *					
Tamaño Máximo Nominal (mm): 12,5					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Porcentaje de pérdida (%)	18	-----	-----	0,0031	-----

Índice de durabilidad del agregado grueso (AASHTO T210, ASTM D3744/ D3744M) *					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Durabilidad del agregado	82	-	-	1,53	-

Nota: En la realización del ensayo de durabilidad se utiliza agua destilada.

\* ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 3 de 5



Pérdida por sanidad con sulfato de sodio (AASHTO T104, ASTM C88) *										
Agregado Grueso										
Tamices		Masa inicial (g)	% Retenido (graduación)	Pérdida (%)	Pérdida corregida (%)	Pérdida Total (%)	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
Pasando	Retenido						Inferior	Superior		
63 mm (2 1/2 in)	50 mm (2 in)	0	0	0,0	0	4	-	-	0,010	-
50 mm (2 in)	37,5 mm (1 1/2 in)	0								
37,5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1 in)	0								
25 mm (1 in)	19 mm (3/4 in)	0								
19 mm (3/4 in)	12,5 mm (1/2 in)	633,9	21	1,8	0,4					
12,5 mm (1/2 in)	9,5 mm (3/8 in)	335								
9,5 mm (3/8 in)	4,75 mm (N°4)	300	72	4,0	2,9					

*Nota: Para la realización del ensayo se emplea solución recién preparada*



## INFORME DE ENSAYO CR-LAB-SR-2022-646



### ACLARACIONES

1. *Los resultados que se presentaron anteriormente, se refieren solo a las muestras ensayadas y/o pruebas realizadas en campo y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos.*
2. *No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de CACISA, así mismo no es válido sin la firma de autorización respectiva*
3. *Si la información o muestras son aportadas por el cliente, los resultados son únicamente aplicables a la muestra suministrada.*
4. *Se exige de toda responsabilidad al laboratorio, cuando el cliente proporcione información que pueda afectar la validez de los resultados.*
5. *Siempre que se reporta la incertidumbre expandida, se declara como la incertidumbre estándar de la medición multiplicada por un factor de cobertura  $k=2$  que corresponde a una probabilidad de cobertura aproximadamente del 95 %.*
6. *Cuando se requiera declarar la conformidad de los resultados, se tomará como regla de decisión lo siguiente: "si al menos un 50% del valor de la medición (resultado +/- incertidumbre) se encuentra entre lo especificado se da conformidad de aceptación, caso contrario se declara incumplimiento con la especificación". Cuando el cliente no la aporte, esta será la regla de decisión a utilizar.*
7. *El plan de muestreo utilizado sigue la metodología descrita en el documento PT-LAB-31 Plan de Muestreo.*
8. *Cualquier comentario acerca de nuestros servicios, favor enviarlo a [calidad@cacisa.cr](mailto:calidad@cacisa.cr)*

----- Última Línea -----

\*ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 5 de 5

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385  
Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte  
E-mail: [info@cacisa.cr](mailto:info@cacisa.cr) Página web: [www.cacisa.cr](http://www.cacisa.cr) Apartado: 1621-1100



F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9



**INFORME DE ENSAYO**  
**CR-LAB-SR-2022-644**  
**Fecha Emisión: 23 de febrero del 2022**



**IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE**

**Empresa:** Agregados Guápiles S.A.  
**Dirección:** Guápiles, Pococí, Limón  
**Dirigido a:** Jhorsua Castrillo González

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y DATOS DE CONTROL**

**Número de muestra asignado:** 22/0994  
**Proyecto:** Control Calidad de Materiales  
**Lugar de muestreo:** Agregados Guápiles  
**Fuente del material:** Agregados Guápiles  
**Descripción de la muestra:** Arena de Río  
**Fecha de muestreo:** 03 de febrero del 2022  
**Método de muestreo utilizado:** Muestreo de Agregados (AASHTO R 90, ASTM D 75M) \*  
**Fecha de recepción:** 04 de febrero del 2022  
**Lugar de realización de los ensayos:** Laboratorio Central  
**Período de realización de ensayos:** Febrero del 2022

**FIRMA DE APROBACIÓN**

Firmado digitalmente por:

JORGE ISAAC CAMACHO BERMUDEZ (FIRMA)

