



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO
EN INGENIERÍA ÁREA QUÍMICA
VALENCIA-VENEZUELA**



**“CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO Y
FISICOQUIMICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS
NATURALES DE COCO Y BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO
EN CONSTRUCCION”**

Autor:

Licda. Belén María Paricaguán Morales
C.I.V- 12342871

Tutores Académicos:

Doctora Carmen Albano (U.C.V.; I.V.I.C.)
Doctor Ronald Torres (U.C.V.; IMME)

Naguanagua, Valencia, Venezuela

Noviembre, 2015



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO
EN INGENIERÍA ÁREA QUÍMICA
VALENCIA-VENEZUELA**



**“CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO Y
FISICOQUIMICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS
NATURALES DE COCO Y BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO
EN CONSTRUCCION”**

Tesis Doctoral presentada ante el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de
Carabobo para optar al título de Doctor en Ingeniería área Química

Autor:
Licda. Belén María Paricaguán Morales
C.I.V- 12342871

Tutores Académicos:
Doctora Carmen Albano (U.C.V.; I.V.I.C.)
Doctor Ronald Torres (U.C.V.; IMME)

Naguanagua, VALENCIA, VENEZUELA

Noviembre, 2015



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO
EN INGENIERÍA ÁREA QUÍMICA
VALENCIA-VENEZUELA**



VEREDICTO

NOSOTROS, MIEMBROS DEL JURADO DESIGNADO PARA LA EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO TITULADO: **CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO Y FISICOQUIMICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE COCO Y BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO EN CONSTRUCCION**, PRESENTADO POR: **Belén María Paricaguán Morales C.I. 12.342.871**, PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERIA, CONSIDERAMOS QUE REÚNE LOS REQUISITOS PARA SER CONSIDERADO COMO **APROBADO**.

Nombre y Apellido C.I. y Firma del Jurado

Naguanagua, VALENCIA, VENEZUELA,
Noviembre, 2015

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por brindarme salud y prestarme las herramientas necesarias para el desarrollo de esta meta.

A José Luis Muñoz Cuevas por ayudarme a cumplir con esta meta.

A mis directores: Dra. Carmen Lilian Albano, Dr. Ronald Torres. Por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto bajo sus direcciones, brindándome su apoyo y paciencia, y permitirme poner en práctica los conocimientos adquiridos en el salón de clases, así como obtener nuevos conocimientos y habilidades.

Al asesor técnico, profesor Nelson Camacho, por depositar su confianza y paciencia, en mí para la realización de este proyecto, así como por toda la ayuda y apoyo recibido. Igualmente, por sus valiosas sugerencias y fructíferas discusiones, que han contribuido de forma decisiva a mi formación científica y humana.

AGRADECIMIENTOS

A José Luis Muñoz Cuevas, por enseñarme las bondades de la vida y por brindarme todo el apoyo, confianza, amor comprensión y paciencia en todo momento.

A toda mi familia, por creer en mí y hacerme sentir en todo momento capaz de conseguir lo que me propusiera.

A la Misión Ciencia, por haberme otorgado una beca, con el fin de realizar estudios de Postgrado.

A la Universidad de Carabobo (UC), por ser mi hogar y permitirme formarme académicamente y profesionalmente.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela (UCV), por brindarme la Oportunidad de estudiar y formarme como Investigador.

Al Centro de Investigaciones Científicas (IVIC), por permitirme usar sus instalaciones para el desarrollo experimental de esta investigación.

A la Doctora Carmen Albano, Directora de este Proyecto, por su inestimable apoyo, su confianza y sus magníficos comentarios y correcciones. Muchas gracias por estar siempre guiándome y ayudándome en todo momento. También, dar las gracias al Doctor. Ronald Torres, codirector de la Tesis, sin él este trabajo no hubiera sido posible. Gracias por permitirme usar las instalaciones del IMME para desarrollar la parte experimental.

Al Doctor Pablo Baricelli, gracias por permitirme crecer como investigadora y ayudarme en todo momento que lo necesite.

Asimismo, a todo el personal técnico del IMME en especial a Eleone Barrios, por su generosa colaboración.

Al Ing. Nelson Camacho y a todos quienes con su valioso aporte y paciencia hicieron posible la culminación satisfactoria de éste trabajo doctoral.

A la Doctora Yajaira Rodríguez Noriega, quien en una oportunidad me dijo “Estás presente en la historia de nuestras vidas en el mundo, que es una intersección en espiral ayer, hoy y mañana; siempre te acompañaré en tus diferentes momentos y

me llenarás de orgullo. Gracias por tu demostración de alta estima y el amor de Madre que siempre me diste.

Finalmente, de manera general y sin ánimo de olvidar a ninguna persona en particular, agradezco a mis Compañeros de trabajo: Jhonny Medina, Morella Acosta, Luis De Sousa, Neudis Subero, Nereida Sánchez, Lily Marcano, Laura Sáenz, Pamela Cartes, María Carrero, José Padrón, Reina Windervoxely a todas aquellas personas y profesores que de una u otra forma hicieron posible la realización de este trabajo.

A todos.... ¡*Muchísimas Gracias!*

Belén María

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO	Página
Lista de tablas.....	v
Lista de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1.- Hipótesis, estructura y objetivos del trabajo.....	7
1.2.-Estructura del trabajo y objetivo.....	7
1.3.- Justificación.....	8
1.4-Alcance y limitaciones.....	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1.- Antecedentes.....	12
2.2.- Marco teórico.....	22
2.2.1.- Fibras naturales.....	22
2.2.2.- Propiedades mecánicas de las fibras naturales.....	23
2.2.3.- Aspectos estructurales de las fibras.....	23
2.2.4.- Constituyentes químicos de las fibras.....	24
2.2.5.- Carbohidratos que forman hemicelulosa.....	26
2.2.6.- Estructura base de la lignina.....	28
2.2.7.- Degradación y biodegradación.....	29
2.2.8.- Degradación de las fibras.....	29
2.2.9.- Coste, disponibilidad y desarrollo sostenible de las biofibras.....	31

2.2.10.-Ventajas y desventajas de Las fibras Naturales.....	32
2.2.11.- Fibra de coco (proveniente de la Cáscara).....	32
2.2.12.- Estopa de coco o fibras de bonote.....	34
2.2.13.- Caña de azúcar (saccharumofficinarum) (Provenientes del tallo).....	36
2.2.14.- Caracterización superficial del bagazo.....	37
2.2.15.- Usos de la caña de azúcar.....	31
2.2.16.- Definición de concreto.....	38
2.2.17.- Composición de la mezcla de concreto.....	38
2.2.18.- Cemento.....	39
2.2.19.- Tipos de cemento <i>Pórtland</i>	40
2.2.20.- Agua.....	41
2.2.21.- Agregados.....	41
2.2.22.- Granulometría.....	42
2.2.23.- Tamaño máximo.....	43
2.2.24.- Peso por unidad de volumen.....	43
2.2.25.- Humedad.....	43
2.2.26.- Aditivos.....	44
2.2.27.- Adiciones.....	44
2.2.28.- Caracterización del concreto fresco.....	45
2.2.29.- Reología.....	45
2.2.30.-Trabajabilidad.....	45
2.2.31.- Cono de Abrams.....	45
2.2.32.- Retracción.....	46
2.2.33.- Ley de Abrams.....	46
2.2.34.- Propiedades mecánicas.....	48
2.2.35.- Resistencia a la compresión.....	48
2.2.36.- Resistencia a la tracción por flexión.....	48

2.2.37.- Fibroconcreto.....	49
2.2.38.- Polimetilmetacrilato (PMMA).....	49
2.2.39.- Propiedades del PMMA.....	50
2.2.40.- Análisis termogravimétrico (TGA).....	51
2.2.41.- Análisis termogravimétrico diferencial (DTG).....	51
2.2.42.- Parámetros cinéticos en la de gradación de fibras naturales.....	52
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	56
3.1.-Tipo de investigación.....	56
3.2.-Unidad de análisis.....	56
3.2.1.-Unidades experimentales para determinar la mezcla óptima sin fibras.....	56
3.2.2.- Unidades con fibras de coco sin tratar para una longitud tamaño corto (3-4) cm.....	59
3.2.3.- Unidades con fibras de coco sin tratar para una longitud tamaño largo (5-6) cm.....	60
3.2.4.- Agua de mezclado y curado.....	60
3.2.5.- Cemento.....	60
3.1.4.- Caracterización de las fibras de coco.....	61
3.1.5.- Procedimiento para determinar la densidad de las fibras de coco.....	61
3.1.6.- Propiedades físicas y mecánicas.....	63
3.1.7- Tratamiento con PMMA.....	65
3.1.7.1.- Protección de las fibras con PMMA.....	66
3.1.8.- Mezcladora.....	68
3.1.9.- Determinación de la mezcla patrón.....	69
3.1.10.-Evaluacion de las mezclas en estado fresco	70
3.1.11.- Elaboración de cilindros o probetas.....	71
3.1.11.1.- Curado de las probetas.....	72

3.12.-Ensayos destructivos.....	73
3.2.- Objetivo II: Estudio de las propiedades mecánicas del concreto (cilindros, losas y vigas) reforzados con fibras de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos.....	74
3.2.1.- Proporción de las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco.....	74
3.2.2.- Preparación de las mezclas reforzadas con fibras de coco.....	76
3.2.3.-Losas.....	78
3.2.4.- Vigas.....	80
3.2.4.1.-Resistencia a la flexión en vigas.....	81
3.2.5.- Pruebas aceleradas de durabilidad del concreto con fibras en losas.....	82
3.2.5.1.- Pruebas al fuego.....	82
3.2.5.2.- Ciclos de calor y humedad	83
3.2.6.- Determinación de los parámetros cinéticos del proceso degradativo de las fibras de coco.....	83
3.3.- Objetivo III: Estudio de las propiedades mecánicas del concreto (cilindros y vigas) reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar mediante ensayos destructivos y no destructivos.....	84
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	86
4.1.- Resultados del objetivo I.....	86
4.1.1.- Propiedades físicas y mecánicas.....	89
4.1.2.- Diámetro y longitud.....	89
4.1.3.- Porcentaje de elongación a la ruptura.....	92
4.1.4.- Efectos del tratamiento alcalino sobre las fibras naturales.....	93
4.1.5.- Optimización de la mezcla.....	103
4.2.- Resultados del objetivo II.....	135
4.2.1.- Caracterización de las mezclas de hormigón con fibras de coco sin tratar y tratadas en estado fresco.....	108
4.2.2.- Asentamiento.....	108
4.2.3.- Segregación.....	111

4.2.4.- Retracción.....	111
4.2.5.- Caracterización de las mezclas de hormigón con fibras de coco sin tratar y tratadas en estado endurecido.....	112
4.2.6.- Ensayos destructivos.....	112
4.2.7.-Resistencia a la compresión vs. Edad de curado para mezclas con fibras cortas y largas sin tratar.....	113
4.2.8.- Resistencia a la compresión vs edad de curado de mezclas reforzadas con fibras tratadas.....	118
4.2.9.-Resistencia a la tracción por flexión aplicada en vigas, según norma Covenin342:2004.....	120
4.2.10.- La resistencia a la flexión de vigas es también afectada por la variación del volumen y la longitud de las fibras.....	120
4.2.11.- Efecto de altas temperaturas en la resistencia a la tracción por flexión de losas reforzadas con fibras de coco sin tratamiento para un tamaño corto según norma Covenin 343:2004 en losas no normalizadas	125
4.2.12.- Efecto de altas temperaturas en la resistencia a la tracción por flexión de losas reforzadas con fibras de coco sin tratamiento para un tamaño largo según norma Covenin 343:2004 en losas no normalizadas.....	128
4.2.13.- Efecto de altas temperaturas en la resistencia a la tracción por flexión de losas reforzadas con fibras de coco tratadas para un tamaño distribución aleatorio (corto) según norma Covenin 343:2004 en losas no normalizadas.....	129
4.2.14.- Efecto de los ciclos de calor y humedad en la resistencia a la tracción por flexión aplicados en losas.....	131
4.2.15.- Análisis Termogravimétrico de las fibras de coco expuesta a la matriz de cemento.....	134
4.2.16.- Parámetros cinéticos del proceso degradativo de la fibra de coco expuesta a la matriz de cemento.....	137
4.2.17.- Ensayos no destructivos.....	142
4.2.18.- Efecto de la incorporación de las fibras de coco en el peso de los cilindros.....	142
4.2.19.- Morfología superficial en losas sometidas a altas temperaturas.....	145
4.2.20.- Efecto de las altas temperaturas en la pérdida de agua en las losas.....	147
4.3.- Resultados del objetivo II.....	151

4.3.1.- Caracterización de las mezclas de hormigón con fibras de bagazo de caña de azúcar sin tratar y tratadas en estado fresco.....	151
4.3.2.- Propiedades en estado fresco.....	152
4.3.3.- Trabajabilidad.....	152
4.3.4.- Tratamiento de las fibras.....	153
4.3.5.- Peso de los cilindros reforzados con bagazo de caña de azúcar.....	162
4.3.6.- Estudio de las Vigas reforzadas con las fibras de bagazo de caña de azúcar.....	165
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	168
REFERENCIAS.....	172
ANEXOS.....	189
Anexo 1. Especificaciones granulométricas del para el agregado fino.....	190
Anexo 2. Especificaciones de peso, impurezas orgánicas, cloruros y sulfatos para el agregado fino.....	191
Anexo 3. Especificaciones granulométricas del agregado grueso.....	192
Anexo 4. Especificaciones de peso y porcentajes de partículas máximas y mínimas del agregado grueso.....	193
Anexo 5. Especificaciones técnicas del aditivo <i>Polyheed 1026</i>	194
Anexo 6. Especificaciones técnicas del Resicryl 1228 (PMMA).....	195

LISTA DE TABLAS

Número	Descripción de tablas	Página
1	Propiedades mecánicas típicas de las fibras naturales.....	23
2	Composición química de los principales constituyentes de la fibra de coco (% en masa) y densidad de la fibra.....	34
3	Propiedades mecánicas y absorción hasta condición de saturación de las fibras de coco.....	35
4	Especificaciones del bagazo de caña de azúcar.....	36
5	Tipos de cemento Portland, según las Normas COVENIN 28 y ASTM C 150.....	40
6	Componentes mineralógicos del cemento <i>Pórtland</i> (Porrero 2004).....	41
7	Características físicas de los agregados fino y grueso.....	60
8	Especificaciones del cemento <i>Portland</i> tipo III marca VENCEMOS envasado 15/01/2010.....	60
9	Porcentaje de absorción de agua de las fibras de coco.....	64
10	Formulación comercial suministrada por Cemex de Venezuela.....	69
11	Diseños de mezcla patrón sin fibras.....	71
12	Cantidades usadas en la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con fibras de coco sin tratamiento para ambas distribuciones de tamaño corto y largo.....	75
13	Cantidades usadas en las mezclas reforzadas con fibra de coco tratadas químicamente.....	76
14	Descripción de las bandas características del PMMA.....	99
15	Descripción de las bandas características de la fibra de coco tratada con NaOH (AC) y la fibra de coco recubierta con el PMMA.....	101
16	Parámetros cinéticos de las fibras sin tratamiento al 10 % en volumen.....	139
17	Parámetros cinéticos de las fibras sin tratamiento a distintas proporciones y ambas distribuciones de tamaño a los 128 días de curado.....	141
18	Parámetros cinéticos de la fibra tratada químicamente al 10 % en volumen, donde 1: Fibra de coco, 2: PMMA.....	142
19	Desviaciones de peso respecto al patrón.....	142

LISTA DE FIGURAS

Número	Descripción de figuras	Página
1	Clasificación de las fibras naturales.....	22
2	Estructura de la celulosa.....	25
3	Monosacáridos constituyentes de las hemicelulosas.....	26
4	Estructura de la lignina.....	27
5	Estructura del fruto coco.....	34
6	Cono de Abrams y su manejo (Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, 2006).....	46
7	Cono de Abrams.....	46
8.a.	Tracción por flexión: Carga en el centro del tramo libre Norma COVENIN 343.....	48
8.b.	Tracción por flexión: Carga aplicada en cada uno de los tercios del tramo Norma COVENIN 342.....	48
9	Polimetilmetacrilato granulado.....	49
10	Curva a: Variación de la temperatura vs la pérdida en peso (TGA) para una sustancia dada con tres procesos de descomposición, Curva b: variación de la temperatura vs cambio del peso respecto al tiempo (DTG).....	52
11	Proceso de obtención de las fibras de coco Empresa Coconut estado Falcón.....	62
12	Fibra de coco sin tratar.....	65
13	Fibras de coco en horno a 70°C.....	66
14	Fibra de coco impregnada con (PMMA).....	67
15	Fibras de coco tratadas y cortadas.....	67
16	Probetas cilíndricas normalizadas (Cilindros).....	72
17	Tanques de curado de cilindros.....	73
18	Ensayo a compresión de cilindros.....	74
19	Prensa hidráulica con manómetro.....	74
20	Fabricación de los especímenes.....	78
21	Probetas rectangulares no normalizadas (Losas).....	79
22	Ensayo de resistencia a la tracción por flexión.....	80
23	Vaciado de vigas.....	81
24	Ensayo de viga según Norma COVENIN 342:2004.....	82
25	Horno Termolyne.....	83

26	Fibras del Bagazo de caña de azúcar sin tratar.....	85
27	Variación de diámetro máximo y mínimo de fibras de Coco.....	90
28	Distribución de tamaño corta.....	91
29	Distribución de tamaño larga.....	91
30	Fibra tratada con NaOH y recubierta con PMMA.....	92
31	Fibra sin tratar vista microscopia óptica aumento 5x.....	93
32	Fibra tratada con NaOH vista microscopia óptica aumento 5x.....	94
33	Fibra tratada con NaOH y recubierta con PMMA vista microscopia óptica con aumento 5x.....	96
34	Conglomerado de fibras tratadas con NaOH y recubiertas con PMMA vista microscopia óptica con aumento 5x.....	96
35	Espectro de FTIR de fibra de coco sin tratamiento antes y después del secado a 70°C por 8 días.....	98
36	Espectro de FTIR del polimetilmetacrilatopuro.....	99
37	Espectro de FTIR de la fibra de coco sin tratar (AC) y fibra tratada químicamente con PMMA (ACPMMA).....	102
38	Valores de asentamientos experimentales de las mezclas elaboradas para optimizar el patrón.....	104
39	Mezcla Mop1 contenido abundante de piedra y poca pasta.....	104
40	Resistencia a la compresión de cilindros en función de la edad de curado.....	107
41	Valores de asentamiento obtenidos para las mezclas al adicionar fibras de coco sin tratar y tratada químicamente.....	109
42	Distribución de los agregados en el concreto a) patrón, b) 5% de fibras tratada y c) 2.5% de fibras tratada.....	111
43	Fallas presentadas en una probeta cilíndrica después de ser aplicado el ensayo de resistencia a la compresión a) Falla Longitudinal b) Falla en cono c) Falla de borde d) Falla diagonal.....	114
44	Resistencia a la compresión en función de la edad de curado para la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con fibra de coco sin tratamiento con ambas distribuciones de tamaño.....	117
45	Resistencia a la compresión en función de la edad de curado para la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con fibra de coco tratadas químicamente.....	119
46	Viga ensayada según Norma COVENIN 342:2004.....	122

47	Módulo de ruptura en vigas para las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco sin tratamiento con ambas distribuciones de tamaño y tratadas químicamente.....	123
48	Fracturas de las fibras de coco después de ensayada una viga.....	124
49	Módulo de ruptura en losas sometidas a altas temperaturas, para las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco sin tratamiento con distribución de tamaño corta.....	127
50	Losa después de ser ensayada y expuesta a 600°C.....	128
51	Módulo de ruptura en losas sometidas a altas temperaturas, para las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco sin tratamiento con distribución de tamaño larga.....	129
52	Módulo de ruptura en losas sometidas a altas temperaturas, para las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco tratadas químicamente.....	129
53	Módulo de ruptura en losas sometidas a ciclos de calor y humedad, para las mezclas de concreto reforzadas con las fibras de coco con y sin tratamiento.....	132
54	Curvas TGA y DTG para las fibras de coco sin tratamiento al 10% de distribución de tamaño corta.....	135
55	Curva TGA y DTG para las fibras de coco tratada químicamente al 10%.....	137
56	Energía de activación de las fibras de coco sin tratamiento al 10 % en volumen para los distintos días de curado.....	137
57	Energía de activación de las fibras de coco sin tratamiento para las distintas proporciones y ambas distribuciones de tamaño.....	140
58	Energía de activación de la fibra de coco tratada químicamente al 10 % en volumen para los distintos días de curado.....	141
59	Pesos promedio de cilindros con fibras de coco.....	144
60	Losas sometidas a las altas temperaturas.....	145
61	Losa reforzada con fibra tratada químicamente al 10 % en volumen sometida a 400°C.....	146
62	Pérdida de agua en losas reforzadas con fibra sin tratamiento con distribución de tamaño corta sometidas a altas temperaturas.....	148
63	Pérdida de agua en losas reforzadas con fibra sin tratamiento con distribución de tamaño larga sometidas a altas temperaturas.....	149
64	Pérdida de agua en losas reforzadas con fibras tratadas químicamente sometidas a altas temperaturas.....	149

65	Ensayos para especímenes de concreto con un porcentaje en volumen 2,5% tamaño corto.....	157
66	Ensayos para especímenes de concreto con un porcentaje en volumen 2,5% tamaño largo.....	158
67	Ensayos para especímenes de concreto con un porcentaje en volumen 2,5% de fibra tratada y distribución aleatoria para un tamaño corto.....	158
68	Ensayos para especímenes de concreto con un porcentaje en volumen 2,5% de fibras con y sin tratamiento de distinto tamaño.....	160
69	Resistencia para muestras de concreto con 2,5% a distintas longitudes.....	163
70	Peso de los cilindros reforzados con bagazo de caña de azúcar.....	163
71	Fibras de bagazo de caña de azúcar no tratada con indicios de descomposición	164
72	Mezclas de concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar y presencia de microgrietas.....	165
73	Módulo de ruptura de vigas con bagazo de caña de azúcar, mezcla 2.5%.....	166



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO
EN INGENIERÍA ÁREA QUÍMICA
VALENCIA-VENEZUELA**



**“CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y FÍSICOQUÍMICO DEL
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE COCO Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR
PARA SU USO EN CONSTRUCCIÓN”**

Autor: Lcda. Belén Paricaguán

Tutores: Dra. Carmen Albano

Dr. Ronald Torres

Noviembre, 2015

RESUMEN

La finalidad del presente trabajo, fue evaluar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra de coco y bagazo de caña de azúcar, con el objeto proporcionar un grado aceptable de resistencia, dándole un uso comercial a las mismas. La metodología experimental consistió en realizar mezclas de concreto reforzado con fibra de coco, sustituyéndose parte del agregado fino (arena de río), para una relación en peso agua-cemento (0,48). Se varió la proporción en volumen del agregado fino sustituido (2,5, 5 y 10 %), la distribución de tamaño de la fibra y fueron impregnadas con polimetilmetacrilato (PMMA). Para evaluar el comportamiento mecánico se realizaron ensayos destructivos: resistencia a la compresión y a la tracción por flexión en vigas y en losas sometidas a altas temperaturas; y no destructivos: determinación de la pérdida en peso de las mezclas reforzadas con las fibras, efecto de las altas temperaturas en la pérdida de agua en losas. Asimismo, se emplea el Análisis Espectroscópico (FTIR), Mecánico (Ensayos de compresión y flexión), Morfológico y Térmico (DTG y TGA). Las fibras lograron mantener unida la matriz de concreto, por lo que aportan durabilidad al concreto disminuyendo fisuras tanto en estado fresco como endurecido. Se obtuvieron los siguientes resultados 0% fibras de coco añadido, resistencia a la compresión (40MPa) y el módulo de ruptura (4,5MPa); 2,5% fibras de coco añadidas, resistencia a la compresión (39,5MPa) y el módulo de ruptura (4,8MPa); 0% fibras de bagazo de caña de azúcar añadidas, resistencia a la compresión (40MPa) y el módulo de ruptura (4,5MPa); 2,5% fibra de coco añadido, resistencia a la compresión (25MPa) y el módulo de ruptura (2,5MPa). El módulo de ruptura para fibras de coco tratadas con PMMA para una concentración 2,5% de fibras se obtuvo un valor de 5,3MPa este valor fue superior al que alcanzó la mezcla patrón 4,6MPa.

Palabras Claves: Concreto reforzado, Fibras naturales, Polimetilmetacrilato, Resistencia.

INTRODUCCIÓN

El concreto reforzado con fibras naturales está siendo utilizado en varios países como material de construcción. Su importancia radica en reducir los costos de construcción y ahorrar la energía consumida en la producción de otros tipos de fibras. Además, puede ser utilizado como posible sustituto del asbesto-cemento el que ha dejado de utilizarse por relacionarlo a enfermedades como la asbestosis.

Como señala (Swamy 1990) es necesario que cada país desarrolle sus materiales de construcción y que puedan tenerlos disponibles localmente, enfatizando que no puede ser pasado por alto la mejora de la calidad de los productos y la comprensión del comportamiento de estos materiales constructivos en ambientes reales.

En los últimos años se han incrementado las actividades de investigación y las aplicaciones que se están dando al hormigón reforzado con fibras naturales en todo el mundo lo cual ha sido reportado por otros autores (Mohanty et al., 2000a; Mohanty et al., 2000b; Li et al., 2004; Shibata et al., 2002; Iannace et al., 1999; Shibata et al., 2003; Luo y Netravali, 1999; Rout et al. 2001; Bisanda 2000; Gassan y Bledzki, 2000).

Ahora bien, el desarrollo de materiales biodegradables en el área de la construcción representa una opción eficaz para gestionar adecuadamente dichos residuos; ya que existe en la actualidad un renovado interés en el uso de plantas de origen no maderero debido a entre otras razones, a la gran disponibilidad de residuos agrícolas. Estos constituyen una fuente abundante de fibras de bajo costo, siendo a veces la única fuente aprovechable de fibras en determinadas zonas geográficas, principalmente en países en vías de desarrollo, señalando (García, 2007) que la gran variedad de características, dimensiones fibrosas y composición química de estas fibras les confieren un gran potencial como materias primas.