Fecha de firma: 23/02/22

Ing. Jorge Camacho Bermúdez  
 Supervisor de Laboratorio

c/c: Archivo,

\*ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 1 de 4

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385  
 Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte  
 E-mail: [Info@cacisa.cr](mailto:Info@cacisa.cr) Página web: [www.cacisa.cr](http://www.cacisa.cr) Apartado: 1621-1100



F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9

## Anexo 4. Informe Cacisa arena de río


**INFORME DE ENSAYO**  
**CR-LAB-SR-2022-644**
**RESULTADOS**

<b>Análisis Granulométrico del Agregado Fino y Grueso (AASHTO T27, ASTM C136) *</b>					
Tamiz	Porcentaje pasando (%)				
	-				
	Arena Natural	Inferior	Superior	Incertidumbre	Cumplimiento
Tamiz 9,5 mm (3/8")	100	-	-	0,0083	-
Tamiz 4,75 µm (N° 4)	96	-	-	0,0090	-
Tamiz 2,36 µm (N° 8)	74	-	-	0,0080	-
Tamiz 1,18 µm (N° 16)	51	-	-	0,0080	-
Tamiz 0,6 µm (N° 30)	32	-	-	0,0090	-
Tamiz 0,3 µm (N° 50)	16	-	-	0,0100	-
Tamiz 0,15 µm (N° 100)	7	-	-	0,0110	-
Tamiz 0,075 µm (N° 200)	3,4	-	-	0,0119	-

<b>Gravedad específica y absorción de agregados finos (ASTM C128, AASTHO T84) *</b>		
Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Gravedad específica bruta	2,602	0,0027
Gravedad superficie saturada seca	2,680	0,0025
Absorción (%)	2,2	0,0264

<b>Pesos Unitarios (ASTM C29/ AASHTO T19) *</b>		
Ensayos	Resultado	Incertidumbre
Peso Unitario Seco Sin Envarillar (kg/m³)	1540	8
Peso Unitario Seco Envarillado (kg/m³)	1680	8

<b>Presencia de arcilla y partículas friables en agregado fino (AASHTO T112/ ASTM C142M) *</b>					
Ensayo	Resultado	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Partículas friables (%)	0,5	-	-	0,1477	-

\* ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 2 de 4

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385  
 Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte  
 E-mail: [info@cacisa.cr](mailto:info@cacisa.cr) Página web: [www.cacisa.cr](http://www.cacisa.cr) Apartado: 1621-1100



F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9

Equivalente de Arena (AASHTO T176) *					
Ensayo	Resultado	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Equivalente de Arena	81	-	-	1,82	-

Índice de durabilidad del agregado fino (AASHTO T210, ASTM D3744/ D3744M) *					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Durabilidad del agregado	81	-	-	2,55	-

Nota: En la realización del ensayo de durabilidad se utiliza agua destilada.

Colorimetría (AAHTO T21, ASTM C40) **	
Resultado del ensayo Colorimetría:	No contiene impurezas orgánicas

Pérdida por sanidad con sulfato de sodio (AASHTO T104, ASTM C88) *										
Agregado Fino										
Tamices		Masa inicial (g)	% Retenido (graduación)	Pérdida (%)	Pérdida corregida (%)	Pérdida Total (%)	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
Pasando	Retenido						Inferior	Superior		
9,5 mm (3/8 in)	4,75 mm (N°4)	0	0	0,0	0	2	-	-	0,018	-
4,75 mm (N°4)	2,38 mm (N°8)	100	22	2,6	0,6					
2,38 mm (N°8)	1,18 mm (N°16)	100	23	2,1	0,5					
1,18 mm (N°16)	600 µm (N°30)	100	19	2,0	0,4					
600 µm (N°30)	300 µm (N°50)	100	16	1,6	0,3					

Nota: Para la realización del ensayo se emplea solución recién preparada

\* ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 3 de 4

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385  
Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte  
E-mail: [Info@cacisa.cr](mailto:Info@cacisa.cr) Página web: [www.cacisa.cr](http://www.cacisa.cr) Apartado: 1621-1100