En este contexto se presenta esta Tesis Doctoral, cuyo objetivo general es evaluar el comportamiento mecánico del concreto reforzado mediante la

sustitución de parte del agregado fino por fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar, para su uso en la construcción; se describen los cambios en un conjunto de propiedades mecánicas de este material cuando a las mezclas de concreto con materias primas tradicionales se le sustituye parte del agregado fino, que es la arena, por fibras naturales; es decir, se evalúa la influencia de las fibras naturales en las mezclas de concreto en cuanto a sus propiedades mecánicas físicas y químicas.

Para ello, se caracterizan las fibras determinando la densidad y la absorción de agua de las fibras sin y con tratamiento químico, se analiza el efecto de las fibras sin tratar y tratadas con polimetilmetacrilato (PMMA), sobre la resistencia a compresión y tracción de mezclas de concreto, para un tamaño corto(c) (3-4) cm, tamaño largo (l) (5-6) cm y distribución aleatoria para las fibras tratadas cortas con polimetilmetacrilato (≤ 4 cm). Se impregnan las fibras de coco y bagazo de caña de azúcar con PMMA.

También, se evalúan propiedades de resistencia a flexo tracción, cuando las losas estén sometidas a distintas temperaturas (200; 400 y 600) °C, así como a los efectos de los ciclos de calor y humedad; por último, se determina la pérdida en peso debido a la eliminación del agua por el efecto de la temperatura de exposición.

Los productos hechos con cemento *Pórtland* y fibras naturales no procesadas, tales como el sisal, el coco, la caña de azúcar, el bambú, el yute y la madera, entre otros, se han probado para determinar sus propiedades de ingeniería y su posible uso en la construcción en al menos 40 diferentes países, según lo señalado por (Aziz et al., 1984). Aunque los resultados fueron alentadores, se encontraron algunas deficiencias respecto a su durabilidad; estas deficiencias, al parecer, son resultado de la reacción entre la alcalinidad de la pasta de cemento y las fibras, además de la susceptibilidad al ataque de microorganismos en presencia de la humedad, según lo señalado por (Lewis y Mirihagalia, 1979).

Estudios realizados por (Griffin, 1994; Erlandsson et al., 1997; Albertsson et al., 1998; Scott, 2002; Marcelo et al., 1995; Chandra y Rustgi, 1997; Clarinval y Halleux, 2005; Bastioli, 2005) establecieron que este tipo de materiales supone una alternativa real al uso de recursos fósiles y permite cerrar el ciclo de vida del material, al tiempo que fortalece al sector agrícola de la industria no alimentaria.

Dado que los nuevos materiales son un tema de investigación en constante auge y de gran vigencia en cuanto a ciencia y tecnología se refiere no es sorpresivo que, a nivel mundial, varias de las grandes empresas constructoras y manufactureras de materiales de construcción hayan invertido durante la última década esfuerzos importantes de educación, investigación y desarrollo que denotan un compromiso creciente hacia la noción de sustentabilidad. Lo anterior no sólo ha sido motivado por un sentido creciente de responsabilidad social sino, además, por el hecho de que aquellas innovaciones que son buenas para el medio ambiente normalmente ofrecen múltiples ventajas competitivas dentro de un ámbito comercial.

Lo planteado anteriormente ha dado cabida a la realización del presente estudio, el cual se estructura de la siguiente forma:

Capítulo I, se expone el contexto de la investigación, enunciando las hipótesis del estudio, además de los objetivos que expresan cada una de las metas perseguidas en la elaboración del presente trabajo. Capítulo II, que describe los antecedentes de la investigación y se desarrollan los aspectos teóricos necesarios para la obtención de respuestas a las interrogantes planteadas. Capítulo III, el cual abarca los aspectos metodológicos del trabajo desarrollado, así como el método y la técnica seguida. Capítulo IV, el cual incluye la discusión de resultados, seguida de las conclusiones de la investigación y del enunciado de las recomendaciones sugeridas. Y, por último, las referencias bibliográficas que dan soporte a la investigación.

La tesis doctoral se realizó en el Instituto de Modelo de Materiales Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela e Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a una preocupación social creciente y a una normativa más restrictiva, el uso de los materiales biodegradables se ha extendido enormemente durante las últimas décadas. Para (Félix, 2002) la mayoría de los materiales sintéticos surgieron con el despertar de la industria petroquímica, cuyas existencias se van reduciendo con el agotamiento de las reservas petroleras a nivel mundial, generando su escasez, precios más altos a plazos más cortos en el mercado internacional.

Dentro de este paradigma surge la necesidad de diseñar concreto reforzado con fibras degradables como alternativa al concreto reforzado con fibras sintéticas y como solución frente a la falta de estabilidad estructural y dimensional que presentan ciertos materiales ante aplicaciones específicas.

En la actualidad, los materiales compuestos a base de matrices de cerámicos plásticos y cemento incorporan fibras para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, tales como, la resistencia a la tensión, a la compresión, al agrietamiento, al impacto, a la abrasión y la tenacidad. Existen varios tipos de fibras que se comercializan mundialmente, los tipos básicos son las de acero, vidrio y las derivadas de hidrocarburos plásticos, otro grupo de fibras estudiadas para su posible aplicación son las fibras de origen vegetal, su principal ventaja es la amplia disponibilidad sobre todo en países en vía de desarrollo. Este grupo de fibras naturales vegetales tienen un bajo costo de producción en comparación con los otros tipos de fibras.

Los trabajos realizados en el campo de las fibras naturales como refuerzo de hormigones y morteros han estado muy determinados por las fibras propias que posee cada país, totalmente con un carácter local.

Dentro de los tipos de fibras naturales que se utilizan como refuerzo, con mayor o menor acierto, una gran cantidad yute (Hong, 2008; Doan et al., 2007;

Stocchi et al., 2007; Vilaseca et al., 2007), cáñamo (Dhakal et al., 2007; Ochi, 2006), sisal (Choudhury, 2008), plátano (Tobias e Ibarra, 1997), algodón (Paiva et al., 2004), lino (Bos et al., 2006), kenaf (Aziz y Ansell, 2004; Nishino et al., 2003), abacá (Tobias, 1997), coco y bambú (Murali y Mohana, 2007).

Por consiguiente la condición de refuerzo se debe a la resistencia de las fibras, caracterizada por su dureza y la relación de forma de las mismas, (Herrera et al., 2004; Idicula et al., 2006) la compatibilidad con la matriz que supone una transmisión de esfuerzos adecuada (Juárez et al., 2004; Mohanty et al., 2004; Choudhury, 2008) y la cantidad de fibras en el compuesto final (Herrera y Valadez, 2004) que viene condicionada por la orientación y ordenamiento de las fibras en la matriz.

Al respecto resulta fundamental determinar el comportamiento mecánico de los compuestos reforzados con fibras naturales, analizando al tiempo la mejora o modificación de las fibras con objeto de conseguir una mejor adherencia con la matriz que asegure una buena interface (Torres y Cubillas, 2005; Facca et al., 2006) de manera que la adhesión fibra-matriz sea la determinante de sus propiedades (Hong et al., 2008; Doan et al., 2007). Por ello, estructuras con fuerte unión interfacial mostraron elevada resistencia (Herrera y Valadez, 2004).

Se han investigado las propiedades mecánicas del concreto cuando son reforzadas con fibras de coco para distintas fracciones en volumen (2, 3, 4, 5 y 6) %, así las fibras de coco con una longitud de 38 mm y una fracción en volumen de 4 % proporcionando la máxima resistencia para la mezcla de cemento reforzadas (Das Gupta et al., 1979; Aziz et al., 1984). Asimismo en la India (Baruah y Talukdar, 2007) investigaron la resistencia a la compresión y módulo de ruptura de hormigón reforzado con fibras de coco con 2 % en fracción de volumen a los 28 días de curado fue 24,35 y 4,16 MPa respectivamente, valores superiores a los obtenidos por un concreto tradicional. De igual manera (Osorio et al., 2007)

investigaron adicionando entre el 0,5 y 2,5% de fibras de bagazo de caña de azúcar en relación al peso total del agregado grueso, presentando una resistencia de 16,88 MPa, y una densidad de 141 y 336kg/m³ comparado con la de un concreto pesado de 2400 kg/m³.

También se han realizado pruebas de flexión de cuatro puntos sobre una muestra de losa reforzada por tres capas de malla de fibras de coco con bajo contenido de fibras de 1,8 % resultando en una mejora del 40 % en la tensión máxima a la flexión siendo 25 veces más fuerte en la resistencia a la flexión (Li et al. 2007).

Del mismo modo en Venezuela (Centeno, 2012) investigaron que la presencia de fibra de yute tiende a disminuir la resistencia a la compresión del mortero, cuyo contenido de fibras es de 0,5% y 0,75%. Al mismo tiempo se demuestra que utilizando fibras cortas de 5 centímetros, el valor de resistencia a la compresión obtenido es superior a la obtenida por la muestra patrón.

En el área de la construcción, el concreto a base de cemento *Pórtland* es uno de los compuestos más versátiles en la construcción; sin embargo, existe la necesidad de modificar sus propiedades, tales como la resistencia a tracción, dureza, ductilidad y durabilidad y en este sentido las fibras naturales son un sector potencial de desarrollo, incluso mejorando propiedades de los materiales convencionales; es por ello que en las últimas décadas el mercado ha tenido la necesidad de encontrar materiales de construcción con nuevas aplicaciones de mayor grado de utilidad y especificación, con mínimos costos de desarrollo y tecnologías de procesamiento más productivas, y han impulsado el mercado de construcción hasta convertirlo, en la actualidad, en uno de los principales sectores de la investigación académica e industrial sobre este tipo de materiales.

Los componentes estructurales que requieren gran rigidez, resistencia a los impactos, formas complejas y considerable volumen de producción resultan ideales para ser fabricados a partir de materiales compuestos, por ello su utilización en la fabricación de piezas para la industria aeronáutica, aeroespacial,

naval y de automóviles e incluso, se comienza la incursión a escala industrial de los nanocompuestos para el desarrollo de nuevos materiales (Coutts, 1988c). Estas soluciones a pesar de no ser definitivas, reducen en una cantidad importante el empleo de materiales sintéticos que se logran sustituir incorporando cargas naturales a la matriz formulada y crea las bases para estudiar el empleo de materiales biodegradables más estables en el tiempo, como una de las vías más seguras para propiciar un entorno amigable.

Este trabajo constituye una contribución al estudio del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar, y que estas fibras sustituirán parte del agregado fino, que sigue siendo arena, con el fin de recomendar su uso en áreas de construcción, basado en la evaluación de variables como la concentración, tipo y longitud de las fibras, así como también se está investigando la durabilidad de las fibras sometidas al medio alcalino del concreto cuando es tratada con un agente protector con el polímero PMMA.

Esto permite relacionar propiedades mecánicas, físicas y morfológicas del material, de acuerdo al tipo de unión fibra/matriz existente para explicar el grado de reforzamiento del material, asimismo el estudio de FTIR y el análisis termodegradativo de las fibras antes y después de ser expuestas a los distintos tiempos de curado.

En este contexto, el reto es diseñar un concreto reforzado con estabilidad funcional y estructural durante su almacenamiento y uso, a la vez biodegradable tras su vida en servicio, asegurando el ciclo del material sin ningún tipo de daño ambiental, que permitan aumentar la durabilidad del compuesto, reduciendo el deterioro que sufre la misma en el medio alcalino propio del concreto.

El rol principal de las **fibras** estará ligado al control de la propagación de una fisura en un material en estado de servicio, reduciendo la abertura de las fisuras, así como incidiendo en la transformación del comportamiento de frágil a dúctil de un material.

1.1.- Hipótesis, estructura y objetivos del trabajo

Como hipótesis, se plantea que el concreto base cemento *Pórtland* reforzado con fibras de coco y bagazo de caña de azúcar, tienen propiedades de compresión y flexión adecuadas para ser usado en la construcción. Además las fibras naturales se impregnaran con PMMA nombre comercial Resicryl para evitar reacciones entre la alcalinidad de la pasta de cemento y las fibras naturales, haciendo que su durabilidad dependa de la protección que tengan las fibras, y de las características de impermeabilidad propias de la matriz cementante del concreto y al mismo tiempo disminuya la susceptibilidad al ataque de microorganismos en presencia de la humedad.

1.2.-Estructura del trabajo y objetivos

Objetivo General

Evaluar el comportamiento mecánico del concreto reforzado mediante la sustitución de parte del agregado fino por fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar para su uso en la construcción.

Objetivos Específicos

- I:** Seleccionar las relaciones de los componentes de distintas mezclas, con base en una fórmula comercial, para utilizar fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar como aditivo en sustitución de una parte del agregado fino, en la elaboración de un concreto reforzado, considerando sus propiedades mecánicas.
- II:** Analizar las propiedades mecánicas del concreto para cilindros, losas y vigas reforzados con fibras de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos.
- III:** Determinar las propiedades mecánicas del concreto para cilindros y vigas reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar mediante ensayos destructivos y no destructivos.

1.3.- Justificación

Las tendencias globales del desarrollo sustentable han traído a la luz, la necesidad de contar con materia prima natural, renovable y biodegradable por lo que los materiales reforzados con fibras naturales se pueden obtener a un bajo costo usando la mano de obra disponible en la localidad y las técnicas adecuadas para su obtención.

Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente más en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto-cemento. En este caso las fibras de asbesto le conferían al material la resistencia a la tensión buscada, sin embargo por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana.

Es por ello, que en las últimas décadas el mercado ha tenido la necesidad de encontrar materiales de construcción con nuevas aplicaciones, de mayor grado de utilidad y especificación, con mínimos costes de desarrollo y tecnologías de procesamiento más productivas, y han impulsado el mercado de construcción hasta convertirlo, en la actualidad, en uno de los principales sectores de la investigación académica e industrial sobre este tipo de materiales (Albano et al., 2005).

El desarrollo de compuestos reforzados con cargas orgánicas e inorgánicas se ha convertido en objeto de estudio por parte de muchos investigadores (Osorio et al., 2007).

Uno de los filones de investigación que presenta (Juárez, 2002) en su tesis doctoral es analizar el comportamiento de las fibras de lechuguilla sometida al medio alcalino del concreto y a pruebas de deterioro acelerado, cuando es tratada con agentes protectores, tales como polímeros. Siendo un aspecto que se estudia en la presente investigación.

En el área de la construcción, el concreto a base de cemento *Pórtland*, es uno de los compuestos más extraordinario y versátiles en la construcción, sin embargo, existe la necesidad de modificar sus propiedades, tales como la tracción, dureza, ductilidad y durabilidad. En Venezuela hay pocas investigaciones

enfocadas al uso de las fibras naturales como refuerzo del concreto es por ello que con esta tesis se aspira contribuir al estudio del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar con el fin de recomendar su uso en áreas de construcción, asimismo indagar acerca del comportamiento de las fibras en medio alcalino cuando son recubiertas con el polímero polimetilmetacrilato.

La recuperación de las fibras pueden ser de gran importancia para la industria ya que su uso representa una fuente de materia prima más económica y es evidente que la incorporación de estas fibras al concreto produciría un impacto favorable sobre los problemas de contaminación ambiental ocasionados por la alta proporción de materiales de construcción en los rellenos sanitarios, ya que la utilización de este material degradado reduciría los desechos sólidos del total producido actualmente. Desde el punto de vista económico transformar estos desechos en un nuevo material que podría venderse como materia prima para un nuevo proceso o como producto terminado, representa una ganancia económica. Adicionalmente beneficiará a la población ya que se generarían más empleos.

Existe un sector de la sociedad que desafortunadamente no tiene acceso a un financiamiento u/o crédito para obtener vivienda y los créditos que aprueban son de montos muy bajos con los que no logran obtener una vivienda digna, por tal motivo es importante la búsqueda constante de materiales alternativos que estén al alcance económico de toda la sociedad y puedan ser implementados en el sistema constructivo en casas de interés social abatiendo costos; y al mismo tiempo aportando una solución a los problemas ambientales.

Desde el punto de vista científico, se desarrollará una reingeniería agregando fibras en sustitución en parte del agregado fino en las mezclas de concreto para ser usado en áreas de construcción.

Aunque el ritmo de vida de nuestra sociedad, el avance de la tecnología y la idea errónea de que los recursos naturales son inagotables sean las principales

causas de la producción de residuos sólidos en gran cantidad, es necesario generar en nuestra sociedad cultura de conversión de estos desechos en productos útiles, reciclando. Somos la pieza clave para la difusión y el desarrollo de nuevas formas de tecnología que favorezcan a la preservación de nuestro ambiente.

El diseño de mezclas de concreto sustituyendo parte del agregado fino por fibras naturales sin afectar su capacidad resistente; el empleo de materiales no metálicos como refuerzo, que permita ahorrar fibras de acero y vidrio, alargar la vida útil de los elementos a producir mejorando las propiedades mecánicas; así como la conformación de componentes constructivos adecuados para su reciclaje posterior, constituyen soluciones que pueden efectivamente contribuir a lograr que el concreto se convierta en un material más económico, más ligero, más durable y sobre todo más sostenible.

Desde el punto de vista académico, la futura línea de investigación que nace con esta tesis, pretende mejorar las propiedades mecánicas del concreto utilizando materiales de residuos de origen vegetal, asimismo, mejorar las aplicaciones, tanto de los materiales convencionales como también la de los materiales compuestos para su posterior uso en el mercado. Con base a los resultados este tema será de gran interés para el sector de la construcción, dada su mejor relación propiedades/coste, con respecto a otros materiales que se utilizan en la actualidad.

1.4.- Alcances y limitaciones

En la investigación realizada y reportada en esta tesis doctoral se efectuaron diferentes mezclas de concreto en la cual se sustituyó parte del agregado fino por fibras naturales, en un primer estudio con fibras de coco provenientes de la empresa *Coconut C.A.* del estado Falcón y un segundo estudio fibras de bagazo de caña de azúcar donado por la empresa *El Palmar*, San Mateo Estado Aragua, las

fibras se cortaron a una longitud, corta, larga y tamaño aleatorio, estas fueron no tratadas y tratadas químicamente e impregnadas con polimetilmetacrilato.

Asimismo se utilizó el aditivo, reductor de agua retardante de fraguado llamado *Polyheed 1026*, y se fijó la relación agua/cemento en cada una de ellas, el cemento a usar tipo III y los materiales agregado grueso y fino fueron donados por la empresa Cemex Venezuela S.A., se incorporaron las fibras a una concentración en volumen de (2,5; 5 y 10)% y se evaluaron las propiedades mecánicas destructivo y no destructivo de mezclas de concreto reforzadas con fibras cortadas a distintas longitudes, con y sin tratamiento químico y concentraciones en volumen, siguiendo las Normas Covenin, a distintas edades de curado 7, 14, 28, 60 y 128 días respectivamente para cilindros, losas y vigas.

Una vez ensayadas las muestras, a los cilindros se le determinó resistencia a compresión, a las losas y vigas resistencia a la tracción o flexión, además las fibras fueron extraídas de las muestras y se sometieron a estudio termodegradativo.

Esta tesis doctoral surge por un particular interés en desarrollar materiales compuestos reforzados con fibras naturales. Entre las principales razones se tiene la disponibilidad, diversidad y renovabilidad de las fibras, así como el bajo consumo energético en su fabricación, los costos competitivos y su baja densidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1.-Antecedentes

En esta sección, se presenta una revisión bibliográfica sobre los estudios que se han realizado en el uso de fibras naturales y sintéticas de manera muy somera utilizados como posible sustituto del agregado fino que conforma la mezcla de concreto:

Freites et al., (2013).Estudiaron la resistencia a compresión de mezclas de concreto, sustituyendo el 10% en peso de cemento por cenizas de hojas secas de la palma Chaguaramo. Se separaron las cenizas de acuerdo a su tamaño y se usaron las cenizas pasantes por el tamiz #200 y las retenidas en el tamiz #100 y #200. Posteriormente se realizaron los ensayos típicos de caracterización de los agregados, luego, se procedió a realizar las probetas. En cuanto a los resultados se obtuvo que la mezcla patrón alcanzó la resistencia esperada, y las mezclas con sustitución de 10% en cenizas pasantes tamiz #200 y las retenidas en el tamiz #100 y #200, presentaron una disminución de la resistencia de un 6,71 y 3,51% respectivamente.

Esta investigación contribuyó en cuanto al procedimiento para elaborar las unidades experimentales.

Por otra parte, Valencia, (2012). Evaluó las adiciones de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) y toba volcánica (TV) en sustitución de cemento. Las adiciones evaluadas de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) y toba volcánica (TV), presentan actividad puzolánica, destacándose TV con un índice del 99%, con respecto al 78,7% reportado por CBC.

- Un porcentaje del 10% en sustitución del cemento, de cualquiera de las adiciones, incrementa la resistencia a compresión del mortero a edad de 28 días de

curado en orden hasta de un 42%. Al incorporar un 20% de adición el incremento resistente se hace más visible a edades más largas, así el mortero adicionado con 20% de TV reporta valores superiores al material de referencia hasta en un 80%; por el contrario los adicionados con 20% de CBC igualan la resistencia del mortero patrón.

Esta investigación contribuyó en cuanto a la caracterización de las fibras de coco y evaluación de la resistencia a los 28 días de curado de las unidades experimentales.

Paralelamente, Torró, (2010).Estableció como propósito de su tesis doctoral fue estudiar y predecir las características y la biodegradabilidad de diferentes materiales compuestos de matriz y fibras naturales llamados biocompositos desarrollados a partir de materiales biodegradables procedentes de fuentes renovables. Se concluyó que la adición de las fibras naturales a las matrices termoplásticas aumenta la rigidez del material, disminuye su deformación a ruptura, mejora su estabilidad térmica, aumenta su capacidad de absorción de agua y garantiza la degradación de los componentes de la matriz polimérica. Los biocompositos de yute son los más rígidos y resistentes, en cambio los biocompositos de algodón y lino aumentan la rigidez pero pierden parte de la resistencia a ruptura mostrada por la matriz polimérica.

La estabilidad térmica de los biocompositos aumenta en función del contenido de hemicelulosa y lignina de las fibras naturales, siendo los biocompositos más estables los que se preparan con kenaf o yute.

Esta investigación contribuyó en cuanto a la terminología de las fibras naturales.

En similar contexto, Gatani et al., (2010).Evaluaron la utilización de cáscara de maní como agregado en mezclas de cemento a fin de conocer las propiedades obtenidas en relación al tratamiento de dicho agregado, para la producción de materiales de construcción.

Los ensayos demostraron mejoras en las propiedades mecánicas de las probetas realizadas con cemento y cáscaras previamente tratadas con cal viva

CaO, también en aquéllas aditivadas con silicato de sodio y sulfato de aluminio. Si bien los materiales resultantes no tienen las propiedades mecánicas de los morteros y hormigones tradicionales, parecen interesantes para ser aplicadas en componentes de construcción livianos y de uso no portante. Esta investigación contribuyó en cuanto a las propiedades mecánicas del concreto.

De igual modo, Salgado et al., (2010).Elaboraron materiales compuestos de polietileno de baja densidad con bagazo de caña modificado mediante un tratamiento alcalino y por acetilación. Para ello se caracterizaron química y físicamente, para su posible uso como materiales biodegradables. Se demostró por medio del análisis de FTIR que el tratamiento alcalino modificó la superficie de la celulosa del bagazo de caña, al mostrar cambios de ensanchamiento en las señales de modo vibracional del OH⁻ (3200-3700) cm⁻¹, generando un cierto carácter hidrófilo en el bagazo. De acuerdo con las pruebas mecánicas a la tensión y el ángulo de contacto, el bagazo tratado alcalinamente podría estar rompiendo la estructura molecular dejando más al descubierto los OH, generando una mayor absorción de agua que podría estar provocando un mayor alto porcentaje de hidrólisis y esto puede estar disminuyendo las propiedades mecánicas. Esta investigación contribuyó en cuanto al estudio de las propiedades y tratamiento alcalino de las fibras de coco y del bagazo de caña de azúcar.

En ese mismo escenario de ideas, Espitia, (2010).En su trabajo, se aislaron nanofibras de celulosa de los residuos agroindustriales del fique y la caña de azúcar de diámetros entre 25 y 60 nm. Se caracterizaron mediante tratamiento químico con oxidante fuerte, pH controlado, tratamiento mecánico. Como resultados se aislaron satisfactoriamente nanofibras de celulosa con diámetros entre 25 y 60 nm. La caracterización estructural de las nanofibras de celulosa obtenidas a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar por espectroscopia infrarroja permitió corroborar la remoción de los compuestos fenilpropílicos que componen a la lignina, mediante la desaparición de los picos a 1632 cm⁻¹ característico de las señales C=C de compuestos aromáticos y a 1430

cm^{-1} característico de las vibraciones $\text{CH}_3\text{-O}^-$. Esta investigación contribuyó en cuanto al estudio de las propiedades y tratamiento alcalino de las fibras de coco y del bagazo de caña de azúcar.

Igualmente, Betancourt et al., (2009). Determinaron la energía de activación aparente de las fibras naturales de plátano procedentes del Urabá Colombiano. La temperatura a la cual comienza la degradación de los componentes de la fibra natural de plátano comienza alrededor a $170\text{ }^{\circ}\text{C}$, presenta un pico máximo entre 280 y $330\text{ }^{\circ}\text{C}$, dependiendo de la velocidad de calentamiento y finaliza por encima de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se determinó la energía de activación global mediante dos métodos situando el valor del sistema entre 178 y 175 kJ/mol dependiendo del método. Los valores de energía de activación para cada uno de los niveles de conversión analizados son similares lo cual indica que el modelo usado es efectivo para la determinación de los parámetros cinéticos.

Esta investigación contribuyó en cuanto al estudio cinético de las fibras de coco.

Por otra parte, Sivaraja et al., (2009). Evaluaron la durabilidad de las fibras naturales como la de coco y el bagazo de caña de azúcar en probetas de hormigón. La durabilidad de las fibras naturales como la fibra de coco y el bagazo de caña de azúcar se han sustentado mediante la realización de esta investigación. Se determinó las propiedades de resistencia mecánica, tales como compresión, a la tracción, módulo de ruptura a flexión y propiedades de la fibra natural reforzando probetas de hormigón una vez cada 3 meses durante un período de 2 años bajo condiciones de humedecimiento y secado alternados.