#### ACLARACIONES

1. *Los resultados que se presentaron anteriormente, se refieren solo a las muestras ensayadas y/o pruebas realizadas en campo y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos.*
2. *No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de CACISA, así mismo no es válido sin la firma de autorización respectiva*
3. *Si la información o muestras son aportadas por el cliente, los resultados son únicamente aplicables a la muestra suministrada.*
4. *Se exige de toda responsabilidad al laboratorio, cuando el cliente proporcione información que pueda afectar la validez de los resultados.*
5. *Siempre que se reporta la incertidumbre expandida, se declara como la incertidumbre estándar de la medición multiplicada por un factor de cobertura  $k=2$  que corresponde a una probabilidad de cobertura aproximadamente del 95 %.*
6. *Cuando se requiera declarar la conformidad de los resultados, se tomará como regla de decisión lo siguiente: "sí al menos un 50% del valor de la medición (resultado +/- incertidumbre) se encuentra entre lo especificado se da conformidad de aceptación, caso contrario se declara incumplimiento con la especificación". Cuando el cliente no la aporte, esta será la regla de decisión a utilizar.*
7. *El plan de muestreo utilizado sigue la metodología descrita en el documento PT-LAB-31 Plan de Muestreo.*
8. *Cualquier comentario acerca de nuestros servicios, favor enviarlo a [calidad@cacisa.cr](mailto:calidad@cacisa.cr)*

----- Última Línea -----

\*ENSAYO ACREDITADO, \*\* ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Página 4 de 4

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385  
Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte  
E-mail: [info@cacisa.cr](mailto:info@cacisa.cr) Página web: [www.cacisa.cr](http://www.cacisa.cr) Apartado: 1621-1100



CACISA

F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9

## Anexo 5. Ficha técnica cemento Holcim MP/A-28



**Cemento**  
**INDUSTRIAL**  
**INDUSTRIAL**

*El Cemento Holcim Industrial es un cemento para uso en concretos especiales y de alta resistencia inicial*



# El indicado para procesos industriales



## Resistente a agresión química

Gracias a su contenido de puzolana Holcim se obtiene un efecto positivo en la resistencia y durabilidad del concreto



## Para procesos industriales

Ideal para elaboración de elementos de concreto (ej. Bloques de concreto, tubos de concreto, casas prefabricadas, entre otros)



## Para concreto premezclado

Ideal para garantizar resistencias necesarias y durabilidad

## Cemento hidráulico Industrial

El Cemento Holcim INDUSTRIAL es el recomendado para construcciones Industriales de mayor resistencia y durabilidad. Su contenido controlado de C<sub>3</sub>A menor al 8% provee un moderado calor de hidratación lo cual favorece la disminución de agrietamiento superficial por contracción plástica, cuando se controlan adecuadamente los parámetros de curado.

Cumple con el Reglamento Técnico de Costa Rica RTCR 479:2015 (decreto 39414-MEIC-S del 4 de enero 2016) como cemento tipo MP/A-28 / ASTM C595 IP (HS).

**Tipo MP/A-28**  
RTCR 479:2015  
ASTM C595 IP (HS)

**Producido en:**  
Holcim Costa Rica, Aguacaliente de Cartago

**Presentación:**  
Bolsas 50 kg, granel

**Clasificación arancelaria:** 25.23.90.00.00

Planta de Cemento Cartago con un sistema de gestión certificado según normas ISO 9001:2015 Gestión de Calidad e ISO 14001:2015 Gestión Ambiental.

Producto Certificado por INTECO para el Uso de la Marca de Conformidad de Producto INTECO, con el Reglamento Nacional de Costa Rica RTCR 479.2015.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

**TABLA 1: ANÁLISIS QUÍMICOS DEL CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL**

	CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL	RTCR 479:2015	ASTM 595 IP
% Óxido de magnesio (MgO), max%	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6
% Tríoído de azufre (SO <sub>3</sub> ), max%	≤ 2,95*	≤ 4,0	≤ 4
Aluminato Tricálcico (C <sub>3</sub> A), max %	≤ 8,0**	-	-

\* El valor del SO<sub>3</sub> indicado, cumple con la norma europea EN197 para los cementos resistentes a los sulfatos, la cual regula un máximo de un 3,50% para cementos adicionados con puzolanas naturales.

\*\* El valor del C<sub>3</sub>A es un valor de referencia para asegurar cumplimiento con norma europea EN197 para los cementos resistentes a los sulfatos, la cual regula un máximo de un 9,0% para cementos adicionados con puzolanas naturales.