La revisión del estado del arte permite establecer que, aunque las fibras naturales mejoran las propiedades de resistencia a edades de curado temprana, la tasa de incrementos son menores que el hormigón convencional a edades más tardías de curado. El rendimiento de la flexión en vigas reforzadas con fibras naturales no produce mucha diferencia en las tres edades de curado tales como 28

días, 1 año y 2 años. Poseen un poco de diferencia en sólo la etapa de rendimiento.

Esta investigación contribuyó en el análisis de las fibras bajo condiciones de humedecimiento y secado alternados con el fin de chequear su durabilidad.

Cabe considerar, por otra parte que Morán, (2008). Realizó un estudio sobre la extracción de celulosa a partir de fibra sisal, comparando dos procedimientos diferentes, los cuales se basaron en tratamientos químicos usuales tales como: hidrólisis ácida, cloración, extracción alcalina y decoloración. Los productos obtenidos fueron caracterizados por medio de análisis termogravimétrico (TGA), espectroscopia infrarroja (FTIR), difracción de rayos X (DRX) y Microscopía electrónica de barrido (SEM). Ambos procedimientos de extracción permitieron obtener celulosa purificada. Se analizaron las ventajas y desventajas de ambos procedimientos. Finalmente, se obtuvo nanocelulosa mediante la hidrólisis ácida de la celulosa. La nanocelulosa obtenida fue caracterizada por Microscopía de fuerza atómica (AFM). Se encontró que uno de los procedimientos permitió obtener celulosa más pura y con una menor distribución de tamaños, sin embargo el otro procedimiento resultó menos contaminante aunque involucra mayor cantidad de etapas.

Esta investigación contribuyó en cuanto al estudio de las propiedades y tratamiento alcalino de las fibras de coco y del bagazo de caña de azúcar.

De igual manera, Brown et al., (2007). Evaluaron la conducta de los compuestos formados por fibras de bagazo cubano y polímeros termoplásticos (polipropileno, PP).

El tratamiento de fibras mejora la adherencia interfacial y las propiedades mecánicas de los compuestos significativamente. La naturaleza polar de estas precisa la presencia de agentes para reforzar las afectaciones de adherencia con la matriz plástica. Los tratamientos probados permitieron evaluar la superficie por microscopía electrónica de barrido (SEM) en el orden analizar las características estructurales del bagazo e identificar el posible daño causado por el procedimiento

y los tamaños de fibra. El análisis de los composites formulados incluyó los estudios de estabilidad térmica a partir del empleo de la calorimetría de barrido diferencial (DSC) y el análisis termogravimétrico (TGA). El tratamiento con anhídrido maléico disminuye la estabilidad pero garantiza una mejor adhesión fibra-matriz. El porcentaje de cristalinidad mejora con un 20% de carga o refuerzo y para tamaños de fibra de 1 mm.

Esta investigación contribuyó en cuanto al estudio del tratamiento de las fibras evaluando si mejora la adherencia de las fibras a la matriz cementante y las propiedades mecánicas de los compuestos reforzados

Bajo este mismo enfoque, Cao et al., (2006). Evaluaron las propiedades mecánicas de compuestos de poliéster biodegradables, reforzados con fibras de bagazo antes y después de efectuarle un tratamiento alcalino. Los compuestos fueron reforzados con cinco diferentes porcentajes en masa (20; 35; 50; 65 y 75) % de fibras. Verificaron que las propiedades mecánicas de los compuestos reforzados con las fibras tratadas fueron superiores que con los compuestos reforzados con las fibras sin tratamiento. Los compuestos reforzados con las fibras tratadas y la solución del 1 % de NaOH arrojaron los mejores resultados.

Obtuvieron un incremento del 13% en la resistencia a la tracción, un 14% en la resistencia a la flexión y un 30% de mejora en la resistencia al impacto comparado con el compuesto reforzado con las fibras sin tratamiento al 65% en peso. Por microscopia electrónica, observaron la modificación de la superficie de las fibras después del tratamiento, concluyendo que esta mejoró la adherencia fibra-matriz.

Esta investigación contribuyó en cuanto al estudio de las propiedades mecánicas y tratamiento alcalino de las fibras de coco y del bagazo de caña de azúcar.

Dentro de este orden de ideas, Gutiérrez y Matheus, (2006).Elaboraron mezclas de concreto con dos relaciones agua-cemento de 0,50 y 0,60; con cemento *Pórtland* tipo I y PET este último se sustituyó por parte del agregado fino como la arena, en una proporción de 10 y 20% en volumen, con diferentes

tamaños de partícula. Por otro lado evaluaron el efecto de adicionar 5% de sílice para ambas relaciones agua-cemento con 10% de PET reciclado. Las mezclas con un contenido de 10 % de PET y $\alpha=0,50$ obtuvieron un alto grado de resistencia a la compresión.

Sin embargo, el porcentaje de absorción de agua aumenta conforme se incrementa la proporción y tamaño de partícula de PET para todos los casos respecto al concreto tradicional. Las muestras expuestas a 200°C, la morfología superficial de las losas no presentaron ningún cambio significativo; sin embargo, a 400 y 600°C, sí observaron un cambio apreciable en la morfología de las mismas. Comprobaron que las propiedades mecánicas, así como, las propiedades evaluadas en los ensayos no destructivos, aumentan a medida que se disminuye la relación agua-cemento.

Esta investigación contribuyó en cuanto al estudio del tratamiento de las fibras chequeando si mejora la adherencia interfacial y las propiedades mecánicas de los compuestos reforzados

Asimismo, Quintero y González, (2006).Evaluaron las adiciones de las fibras de la estopa de coco, para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Se determinó sus propiedades físicas, químicas y mecánicas para su caracterización, así como, propiedades físicas y mecánicas de morteros reforzados con volúmenes de fibras de estopa de coco de 0,5 y 1,5 % en volumen para longitudes de 2 y 5cm. Para la preparación de la matriz usaron cemento *Pórtland* tipo I, arena mediana de río, grava de canto de río con un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ “, agua potable y cal para blanquear. Las deformaciones más bajas la obtuvieron en mezclas con longitudes de fibras de 5cm de longitud siendo inferior para un volumen de 1,5%. La resistencia a la compresión más elevada la obtuvieron con los compuestos reforzados con volúmenes de fibras de 1,5 %, siendo superior para la longitud de 2cm. La única mezcla que presentó resistencia a la tracción

indirecta mayor que el concreto sin fibras, fue la que contenía fibras de 5cm en un volumen de 0,5 %.

Esta investigación contribuyó en cuanto al análisis de las propiedades físicas y químicas de las fibras de coco y las propiedades mecánicas de los compuestos reforzados.

Por otro lado, Min et al., (2004).Evaluaron el efecto de las altas temperaturas en las propiedades mecánicas del concreto con alta y normal resistencia. El promedio de la resistencia a la compresión de C70, C60, y C40 después de los 28 días de curado fue de 76, 68 y 42,5 MPa, respectivamente. Las muestras de ensayos eran de 100 x 100 x 100 mm, 150 x 150 x 150 mm y 100 x 100 x 415 mm.

Entre los resultados que obtuvieron la resistencia a la compresión en concretos de resistencia C70 a las temperaturas de (200, 400, 600 y 1000) °C su resistencia permaneció en un (82,3; 63,2; 58,1; y 27,3) %, y la resistencia a la tracción fue de (85,7; 81,8; 51,9; y 16,4) % por último la resistencia a la flexión fue de (84,5; 43,7; 16,3 y 7,4) %, respectivamente. Asimismo, observaron que para las muestras de mayor tamaño las pérdidas de resistencia fueron menores.

Esta investigación contribuyó en cuanto al efecto de las altas temperaturas en las propiedades mecánicas del concreto reforzado.

Del mismo modo, Juárez et al., (2004a).Evaluaron las adiciones de las fibras de lechuguilla como refuerzo en concreto. Se usaron dos relaciones de agua/cemento (α) de 0,65 y 0,35 con dosis de cemento 381 kg/m³ y 707 kg/m³ respectivamente. Ensayaron fibras tamaño corto y largo con las siguientes longitudes: 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 y 300mm para diferentes concentraciones volumétricas (0,5; 1; 1,5 y 2) % ensayándose a los 14 días. El tratamiento con parafina permite a la fibra reducir su capacidad de adsorción del agua, además de 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. Asimismo, observaron que las fibras largas adicionadas en porcentajes bajos del volumen total de la mezcla proporcionan al concreto la capacidad para soportar

mayores cargas de flexión en comparación con el concreto simple. También concluyeron, la disminución de la relación a/c ayuda a reducir la adsorción de agua y a incrementar su resistencia a la flexión de manera significativa para los compuestos reforzados con fibras naturales.

Esta investigación contribuyó en cuanto a la relación de agua/cemento, tratamiento químico de las fibras y efecto de las altas temperaturas en las propiedades mecánicas del concreto reforzado.

De igual modo, Agopyan et al., (2004).Evaluaron las adiciones de residuos de pulpa de eucalipto, sisal, y coco como reemplazo del asbesto en los componentes para techo. El curado de las tejas al aire libre producidas con mortero EAHG basado en morteros reforzados con fibras de cultivos de desechos y/o residuos de las fábricas de celulosa se ajustaban a las normas internacionales compatibles a edades iniciales para las propiedades principales tales como, mecánicas y físicas. La ductilidad es mejorada en la etapa del agrietamiento en relación con la referencia del concreto no reforzado. Sesenta meses de envejecimiento natural bajo condiciones de clima tropical jugaron un deterioro significativo en la capacidad de soporte de carga y la fragilización de tejas de fibrocemento.

Esta investigación contribuyó en cuanto a las propiedades mecánicas del concreto reforzado, etapas de agrietamiento y durabilidad del concreto.

Similares fueron las apreciaciones de Bismarck et al., (2001). Estudiaron las modificaciones en la superficie de las fibras de coco y sisal. Los cambios en la morfología de la superficie de las fibras la analizaron mediante microscopia de barrido electrónica; las propiedades térmicas las determinaron mediante DSC y TGA. Concluyeron que la superficie de las fibras de coco mostró una elevada porosidad. Observaron cambios en la morfología de la superficie entre las fibras sin tratamiento y las tratadas químicamente, asimismo la superficie de las fibras naturales era más áspera, debido a la retirada parcial de las ceras y las grasas. Luego de la polimerización por injerto del polimetilmetacrilato la superficie de las

fibras de coco se hizo más uniforme y suave en comparación a los tratamientos alcalinos. Esta investigación contribuyó en cuanto al estudio cinético de las fibras de coco.

2.2.-Bases Teóricas

2.2.1.- Fibras naturales

Las fibras naturales son materiales lignocelulósicos que se encuentran ampliamente distribuidos por la biosfera en forma de árboles, plantas y cultivos. Su uso está ganando importancia en aplicaciones industriales, tecnología de tejidos textiles, composites, pasta celulósica y papel, ingeniería civil y actividades de construcción (Mohanty et al., 2000c).

Para (Maya y Sabu, 2008) cuando se quema o se someten a compostaje la emisión de CO₂, es inferior a la emitida por las fibras sintéticas. Sin embargo, mientras las fibras convencionales se elaboran en un rango predeterminado de propiedades, las propiedades de las fibras naturales varían considerablemente, según estudios de (Satyanarayana et al., 1986). Las fibras naturales se subdividen en función de su origen, es decir, si provienen de plantas, animales o minerales, tal como se aprecia en la figura 1.

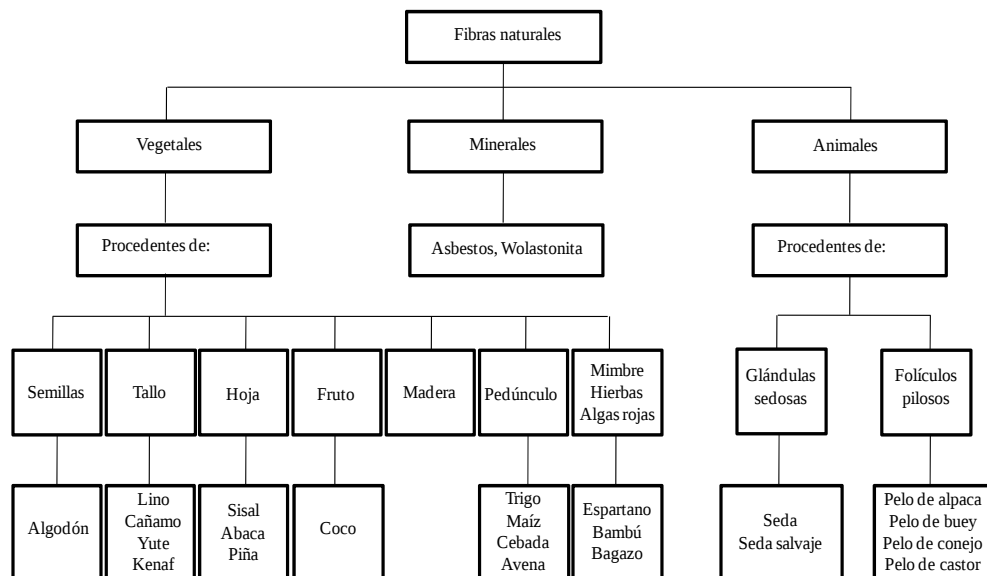


Figura 1. Clasificación de las fibras naturales según su origen.

Fuente: Maya y Rajesh 2008

2.2.2.- Propiedades mecánicas de las fibras naturales.

Las fibras naturales necesitan tener adecuadas propiedades mecánicas para ser consideradas como posible refuerzo en matrices de concreto. Muchos investigadores como (Bledzki y Gassan, 1999; Luo y Netravali, 1999; Herrera y Valadez, 2004) han contribuido con sus trabajos (ver tabla 1).

Tabla1. Propiedades mecánicas típicas de las fibras naturales

Tipo de fibra	Longitud mm	Diámetro mm	Densidad Absoluta g/cm ³	Módulo de Elasticidad Gpa	Resistencia Última a Mpa	Elongación a la Ruptura %	Absorción de Agua %
Yute	1800-3000	0.10-0.20	1.02-1.04	26-32	250-350	1.5-1.9	62
Lino	500	-	-	100	1000	1.8-2.2	-
Bambú	2500-3500	0.05-0.40	1.52	33-40	350-500	-	40-45
Caña de azúcar	50-300	0.20-0.40	1.20-1.30	15-19	170-290	-	70-75
Sisal	-	0.10-0.50	-	13-26	280-568	3-5	60-70
Henequén	-	0.36	1.40	-	91-307	2.3-7.6	163.10
Pasto de elefante	-	0.45	-	5	178	3.6	-
Plátano	-	0.43	0.298	1.4	92	5.9	276
Musamba	-	0.82	-	0.9	83	9.7	-
Coco	50-350	0.10-0.40	1.12-1.15	19-26	120-200	10-25	130-180

Fuente: Bledzki y Gassan, 1999; Luo y Netravali, 1999; Herrera y Valadez, 2004

2.2.3.- Aspectos estructurales de las fibras

Las fibras naturales vegetales están compuestas mayoritariamente por tres polímeros estructurales celulosa, hemicelulosa y lignina además en menor medida por una serie de compuestos de bajo peso molecular solubles en agua, proteínas y sales minerales. Las proporciones de estos compuestos varían de una planta a otra en respuesta a las condiciones del entorno, como consecuencia de esta

variabilidad, las propiedades y características físicas de las fibras no son homogéneas (Betancourt et al., 2009).

Las biofibras de origen vegetal son paquetes de células vegetales de paredes gruesas y alargadas, estas fibras son agrupaciones de microfibrillas adheridas a una matriz de hemicelulosa/lignina (Jayaraman, 2003). Considerando una fibra vegetal como una célula individual, su longitud típica varía entre 1 y 50 mm y su diámetro entre 10 y 50 μm . Las fibras vegetales comprenden diversas microestructuras organizadas jerárquicamente que se disponen en tubos microscópicos concéntricos alrededor del lumen central (Brett Y Waldron 1996).

La lignina forma una matriz amorfa en la pared vegetal, los enlaces interpolímeros que pueden ser directos, enlaces éter entre OH alcohólicos de los polisacáridos y fenólicos de la lignina, o a través de puentes formados por los ácidos p-hidroxicinámicos. Estos últimos son precursores de la lignina pero en muchas plantas herbáceas se encuentran también en forma libre, incluidos en la fracción extraíble y formando puentes lignina-polisacáridos (Nabi y Jog, 1999).

La composición química de las fibras son las variables más importantes para determinar las principales propiedades de las fibras en general, la tensión y el módulo de young aumentan a medida que crece el contenido en celulosa de la fibra (Maya y Sabu, 2008; Satyanarayana et al., 1986).

2.2.4.- Constituyentes químicos de las fibras

La mayor parte de las fibras procedentes de las plantas con excepción del algodón, están compuestas por tres polímeros estructurales como la celulosa, hemicelulosa y lignina, así como también por una serie de compuestos de bajo peso molecular solubles en agua fracción hidrosoluble o solventes orgánicos los denominados extraíbles. También presentan pequeños contenidos en proteínas y sales minerales estimadas como cenizas tras la combustión.

A) Celulosa

La celulosa denominada α -celulosa es el componente mayoritario de las fibras naturales vegetales desde el punto de vista estructural, la celulosa es un polímero lineal formado por unidades de β -d-glucopiranosas unido mediante un enlace β -(1,4)-glicosídico dando lugar a unidades de celobiosa que se repite a lo largo de la cadena polimérica. Cada monómero posee tres grupos hidroxilo que pueden formar enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares. Como se aprecia en la figura 2.

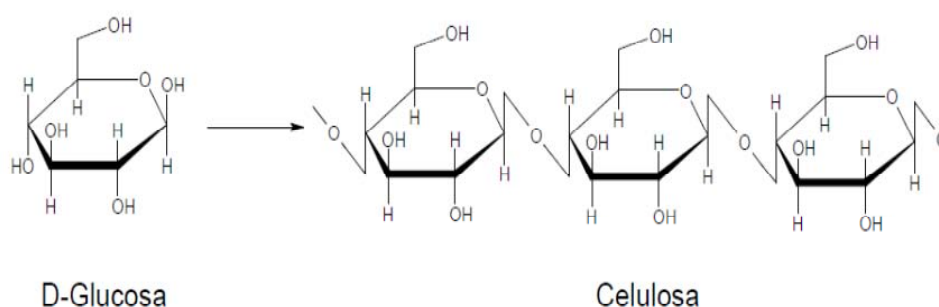


Figura 2. Estructura de la celulosa

Fuente: Sun et al., 2002

Estos enlaces juegan un papel importante en la cristalinidad física de la celulosa. Los enlaces de hidrógeno intermoleculares permiten una estructura de alta cristalinidad definieron la cristalinidad de la celulosa como un factor clave a tener en cuenta durante su proceso de degradación (Sun et al., 2002; Maya y Sabu, 2008; Chanzy et al., 1978).

B) Hemicelulosa

La hemicelulosa es un polisacárido químicamente heterogéneo, constituido por diferentes unidades de monosacáridos incluyendo pentosas xilosas y arabinosas y hexosas entre las que se destacan glucosa, manosa y galactosa enlazadas entre sí por enlaces glicosídicos, formando estructuras ramificadas y en general amorfas. En menor cantidad también se encuentran ácidos urónicos en su

composición. La figura 3 muestra los monosacáridos constituyentes de las hemicelulosas.

2.2.5.- Carbohidratos que forman hemicelulosa

La reactividad química de la hemicelulosa se basa en la presencia de un grupo carbonilo terminal libre y los grupos hidroxilos de las unidades de polisacáridos presentes en la cadena, así como, en las ramificaciones por lo que pueden experimentar reacciones de oxidación, reducción, nitración y acetilación. La hemicelulosa es muy hidrofílica, soluble en medio alcalino y fácilmente hidrolizable en ácido (Maya y Rajesh, 2008). Dependiendo del tipo de planta las hemicelulosas llegar a presentar variaciones en su composición en cambio la estructura de la celulosa siempre es la misma (Herrera y Valadez, 2004).

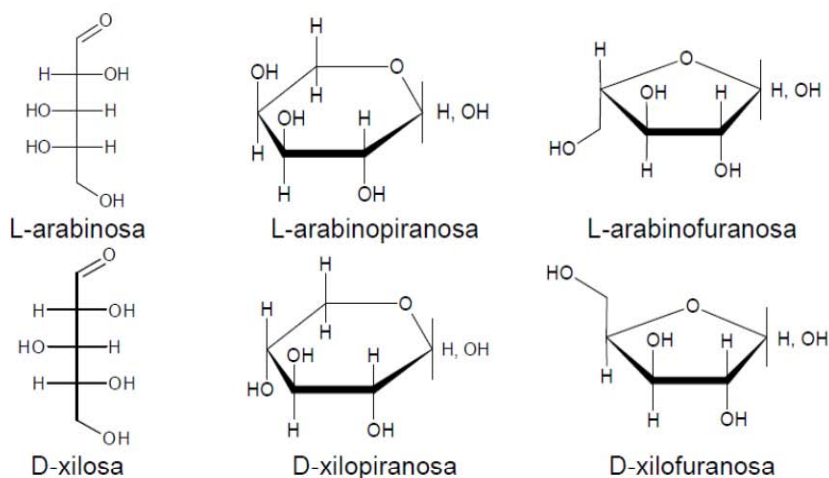


Figura 3. Monosacáridos constituyentes de las hemicelulosas.

Fuente: Chanzy et al., 1978.

Lignina

La lignina aporta rigidez a las plantas, se trata de un compuesto complejo, un copolímero tridimensional formado por constituyentes alifático y aromático con alto peso molecular y generalmente resistente a la degradación microbiológica. La lignina se caracteriza por su alto contenido en carbono y su

bajo contenido en hidrógeno. También se han identificado grupos funcionales como el hidróxilo, metóxilo y carbonilo.

Se cree que la estructura de la molécula de la lignina deriva del compuesto 4-hidroxí-3-metoxi fenol propano en la figura 4 se muestra la estructura de la lignina (Antal y Varhegyi, 1995).

La lignina es un polímero amorfo hidrofóbico y termoplástico, con una temperatura de transición vítrea alrededor de 90°C y una temperatura inicial de fusión de 200°C. No es hidrolizable por los ácidos, pero es soluble en alcalinos caliente y fácilmente condensable con fenol.

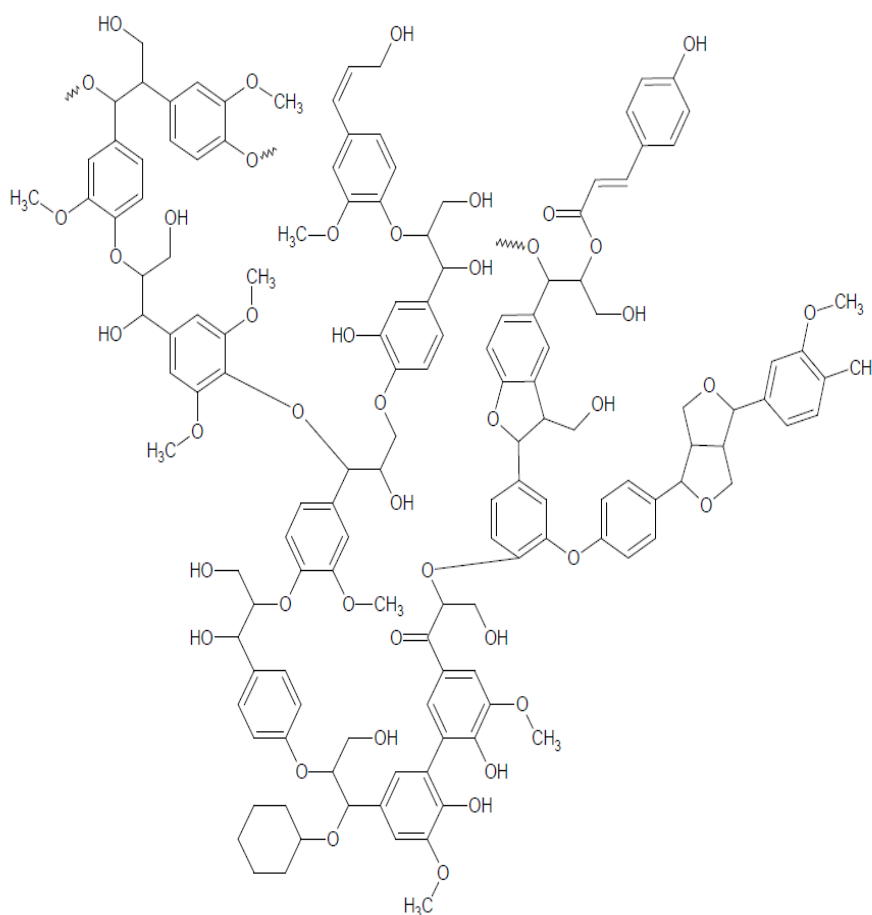


Figura 4. Estructura de la lignina
Fuente: Antal y Varhegyi 1995

2.2.6.- Estructura base de la lignina

Para (Maya y Rajesh, 2008) la lignina es considerada un polímero termoplástico con una temperatura de transición vítrea alrededor de 90°C y una temperatura de fusión alrededor de 170°C, no hidroliza con los ácidos, pero es soluble en medios alcalinos que estén calientes, se oxida fácilmente.

Dependiendo del grado de polimerización de los componentes de la fibra existirá un mayor o menor grado de solubilidad en el medio acuoso o alcalino lo cual puede provocar pérdida de la resistencia mecánica por descomposición cuando son empleadas como refuerzo afirman (Quintero y González, 2006; Silva, 2002). La región central de la fibra es responsable de la gran incidencia de los poros permeables en las fibras ya que absorben una elevada cantidad de agua

Pectinas

En general, se conoce como pectinas a los heteropolisacáridos presentes en las fibras naturales. Las pectinas son una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados, siendo el ácido galacturónico el mayoritario. Estos ácidos presentan enlaces α -(1-6-4) entre ellos que son interrumpidos por residuos de l-ramosa, d-galactosa y l-arabinosa unidos a su vez mediante enlaces covalentes a los ácidos.

Compuestos extraíbles

La composición de materiales lignocelulósicos, incluye también una fracción de bajo pesos moleculares solubles en solventes orgánicos que engloban diferentes compuestos lipofílicos y polares (Fengel y Wegener, 1984). Una de las principales funciones de los compuestos extraíbles es la protección de la planta contra patógenos.

Los extraíbles polares engloban diferentes compuestos fenólicos libres de bajo peso molecular, lignanos, taninos y flavonoides, entre otros. Los compuestos fenólicos libres incluyen precursores de la lignina, aldehídos y cetonas aromáticos. Los taninos hidrolizables son ésteres del ácido gálico y sus dímeros

con monosacáridos. Los flavonoides presentan diferentes estructuras derivadas del anillo de flavona.