**TABLA 2: COMPONENTES PRINCIPALES DEL CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL (% EN MASA)**

COMPONENTES	CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL	RTCR 479:2015
Clinker	80-89	80-94
Minerales Pozolánicos	6-21	6-21
Otros	0-5	0-5

**TABLA 3: REQUERIMIENTOS FÍSICOS DEL CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL**

		CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL	RTCR 479:2015	ASTM C595 IP (HS)
Superficie específica ASTM C204	Min. m <sup>2</sup> /kg	330	-	-
	Min. cm <sup>2</sup> /kg	3300	-	-
Finura retenido en tamiz 0.045mm INTE 06-11-10 (max.%)	Pasante (min.%)	97,5	-	-
	Retenido (max.%)	3,5	-	-
Cambio en longitud autoclave INTE 06-11-03	Expansión (max.%)	0,2	0,8	0,8
	Contracción (max.%)	-	-	0,2
Tiempo de Fragua, minutos	Inicial (min. minutos) INTE 06-11-05	45	45	45
	Final (max. minutos) INTE 06-11-05	420	420	420
Contenido de aire del mortero INTE 06-11-04 (max.%)		12	12	12
Resistencia mínima a la compresión INTE 06-02-20	1 día	-	-	-
	3 días	13	13	11,0
	7 días	20	20	18,0
	28 días	28	28	25,0
Calor de hidratación ASTM C 386 (max. kJ/kg)	7 días	-	-	290
	28 días	-	-	330
Expansión en barras de mortero 14 días, % máximo ASTM C 1038	14 días	0,02	0,02	0,02
	56 días	-	-	0,06
Falso fraguado, % mínimo ASTM C451		50	50	-
Expansión por sulfatos ASTM C 1012 (max.%)	6 meses	-	-	0,05
	1 año	-	-	0,10



Parámetro (*)	Resultado	Unidad Medida	Reglamento RTCR 479-2015	Fecha Ejecución	Parámetro (*)	Resultado	Unidad Medida	Reglamento RTCR 479-2015	Fecha Ejecución	Parámetro (*)	Resultado	Unidad Medida	Reglamento RTCR 479-2015	Fecha Ejecución
SiO <sub>2</sub> *	22,81	%	NI	Marzo	R1D** Uc= ± 0,3	18,4	MPa	NI	Marzo	Contenido Aire** Uc= ± 0,4	7	%	<12	Marzo
MgO*	2,26	%	≤6	Marzo	R3D** Uc= ± 0,4	27,2	MPa	>13	Marzo	Expansión Autoclave** Uc= ± 0,002	0,03	%	<0.8	Marzo
SO <sub>3</sub> *	2,91	%	≤4	Marzo	R7D** Uc= ± 0,7	32,3	MPa	>20	Marzo	Expansión Barras Mortero** Uc= ± 0,003	0,006	%	<0.02	Diciembre
Residuo Insoluble** Uc= ± 0,05	NI	%	≤5	NI	28 D** Uc= ± 0,4	40,5	MPa	>28	Febrero	Falso Fraguado Uc= ± 6	82	%	>50	Marzo
Perdida Fuego*	4,74	%	NI	Marzo	CN** Uc= ± 0,05	26,5	%	NI	Marzo	Calor Hidratación 7 Días*	NI	kJ/kg	<250	NI
Blaine** Uc= ± 85	480	m <sup>2</sup> /kg	NI	Marzo	SET IN** Uc= ± 4	100	minutos	>45	Marzo	Calor Hidratación 28 Días*	NI	kJ/Kkg	<290	NI
Finura 45 um** Uc= ± 0,8	2,8	%	NI	Marzo	SET FN** Uc= ± 4	240	minutos	<420	Marzo		NI	%	NI	NI
Relacion A/C	49,6	%	NI	Marzo	Densidad** Uc= ± 0,06	2,97	g/mL	NI	Marzo		NI	NI	NI	NI

Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo  
Los resultados de los análisis químicos están calculados en porcentaje en peso, se hacen por XRF.

Ensayos según Normas:

Blaine, INTE C138

Consistencia Normal, INTE C139

Tiempos de Fragua, INTE C137

Perdida de Fuego, INTE C134

Residuo Insoluble, INTE C134

Expansión por Autoclave, INTE C135

Expansión de Barras de Mortero en Agua, INTE C166

Durabilidad y/o Resistencia a los Sulfatos, ASTM C1012

Densidad, INTE C141

Resistencia a la Compresión, INTE C57


Firma: Estefany Muñoz Zamora

ESTEFANY  
MUÑOZ  
ZAMORA (FIRMA)

Firmado digitalmente por  
ESTEFANY MUÑOZ  
ZAMORA (FIRMA)  
Fecha: 2022.04.06  
11:16:35 -06'00"

Control Calidad

	<b>INFORME DE ENSAYO</b> Consecutivo: 3M2 IND 2022 Pagina 1/1
---	---

Mes:	Marzo	Recepción muestra:	Marzo	
Periodo:	(1 al 31 de Marzo del 2022)	Fecha recomendada de Uso:	Ver Empaque	
Fecha de Informe:	6/4/2022	Fecha de Muestreo:	(1 al 31 de Marzo del 2022)	
Producto:	Cemento	Lugar de Muestreo:	Planta Cartago	
Tipo:	MPJA-28			
Identificación Cliente:	INDUSTRIAL			

Holcim (Costa Rica) S.A. cuenta con un sistema de Gestión Integrado (SGI) de Calidad, Ambiente y OH&S.

Nuestras Operaciones en Planta Cemento están certificadas según Normas:

ISO 9001:2008 Gestión de Calidad

ISO 14001:2004 Gestión de Ambiente

ISO 18001:2001 Gestión de Salud y Seguridad Ocupacional

ISO 14064:2006 Gestión Gases de Efecto Invernadero

#### INFORMACIÓN GENERAL

#### INFORMACIÓN DE CLIENTE

Laboratorio:	Control Calidad, Holcim (Costa Rica) S.A.	Cliente:	
Dirección Laboratorio:	Planta Cemento Holcim (Costa Rica) S.A., Agua Caliente, Cartago Costa Rica	Dirección Cliente:	
email:	<a href="mailto:contactenos-cn@holcim.com">contactenos-cn@holcim.com</a>	email:	
Teléfono:	(506) 2205-2800	Teléfono:	
Fax:	(506) 2205-3100	Fax:	

#### Informe de Resultados

## Anexo 6. Certificado de calidad cemento Holcim MP/A-28

Finura en malla 45µm, INTE C142 Calor Hidratación, ASTM C186 Contenido de Aire, INTE C136 Falso Fraguado, INTE C169 Reactividad Alkali Agregado, ASTM 227 El muestreo se realiza según procedimiento I-CG.OP 06.22; I-CG.OP 06.19 según lo establece el plan de calidad (A-CG.OP 06.00.01 Plan de Calidad * Ensayo No Acreditado ** Ensayo y muestreo Acreditado según Alcance N° LE-095, ver alcance en www.eca.or.cr	<b>Interpretaciones Adicionales:</b> La incertidumbre reportada en el certificado se expresa con un 95% de confianza y un factor de cobertura de 2
	<b>Observaciones Adicionales:</b> Solo se realizó una Réplica por análisis Los resultados de resistencias 28 días corresponden al mes anterior reportado en el certificado Contenido de Puzolana menor a 10% m/m
(+) R1D= Resistencia a la compresión a la edad de 1 día. R3D= Resistencia a la compresión a la edad de 3 días. R7D= Resistencia a la compresión a la edad de 7 días. R28D= Resistencia a la compresión a la edad de 28 días. CN= Consistencia Normal de la pasta. SET IN= Tiempo de fragua inicial. SET FN= Tiempo de fragua final. A/C= Relación Agua Cemento del mortero. NI= No indica Uc = Incertidumbre expandida del ensayo, tomando en cuenta la variabilidad de la producción.	Última Línea

Quedan reservados todos los derechos de reproducción de este documento a Holcim (Costa Rica) S.A.