2.2.7.- Degradación, biodegradación

Degradación es un término muy amplio y controvertido que engloba todos aquellos cambios irreversibles que se producen a lo largo del tiempo sobre las propiedades de un material, tanto físico como químico según, (Schnabel, 1981), el término degradación se utiliza, para señalar *“los cambios en las propiedades físicas causadas por las reacciones químicas que implican la ruptura de enlaces en la cadena principal o en los grupos laterales de las macromoléculas”*.

2.2.8.- Degradación de las fibras

Para la elaboración de composites, además de la selección de una matriz adecuada, es muy importante conocer la respuesta de las fibras ante un proceso de degradación durante un período de tiempo determinado.

A) Degradación térmica

Controlar y predecir la degradación térmica de las fibras naturales es de vital importancia para asegurar las condiciones óptimas del procesado de los composites reforzados; y estimar su influencia en las propiedades del composites resultante durante su ciclo de vida (Yao et al., 2008). La celulosa componente mayoritario de las fibras naturales se descompone entre (325-400) °C y se caracteriza por una masa residual final (Di Blasi y Branca, 2001).

La hemicelulosa descompone a temperaturas menores (225-325) °C, debido a que es más fácil de hidrolizar que la celulosa. Finalmente la lignina es el componente que contribuye de forma mayoritaria a la formación del residuo y presenta la descomposición térmica más amplia, entre (200-600) °C.

Además, la fracción de la materia inorgánica soluble en agua tiene un papel importante en la descomposición térmica por su efecto catalítico (Antal y

Varhegyi, 1995), debido a la complejidad de las reacciones de descomposición térmica de las fibras naturales, la comunidad científica centró sus esfuerzos en determinar la cinética de descomposición de los componentes principales de las fibras naturales, aún no ha sido determinado (Broido y Nelson, 1975; Wambua et al., 2003; Wollerdorfer y Bader, 1998).

Sin embargo, diferentes autores proponen el uso de los modelos isoconvencionales de cinética libre para determinar la energía de activación en función del grado de conversión sin necesidad de asumir ningún mecanismo de descomposición (Yao et al., 2008; Wambua et al., 2003).

La celulosa es el componente mayoritario de las fibras naturales de su degradación térmica se obtienen tres fracciones de productos diferentes: una fase gaseosa combustible, una fase líquida condensable y una fase sólida carbonosa (Wollerdorfer y Bader, 1998; Wielage et al., 2003).

La fase gaseosa tiene como compuestos mayoritarios el CO, CO₂, H₂, CH₄ y otros hidrocarburos ligeros. La fracción condensable está constituida por dos fases una fase orgánica y una fase acuosa. La producción de una masa residual se ve favorecida por una temperatura entre (400-500) °C.

Una presión reducida de 1MPa y un elevado tiempo de resistencia para fomentar el contacto entre la fase vapor y la sólida que da lugar a apariciones de reacciones secundarias de formación de residuo (Hermann et al., 1998).

La proporción de la producción de esta fracción depende de la composición inicial de las fibras naturales; la lignina y la materia extractiva potencian su producción (Mohanty et al., 2000c), mientras que la materia inorgánica altera el mecanismo de descomposición térmica de los materiales lignocelulósicos y aumenta la producción de fracción sólida (Chen Evans, 2005).

B) Fotodegradación

La radiación UV ataca en primer lugar a la lignina, la cual es responsable de que la coloración de la muestra cambie. En comparación con la lignina, la celulosa es menos susceptible a la fotodegradación UV.

Por tanto, a medida que la lignina se degrada, la superficie de las fibras naturales aumenta su contenido de celulosa. Después de ser degradada la lignina, las fibras ricas en hidratos de carbono emergen fácilmente a la superficie con lo que se expone nueva lignina a degradación.

C) Absorción de humedad

Las fibras cambian sus dimensiones con la variación de su contenido de humedad en su composición. Las paredes celulares de los polímeros contienen grupos hidroxilo y otros compuestos oxigenados que se enlazan con el agua mediante puentes de hidrógeno.

El componente de hemicelulosa es el mayor responsable de la absorción de humedad, pero la accesibilidad y la proporción amorfa/cristalina de la celulosa y la cantidad de lignina también influyen sobre este parámetro.

2.2.9.- Coste, disponibilidad y desarrollo sostenible de las fibras.

El suministro mundial de fibras sintéticas está disminuyendo, mientras que la demanda de materias primas renovables continúa aumentando. El precio de las fibras varía dependiendo de la disponibilidad que ofrece el país para su cultivo.

Las fibras de yute provienen de la India y Bangladesh. El kenaf crece en América, el lino se cultiva mayoritariamente en Europa Central, pero en la actualidad también crece en otras partes del mundo como Canadá, Argentina, India y Rusia y el cañamo es original de Asia Central.

En estos momentos, los precios de las fibras naturales han experimentado un fuerte descenso. Hasta hace unos años el precio de las fibras naturales podía llegar a ser un 30% superior al de las fibras sintéticas dependiendo de su lugar de origen.

2.2.10.- Ventajas y desventajas de las fibras naturales

Las características de las fibras las hacen especialmente atractivas para el desarrollo de nuevos materiales compuestos: baja densidad, gran abundancia, carácter renovable, biodegradabilidad y bajo costo. Además, es de destacar la ausencia de riesgos para la salud en el proceso de su manipulación y el hecho de que su poca rigidez puede ser una ventaja durante el procesamiento, pues las fibras se pueden doblar en lugar de romperse, como pasa con otros tipos de fibras sintéticas (García, 2007; Ochi, 2006; Keller, 2003).

No obstante, existen dificultades intrínsecas en la utilización en las fibras de celulosa como agente reforzante en nuevos materiales compuestos, como por ejemplo, la dificultad de lograr una buena dispersión de las fibras en el seno de la matriz, su gran capacidad de absorción de agua y baja resistencia a la degradación biológica y una limitada resistencia térmica si se les compara con las fibras artificiales o sintéticas.

2.2.11.- Fibra de coco proveniente de la cáscara

El fruto es una drupa fibrosa con cáscara lisa llamada *exocarpo* que puede variar de verde a un café rojizo o aún hasta un tono marfil. La cubierta denominada *mesocarpo* en cocoteros jóvenes es blanca y firme. El *mesocarpo* en un fruto maduro constituye una masa fibrosa de donde se obtiene el bonote el cual es una especie de fibra.

Dentro de esta masa fibrosa se encuentra una concha dura o hueso que es el *endocarpo* que encierra la semilla. La semilla está formada por la almendra o carne blanca que es el endospermo sólido, cubierta con una delgada capa de color café adherido firmemente de cerca de 12 mm de grosor llamada testa. Tal como se aprecia en la figura 5. En la cavidad central contiene el agua que es el endospermo líquido. Presenta además un embrión embebido en el endospermo sólido en la porción basal de la semilla. El rendimiento generalmente se estima en términos

del número de frutos producidos por palma o su equivalencia en peso de copra por unidad de área (Duarte et al., 2012).

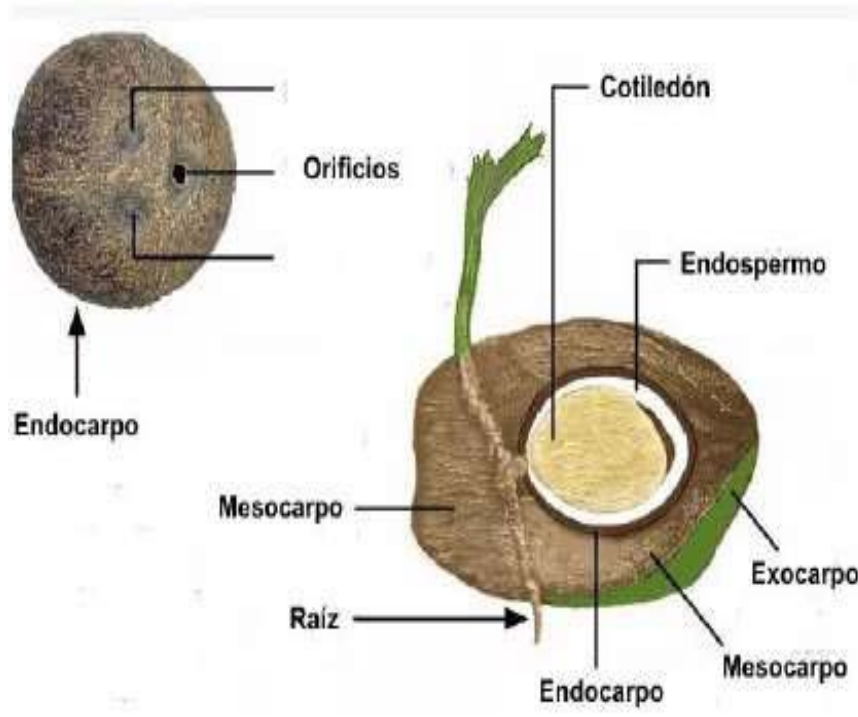


Figura 5. Estructura del fruto coco

Fuente: Duarte et al., 2012

2.2.12.- Estopa de coco o fibras de bonote.

La parte fibrosa del fruto denominado epicarpio y mesocarpo o cáscara conocida como estopa de coco tiene numerosos usos, por ejemplo en la fabricación de ropa fina resistente al agua de mar y en general en la manufactura de cepillos, cordeles, sogas, alfombras, filtros, relleno de colchones y almohadas, etc. Además por su alto contenido de lignina es buen combustible (Duarte et al., 2012; Quintero y González, 2006). Las fibras de coco miden hasta 35 centímetros de largo con un diámetro de 12 a 25 micras. Entre las fibras vegetales, la fibra de coco tiene una de las más altas concentraciones de lignina, tal como lo reporta que (Bismark et al., 2001) lo que la hace más fuerte tal como se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química de los principales constituyentes de la fibra de coco porcentaje en masa y densidad.

% Celulosa	% Lignina	% Hemicelulosa	Densidad, (kg/m ³)	Referencia
35-60	20-48	15-28	1117-1165	(Agopyan, 2005) ¹
68,9	32,2	16,8	1100-1300	(Asasutjarit et al., 2007) ¹
36-43	41-45	0,15-0,25	-	(Bismark et al., 2001)
43	45	0,3	1150	(Bledzki et al., 1996)
36-43	20-45	0,15-0,20	1200	(Dos Santos, 2006)
53	40,8	-	1177	(Silva, 2002)
32-43	40-45	-	1150	(Silva et al., 2000)

¹ Porcentajes expresados en composición molar.

La fibra de coco, está constituida de fibras de celulosa, con lignina y hemicelulosa como materiales cementantes. Esta presenta un amplio rango en sus propiedades físicas y químicas que dependen de la localidad en la cual fueron cultivadas, el clima, los métodos de extracción, entre otros (Silva et al., 2000; Martins et al., 2013). En la tabla 3 se muestran los principales componentes de dicha fibra, y sus propiedades mecánicas.

La fibra de coco pertenece al grupo de las fibras duras, tales como el sisal, el abacá y henequén. Aunque la resistencia a la tracción de la fibra de coco seca es baja en comparación con la de sisal, disminuye mucho menos por inmersión en agua. Después de 4 meses de inmersión el bonote pierde solamente (35–45) % de su resistencia.

Tabla 3.- Propiedades mecánicas y absorción hasta condición de saturación de las fibras de coco

Resistencia a la Tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Elasticidad (%)	Ángulo de microfibrillas (θ)	Absorción (%)	Referencia
107	2,8	37,7	-	93,8-161	(Agopyan, 2005)
131-175	4,0-6,0	15-40	41-45	-	(Bismark et al., 2001)
140	5	15	45	-	(Bledzki et al., 1996)
175	4,0-6,0	15-40	-	-	(Dos Santos, 2006)
95-118	2,8	23,9-51,4	30-49	-	(Silva, 2002)
131-175	4,0-6,0	15-40	39-40	-	(Silva et al., 2000)
108,3-251,9	2,5-4,5	13,7-41	-	85-135	(Toledo, 2000)

Se afirma que su flotabilidad extrema y su resistencia a la acción de bacterias y agua salada son únicas. Son imputrescibles e incombustibles, tiene resistencia a los ataques alcalinos y microbiológicos.

2.2.13.- Caña de azúcarsaccharum officinarum provenientes del tallo

Una clase de residuo lechoso es la caña de azúcar, en estado fresco estos bagazos contienen un 40% de agua, suelen utilizarse como combustible de las propias azucareras. Las fibras de caña de azúcar tienen una significación

particular, por cuanto constituye, además de un material combustible para la industria azucarera, también es una valiosa materias primas tales como la del papel, maderas artificiales entre otros

Tabla 4. Especificaciones del bagazo de caña de azúcar

Especificaciones	Bagazo
Continuo / Disperso	Disperso
Orientación	Aleatoria
Matriz	Cemento
Longitud (mm)	26
Diámetro promedio (mm)	0,24
Gravedad específica (g/cm ³)	1,25
Absorción de humedad (%)	78,5
Contenido de humedad (%)	12,1
Resistencia última (MPa)	196,4
Módulo de elasticidad (GPa)	16,9
Resistencia a la adherencia (MPa)	0,84

Fuente: Propia

La corteza está compuesta por fibras muy lignificadas, cuyas características principales son su gran espesor de pared celular, su longitud y rigidez tal como se aprecia en la tabla 4. Estas características le permiten proteger a la planta de los impactos mecánicos que pueda recibir durante su desarrollo y servirle como sostén.

El interior del tallo está formado en gran medida por tejido parenquimatoso, el cual se distingue por grandes células con una pared muy

delgada, las cuales tienen una capacidad de absorción muy alta, una densidad y rigidez bajas. En estas células se almacena la mayor parte del agua y la sacarosa presentes en el tallo de la caña.

En el interior del tallo se desarrollan también los haces fibrovasculares, constituidos también por células parenquimatosas, pero algo más rígidas y con una orientación preferente, las cuales forman arreglos concéntricos con una densidad de estos por sector angular que va en aumento desde el centro del tallo hacia la corteza.

El bagazo de caña es el subproducto o residuo de los centrales azucareros, el cual se genera después de la extracción del jugo de caña de azúcar.

Es un desecho agroindustrial que representa el 25% del total de la caña de azúcar procesada.

En Venezuela, el bagazo de caña de azúcar es el tercer desecho agroindustrial más importante después del follaje de yuca y la paja de arroz, con una producción anual aproximada de 1.580.000 toneladas por año (Fedeaagro, 2006).

2.2.14.- Caracterización superficial del bagazo.

Se puede afirmar que el bagazo tiene una superficie con un carácter en gran medida hidrofílica a causa de la presencia mayoritaria de la celulosa.

El uso de las fibras de bagazo para material manufacturado, es otra alternativa de solución para el uso de este tipo de materiales.

Si se compara el uso de las fibras naturales con materiales sintéticos, estas tienen dos grandes ventajas, su baja densidad y su reutilización.

Las características morfológicas y las propiedades físico-mecánicas del bagazo de caña de azúcar. Lo catalogan como un material adecuado para ser usado como fibrorefuerzo.

2.2.15.- Usos de la caña de azúcar

La caña de azúcar se utiliza preferentemente para la producción de azúcar, adicionalmente se puede utilizar como fuente de materias primas para una amplia gama de derivados, algunos de los cuales constituyen alternativas de sustitución de otros productos con impacto ecológico adverso, tales como cemento, papel obtenido a partir de pulpa de madera, entre otros.

2.2.16.- Definición de concreto

El concreto es un material artificial, formado por la mezcla de cemento, agregado grueso, agregado fino, agua y aditivos en cantidades predeterminadas (CEMEX C.A., 2008).

2.2.17.- Composición de la mezcla de concreto

Una mezcla de concreto está constituida por: cemento, agregados pétreos fino y grueso, agua y aditivos (Porrero et al., 2008). En la actualidad se realizan investigaciones para emplear como adiciones materiales reciclados de manera de dar utilidad a los mismos y reducir la deposición de desechos sólidos.

2.2.18.- Concreto reforzado

El concreto que contiene cemento, agua agrados finos y gruesos y fibras discretas discontinuas es llamado concreto reforzado con fibras, (Metha y Monteiro, 1998).

El uso de **fibras como refuerzo del concreto** ha tenido un auge importante. Sin embargo, esta técnica no es nueva en el mundo de la construcción; de hecho se remonta muchos años antes de la aparición del cemento *Pórtland* y del concreto, cuando se utilizaban materiales como pasto, fique, junco y hasta pelo animal que eran agregados al adobe con el fin de evitar la fisuración y mejorar la resistencia a tensión.

El aspecto más importante del desempeño mecánico para el concreto reforzado con fibras es el comportamiento a la tensión. Sin embargo, es

complicado realizar ensayos uniaxiales de resistencia a la tensión, especialmente si se busca conocer la respuesta del material después de la carga máxima. Las propiedades en estado fresco tienen influencia de la geometría de las fibras y la dosificación de las mismas.

La manejabilidad del concreto reforzado con fibras depende de la dosificación en volumen de las fibras, la geometría, el estado superficial y el enlace entre ellas, las dimensiones de los agregados y su cantidad relativa.

El ensayo de asentamiento con el cono de Abrams al concreto reforzados con fibras presenta ciertas dificultades, ya que la matriz del concreto en la mayoría de casos es muy cohesiva y no fluye libremente.

El ensayo adecuado para determinar la fluidez en este tipo de concreto es por medio del cono invertido, en el cual se utiliza una vibración interna.

A continuación se presenta una breve descripción de cada componente básico que conforma la mezcla de concreto.

2.2.19. -Cemento

Es el componente activo del concreto e influye en todas las características de este material.

Sin embargo, sólo constituye de 10 a 20% de peso del concreto, siendo el 80 a 90% de materiales restantes los responsables de que se desarrollen las propiedades del concreto tanto en estado fresco como son; trabajabilidad, transporte, entre otras y en estado endurecido el buen acabado del concreto.

2.2.20.- Tipos de cemento *Pórtland*

La norma venezolana Covenin 28 y la norma ASTM C150 consideran cinco tipos de cemento *Pórtland*, catalogados dependiendo de las características que éste presenta, en la tabla 5 se aprecia que existen 5 tipos de cemento y cada uno tiene su uso en particular.

Tabla 5. Tipos de cemento *Pórtland*, según las Normas COVENIN 28 y ASTM C 150

Tipo	Características	Rango de Composición Promedio * (% en peso)			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
I	Uso general	40-55	25-30	8-15	5-10
II	Resistente a los sulfatos y bajo calor de hidratación	40-50	5-35	8	10-15
III	Altas resistencias iniciales	50-63	5-20	3-15	8-12
IV	Muy bajo calor de hidratación	25-35	0-50	< 7	10-15
V	Muy alta resistencia a los sulfatos (especialmente adecuado para estructuras marinas)	32-42	8-48	< 5	10

*En la estructura del cemento, se utiliza la siguiente notación abreviada: C₃S= 3CaO.SiO₂, C₂S= 2CaO.SiO₂, C₃A= 3CaO.Al₂O₃, C₄FA= 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O

Y debido a la combinación de sus componentes químicos da como producto resultante una especie de mezcla bastante compleja de minerales entre

ellos: Silicato tricálcico, Silicato dicálcico, Aluminato tricálcico y Ferritoaluminato tetracálcico, tal como se aprecia en la tabla 6.

Tabla 6. Componentes mineralógicos del cemento *Portland*

Componentes	Fórmula Química	Fórmula Abreviada
Silicato tricálcico	3CaO-SiO_2	C_3S
Silicato dicálcico	2CaO-SiO_2	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferritoaluminato tetracálcico	$4\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$	C_4FA
Yeso	$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Y
Álcalis	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	N+K
Magnesia	MgO	M
Cal libre	$\text{CaO}+\text{Ca}(\text{OH})_2$	C.L.
Residuo insoluble	$\text{SiO}_2+\text{R}_2\text{O}_3$	R.I.

Fuente: Porrero, 2004

2.2.21.- Agua

El agua es uno de los componentes principales del concreto, ya que gracias a ésta, la mezcla de concreto presenta fluidez y al reaccionar químicamente con el cemento, da lugar al endurecimiento característico del mismo (Porrero et al., 2008). Actualmente está bien establecido que el cemento desde el fraguado fija "químicamente" desde 25 % a 28 % de su peso en agua. El agua se encuentra combinada de diferentes formas: hidróxilos, enlaces covalentes y puentes de

hidrógeno. El agua combinada químicamente sólo puede ser extraída mediante un intenso secado al vacío y en ese caso los hidratos dan lugar a una nueva fase sólida (Rodríguez, 1994).

2.2.22.- Agregados

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente del 80 al 90% en peso del compuesto, e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos en las proporciones de la mezcla, y en la reducción de costos. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9,5mm y 38mm. El agregado grueso se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros o grava de gran tamaño (Porrero et. al., 2008).

2.2.23.- Granulometría

La granulometría se refiere a la distribución de tamaño de los granos o partículas del material que integra a los agregados, y es por ello que corresponde a una característica fundamental en la calidad del material para su uso como componente del concreto.

El tamaño de los granos se mide de forma indirecta mediante tamices de diferentes aberturas calibradas, según la Norma Covenin 254 (ASTM E 11), los cuales son colocados de mayor a menor abertura uno sobre otro al tamizar el material por agitación, pasa por los diferentes cedazos según su tamaño o en caso contrario son retenidos.

Gracias a la granulometría del agregado fino se determina en gran parte la demanda de agua en la mezcla, así como también, en la resistencia del concreto, es decir, mientras más fina es la arena es necesario más agua y ocurre una

disminución del volumen del concreto originando así grietas por pérdida de agua apareciendo la retracción y menos resistencia.

La arena que en su granulometría arroja que la mayoría del tamaño de sus granos es gruesa, produce mezclas ásperas con tendencia a la segregación. Por el contrario, el agregado grueso le concede al hormigón características de resistencia, dureza y cantidad de contaminantes como la arcilla. El agregado triturado requiere más agua que el canto rodado y da mezclas más ásperas, pero con mejores resistencias tal como lo afirma (Geymaryr, 1985).

2.2.24.- Tamaño máximo

Es el tamaño máximo de las partículas gruesas de un agregado, y es medido a través de la abertura del cedazo de menor tamaño que deja pasar el 95% o más del material (Porrero et al., 2008).

2.2.25.- Peso por unidad de volumen

Desde el punto de vista normativo, la relación peso/volumen es primordial para la selección y manejo de los agregados por lo que existen tres formas de definirla según (Porrero et al., 2008).

Peso unitario suelto: se determina llenando un recipiente con un volumen conocido, donde se deja caer libremente el agregado desde una altura determinada, seguidamente se pesa obteniéndose la relación peso/volumen.

Esto es significativo, ya que permite convertir pesos en volúmenes y viceversa cuando se trabaja con agregados. Norma Covenin 263 (ASTM C 29).

Peso unitario compacto: similar al proceso anterior, sólo que se compacta el material dentro del recipiente en el cual está contenido, por consiguiente se basa en la misma norma.

Peso específico: se refiere al peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado, es decir, no incluye los huecos entre los granos. Norma Covenin 268 (ASTM C 128) y Norma Covenin 269 (ASTM C 127).

2.2.26.- Humedad

La humedad constantemente es una de las formas como el agua es retenida en los agregados, y se puede definir como la diferencia entre el peso del material húmedo y el mismo secado al horno; generalmente se puede expresar como porcentaje en peso referido al material seco.

La humedad presente en los agregados puede estar como una película envolvente o rellenando los poros y microporos del mismo.

El agua interna en los poros de los granos no pasa a formar parte del agua de la mezcla, sino todo lo contrario, puede absorber parte de ésta.

Sin embargo, el agua en la película envolvente llamada agua externa de los granos, sí pasa a formar parte de la mezcla, de manera tal que puede variar sus proporciones.

Es por ello que esta última debe ser controlada, pues de lo contrario no es posible hacer las correcciones de los pesos de los agregados y del agua que necesita su variabilidad (Porrero et al., 2008).

2.2.27.- Aditivos

Son sustancias químicas, naturales o manufacturadas que se añaden en pequeñas proporciones a los componentes principales con el fin de modificar algunas de las propiedades de la mezcla en estado fresco o endurecido, haciéndolo mejor para el fin que se destine (Porrero et al., 2008).

En el caso específico de este estudio, se utilizó como aditivo Polyheed 1026 cuyas funciones son la de reducir los requerimientos de agua, retarda el proceso de fraguado y mejora la trabajabilidad de la mezcla (Ver anexo 5).

2.2.28.- Adiciones

A la par de los aditivos, existen materiales y/o sustancias de comportamiento inerte a la reacción agua-cemento, que se añaden al concreto.

Con la finalidad de obtener alguna característica ventajosa, como lo es la adición de calizas molidas usadas para favorecer la plasticidad de las mezclas (Porrero et al., 2008).

En el caso específico de este estudio, se utilizó como adición fibras de coco y fibras de bagazo de caña de azúcar proveniente de las costas del estado Falcón y San Mateo estado Aragua respectivamente.

2.2.29.- Caracterización del concreto fresco

Se denomina concreto fresco al material que permanece en estado fluido desde el momento que todos los elementos básicos son mezclados hasta que se inicie su endurecimiento.

2.2.30.- Reología

Se refiere al conjunto de características de la mezcla en estado fresco que facilitan tanto el manejo como su compactación posterior, donde esta última es posible gracias a la distribución uniforme de la mezcla por vibración de la misma a la hora de ser encofrada, es decir, su adaptación al molde.

En el sentido práctico la “Reología del Concreto” se rige por tres características fundamentales como lo son la fluidez, la compactibilidad y la estabilidad a la segregación (Porrero et al., 2008).

2.2.31.- Trabajabilidad

En la tecnología del concreto, la palabra trabajabilidad se emplea con dos acepciones distintas. Una general con la cual se designa un conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca

segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. Otra definición, describe la trabajabilidad a través del asentamiento de la mezcla de concreto medido por el procedimiento normalizado del *Cono de Abrams*, (Porrero et al., 2008).

2.2.32.- Cono de Abrams

Un método utilizado para medir el asentamiento del concreto es el procedimiento normalizado del *Cono de Abrams*. Éste ofrece un índice práctico que permite medir algunas de las propiedades plásticas de la mezcla y se rige por la Norma Covenin 339 (ASTM C 143).