## Anexo 7. Ficha técnica aditivo Polyheed 955



3	03 30 00	<b>Datos del Producto</b> Concreto colocado en sitio Concreto prefabricado Concreto masivo
	03 40 00	
	03 70 00	

### Descripción

POLYHEED 955 es un aditivo reductor de agua de medio rango que modifica la hidratación del cemento, multicomponente y libre de cloruros formulado para producir:

- Una reducción de agua de medio rango (5 a 15%) y un excelente desempeño a través de un amplio rango de asentamiento, especialmente el rango difícil de 150 a 200 mm de asentamiento en el concreto.
- Aumenta el tiempo de fraguado del concreto a lo largo del rango de dosificación recomendado.
- Mejor calidad en trabajabilidad, bombeabilidad y acabado aún en mezclas de concreto con bajas cantidades de materiales cementicios y/o mezclas que contengan cenizas volantes.
- Desarrollo de resistencias

## POLYHEED® 955

Aditivo reductor de agua de medio rango y retardante

### Características

- Reduce el contenido de agua para un asentamiento dado
- Mejores características del tiempo de fraguado
- Incremento en el desarrollo de las resistencias a la compresión.

### Beneficios

POLYHEED 955 ayuda a la producción de un concreto de calidad proporcionando las siguientes ventajas especiales:

- Trabajabilidad y bombeabilidad superior en aplicaciones en clima caluroso.
- Reduce la exudación y segregación.
- Mejores características de acabado en superiores en superficies planas, vaciadas o extruídas (Maquinas extrusoras).
- Desempeño consistente en concretos con asentamiento bajo, medio rango de asentamiento de 150 a 200 mm y alto asentamiento del concreto.

POLYHEED 955 resulta efectivo ya sea como un aditivo único o como parte de un sistema de aditivos de BASF.

comparable con los aditivos reductores y retardantes.

- Mejor desempeño con un amplio rango de cementos, cenizas volantes, escorias granuladas y agregados.

POLYHEED 955 cumple con los requisitos de la norma ASTM C494 para aditivos retardantes Tipo A y reductores de agua y retardantes Tipo D.

## Usos Recomendados

POLYHEED 955 es un aditivo de medio rango y retardante que modifica la hidratación del cemento. POLYHEED 955 se recomienda en todo concreto donde se quiera extender el fraguado, trabajabilidad y acabados superiores, especialmente en climas cálidos.

POLYHEED 955 puede ser utilizado en concreto arquitectónico y concreto con color.

POLYHEED 955 puede usarse con aditivos inclusores de aire, siempre que satisfagan las especificaciones ASTM, AASHTO y CRD.

## Notas de Producto

La aplicación adecuada del producto es responsabilidad del usuario. Toda visita de campo realizada por el personal de BASF tiene como fin único el hacer recomendaciones técnicas y no el supervisar o proporcionar control de calidad en el lugar de la obra.

## Forma de Uso

**Dosificación** : POLYHEED 955 se recomienda en un rango de 3 a 10 cc/kg de cemento, en la mayoría de las mezclas de concreto. BASF no recomienda usar dosificaciones fuera del rango establecido sin antes realizar pruebas de campo. Consulte a su representante local de BASF para determinar el rango de dosificación óptimo.

**Sin cloruros, sin corrosión** : POLYHEED 955 no contiene cloruro de calcio añadido ni algún otro agente químico que contenga cloruros, por lo tanto no provoca la corrosión del acero de refuerzo del concreto.

## Empaque

POLYHEED 955 se suministra en tambores de 1040L y a granel.

## Almacenamiento

La vida útil de POLYHEED 955 es de 12 meses como mínimo, si se mantiene en su envase original cerrado y almacenado en un sitio fresco y seco. Evite almacenar el producto a la exposición directa de los rayos solares y altas temperaturas.

## Seguridad

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto.