El Cono de Abrams, es un dispositivo de forma cónica con un diámetro mayor de 200 ± 3 mm, un diámetro menor de 100 ± 3 mm, una altura de 300 ± 3 mm y un espesor mínimo de 1,5 mm tal como se aprecia en la figura N° 6 y 7.

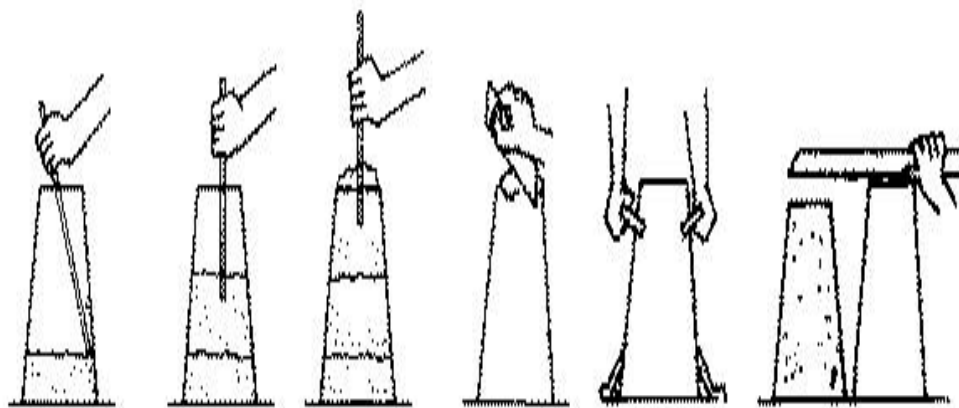


Figura 6. Cono de Abrams y su manejo (Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, 2006).



Figura 7. Cono de Abrams

Fuente: Propia

2.2.33.- Retracción

Se refiere al fenómeno de encogimiento o contracción de volumen que experimenta el concreto a medida que transcurre el tiempo, esto se debe a la pérdida de agua, lo que origina la formación de las grietas (Porrero et al., 2008).

2.2.34.- Ley de Abrams

Fue investigada por el norteamericano Duff A. Abrams, en 1918. Él formula que la resistencia del concreto depende principalmente de la proporción entre el peso del agua de mezclado y el peso de cemento presente. Entre la limitación de esta ley está presente el cumplimiento de suponer que el concreto ha sido debidamente compactado y curado.

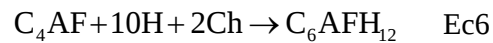
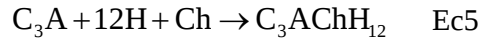
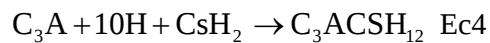
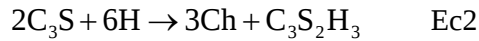
La relación agua/cemento en peso (α) y la resistencia media a la compresión ($\bar{R}$) están relacionadas por la siguiente Ec 1, (Porrero et al. 2008).

$$\bar{R} = M / N^\alpha \quad \text{Ec1}$$

Donde M y N son constantes que dependen de otros factores no considerados por ejemplo naturaleza de los agregados y del cemento.

El proceso de hidratación del cemento no es más que una serie de reacciones químicas que se dirige desde la superficie hacia el centro de cada grano que conforma el cemento.

Las principales reacciones de hidratación del cemento *Pórtland* se muestran a continuación (Shackelford y Güemes 1998).



Dónde:

H = H₂O, Ch = Ca (OH)₂, Cs = CaSO₄, A=Al₂O₃, C=CaO, S=SiO₂, F=Fe₂O₃

2.2.35.- Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales son las características que lo diferencian de otros, desde el punto de vista de la resistencia a esfuerzos, el desgaste, la dureza, la resistencia, entre otros. Entre las más comunes están: la resistencia a la tracción, a la compresión, la deformación, el coeficiente de Poisson y el módulo de elasticidad o módulo de Young (Porrero et al., 2008).

2.2.36.- Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un molde de concreto o de mortero a carga axial, en el sistema internacional se mide en N/m^2 (Pa) para una edad de 28 días, por ejemplo. El procedimiento experimental está establecido por la Norma Covenin 338.

2.2.37.- Resistencia a la tracción por flexión

Los métodos para ensayo de ruptura por flexión son: a) la aplicación de la carga en el centro del tramo libre, entre los dos apoyos de una probeta prismática, Norma Covenin 343 y b) con la carga aplicada en cada uno de los tercios de ese tramo Norma Covenin 342, condición que garantiza que la probeta se rompa por el tercio central, donde el momento es máximo y constante, y la tensión de corte es nula. En la Figura 8 se aprecian ambos métodos.

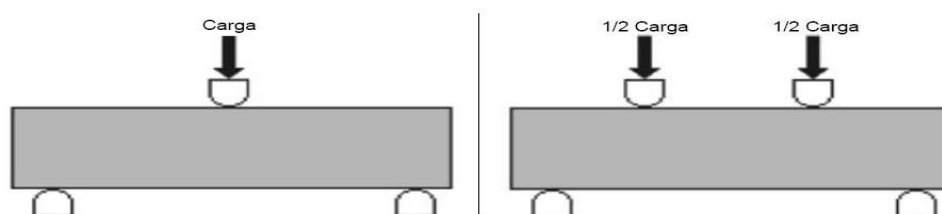


Figura 8. Tracción por flexión: a) carga en el centro del tramo libre Norma Covenin 343 y b) carga aplicada en cada uno de los tercios del tramo Norma Covenin 342

2.2.38.-Fibroconcreto

Se denomina fibroconcreto al concreto reforzado con fibras naturales o sintéticas con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas.

Entre los tipos de fibras empleadas tenemos, las metálicas como el acero inoxidable y el bronce, los minerales como el asbesto y los vegetales como el coco, sisal, bagazo de caña entre otros.

La mineralización de las fibras se evidencia por medio de la microscopía electrónica (Toledo et al., 2000).

2.2.39. -Polimetilmetacrilato (PMMA)

El PMMA, es un plástico amorfo, que se obtiene por polimerización del monómero metacrilato de metilo, en la fFigura 9 se aprecia en pellet.



Figura 9. Polimetilmetacrilato granulado

Fuente: Propia

El metacrilato de metilo, también conocido como éster metílico del ácido metacrílico ($C_5H_8O_2$), es un líquido incoloro con fuerte olor a fruta, con un punto de ebullición de $100^{\circ}C$ y que se almacena con inhibidores de polimerización.

El polímero se forma a partir de la apertura del doble enlace $C=C$ cuando se pone en contacto con iniciadores. El PMMA con peso molecular bajo se comporta como un termoplástico cuando se calienta, mientras que si el peso molecular es alto lo hace como un termoelástico.

2.2.40.- ENTRE LAS PROPIEDADES DEL PMMA SE PUEDE MENCIONAR:

- Destaca por una resistencia mecánica media y rigidez elevada. No obstante, presenta una baja resistencia al impacto que, con todo, es seis veces superior a la del vidrio normal.
- Tiene una dureza elevada, superficie pulible y mediante un tratamiento especial la superficie adquiere una excelente resistencia al rayado.
- La franja de temperaturas de uso continuo se extiende de -40 a 75°C con picos de 100°C por poco tiempo. Entre 120 y 180°C adquiere consistencia elástica y puede moldearse.
- A partir de 180°C se convierte en un líquido viscoso inyectable, moldeable presentando una dilatación térmica media.
- Tiene una excelente transparencia. Es brillante y absolutamente incoloro, y se puede teñir con facilidad en colores translúcidos u opacos.
- Es un buen aislante eléctrico, con cargas electrostáticas altas, por lo que tiene tendencia a acumular polvo.
- Resiste los ácidos y álcalis de concentración baja o media. Es también resistente a los disolventes apolares como hidrocarburos alifáticos y aceites. Por el contrario no es resistente a disolventes polares como ésteres, cetonas, hidrocarburos clorados y similares.
- La absorción de agua es próxima al 0.3%. Tiene tendencia a la fisuración por tensión. Tiene una excelente resistencia a la intemperie y al envejecimiento térmico. Una vez encendido sigue ardiendo.

2.2.41.- Análisis termogravimétrico (TGA)

El análisis térmico es, por definición, la medida de los cambios físicos o químicos que ocurren en una sustancia en función de la temperatura mientras la muestra se calienta o se enfría con un programa de temperaturas controlado (Conesa, 2000; Ehrenstein et al., 2004).

Las Normas estandarizadas relacionadas a esta técnica analítica son la ISO 11358, ASTM E 1131 y la DIN 51006 (Ehrenstein et al., 2004).

Algunos equipos de análisis termogravimétrico (TGA) incorporan el cálculo de dos temperaturas típicas de cada proceso: la temperatura *onset* y la *endset*. La primera de las temperaturas es la *onset*, se calcula por la intersección de las tangentes a la curva inicial de pérdida de peso y la curva principal, mientras que la temperatura *endset*, está dada por intersección de las tangentes a la curva final de pérdida de peso y la curva principal.

Los principales factores que influyen en la forma y posición de la curva de pérdida de peso, son la velocidad de calentamiento y la atmósfera utilizada, si bien otros factores que pueden afectar son la geometría del porta muestras y del horno, la cantidad de muestra y el tamaño de partícula.

2.2.42.- Análisis termogravimétrico diferencial (DTG)

Este análisis, se basa en la medición de la variación de la temperatura de una sustancia sometida a calentamiento, variación que se produce por la absorción o la emisión de calor, asociadas a las transformaciones físico-químicas que eventualmente puede experimentar dicha sustancia.

Más exactamente lo que se mide es la temperatura del material examinado en relación con la temperatura de un determinado estándar de referencia térmicamente estable, para lo cual ambos son sometidos simultáneamente a un calentamiento homogéneo y gradual. Los puntos de inflexión en la curva de TGA, representan máximos o mínimos en la curva de DTG, que representan la temperatura donde la velocidad de descomposición de la sustancia es máxima, como se aprecia en la figura 10.

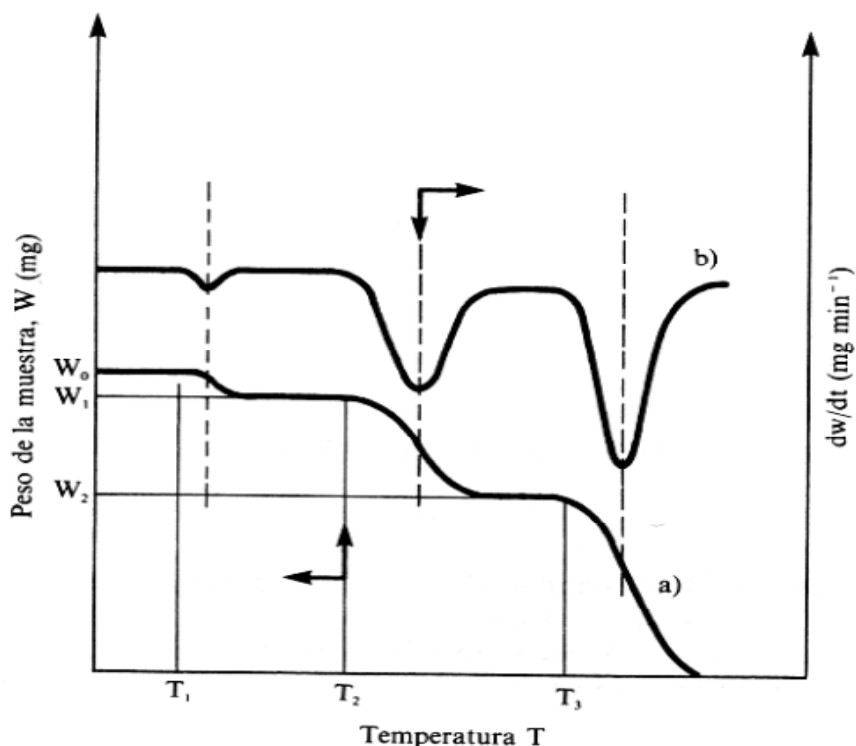


Figura 10.- Curva termograma diferencial a: Variación de la temperatura vs la pérdida en peso (TGA) para una sustancia dada con tres procesos de descomposición, Curva termograma convencional b: variación de la temperatura vs cambio del peso respecto al tiempo (DTG)

Fuente: Skoog et al., 2002.

2.2.43.- Parámetros cinéticos en la degradación de fibras naturales

Conociendo el comportamiento térmico de las fibras de coco mediante TGA y DTG, se pueden determinar los parámetros cinéticos asociados a la degradación de las fibras naturales realizando un análisis global, sin considerar las reacciones secundarias que se forman durante la degradación de las mismas.

La ecuación fundamental para la determinación de cualquier cinética de reacción está dada la siguiente expresión:

$$\frac{d\alpha}{dt} = k \cdot f(\alpha) \quad \text{Ec 7}$$

La Ec7, relaciona de manera directamente proporcional la velocidad de reacción con la función de conversión de una sustancia mediante una constante k , denominada también constante de velocidad. La función que determina el modelo de la reacción es $f(\alpha)$, es decir, es una función que depende del mecanismo de reacción propio de cada sustancia (Chen et al., 2004; Albano et al., 1999; Betancourt et al., 2009).

Para efectos de la determinación de los parámetros cinéticos se acostumbra a definir el parámetro (α), conocido como grado de conversión, como una relación entre las masas de la sustancia en estudio: masa inicial, masa en un instante t y masa final de la sustancia W_o , W_t y W_f respectivamente, acorde con la Ecuación 8:

$$\alpha = \frac{W_o - W_t}{W_o - W_f} \quad \text{Ec 8}$$

La función $f(\alpha)$, con más amplia aceptación entre distintos autores para el estudio de la degradación de polímeros (Betancourt et al., 2009; Chen et al. 2004), ver Ec9:

$$\text{Ec 9} \quad f(\alpha) = (1 - \alpha)^n$$

Donde n , es el orden de la reacción; en cuanto a la constante de velocidad k , está determinado por la energía de activación de la sustancia:

$$k = A \cdot e^{\frac{-E_a}{R \cdot T}} \quad \text{Ec 10}$$

La ec. 10 llamada ecuación de Arrhenius, determinada para reacciones químicas en condiciones no isotérmicas, donde E_a corresponde a la energía de activación [kJ/mol], A es el factor preexponencial [min^{-1}], R es la constante universal de los gases con un valor 8,314 J/K.mol y T es la temperatura expresada en Kelvin.

Sustituyendo la ecuación 9 y la ecuación 10 en la ecuación 7, queda la ecuación 11:

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}} \cdot (1-\alpha)^n \quad \text{Ec 11}$$

Considerando las condiciones no isotérmicas en el proceso degradativo de las fibras naturales, debemos incorporar la velocidad de calentamiento como un parámetro en la ecuación anterior resulta la ecuación 12:

$$\left(\frac{d\alpha}{dT}\right) \cdot \left(\frac{dT}{dt}\right) = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}} \cdot (1-\alpha)^n \quad \text{Ec 12}$$

Para una velocidad de calentamiento constante, conocida como β , la siguiente relación es válida la ecuación 13:

$$\beta = \frac{dT}{dt} \quad \text{Ec 13}$$

Sustituyendo la , en la Ec 12

, agrupando e integrando desde la temperatura inicial T_o hasta la temperatura final T , con un grado de conversión de α_o y α , respectivamente, obtenemos la siguiente ecuación 14:

$$\int_{\alpha_o}^{\alpha} \frac{d\alpha}{(1-\alpha)^n} = \frac{A}{\beta} \int_{T_o}^T e^{\frac{-E_a}{RT}} \cdot dT \quad \text{Ec 14}$$

Haciendo un cambio de variable y usando la expresión de Abramowitz y Stegun para la resolución de la integral exponencial, según (Chen et al., 2004) la solución de la ecuación anterior viene dada por la ecuación 15:

$$\frac{(1-\alpha_o)^{1-n} - (1-\alpha)^{1-n}}{1-n} = \frac{A}{\beta} \cdot \left[T \cdot E_2\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right) - T_o \cdot E_2\left(\frac{E_a}{R \cdot T_o}\right) \right] \quad \text{Ec 15}$$

Para resolver esta expresión matemática anterior se puede usar el Método E_2 -function, dada la velocidad de calentamiento (β) y determinado previamente el orden de reacción n por las ecuaciones planteadas por (Coats y Redfern, 1965).

El método integral planteado por (Coats y Redfern, 1965) para determinar el orden de reacción con $n \neq 1$, viene dada por la ecuación 16:

$$\log \left[\frac{1 - (1 - \alpha)^{1-n}}{T^2 \cdot (1-n)} \right] = \log \left[\frac{A \cdot R}{\beta \cdot E_a} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot R \cdot T}{E_a} \right) \right] - \frac{E_a}{2,3 \cdot R \cdot T} \quad \text{Ec 16}$$

Para $n=1$, la expresión matemática es la siguiente Ec17:

$$\log \left[-\frac{\log(1 - \alpha)}{T^2} \right] = \log \left[\frac{A \cdot R}{\beta \cdot E_a} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot R \cdot T}{E_a} \right) \right] - \frac{E_a}{2,3 \cdot R \cdot T} \quad \text{Ec 17}$$

Con estas expresiones matemáticas y los resultados obtenidos del análisis termogravimétrico se pueden obtener los parámetros cinéticos del proceso de degradación de las fibras.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en esta investigación, se estudió el comportamiento fisicoquímico y mecánico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar para recomendar su uso en áreas de construcción.

3.1.-Tipo de investigación

Se trata de una investigación de paradigma cuantitativo, según (Hernández et al., 2010), para quienes existen cuatro tipos de investigación. A continuación se explicarán los casos o situaciones en las que se emplean, así como las características que las conforman, para determinar el tipo de investigación que se llevó a cabo en la presente Tesis Doctoral.

1.-Investigación Exploratoria: Se realiza cuando el objetivo consiste en examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes.

- Investigación problema poco estudiado.
- Indagan desde una perspectiva innovadora.
- Ayudan a identificar conceptos promisorios.
- Preparan el terreno para nuevos estudios.

2.-Investigación Descriptiva: Se emplea cuando el objetivo es el de detallar las características y el comportamiento de los fenómenos, situaciones, contextos y eventos. Busca especificar propiedades, características y rangos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para describir lo que se investiga. Describe tendencias de un grupo o población.

- Consideran a un fenómeno y sus componentes.
- Miden conceptos.
- Definen variables.

3.-Investigación Correlacional: Se realiza cuando se tiene como propósito conocer la relación existente entre dos o más conceptos, categorías o variables, en un contexto en particular. Asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo de pobladores.

- Ofrecen predicciones.
- Explican la relación entre variables.
- Cuantifican relación entre variables.

4.-Investigación Explicativa: Pretende establecer las causas de los eventos sucesos o fenómenos que se estudian. Van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos físicos o sociales.

- Determinan las causas de los fenómenos.
- Generan un sentido de entendimiento.
- Combinan sus elementos de estudio.

La investigación que se llevó a cabo fue correlacional y explicativa; estando enmarcada dentro de los estudios correlacionales, porque el control adecuado es el factor esencial del método utilizado. La variable independiente es el conjunto de las fibras naturales que, bajo ciertos parámetros, son manipuladas para producir ciertos efectos específicos en las propiedades del concreto específicamente la resistencia, siendo esta la variable dependiente.

Y es explicativa por qué a través de la sustitución en parte del agregado fino por fibras naturales en mezclas de concreto, se obtuvieron valores de interés que permitieron exponer las razones de ocurrencia de la variación de la resistencia. Cuando se incorporaron fibras al concreto específicamente en

cilindros, losas y vigas, variando el porcentaje de concentración en volumen de las fibras, tipos de fibras, tamaño de las fibras, fibras tratadas químicamente y no tratadas.

A través de la medición de la resistencia a compresión para cilindros y resistencia a la tracción para losas y vigas. Se obtuvieron valores cuantitativos que permitieron determinar si las mezclas de concreto tienen características similares a las mezclas de concreto elaborado tradicionalmente para recomendar su uso en aéreas de construcción.

3.2.- Hipótesis de la Investigación

Puede existir una o varias hipótesis, éstas son las guías para una investigación o estudio. Indican lo que se trata de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado (Hernández et al., 2010), es por ello que la hipótesis planteada fue, el concreto base cemento *Pórtland* reforzado con fibras de coco y bagazo de caña de azúcar, tienen propiedades de compresión y flexión adecuadas para ser usado en la construcción.

3.3.- Diseño de la investigación

El diseño es el plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación (Hernández et al., 2010). En el enfoque cuantitativo, utiliza su diseño para analizar la certeza de la hipótesis formulada en un contexto en particular tal es el caso que se presenta en esta tesis Doctoral.

3.3.1.- Clasificaciones del diseño de Investigación

Es posible encontrar diferentes clasificaciones de los diseños sobre la investigación cuantitativa (Hernández et al., 2010), estas son:

1.-*Investigación Experimental*: Requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados. Se lleva a cabo para analizar si una o

más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y por qué lo hacen. Así también se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula.

El experimento debe cumplir con tres requisitos:

- a) La manipulación intencional de una o más variables independientes.
- b) Medir el efecto que la variable independiente tiene en la variable dependiente.
- c) Cumplir con el control o la validez interna de la situación experimental.

2.-Investigación no Experimental: Es la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlo. Se trata de estudios donde no se hace variar de manera intencional las variables.

En atención a lo expuesto, esta investigación es de tipo experimental y se evidencia mediante la manipulación de una variable no comprobada que son la fibras de coco y bagazo de caña de azúcar, incorporándose a las mezclas de concreto y bajo condiciones rigurosamente controladas como variación de la concentración de las fibras, tamaño, tratadas químicamente y no tratada, con el fin de describir el modo y las razones por las que se produce una situación o acontecimiento, es decir, de acuerdo a los valores obtenidos de resistencia a compresión y tracción se describió el comportamiento mecánico de las mezclas para recomendar su uso en áreas de construcción.

En este sentido, la variable independiente es el conjunto de fibras naturales, que bajo ciertos parámetros, como cambio de tamaño, distintas concentraciones, con y sin tratamiento químico, son manipuladas para producir ciertos efectos específicos en las propiedades del concreto específicamente la resistencia, evaluada a distintas edades de curado, siendo ésta la variable dependiente.

Los resultados obtenidos del proceso experimental de manipulación controlada de las variables han sido reportados y expresados gráfica y tabularmente, analizándose, contrastándose y explicándose sus resultados evidentes, a la luz del logro de los objetivos y de la prueba de la hipótesis de trabajo.

Es importante destacar que la labor explicativa y dilucidadora de la investigadora en el encuentro de los resultados y en la explicación de las evidencias no disminuye el carácter experimental del diseño de la investigación, ya que la intervención de la investigadora en la labor explicativa ocurre ex post (después del experimento), siendo imprescindible la acción del sujeto investigador en el análisis de las evidencias derivadas del experimento.

3.4. Población y muestra de estudio

La población finita determinada para la evaluación del comportamiento mecánico, fisicoquímico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar para su uso en construcción estuvieron conformados por 574 muestras.

3.5.-Unidad de análisis

La unidad de análisis contempló cómo fueron modificadas las propiedades mecánicas del concreto cuando se sustituyó parte del agregado fino por fibras naturales.

3.5.1.-Unidades experimentales para seleccionar la mezcla óptima o patrón sin fibras.

Se elaboraron cinco mezclas para un tiempo de curado de 7, 14, 28, y 60 días respectivamente. En total se analizaron 60 unidades experimentales, ya que se hizo el estudio por triplicado.

Es importante destacar que estas mezclas se hicieron con el objetivo de determinar la dosis óptima de las materias primas a conformar la mezcla patrón, siendo ésta la base para preparar las mezclas de concreto con las fibras sustituyendo parte del agregado fino.

Para obtener la mezcla óptima o patrón se usó el criterio de selección en el cual se consideraron factores como, buen asentamiento, trabajabilidad, y poca o nula segregación.

La mezcla patrón u óptima no tiene fibras y su concentración en volumen es 0%.

Con base a lo expuesto anteriormente se seleccionó la mezcla óptima y se substituyó parte del agregado fino por las fibras, estas se incorporaron a las mezclas de concreto de la siguiente manera:

3.5.2.- Unidades con fibras de coco sin tratar para una longitud tamaño corto (3-4) cm.

Para la dosificación de las fibras se prepararon mezclas de concreto específicamente cilindros tomando en consideración (0; 2,5; 5 y 10) % de fibras respectivamente para un tiempo de curado de 7, 14, 28, 60 y 128 días.

Se analizaron 60 unidades experimentales, ya que se hizo el estudio por triplicado tomando en cuenta la reproducibilidad de los datos.

Se elaboraron 48 losas las cuales fueron expuestas a distintas temperaturas (25; 200; 400 y 600) °C respectivamente y se estudió la resistencia a tracción a un tiempo de curado de 28 días, además 9 losas que fueron sometidas a ciclos de calor y humedad, por último se estudiaron 12 vigas.

Se obtuvo un total de 129 unidades experimentales. Es importante indicar que 0% de fibras en todas las mezclas elaboradas representa la mezcla patrón o el blanco en cada ensayo.

3.5.3.- Unidades con fibras de coco sin tratar para una longitud tamaño largo (5-6) cm.

Para la dosificación de las fibras se prepararon mezclas tomando en consideración (0; 2,5; 5 y 10) % de fibras respectivamente para un tiempo de curado de 7, 14, 28, 60 y 128 días.

En total se analizaron 60 unidades experimentales, ya que se realizó el estudio por triplicado tomando en cuenta la reproducibilidad de los datos, también se elaboraron 48 losas y se estudiaron a distintas temperaturas (25; 200; 400 y 600) °C respectivamente a un tiempo de curado de 28 días, más 9 losas que fueron sometidas a ciclos de calor y humedad, por último se estudiaron 12 vigas. Se obtuvo un total de 129 unidades experimentales.

3.5.4.- Unidades con fibras de coco tratadas químicamente para una longitud tamaño aleatorio corto (≤ 4) cm.

Para la dosificación de las fibras se prepararon mezclas tomando en consideración (0; 2,5; 5 y 10) % de fibras respectivamente para un tiempo de curado de 7, 14, 28, 60 y 128 días.

En total se analizaron 60 unidades experimentales, ya que se hizo el estudio por triplicado tomando en cuenta la reproducibilidad de los datos, también se elaboraron 48 losas y se estudiaron a distintas temperaturas (25; 200; 400 y 600) °C respectivamente a un tiempo de curado de 28 días, más 9 losas que fueron sometidas a ciclos de calor y humedad, por último se estudiaron 12 vigas. Se obtuvo un total de 129 unidades experimentales.

3.5.5.- Unidades con fibras de caña de azúcar sin tratar para una longitud tamaño corto (3-4) cm.

Para la dosificación de las fibras se prepararon mezclas tomando en consideración (0 y 2,5) % de fibras respectivamente para un tiempo de curado de 7, 14, 28, 60 y 128 días.

En total se analizaron 30 unidades experimentales, ya que se hizo el estudio por triplicado tomando en cuenta la reproducibilidad de los datos y se estudiaron 12 vigas. Se obtuvo un total de 42 unidades experimentales.

3.5.6. Unidades con fibras de caña de azúcar sin tratar para una longitud tamaño largo (5-6) cm

Para la dosificación de las fibras se prepararon mezclas tomando en consideración (0 y 2,5) % de fibras respectivamente para un tiempo de curado de 7, 14, 28, 60 y 128 días.

En total se analizaron 30 unidades experimentales, ya que se hizo el estudio por triplicado tomando en cuenta la reproducibilidad de los datos y se estudiaron 12 vigas. Se obtuvo un total de 42 unidades experimentales.

3.5.7.- Unidades con fibras de caña de azúcar tratadas químicamente para una longitud tamaño aleatorio corto (≤ 4) cm

Para la dosificación de las fibras se prepararon mezclas tomando en consideración (0 y 2,5) % de fibras respectivamente para un tiempo de curado de 7, 14, 28, 60 y 128 días.

En total se analizaron 30 unidades experimentales, ya que se hizo el estudio por triplicado tomando en cuenta la reproducibilidad de los datos y se estudiaron 12 vigas. Se obtuvo un total de 42 unidades experimentales.

3.6. Técnicas de análisis de datos

3.6.1-Análisis Estadísticos.

Para evaluar la influencia de la fibra de coco sobre la resistencia a compresión para cilindros, flexión para losas y vigas elaboradas con mezclas de concreto. Se consideraron tres dosis o concentraciones (2,5; 5 y 10) % a longitudes corto, largo y aleatorio con y sin tratamiento químico.

Por otra parte para las fibras de bagazo de caña de azúcar con y sin tratamiento, sólo se evaluaron mezclas a 2,5% en concentración en volumen a longitudes corto, largo y aleatorio para cilindros y vigas.

El análisis estadístico fue aplicado sólo para el logro de los objetivos II y III, ya que para el objetivo I, se usó el criterio de selección.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), para determinar el efecto de las dosis o concentraciones de la fibra incluida. Si el ANOVA muestra una diferencia significativa ($p < 0.05$) se procederá a realizar una prueba de comparación múltiple, con la finalidad de determinar cómo se comportan las muestras entre sí o con respecto a un control. Para las características de las pruebas se usó; la prueba de Dunnett se emplea únicamente cuando todos los promedios se comparan con un control. Y la prueba de Tuckey toma el número promedio a comparar.

Para los ensayos donde se empleó un control como referencia, la prueba de comparación utilizada es la de Dunnett; mientras que para los ensayos donde no hubo mezcla control se emplea la prueba de Tukey.

Los análisis se realizaron de la manera siguiente para los cilindros se consideró la edad de curado, mientras que para la losa la temperatura a la cual fue expuesta.

Para todas las mezclas analizadas se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. De igual manera, se verificó la ausencia de datos atípicos. Para el análisis se empleó el software libre R-Plus.

3.7.- Procedimientos o fases de la Investigación

Fase I: Determinación de las relaciones de los componentes de distintas mezclas, con base en una fórmula comercial, para utilizar fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar como aditivo en sustitución de una parte del agregado fino en la elaboración de un concreto reforzado considerando sus propiedades mecánicas. Este conjunto de actividades es congruente con el objetivo específico 1, para desarrollar este procedimiento se realizaron las acciones que se describen a continuación:

3.7.1.- Selección de materias primas empleadas para la preparación de la mezcla patrón

En la realización de la presente investigación se usó 2m^3 de mezcla de concreto, constituidos por el agregado grueso, agregado fino, agua y cemento; además de estos elementos a las mezclas se le incorporó el aditivo polyheed 1026, y se adicionaron fibras de coco y fibras de caña de azúcar en ensayos distintos previamente caracterizadas, agregadas en distintas concentraciones en volumen, longitud con y sin tratamiento químico.

A continuación se presenta la descripción de cada de las materias primas empleadas, así como también las propiedades de cada una de ellos.

3.7.2.-Procesamiento de los Agregados finos y gruesos

Se usaron 1772kg de agregado grueso piedra picada o grava y 1702kg de agregado fino arena lavada, las propiedades físicas de los mismos son expresados en la tabla 7, los cuales fueron donados por la empresa Fábrica Nacional de Cementos (Cemex), la misma suministró las propiedades físicas de los agregados usados, tales como; distribución granulométrica, peso específico, porcentaje de

absorción de agua y peso unitario compacto, según las Normas Covenin 268, 255 y 263, las características principales se muestran en los anexos (1, 2, 3 y 4).

Tabla 7. Características físicas de los agregados fino y grueso.

Especificaciones	Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso Específico (g/cm^3)	2,69	2,58
Porcentaje de Absorción de H_2O (%)	2,20	3,09
Peso Unitario Compacto (kg/m^3)	1632	1818

Fuente: propia

3.7.3.-Agua de mezclado y curado

Se usó agua potable para el mezclado por considerarse exenta de materia orgánica y sólidos en suspensión.

3.7.4.-Cemento

Se usaron 785kg de cemento *Pórtland* tipo III, marca VENCEMOS, su característica principal alta resistencia a edades tempranas cuyas especificaciones de muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones del cemento *Pórtland* tipo III marca VENCEMOS envasado 15/01/2010

Elemento	Cantidad máxima permitida (%)
MgO	6,00
SO_3	4,50
Pérdida al fuego	37,0
Residuos insolubles	1,50
Aluminato tricálcico ($3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$)	1,50

Fuente: propia

3.7.5.-Caracterización de las fibras de coco

Se caracterizaron las fibras provenientes de los desechos de la Empresa Coconut Edo. Falcón, Venezuela, tal como se aprecia en la figura 11, se determinó la densidad de las fibras sin y con tratamiento químico, según la Norma Covenin 268, y la absorción de agua con el método de diferencia de peso entre las fibras a temperatura ambiente y las saturadas con agua.

Las fibras de coco sin tratar se cortaron en dos tamaños, corto (c), con un tamaño entre 3 y 4 cm y largo (l) con un tamaño entre 5 y 6 cm, y las fibras que fueron tratadas químicamente presentaron una vez cortadas un tamaño cuyas dimensiones son cortas con una longitud menor o igual a cuatro centímetros ($\leq 4\text{cm}$). De igual manera se aplicó el mismo procedimiento a las fibras de bagazo de caña de azúcar. Las fibras fueron incorporadas en las distintas mezclas de concreto a concentraciones de (2,5; 5 y 10%) en volumen respectivamente.

3.7.6.-Procedimiento para determinar la densidad de las fibras de coco

Para obtener la densidad de las fibras de coco en condición de saturación se siguió el siguiente procedimiento:

- Se determinaron los pesos de cuatro balones aforados de 200 mL cada uno previamente limpios y secos.
- Se enrasaron dichos balones con agua para ser pesados en una balanza electrónica.
- Se determinaron los pesos de cuatro vidrios reloj previamente limpio y seco.
- A dichos vidrios reloj se les agregaron fibras cortadas a una longitud de 30 mm y se formaron muestras de 3 gramos y se determinó el peso del conjunto.

- Se desplazó cierta cantidad de agua a los balones aforados para ingresar las fibras y después de 24 horas se enrasaron con agua, posteriormente se determinó el peso del conjunto.



Figura 11. Proceso de obtención de las fibras de coco en la Empresa Coconut estado Falcón;(a) conchas de coco (b) proceso mecánico de las fibras de coco (c) obtención de las fibras (d) proceso terminado, conchas de coco desfibradas (e) fibras embolsadas para su distribución.

Fuente: Propia

3.7.7.-Propiedades físicas y mecánica

Para predecir el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras es necesario conocer las características físicas y mecánica de las fibras para ser consideradas como posible refuerzo.

Las propiedades físicas obtenidas fueron el diámetro y la longitud de las fibras. Se midió el diámetro mínimo y máximo de 100 especímenes con un vernier digital de 0.01mm de precisión, en estos especímenes también se midió su longitud respectiva.

Otra propiedad obtenida fue la absorción de agua, para evaluar esta propiedad las fibras se cortaron a una longitud aproximada de 30 mm y se formaron 10 muestras aproximadamente de 30 gramos cada una.

Las 10 muestras fueron secadas en un horno a 100°C por 24 horas, posteriormente se pesaron en una balanza de 0,001mg de precisión obteniéndose el peso seco, se saturaron en agua destilada cada muestra a un tiempo respectivo de saturación los cuales son mostrados en la tabla 9.

Al término de cada período se trató de obtener la condición de saturación superficial seca, frotando las fibras ligeramente con papel absorbente durante dos minutos aproximadamente hasta que la apariencia fuera opaca sin presencia de gotas entre ellas, y al pasar el papel nuevamente no se observara humedad.

Después se pesaron las muestras obteniéndose el peso saturado superficialmente seco, y luego, el porcentaje de absorción de las fibras se obtuvo mediante la ecuación:

$$\% \text{absorción} = [(\text{peso saturado superficial} - \text{peso seco}) / \text{peso seco}] \times 100 \text{ Ec 18}$$

Tabla 9. Porcentaje de absorción de agua de las fibras de coco

Tiempo (horas)	Absorción (%)
1	144
2	146
3	148
4	145
5	162
18	154
24	144
48	172
72	163
96	170

Se usaron 21,1 kg de fibras de coco sin tratamiento químico, las cuales fueron picadas con una guillotina marca paper trimmer modelo 12"x10".

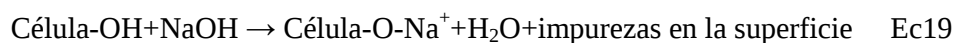
Se lograron dos distribuciones de tamaño distintos, esto se hizo con la finalidad de estudiar el efecto de la distribución de tamaño de las fibras en la resistencia de compresión y tracción del concreto (ver figura 15), y 9,4 kg de fibras de coco tratadas químicamente, el procedimiento para dicho tratamiento se explica más adelante.

Las fibras tratadas se cortaron con la guillotina, siguiendo estas una distribución de tamaño aleatoria denominado corto. De igual manera fue aplicado el procedimiento para las fibras de bagazo de caña de azúcar.

3.7.8.-Tratamiento de las fibras con Polimetilmetacrilato (PMMA)

Para el tratamiento químico de las fibras de coco se tomó como referencia el procedimiento seguido por (Cao et al. 2006).

Es un tratamiento muy efectivo que produce modificaciones en la superficie de la fibra natural, además de presentar bajos costos. La reacción del hidróxido de sodio con la fibra natural (Célula-OH) se explica mediante la siguiente ecuación:



El tratamiento que se le realizó a las fibras de coco, le confiere a éstas cierta aspereza y por lo tanto es posible lograr una mejor adherencia entre las fibras tratadas y la matriz cementante.

Este tratamiento tiene dos funciones: primero, limpiar las fibras de impurezas provenientes del fruto durante su pelado como aceite, agua, pulpa, entre otra, así como también durante su confinamiento que genera suciedad y polvo, y del ataque microbiológico por parte de hongos y levaduras. Segundo, protege a las fibras del deterioro debido a la alta alcalinidad de la pasta.

El tratamiento químico de las fibras consistió en realizar lavados sucesivos con agua destilada, seguidamente se sumergieron las fibras en una solución de NaOH al 1% en masa a 25°C por 2 horas. Posteriormente se lavaron las fibras con abundante agua para eliminar cualquier remanente de NaOH, luego se lavaron con una solución diluida de ácido acético al 1% y rápidamente con agua potable, hasta lograr un pH neutro, y por último las fibras fueron secadas en una estufa con circulación por aire forzado a 70°C por 72 horas hasta que se obtuvo un peso constante, tal como se aprecia en la figura 12.



Figura 12. Fibras de coco en la estufa a 70°C

Fuente: Propia

3. 7.8.1.-Protección de las fibras con polimetilmetacrilato

Se utilizó como agente protector polimetilmetacrilato PMMA con el nombre comercial de Resicryl 1228 (ver anexo 6) donado por la empresa Resimon, siendo este una sustancia repelente al agua, no perjudica el concreto y no es tóxica durante su manejo, con el objetivo que reduzca significativamente la absorción de agua en las fibras y le permita conservar en el medio alcalino de la matriz de cemento sus propiedades mecánicas y de refuerzo a lo largo del tiempo. El tratamiento fue realizado por inmersión de las fibras seca en un recipiente que contenía PMMA a una temperatura de laboratorio de 25°C durante 30 minutos. Este ciclo se repitió 3 veces buscando que las fibras absorbieran todo el material, luego fueron retiradas y colocadas de manera esparcidas en una plancha de metal por 48 horas a temperatura ambiente, de manera que el polímero plastificara a las fibras, seguidamente se procedió a cortarlas según el tamaño en estudio y se dispuso en bolsas plásticas a una temperatura de 25°C. Ver figura 13 y 14.



Figura 13. Fibras de coco tratadas químicamente con NaOH e impregnada con (PMMA)

Fuente: Propia

Se elaboraron especímenes de concreto reforzados con fibras tratadas para evaluar el efecto del tratamiento en la resistencia mecánica de los mismos, a manera de control, se fabricaron especímenes con fibras sin tratamiento químico y especímenes sin fibras siendo la mezcla patrón, con el fin de realizar comparaciones y determinar el comportamiento mecánico de las muestras.



Figura 14. Fibras de coco tratadas con polimetilmetacrilato distribución aleatoria tamaño ($\leq 4\text{cm}$).

Fuente: Propia

3.7.9.-Mezcladora

Se usó una relación agua/cemento de 0,48 es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del concreto pues influye grandemente en la resistencia final del mismo. Ya que expresa la íntima relación que existe entre el peso del agua utilizada en la mezcla y el peso del cemento.

El procedimiento para llevar a cabo el mezclado, se realizó siguiendo la Norma Covenin 354 (ASTM C 192), la cual establece que al emplearse una mezcladora se debe incorporar en primer lugar el agregado grueso y parte del agua de mezclado con el aditivo en solución, para esta investigación fue usado el polyheed 1026 (ver anexo 5) donado por la empresa *Fábrica Nacional de Cementos S. A.*, el cual es un aditivo multipropósito que retarda el proceso de fraguado y mejora la trabajabilidad de la mezcla, se colocó en marcha la

mezcladora y luego se incorporó el agregado fino, el cemento y el resto del agua en este orden.

Una vez añadidos todos los materiales se mezclaron durante tres minutos. Posteriormente la mezcla se dejó en reposo por tres minutos y finalmente se aplicaron dos minutos más de mezclado.

Para evitar la segregación, se descargó el concreto de la mezcladora en el recipiente de mezclado limpio y ligeramente húmedo, y se remezcló con la pala metálica hasta que la mezcla quedó uniforme.

Para la preparación de la mezclas se usó una mezcladora de eje de inclinación variable denominado trompo de motor eléctrico con una capacidad nominal de 14 litros.

3.7.10.-Determinación de la mezcla patrón

Es importante destacar que estas mezclas se realizaron con el objetivo de determinar la dosis óptima de las materias primas que conformarían la mezcla patrón, siendo ésta la base para preparar las mezclas con las fibras, sustituyendo parte del agregado fino.

Inicialmente, se preparó una mezcla de concreto de fórmula comercial suministrada por Cemex de Venezuela S.A., las cantidades de materias primas se presentan en la tabla 10, y de allí surgen las mezclas denominadas Mop1, Mop2, Mop3, Mop4 y Mop5, cuando se van ajustando los componentes de la mezcla sin fibras naturales con el fin de obtener la mezcla patrón y luego sustituir parte del agregado fino arena por fibras naturales.

La mezcla patrón debió tener las siguientes características, buena trabajabilidad, poca o nula segregación.

Para lograrlo, se preparó una mezcla de 395 kg/m^3 utilizando la relación agua/cemento de 0,48.

Tabla 10. Formulación comercial suministrada por Cemex de Venezuela

Componentes	Dosis (kg)
Cemento	395
Agua	189
Arena	766
Piedra	999
Polyheed 1026	9 mL/kg cemento

Fuente: propia

3.7.11.-Evaluación de las mezclas en estado fresco

Con la cantidad de cemento en 395 kg/m^3 de mezcla y la relación agua/cemento 0,48, se determinó el asentamiento de la mezcla antes de agregar el Polyheed 1026. Esto sirvió como inicio para analizar la variabilidad que existió con la mezcla con y sin este aditivo

Posteriormente se procedió a evaluar el comportamiento de la mezcla en estado fresco, a través del asentamiento antes y después de agregar el aditivo, para ver su efecto y observar si presentaba segregación y se continuándose con el diseño de de mezcla.

La fluidez de la mezcla se midió a través del *Cono de Abrams* según la Norma Covenin 339 (ASTM C 143).

El tiempo de duración del llenado del molde estuvo por debajo de 1 min 30 segundos.

El asentamiento se midió inmediatamente después de alzar el molde lentamente, donde el concreto se acomoda bajo su propio peso.

Se determinó por la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado (Porrero et al., 2008; Geymaryr, 1985).

Mediante las relaciones fundamentales del concreto con y sin aditivo. Se determinó el asentamiento de la mezcla. Se corrigieron las cantidades de cada uno de los componentes por humedad, las mezclas fueron denominadas Mop1, Mop2, Mop3, Mop4 y Mop5, las cantidades de cemento, agua y agregado para estas mezclas son presentadas en la tabla 11.

Una vez elaboradas las mezclas los cilindros permanecieron en reposo por 24 horas, luego fueron desmoldados y almacenados hasta el momento del ensayo en agua saturada con cal.

Tabla 11: Diseños de mezcla patrón sin fibras naturales

Mezcla	Mop1	Mop2	Mop3	Mop4	Mop5
Cemento Tipo III (kg)	395	430	395	380	395
Agua (kg)	189	194	190	182	190
Agregado fino (kg)	766	797	890	902	890
Agregado grueso (kg)	999	900	890	902	890
Relación agua/cemento (α)	0,48	0,45	0,48	0,48	0,48

Fuente: Propia

3.7.12.- Elaboración de cilindros o probeta

Siguiendo la Norma Covenin 344, se elaboraron para cada una de las mezclas cilindros de 5,3 litros de capacidad, cada uno de 150mm de diámetro y 300mm de alto, en moldes de superficie interior lisa y de material no reactivo al

concreto. Los moldes estuvieron limpios y aceitados en su superficie interna con aceite mineral, según lo establece la Norma Covenin 338.

El concreto fue vaciado en los cilindros en tres capas de igual volumen, compactadas con una barra de acero de 16mm de diámetro, 600mm de longitud, y de punta semiesférica de 8mm de radio.

Cada capa fue compactada con la barra, realizando 25 golpes que fueron distribuidos de manera uniforme en la sección transversal del molde de manera tal que no penetrará con la barra en más de 25mm en la capa inmediatamente inferior. Después de compactar se enrasaron los cilindros y se moldearon con una cuchara de albañilería de forma que la superficie superior quede al ras del molde, así como también perfectamente liso para sus posteriores ensayos tal como se aprecia en la figura 15.



Figura 15. Probetas cilíndricas normalizadas

Fuente: Propia

3. 7.12.1-Curado de las probetas

El proceso de curado de las probetas cilíndricas, se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en las Normas Covenin 338 (ASTM C 31, C 39 y C 192) y Covenin 340 (ASTM C 192).

Estas Normas establecen que una vez elaboradas las probetas deben protegerse de las pérdidas de agua por evaporación cuidándolas adecuadamente con un material impermeable y almacenándolas a una temperatura ambiente bajo la sombra.

Los moldes se mantuvieron en una superficie horizontal rígida libre de vibraciones y otras perturbaciones. Las probetas se retiraron de los moldes en un lapso de tiempo de 24 horas a una temperatura de 25°C, después de su elaboración y se almacenaron hasta el momento del ensayo en agua saturada con cal como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Tanques de curado de cilindros, losa y vigas
Fuente: Propia

3.7.13.-Ensayos destructivos

Los estudios mecánicos que se le realizaron a los cilindros consistieron en ensayos de compresión para determinar la resistencia, los cuales se evaluaron a las edades de 7, 14, 28, 60 y 128 días.

El equipo que se utilizó para los ensayos fue una Prensa Hidráulica con indicador de carga, Marca *Baldwin*, Modelo *Universal* con una capacidad máxima de 200 toneladas tal como se puede ver en la figura 17.



Figura 17. Ensayo a compresión de cilindro

Fuente: Propia

Los ensayos por compresión se realizaron de acuerdo al procedimiento descrito en la Norma Covenin 338 (ASTM C31, C39 Y C192) que establece que los cilindros se colocan en la máquina de ensayo, centrándose cuidadosamente donde se comprimen tanto las superficies rematadas de los cilindros; rematándose las superficies para lograr el paralelismo de las caras del cilindro, debiendo estarlos platos de la máquina exento de polvo, grasa y de otro material extraño.

Igualmente, para los ensayos de flexo-tracción para vigas y losas se utilizó la prensa hidráulica con indicador de carga mostrada en la figura 18.



Figura 18. Prensa hidráulica con indicador de carga

Fuente: Propia

3.8.-Fase II: Estudio de las propiedades mecánicas del concreto (cilindros, losas y vigas) reforzados con fibras de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos. El conjunto de actividades realizadas en esta fase es congruente con el objetivo específico 2.

3.8.1.-Establecimiento de la proporción para las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco

Para llevar a cabo el objetivo propuesto se realizaron diferentes tipos de mezclas las cuales se indican a continuación, cuyas cantidades son presentadas en las tablas 12 y 13:

1. Una mezcla de concreto para una relación $a/c=0.48$ sin adición de fibras de coco empleada como muestra control, llamada también muestra patrón o blanco.
2. Tres mezclas con una $a/c=0.48$ con las concentraciones de fibras de coco sin tratar de (2,5; 5 y 10) % en volumen en sustitución del agregado fino y con una distribución de tamaño corto con una longitud entre 3 y 4 cm.
3. Tres mezclas con una $a/c=0.48$ con las concentraciones de fibras de coco sin tratar de (2,5; 5 y 10) %, en volumen en sustitución del agregado fino y con una distribución de tamaño largo con una longitud entre 5 y 6 cm.
4. Tres mezclas con una $a/c=0.48$ con las concentraciones de fibras de coco tratada con hidróxido de sodio y polimerizada con PMMA de (2,5; 5 y 10) % en volumen en sustitución del agregado fino y con una distribución de tamaño longitud aleatoria tamaño corto menor o igual a cuatro centímetros ($\leq 4\text{cm}$).

Tabla 12. Cantidades de los componentes de la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con fibras de coco sin tratamiento para ambas distribuciones de tamaño corto y largo.

Concentración de las Fibras de coco (% vol.)		Patrón	2,5 %	5 %	10%
Componentes	Cemento (kg)	60	60	60	60
	Agua (L)	27	27	27	25
	Grava (kg)	135	135	135	135
	Arena (kg)	135	134	131	126
	Fibra de coco (kg)	-	1,50	3,00	6,03
	Polyheed 1026 (L)	0,33	0,33	0,33	0,33

Fuente: Propia

Tabla 13. Cantidades de los componentes de las mezclas reforzadas con fibras de coco tratadas químicamente

Concentración de las Fibras de coco (% vol.)		2,5 %	5 %	10%
Componente	Cemento (kg)	60	60	60
	Agua (L)	28	26	28
	Grava (kg)	133	134	133
	Arena (kg)	132	131	124
	Fibra de coco (kg)	1,32	2,64	5,40
	Polyheed 1026 (L)	0,33	0,33	0,33

Fuente: Propia

Con cada mezcla se elaboraron 13 cilindros, 3 vigas y 15 losas para una relación agua/cemento de 0,48.

Todas las formulaciones se realizaron para 152 L. Los porcentajes de fibras son con respecto al volumen total de la mezcla. El aditivo usado Polyheed 1026, y se agregaron 333 mL por cada mezcla.

El volumen de la arena disminuye conforme aumenta la cantidad de fibras, esto para mantener 1m^3 de mezcla.

3.8.2.-Preparación de las mezclas reforzadas con fibras de coco

Luego de obtenida la mezcla patrón se retiró el porcentaje volumétrico correspondiente al agregado fino siendo arena y se sustituyó por fibras de coco de acuerdo a las longitudes en estudio y concentraciones en volumen (2,5; 5 y 10) %, corrigiéndose los coeficientes de absorción de cada uno de los agregados, ya que las humedades en los agregados fino y el grueso varían.

A las mezclas se les evaluó el asentamiento por ser una variable importante considerando que la adición de fibras disminuye significativamente la

trabajabilidad, los investigadores (Gutiérrez y Matheus, 2006; Juárez, et al., 2004) también consideraron en la elaboración de las mezclas la segregación y la trabajabilidad observada.

El procedimiento para llevar a cabo el mezclado, se realizó siguiendo la Norma Covenin 354 (ASTM C 192), la cual establece que al emplearse una mezcladora se debe incorporar en primer lugar el agregado grueso y parte del agua de mezclado con el aditivo en solución, se pone en marcha la mezcladora y luego se incorpora el agregado fino.

Sin embargo, debido a que las fibras tendían a aglomerarse. Se procedió a mezclar los ingredientes en seco cemento, arena y grava con las fibras, lanzando la mezcla hacia arriba para deshacer los grumos y luego se le incorporó el agua.

Este nuevo procedimiento fue el que se llevó a cabo y permitió una mayor dispersión de las fibras en la mezcla. Una vez añadidos todos los materiales se mezclan durante tres minutos, posteriormente se deja en reposo por tres minutos y finalmente se aplican 2 minutos más de mezclado.

Para evitar la segregación, se descarga el concreto de la mezcladora en el recipiente de mezclado limpio y ligeramente húmedo, remezclándose con la pala metálica hasta que la mezcla quede uniforme.