**Master  
Builders**

NOTIFICACIÓN DE GARANTÍA LIMITADA. Todo esfuerzo razonable es hecho para aplicar los rigurosos estándares de BASF tanto en la fabricación de nuestros productos como en la información que expedimos en relación a estos productos y su uso. Nosotros garantizamos que nuestros productos son de buena calidad y los sustituiremos, o, a nuestra discreción, reembolsaremos al precio de compra de cualquier producto que se pruebe está defectuoso. El obtener resultados satisfactorios depende no solamente del uso de productos de calidad, sino también de muchos factores que están fuera de nuestro control. Por lo tanto, excepto en los casos de tales sustituciones o reembolsos, BASF NO GARANTIZA, EXPLÍCITA O IMPLÍCITAMENTE, INCLUYENDO GARANTÍAS DE DESEMPEÑO PARA UN PROPOSITO PARTICULAR O COMERCIALIZABILIDAD, CON RELACION A SUS PRODUCTOS, y BASF no estará sujeto a responsabilidad ninguna en relación a los mismos. Cualquier reclamo relacionado a defectos en productos debe ser recibido por escrito dentro de un (1) año de la fecha de despacho. No se considerará ningún reclamo sin tal notificación escrita o con fecha posterior al intervalo de tiempo especificado. El usuario deberá determinar que los productos para el uso previsto sean idóneos y asumir todo el riesgo y la responsabilidad en conexión a ello. Cualquier autorización de cambio en las recomendaciones escritas acerca del uso de nuestros productos debe llevar la firma del Gerente Técnico de BASF. La información y todo asesoramiento técnico adicional están basados en el conocimiento y experiencia actual de BASF. Sin embargo, BASF no asume ninguna responsabilidad por proporcionar dicha información y asesoramiento, incluyendo la extensión a la cual dicha información y asesoramiento pueda relacionarse a los derechos de propiedad intelectual de terceros, especialmente derechos de patente. En particular BASF niega todas LAS CONDICIONES Y GARANTÍAS, SEAN EXPRESAS O IMPLÍCITAS, INCLUYENDO LAS GARANTÍAS IMPLÍCITAS POR DESEMPEÑOS PARA UN PROPOSITO O COMERCIALIZABILIDAD ESPECÍFICOS. BASF NO ESTARÁ SUJETO A RESPONSABILIDAD POR DAÑOS INCIDENTALES, INDIRECTOS O CONSECUENCIALES (INCLUYENDO PERDIDA DE GANANCIA) DE CUALQUIER TIPO. BASF se reserva el derecho de hacer cualquier cambio debido a progreso tecnológico o desarrollos futuros. Es de exclusiva responsabilidad y obligación del cliente el inspeccionar y probar con cuidado cualquier bien que reciba. El desempeño del producto(s) descritos aquí, deben ser verificados por medio de ensayos, que debe ser llevado a cabo solamente por expertos calificados. Es de exclusiva responsabilidad del cliente el llevar a cabo y tramitar dicho ensayo. La referencia a marcas o nombres comerciales usados por otras compañías no es recomendación ni publicidad para ningún producto y no implica que uno similar no pueda ser usado.

**PARA USO PROFESIONAL ÚNICAMENTE. NO ESTÁ DISPONIBLE PARA LA VENTA AL PÚBLICO GENERAL.**

**BASF Corporation**  
Construction Chemicals  
23700 Chagrin Blvd  
Cleveland, OH, USA, 44122  
1-216-839-7550

<b>Argentina</b> (54-11) 4317-9600 <a href="http://www.basf-cc.com.ar">www.basf-cc.com.ar</a>	<b>Brasil</b> 55 (11) 2718-5555 <a href="http://www.basf-cc.com.br">www.basf-cc.com.br</a>	<b>Chile</b> (56-2) 799-4300 <a href="http://www.basf-cc.com.cl">www.basf-cc.com.cl</a>	<b>Colombia</b> (57-1) 6-32-22-60 <a href="http://www.basf-cc.com.co">www.basf-cc.com.co</a>	<b>Costa Rica</b> 506-2440-9110 <a href="http://www.centroamerica.basf-cc.com">www.centroamerica.basf-cc.com</a>	<b>Panamá</b> 507-301-0970 <a href="http://www.centroamerica.basf-cc.com">www.centroamerica.basf-cc.com</a>
<b>México</b> 55-5899-3984 <a href="http://www.basf-cc.com.mx">www.basf-cc.com.mx</a>	<b>Ecuador</b> (593-2) 397-9500 <a href="http://www.basf-cc.com.ec">www.basf-cc.com.ec</a>	<b>Perú</b> (51-1) 219-0630 <a href="http://www.basf-cc.com.pe">www.basf-cc.com.pe</a>	<b>Puerto Rico</b> 1-787-258-2737 <a href="http://www.caribbean.basf-cc.com">www.caribbean.basf-cc.com</a>	<b>Rep. Dominicana</b> 809-334-1026 <a href="http://www.basf-cc.com.do">www.basf-cc.com.do</a>	<b>Venezuela</b> (58-212) 958 6711 <a href="http://www.basf-cc.com.ve">www.basf-cc.com.ve</a>