Siguiendo la Norma Covenin 344, se elaboraron para cada una de las mezclas, cilindros. Todos los cilindros se mantuvieron en sus moldes durante 24 horas protegiéndolos de la pérdida de humedad, tal como se aprecia en la figura 19 y posteriormente fueron curados sumergiéndolos en un tanque de agua con cal hasta el momento de su ensayo. También se elaboraron losas y vigas con el fin de evaluar la resistencia a flexo-tracción.

Para definir si el agente protector en las fibras constituye un factor importante en la resistencia a compresión o tensión, se fabricaron los cilindros por triplicado tomando en consideración la longitud y las concentraciones en volumen, también se elaboró una muestra control. Estos parámetros se mantuvieron constantes en todas las mezclas, ya que se trató de evaluar la eficiencia del tratamiento químico con PMMA en las fibras.



Figura 19. Cilindros en moldes de superficie interior liso y material no reactivo a las mezclas de concreto

Fuente: Propia

Todas las muestras se ensayaron a los 7, 14, 28, 60 y 128 días, excepto las losas y vigas que fueron ensayadas a 28 días de curado. Se analizó el efecto en el comportamiento a flexión para losas y vigas y compresión para los cilindros cuando se utilizan fibras de tamaño corto 3 y 4 cm, largo 5 y 6 cm y para las fibras tratadas en la siguiente longitud distribución aleatorio tamaño corto ≤ 4 cm. De manera similar, el volumen de las fibras en la mezcla fue de 2,5; 5 y 10 por ciento respectivamente.

3.8.3.-Preparación de losas o probetas rectangulares

Siguiendo la Norma Covenin 344, se fabricaron para cada mezcla, las losas en moldes metálicos de 2 litros de capacidad con 200 mm de ancho, 200 mm de

largo y 50 mm de altura. El vaciado de las losas se realizó en dos capas iguales, se compactaron con una barra de acero de menor proporción que la usada para la compactación de los cilindros con la cual se efectuaron 20 golpes en cada capa de forma uniforme, luego se enrasaron y moldearon con una cuchara de albañilería de forma tal que la superficie superior quedase lisa para sus posteriores ensayos tal como se aprecia en la figura 20.

El proceso de curado de las losas se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en las Normas Covenin 338 (ASTM C 31, C 39 y C 192), y Covenin 340 (ASTM C 192).

Todas las losas, correspondientes a las diferentes mezclas, permanecieron en reposo y después de 24 horas de haber sido elaboradas, al cabo de las cuales se procedió a desmoldarlas. Inmediatamente las losas fueron sometidas a un proceso de curado en tanque de agua durante 28 días.

Estas son las losas que se utilizaron para los diferentes estudios realizados en el presente trabajo. Para realizar los ensayos a flexión y determinar la resistencia, el equipo usado fue una prensa hidráulica con indicador de carga, marca *Baldwin*, modelo *Universal* con una capacidad máxima de 200 toneladas, ver figura 21.



Figura 20. Probetas rectangulares en moldes metálicos no normalizadas (Losas).
Fuente: Propia

Se procedió a efectuar el ensayo de resistencia a la tracción por flexión según la Norma Covenin 343:2004 (ASTM C 293) la cual consiste en la aplicación de carga a la probeta sobre la línea de luz libre, esta se hizo sin impacto y a una tasa uniforme hasta aproximadamente un 50% de la carga de ruptura, después de lo cual, se aplicó a una rapidez tal que el aumento del esfuerzo de la fibra externa estuviere comprendido entre 8 KPa por minuto y 12 KPa por minuto. Se midieron las probetas con una aproximación de 0,1mm, con el fin de determinar el ancho y la altura promedio de las probetas, tal como se aprecia en la figura 21.



Figura 21. Ensayo de resistencia a la tracción por flexión para losas.

Fuente: Propia

3.8.4.-Preparación de vigas

Siguiendo la Norma Covenin 340:2004, se elaboraron para cada mezcla tres vigas en moldes metálicos de 12 litros de capacidad, con 160mm de ancho, 150mm de altura y 500mm de largo. Estos moldes se encontraban limpios y lubricados con aceite mineral antes de ser vaciada la mezcla de concreto. El vaciado de las vigas se realizó en tres capas iguales, se compactaron con la barra usada para la compactación de los cilindros.

Cada capa fue compactada con 57 golpes penetrando dentro de la capa inmediatamente inferior aproximadamente 2,5cm y distribuyéndose uniformemente sobre la superficie de la viga, según las recomendaciones de la norma citada. Luego se enrasaron y moldearon con una cuchara de albañilería de forma tal que la superficie superior quedase lisa para sus posteriores ensayos a flexión, tal como se observa en la figura 22.



Figura 22. Vaciado de vigas en moldes metálicos

Fuente: Propia

3.8.4.1.-Resistencia a la flexión en vigas

El equipo que se utilizó para los ensayos a la flexión por tracción en las vigas fue una Prensa Hidráulica con indicador de carga, marca *Baldwin*, Modelo *Universal* con una capacidad máxima de 30 toneladas.

Para las vigas de cada mezcla se determinó la resistencia a la flexión, según la Norma Covenin 342:2004 (ASTM C78-02). Se colocó la placa de aplicación de carga en contacto con la viga sobre los puntos extremos del tercio central de la luz libre de forma perpendicular a la cara superior como se puede ver en la figura 23. Esta fue aplicada sin impacto y a una tasa uniforme.

Se ensayaron por triplicado las vigas de la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con fibra de coco con y sin tratamiento, para cada una de las proporciones volumétricas estudiadas y las distribuciones de tamaño corto y largo.



Figura 23. Ensayo de viga según Norma COVENIN 342:2004

Fuente: Propia

3.8.5.-Pruebas aceleradas de durabilidad del concreto con fibras en losas

Las muestras de concreto reforzadas con fibras de coco de todas las mezclas, se sometieron a pruebas de deterioro acelerado las cuales pretenden simular el medio. Estas pruebas se explican a continuación:

3.8.5.1.-Pruebas al fuego.

Se empleó un horno Termolyne marca *furnatrol* 11 serie N-85 FA1740-1, ver figura 24, en el cual se colocaron 3 losas de cada mezcla previamente pesadas por un período de 40 min, a temperaturas 200; 400 y 600°C respectivamente.

Se sacaron del horno luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se les realizaron los ensayos de flexión.

También se ensayaron losas a temperatura ambiente sin ningún tratamiento para compararlas con las losas que fueron sometidas a las diferentes temperaturas.



Figura 24. Horno Termolyne marca furnatrol 11 serie N-85 FA1740-1
Fuente: Propia

3.8.5.2.-Ciclos de calor y humedad desarrollados en las losas

Estos ciclos se realizaron para determinar el efecto de constantes fluctuaciones de temperatura y humedad, para ello se colocaron las losas de las diferentes mezclas en un horno a una temperatura de 100 °C por 24 horas, luego se sacaron y se colocaron en agua a temperatura ambiente por 24 horas. Estos ciclos se repitieron tres (3) veces. Posteriormente se evaluaron las propiedades de resistencia a flexo-tracción.

3.8.6.-Determinación de los parámetros cinéticos del proceso degradativo de las fibras de coco

Para la determinación de los parámetros cinéticos del proceso degradativo de las fibras de coco, tales como, la energía de activación global, el factor preexponencial y el orden de reacción, se realizaron ensayos de termogravimetría en una termobalanza marca *Mettler Toledo*, modelo TGA/STDA851 con el *software* de procesamiento STAR^e. Se efectuó el análisis dinámico entre 25 y

700°C en una atmósfera inerte de nitrógeno a un flujo de 50 mL/min y con una velocidad constante de calentamiento de 10 °C/min.

En el cálculo de las temperaturas de inicio (*onset*) y final (*endset*) de descomposición de la fibra se usó el método de la integración primera derivada, en el análisis termogravimétrico. El método integral planteado por (Coats y Redfern, 1965). Fue usado para determinar los parámetros cinéticos en la degradación de la fibra a partir de la data de temperatura y masa generada por el TGA, para una velocidad de calentamiento constante.

3.9.-Fase III: Determinación de las propiedades mecánicas del concreto (cilindros y vigas) reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar mediante ensayos destructivos y no destructivos congruente con el objetivo específico 3.

Una vez obtenido los resultados de las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco, se tomaron en cuenta los mejores valores de resistencia, porcentaje de fibras y longitud, preparándose mezclas reforzadas con fibras de bagazo de caña de azúcar. Se trabajó únicamente para la concentración de 2,5% en volumen de fibras, tamaño corto, largo y aleatorio en fibras con y sin tratamiento para la preparación de cilindros y vigas.

Las fibras de bagazo de Caña de azúcar, son procedentes del *Central Azucarero el Palmar* San Mateo, Edo Aragua, Venezuela, las muestras se depositaron en bolsas plásticas a 5°C para evitar la proliferación de microorganismos que degradasen el material.

Las fibras de bagazo de caña de azúcar sin tratar se cortaron en dos tamaños, corto (c), con un tamaño entre 3 y 4 cm y largo (l) con un tamaño entre 5 y 6 cm, y las fibras que fueron tratadas químicamente con el proceso de acetilación y luego impregnadas con polimetilmetacrilato presentaron una vez

cortadas, un tamaño cuyas dimensiones son cortas con una longitud menor o igual a cuatro centímetros ($\leq 4\text{cm}$).

Para su caracterización se siguió el mismo protocolo usado con las fibras de coco. Se caracterizaron las mezclas en estado fresco y endurecido y una vez ensayados los cilindros y vigas, así como reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar, se determinó resistencia a compresión y flexión respectivamente.

El bagazo de caña de azúcar que se empleó para la investigación se muestra en la figura 25, donde se aprecian fibras de gran diámetro y longitud que fueron posteriormente cortadas a las mismas longitudes de las fibras de coco. Las propiedades de las fibras de bagazo de caña de azúcar y de acuerdo a su morfología se catalogan como un material para ser usado en fibroconcreto, ya que el bagazo se dispersa en la mezcla de concreto, es decir, su orientación es aleatoria, el diámetro promedio es de 0,24mm, y su gravedad específica 1,25g/mL (Sera, 1990).



Figura 25. Fibras de Bagazo de caña de azúcar sin tratar
Fuente: Propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan conjuntamente los resultados obtenidos, su análisis y discusión para cada fase u objetivo de la investigación.

Se obtuvieron los siguientes resultados para el objetivo I, que indica textualmente: *Seleccionar las relaciones de los componentes de distintas mezclas, con base en una fórmula comercial, para utilizar fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar como aditivo en sustitución de una parte del agregado fino, en la elaboración de un concreto reforzado, considerando sus propiedades mecánicas*

4.1.1.- Densidad promedio de las fibras

La densidad es una propiedad física necesaria para calcular el agua total de mezclado y el volumen de fibras que deberá agregarse al concreto en sustitución de una parte del agregado fino

La densidad promedio de las fibras sin tratamiento químico obtenida fue de $1140 \pm 15 \text{ kg/m}^3$. Este valor es debido a que las fibras de coco tienen unido *grasa*, suciedad propia como polvo, lignina y celulosa componentes de las mismas.

Mientras que la densidad promedio de las fibras de coco sometidas al tratamiento químico fue de $1014 \pm 21 \text{ kg/m}^3$. La disminución en los valores reportados en la densidad promedio de las fibras al ser tratada químicamente. Es debido a que con el tratamiento alcalino se remueve cierta cantidad de lignina, hemicelulosa, cera y aceites que cubren la superficie de la pared celular de las fibras, lo que disminuye la masa de la misma. Este resultado coincide con los datos reportados por (Juárez et al., 2004) ellos obtuvieron una densidad promedio de $1380 \pm 7 \text{ kg/m}^3$ para las fibras de Lechuguilla, asimismo coincide con (Agopyan et al., 2005) quienes trabajaron con fibras de coco su densidad promedio fue

(1117-1165) kg/m^3 y para las fibras de sisal (1104-1370) kg/m^3 , entre otros investigadores (Asasutjarit et al., 2007; Silva et al., 2000; Sullcahuamán et al., 2007).

4.1.2.- Porcentaje de absorción de agua

La absorción promedio de agua de las fibras sin tratamiento hasta la condición de saturación, fue de $155 \pm 11\%$, y las fibras tratadas hasta la condición de saturación fue de $39 \pm 7\%$. La alta absorción de agua de las fibras, produce un problema durante el mezclado, ya que puede absorber el agua de reacción, esto es importante ya que una mezcla muy seca tendrá problemas de compactación originando huecos en los cilindros, losas y vigas.

Estos resultados coinciden con los datos reportados por (Juárez et al., 2004) quienes obtuvieron un promedio de 10,04% para las fibras de Lechuguillas tratadas. Por otra parte, mezclas con alto contenido de agua disminuirá considerablemente la resistencia mecánica del concreto endurecido aunado a esto, interfiere con las reacciones de hidratación del cemento y la relación agua/cemento.

Al disminuir la relación a/c puede generar mezclas poco manejables y problemas durante la compactación por lo que la resistencia estaría comprometida de manera negativa.

Por otra parte el exceso de agua absorbida genera un sustancial incremento de volumen en las fibras, la cual se encuentra embebida en la pasta de cemento durante su estado plástico.

La disminución en los valores de la absorción de agua en las fibras con el tratamiento químico, se debe a que el PMMA al ser hidrofóbico actúa como una barrera, evitando en gran medida que la fibra absorba grandes cantidades de agua concordando con lo expuesto por (Sullcahuamán et al., 2007), indican que por la naturaleza hidrofílica de las fibras naturales, estas absorben cantidades considerables de agua debido a la presencia de grupos (OH^-).

El efecto de la humedad de la fibra origina un incremento en su diámetro que provoca un desorden intermolecular aumentando su permeabilidad (Canovas et al., 1990).

La humedad tiene una fuerte influencia en la hemicelulosa y la lignina que forman la matriz de la celulosa, afirmando que con el incremento del contenido de humedad la resistencia de las fibras disminuye un 50%.

Esto resulta importante cuando las fibras refuerzan al concreto en ambientes con alto contenido de humedad, ya que puede reducirse la resistencia mecánica del compuesto al afectarse seriamente la resistencia de las fibras (Coutts, 1998).

En este sentido, el porcentaje de disminución de la absorción de las fibras tratadas respecto a las fibras sin tratamiento fue del 75% aproximadamente la reducción en la absorción de agua es importante para la durabilidad de las fibras.

De lo que se podría inferir que el proceso degradativo de las fibras tratadas sea más lento con el tiempo ya que sus poros han sido sellados con el polímero PMMA que las recubre.

Respecto a los cambios químicos se encontró que el tratamiento disminuye las zonas amorfas de la fibra, volviéndola más cristalina, lo cual permite la disminución en su densidad lineal e hidrofiliidad, principal característica de las fibras sin tratamiento.

La fibra sin tratamiento presenta un valor más alto de contenido de humedad debido a la presencia de los grupos hidroxilo y puentes de hidrógeno, con el tratamiento alcalino estas fuerzas disminuyen al removerse estos grupos, logrando en las fibras menos humedad en su interior.

4.1.3.- Propiedades físicas y mecánicas

Para tratar de predecir el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras, es necesario conocer si la fibra es adecuada física y mecánicamente para ser considerada como posible refuerzo. Se midió el diámetro máximo y mínimo de 100 especímenes con un vernier digital de 0,01mm de precisión.

4.1.3.1.- Diámetro y longitud

Las fibras naturales tienen una amplia diversidad en su diámetro y longitud no son uniformes si se compara con las fibras de acero y vidrio. En esta investigación fueron medidos 100 especímenes, observándose un diámetro máximo entre 0,18 y 0,33 mm y un diámetro mínimo entre 0,10 y 0,21 mm tal como se aprecia figura 26. Esto influye directamente en sus propiedades mecánicas ya que la resistencia de las fibras esta inversamente relacionada con su diámetro.

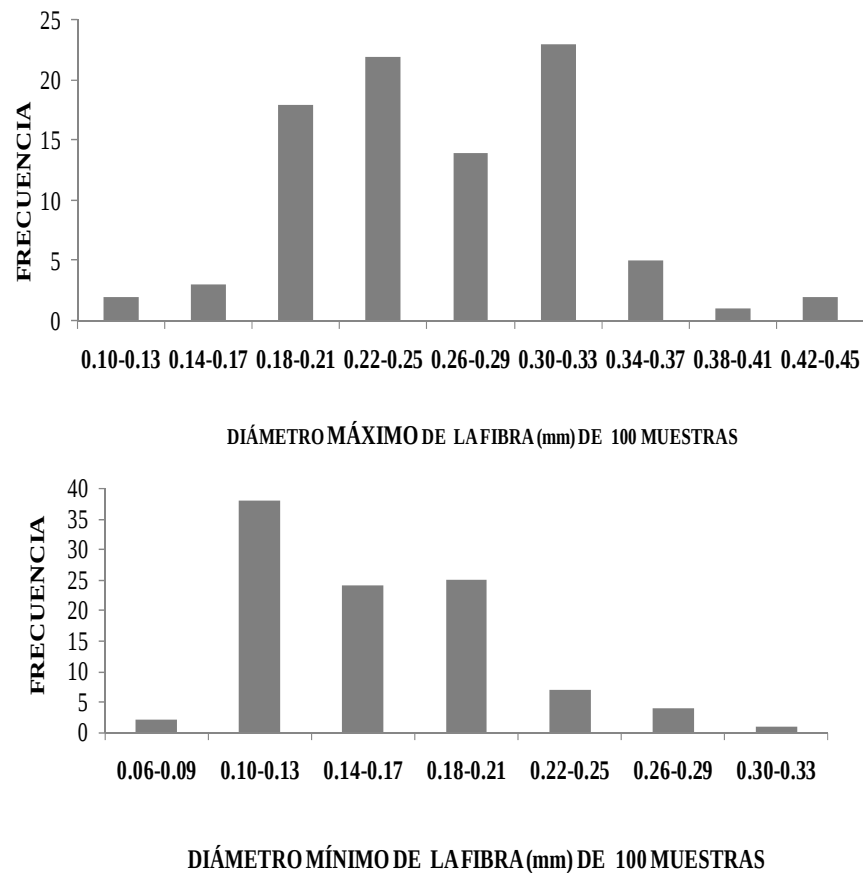


Figura 26. Variación de diámetro máximo y mínimo de fibras de Coco
Fuente: Propia

Las fibras de coco de la India, tienen un diámetro de 0,10 a 0,45mm, (Kulkarni et al., 1981), y las fibras de coco de Brasil, el diámetro es de 0,040mm a 0,40mm.

Asimismo, (Juárez et al., 2004) determinaron el diámetro de 100 muestras de fibras de Lechuguilla obteniendo 0,26mm diámetro máximo y 0,16mm diámetro mínimo. También, se determinó la distribución de tamaño de las fibras de coco sin tratamiento como se observan en las Figura 27 y la Figura 28.

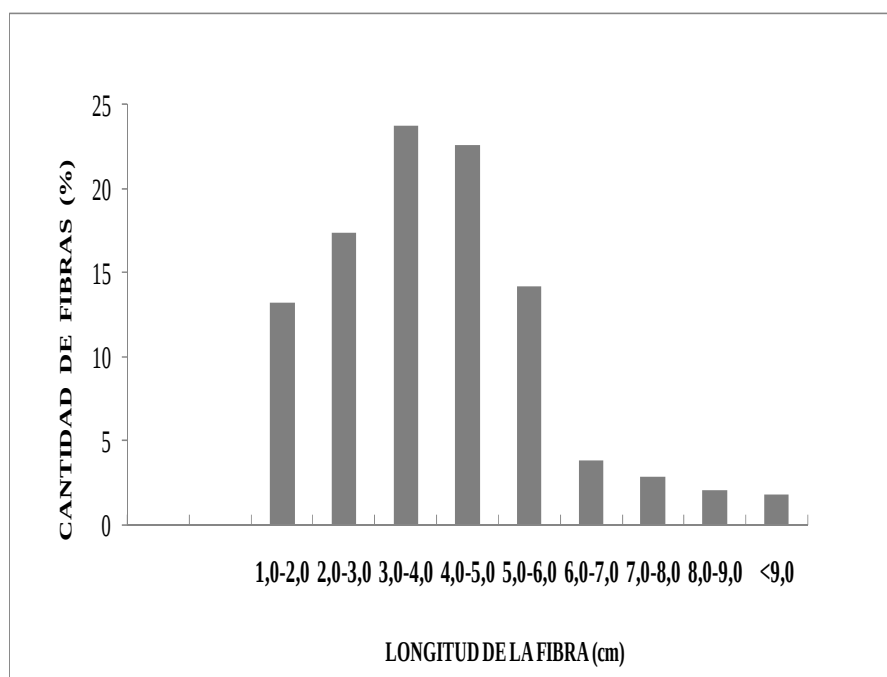


Figura 27. Distribución de la longitud de las fibras de coco para un tamaño corto.
Fuente: Propia

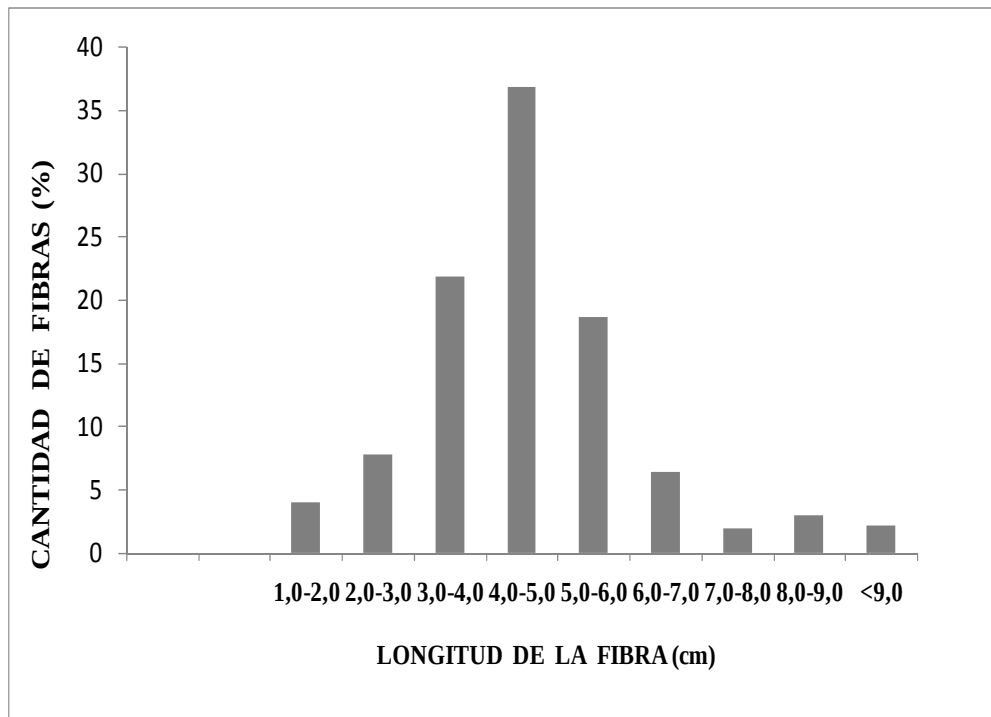


Figura 28. Distribución de la longitud de las fibras de coco para un tamaño largo.
Fuente: Propia

En la figura 27 y la figura 28 se puede observar la diferencia en la distribución de tamaño de las fibras de coco en las que un alto porcentaje está entre 1 y 6cm para las fibras tamaño corto y entre 3 y 6cm para las fibras tamaño largo.

Con la finalidad de reducir la alta absorción de las fibra y la fragilización de la misma ocasionada por el medio alcalino del cemento, las fibras se trataron e impregnaron con el polímero PMMA, las mismas presentaron una distribución de tamaño aleatorio, permanecieron unidas formando especies de conglomerados como se puede observar en la Figura 29.



Figura 29. Fibras de coco tratadas químicamente con NaOH y recubierta con PMMA

Fuente: Propia

4.1.4.- Porcentaje de elongación a la ruptura

Este porcentaje define la capacidad que tiene el material para sufrir deformaciones sin fallar, es decir, su ductilidad. Según lo reportado por el Comité del ACI 544 para las fibras de coco es aproximadamente el 10%, esta propiedad permite tener importantes deflexiones en el concreto.

Mientras no se produzcan fallas por adherencia la fibra tiene la capacidad de transferir los esfuerzos a la matriz de concreto agrietado, proporcionándole capacidad de soportar más carga sin colapsarse e incrementado de esta manera su tenacidad. En esta investigación no fue posible determinar esta propiedad.

4.1.5.-Efectos del tratamiento alcalino sobre las fibras naturales.

Las fibras de coco y bagazo de caña de azúcar fueron lavadas con agua y jabón para eliminar grasa y mugre, luego sumergidas en solución de NaOH en

donde se eliminó parte de la lignina esto se corroboró visualmente tal como se observa en la figura 30 ya que la coloración del agua fue bastante marrón seguido se lavaron con ácido acético para neutralizar el pH, finalmente con agua.



Figura 30. Fibras de coco a la izquierda y fibras de bagazo de caña de azúcar a la derecha sumergidas en la solución de NaOH

Fuente: Propia

El tratamiento químico en fibras sobre todo las provenientes de la madera, es realizado actualmente en los países desarrollados con resultados favorables respecto a su durabilidad.

Por otra parte, la fibra de coco sin procesar es fácilmente atacada por el medio alcalino del concreto limitando su durabilidad, con el propósito de protegerla de este ataque en el presente trabajo se realizó el tratamiento químico de la fibra con NaOH y se recubrió con PMMA.

En las Figuras 31 y 32 se muestran las micrografías tomadas con el microscopio óptico Nikon eclipse ME600 de la fibra sin tratar, tratada con NaOH e impregnada con PMMA.



Figura 31. Fibras de coco sin tratar vista microscopia óptica aumento 5x
Fuente: Propia

En la figura 31 se observan dos fibras sin tratar las cuales contienen restos de pulpa propios del proceso agroindustrial del cual provienen, así como otros contaminantes. Se aprecia que la superficie de las fibras es irregular y no posee un diámetro constante; cada fibra es diferente y está constituida por un conjunto de microfibras unidas entre sí por los componentes ligantes hemicelulosos y lignina.

En fibras no tratadas, restos de hemicelulosa dispersos en la región interfibrilar separan las cadenas de celulosa unas de otras. Cuando el álcali reacciona con la hemicelulosa se destruye la estructura de acoplamiento y se dividen las fibras en filamentos más finos, produciendo una fibrilación que permite un acercamiento entre las cadenas de celulosa, de tal forma que la cristalinidad de las fibras aumenta, causando un mejoramiento en su resistencia. A

su vez incrementa el área superficial eficaz disponible y disminuye el peso de las fibras.

En cambio, en la figura 32 se puede apreciar un aumento de la rugosidad de la superficie, producto de los espacios vacíos dejados por los componentes ligantes parcialmente retirados durante el tratamiento con NaOH, lo que permite mejorar la adherencia con el PMMA. Sin embargo, al observar las fibras que estuvieron expuestas al NaOH, estas presentaban señales del ataque alcalino, ya que su color cambio de un color marrón oscuro a más claro, señal de la disolución de la lignina.

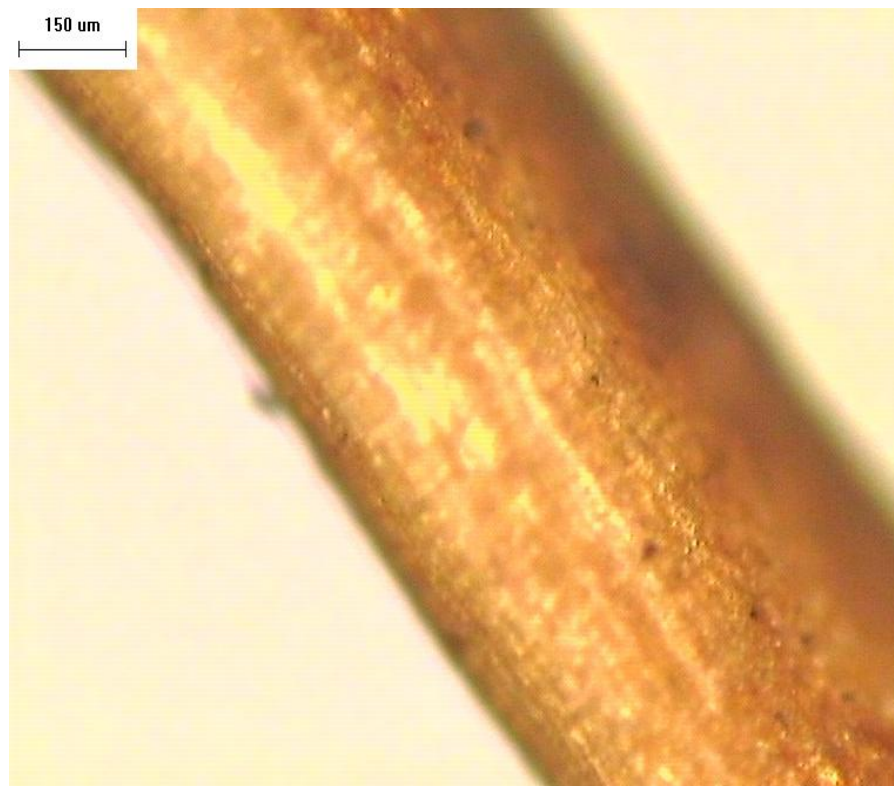


Figura 32. Fibra de coco tratada químicamente con NaOH vista microscopia óptica aumento 5x

Fuente: Propia

Además, se puede observar en la superficie de la fibra un desfibramiento mínimo producto de la reacción con la sustancia alcalina el efecto producido por

el NaOH, muy similar al derivado por el Ca(OH)_2 sustancia presente en las reacciones de hidratación del cemento. Ambas sustancias poseen un pH alcalino.

En la figura 33 se observan fibras de superficie lisa, se eliminaron los contaminantes y residuos de grasas o aceites remanentes del procesamiento del coco, que pueden ser atacados por microorganismos. Cabe destacar que el NaOH, sólo permitió retirar parte de los componentes ligantes, de forma tal que, el tratamiento no dio cabida a la desfibrilación total de las fibras de coco tratada, lo cual hubiese provocado la pérdida de la resistencia mecánica por descomposición de la fibra.

Los cambios físicos en las fibras son importantes ya que indican la reacción que se está llevando a cabo. El color amarillo de las fibras que estuvieron expuestas al NaOH tiene un efecto muy similar al producido por el Ca(OH)_2 , estos cambios pueden indicar la reacción entre el ion hidroxilo OH^- y la lignina. Sin embargo, es posible que los iones de calcio en la solución concentrada de Ca(OH)_2 contribuyen a tener diferentes efectos en el deterioro de la fibra, en comparación con los producidos por otros álcalis como los iones de sodio y potasio (Gram, 1998b).

Luego del tratamiento, los microporos en la superficie de la fibra llegan a ser visibles y esto puede ser debido a la lixiviación de la capa cerosa fuera de la cutícula, lo que aumenta la aspereza de la fibra, y facilita la unión mecánica en la interfase fibra-matriz. La modificación sobre la estructura de la red radica principalmente en la desvinculación del hidrógeno (Sreekala et al., 2001).

El tratamiento alcalino en fibras de coco aumenta la retención de humedad y la estabilidad térmica al máximo (Rout et al., 2001b).

La principal causa del cambio en las características de la fibra de sisal en el concreto es el deterioro químico de la lignina y la hemicelulosa. La alcalinidad del agua en el poro del concreto disuelve lignina y la hemicelulosa y rompe los enlaces en la microceldas. Debido a lo anterior, las fibras se fragmentan en pequeñas unidades y pierden su capacidad de reforzar al concreto. Así también,

las microceldas se llenan de Ca(OH)_2 y las fibras pierden su flexibilidad (Gram, 1998b).

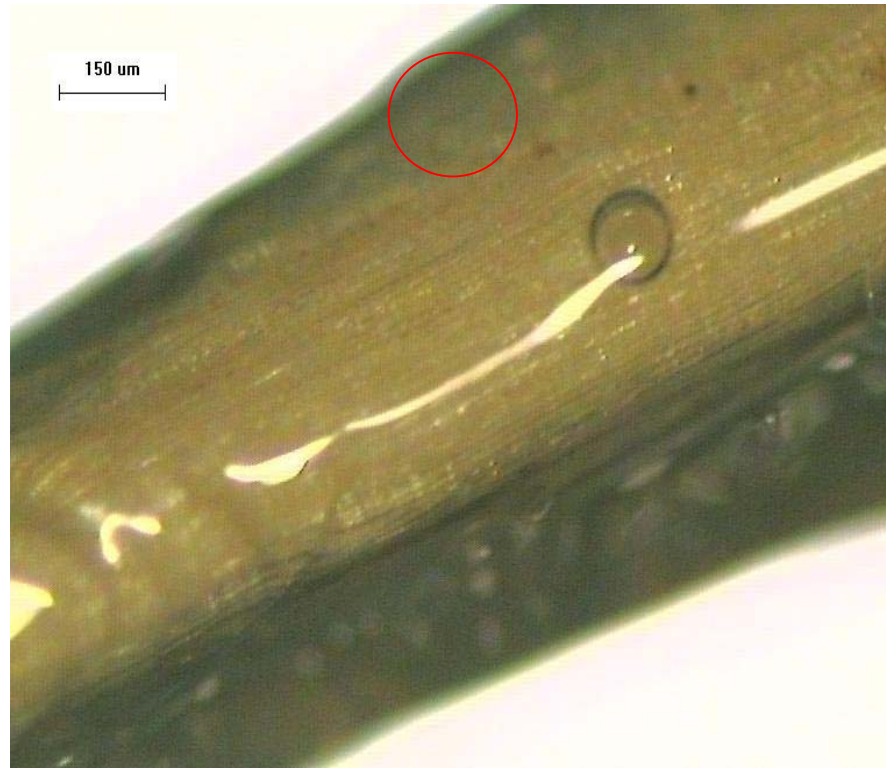


Figura 33. Fibra de coco tratada químicamente con NaOH y recubierta con PMMA vista microscopia óptica con aumento 5x

Fuente: Propia

En las Figura 33 se observa la fibra tratada químicamente con el NaOH y recubierta con el PMMA, los canales dejados por el tratamiento con el NaOH fueron recubiertos por el polímero. El PMMA al enfriarse se solidificó y selló parcialmente la porosidad de la fibra. Además, la capa de polímero que se forma sobre la fibra parece actuar como repelente al agua, evitando la saturación completa.



Figura 34. Conglomerado de fibras de coco tratadas químicamente con NaOH y recubiertas con PMMA vista microscopía óptica con aumento 5x

Fuente: Propia

En la figura 34 puede verse pequeñas burbujas de aire, donde se observa una fibra delgada sobre otra más gruesa englobada dentro del polímero formando una especie de conglomerado. La densidad de la capa translúcida de polímero es irregular, lo que permite mejorar la adherencia a la matriz cementicia encontrándose zonas en las cuales sólo hay polímero. En cuanto a la morfología se tiene que las fibras presentan diferentes diámetros y que son de carácter heterogéneas.

Las microfibrillas que las componen están unidas en la fibra sin tratar y permanecen unidas luego del tratamiento con el NaOH.

Sin embargo, la contribución de las fibras con el polímero a la matriz cementicia será diferente, pues las fibras se encuentran unidas en el conglomerado perdiendo así su aporte individual a las propiedades mecánicas del concreto.

Los agentes protectores utilizados para impregnar a la fibra pueden ocasionar disminución en la adherencia de la fibra con la matriz. No obstante, su efecto de protección resulta primordial para evitar el deterioro por la alcalinidad propia de la mezcla de concreto.

Para determinar la interacción de la fibra con el polímero se realizaron los análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) tal como se aprecia en la figura 35.

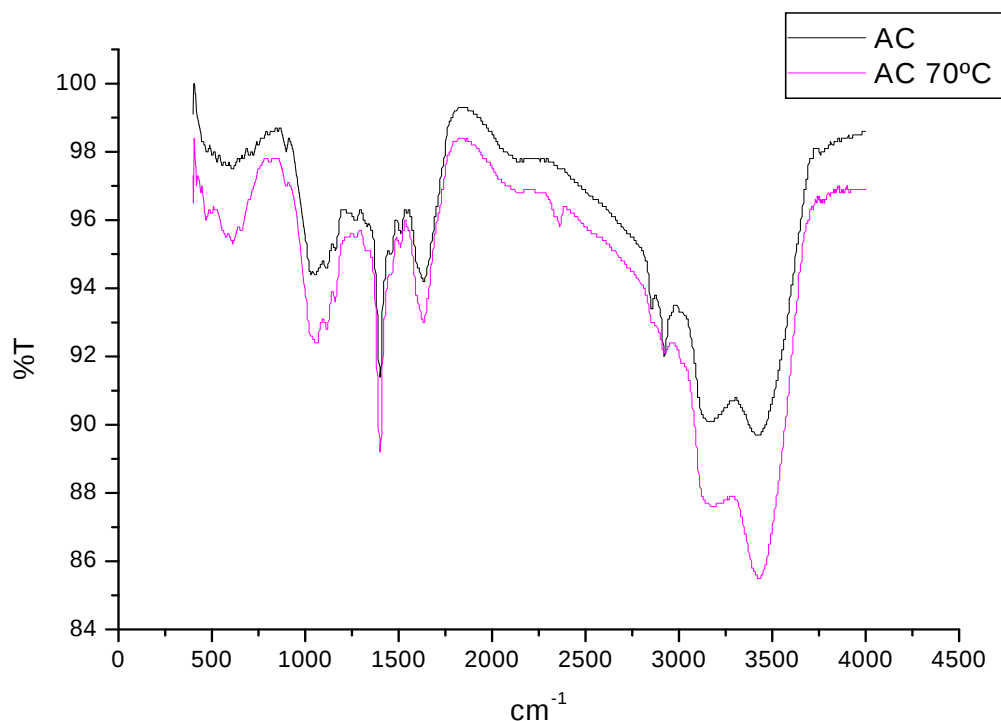


Figura 35. Espectro de FTIR de las fibras de coco sin tratamiento antes y después del secado a 70°C por 8 días.

Fuente: Propia

En la Figura 35 se muestra el espectro de FTIR de una muestra de fibra de coco sin tratamiento antes y después del secado a 70 °C por 8 días, como puede observarse las bandas de absorción características de la fibra de coco antes del secado no presentan diferencias significativas con las bandas presentes al secar la muestra, indicando que las bandas intensas observadas en la región de los 3000

cm^{-1} corresponden efectivamente a los grupos OH^- de la fibra de coco y no son producto de agua absorbida en la superficie de la misma.

Las bandas características del PMMA y su espectro se muestran a continuación en la Tabla 14 y en la Figura 36 respectivamente, estas bandas no están presentes en la Figura 35 pues están asociadas a los grupos funcionales del PMMA los cuales aparecen en la fibra recubierta con el polímero.

Tabla 14. Descripción de las bandas características del PMMA

Frecuencia (cm^{-1})	Descripción
1195	Estiramiento $-\text{OCH}_3$
1439	Estiramiento CH_3
1700-1744	Estiramiento $\text{C}=\text{O}$
2927-2986	Estiramiento $\text{C}-\text{H}$

Fuente: Propia

En la figura 36 se muestra el espectro de las fibras de coco sin tratamiento y las fibras recubierta con el PMMA, se puede apreciar que las bandas entre los 3100 y 3500 cm^{-1} , correspondientes a los grupos OH^- intermoleculares de la fibra se desplazaron después del tratamiento químico, indicando que efectivamente hubo una interacción de acoplamiento entre la fibra de coco y el PMMA y se ve favorecida por la presencia de grupos polares.

Para determinar el resultado del tratamiento químico en la superficie de las fibras se debe observar los grupos CH_3 y $\text{C}=\text{O}$ debido a que éstos participan en la reacción de acetilación.

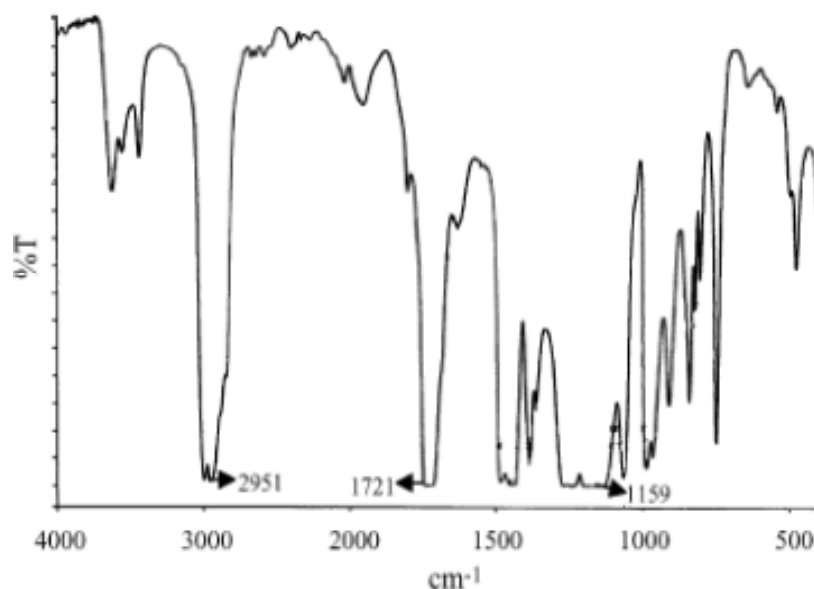


Figura 36. Espectro de FTIR del polimetilmetacrilato puro

Fuente: Ramesh et al., 2007

Al analizar la figura 37 se observa que la banda 2920 cm^{-1} del espectro de fibras con tratamiento va aumentando en área e intensidad respecto a la fibra sin tratar. Esto significa que la presencia de los grupos CH_3 se incrementa, es decir, el grado de acetilación crece.

Las condiciones de reacción son muy importantes, con un proceso con agitación se obtuvo mayor grado de acetilación debido a que con agitación hay mayor contacto entre la fibra y las sustancias reactivas.

En general, respecto a la banda 1370 cm^{-1} se observa un ligero hombro en la muestra sin tratar que se convierte en una banda definida aumentando su intensidad conforme se incrementa el grado de acetilación, esto debido a la absorción del grupo CH_3 por parte de la fibra.

Además, al aumentar la sustitución del grupo OH^- por el grupo CH_3CO , la acetilación aumentó y la polaridad de la fibra disminuyó provocando que la fibra

absorbiera menor humedad por la disminución de los grupos polares (grupo OH⁻ principalmente).

La descripción de las bandas se muestra en la tabla 15.

Tabla15. Descripción de las bandas características de las fibras de coco tratadas con NaOH (AC) y las fibras de coco recubierta con el PMMA

AC (cm ⁻¹)	ACPMMA (cm ⁻¹)	Grupo
1050-1085	1050-1085	Estiramiento alcohólico C-O
1401	1399	C-H de celulosa y hemicelulosa
-	1440	Estiramiento CH ₃ del PMMA
1466	1460	CH ₂ de celulosa
1640	1634	Enlace doble C=O
-	1735	Estiramiento C=O del grupo acrílico en el PMMA y el EAC
1750	-	Pico muy pequeño del C=O de la holocelulosa y lignina contaminante
2854 y 2923	2855 y 2923	Estiramiento C-H en el anillo aromático y alquenos
-	2999	Estiramiento C-H del PMMA
3171 y 3425	3162 y 3439	Banda amplia y fuerte del grupo –OH

Fuente: propia

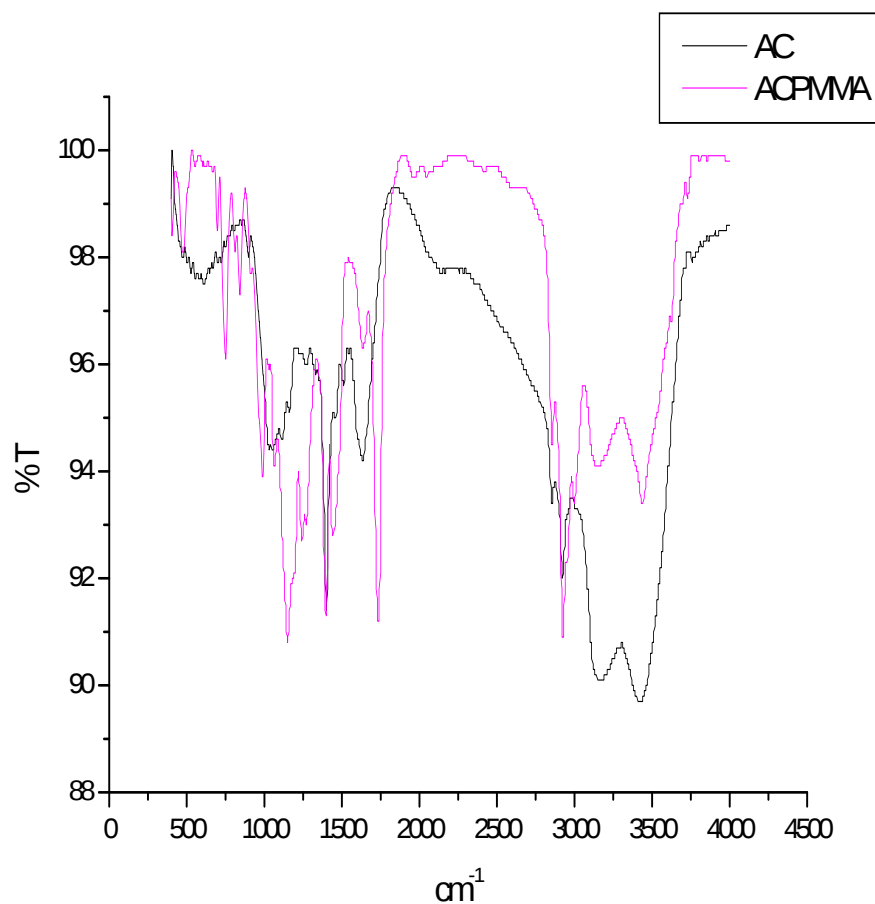


Figura 37. Espectro de FTIR de la fibra de coco sin tratar (AC) y fibra tratada químicamente con PMMA (ACPMMA).

Fuente: Propia

Asimismo, (Sullcahuamán et al., 2007) analizaron las bandas de absorción para las fibras de sisal obteniendo resultados semejantes algunas bandas características como: a 3400 cm^{-1} se tiene un alargamiento de O-H a 2920 cm^{-1} , existe un alargamiento de C-H del grupo CH_3 , a 1730 cm^{-1} se observa una absorción de alargamiento de C=O, a 1640 cm^{-1} absorción de C=O aromáticos, a 1430 cm^{-1} absorción asimétrica del CH_3 del grupo CH_3CO , a 1370 cm^{-1} absorción simétrica del CH_3 del grupo CH_3CO , a 1245 cm^{-1} alargamiento asimétrico de C-

O-C, a 1060 cm^{-1} absorción simétrica del C-O-C. Esto indico que la fibra contiene los grupos OH, C=O, CH₃ y C-O-C en su composición química principal.

4.1.6.- Selección de la mezcla patrón

Para determinar la mezcla patrón se consideró la trabajabilidad, asentamiento y resistencia del concreto requerida.

En la figura 38 se muestran los valores de asentamiento medidos al elaborar las mezclas con los diseños que fueron descritos en la metodología.

En primer lugar se realizó el diseño de mezcla proporcionado por CEMEX de Venezuela, es una fórmula comercial con las correcciones por humedad explicadas en la metodología para la mezcla Mop1. Obteniéndose una mezcla bastante pedregosa y con poca pasta a pesar de alcanzarse el asentamiento esperado de 4,5cm para la mezcla sin aditivo, como puede observarse en la Figura 39 al agregarse el aditivo el asentamiento aumentó a 7cm y mejoró significativamente la trabajabilidad.

Sin embargo, como se puede observar en la Figura 40, la mezcla presenta abundante contenido de piedra y poca pasta por eso se siguió modificando la cantidad de ciertas materias primas con el fin de conseguir la mezcla patrón. Para mejorar la trabajabilidad y mantener fija la resistencia del concreto, es necesario aumentar la dosis de cemento y agua, es decir, cantidad de pasta de manera proporcional (Porrero et al., 2008).

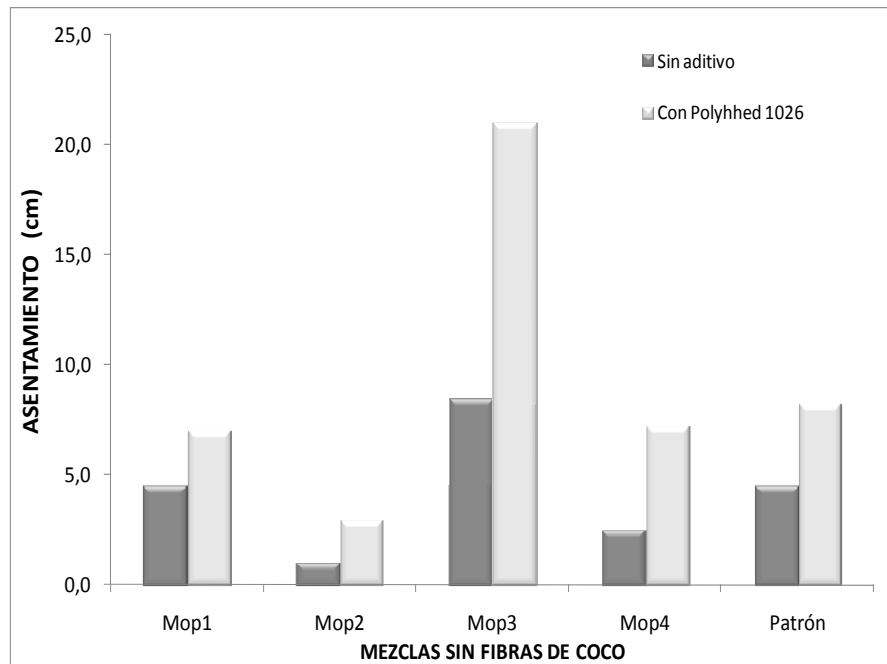


Figura 38. Valores de asentamientos experimentales de las mezclas elaboradas para determinar la mezcla patrón o el blanco.

Fuente: Propia



Figura 39. Mezcla Mop1 contenido abundante de piedra y poca pasta

Fuente: Propia

Por lo tanto para la mezcla Mop2 se aumentó la cantidad de pasta, se modificó la relación agua/ cemento (α) a 0,45, se incrementó la cantidad de arena y se redujo el contenido de piedra de la formulación, para lograr una excelente gradación del agregado y mejorar el comportamiento obtenido para la mezcla Mop1.

El asentamiento para esta mezcla fue de 1cm, sin aditivo y 3cm con el aditivo siendo muy bajo y concordando con (Porrero et al. 2004) para la elaboración de losas, vigas, columnas, muros de corte, por lo que se continuó en la búsqueda de la mezcla óptima.

Debido al comportamiento presentado por la mezcla Mop2 se redujo la cantidad de grava haciéndola igual a la cantidad de arena relación (β) igual a 0,50 y un valor de α de 0,48 (igual al de Mop1). Para estas condiciones de diseño se obtuvo un valor de asentamiento de 8,5cm antes de agregar el aditivo, luego la mezcladora se detuvo por un problema eléctrico y los agregados absorbieron parte del agua de mezclado ocasionando que la mezcla se viese muy seca después de la parada el cual duró 15min aproximadamente por lo que la tixotropía se vio afectada. Posteriormente se agregó el polyheed 1026 con 500 ml de agua alcanzándose un asentamiento de 21cm.

Para la mezcla Mop3 se redujo la cantidad de agua, debido a que el asentamiento sin aditivo para la Mop2 fue de 8,5cm, por lo cual se esperaba que aumentara al agregar el polyheed 1026, y debido a que no se pudo observar el comportamiento por la parada de la mezcla anterior se decide fraccionar la adición del aditivo.

Se obtuvo una mezcla poco trabajable sin el aditivo con un asentamiento de 2,5cm, al agregarse 2/3 de aditivo se observó un aumento del asentamiento a 7,2cm como puede observarse en la Figura 38. Sin embargo, por la reducción de la cantidad de agua se notó dificultad al compactar los cilindros de prueba, por lo cual se decidió repetir la mezcla Mop3 considerando que de no haber ocurrido el problema eléctrico está hubiese sido la mezcla óptima.

Se elaboró la mezcla mop5 agregando en fracciones el aditivo para evaluar su comportamiento como puede verse en la Figura 38 se obtuvo el valor esperado de asentamiento 4,5cm para la mezcla sin aditivo y con el aditivo el asentamiento fue de 9cm.

4.1.7.-Evaluación de las resistencias para seleccionar la mezcla patrón

Se presentan los resultados de la resistencia para cada mezcla sin fibras con la finalidad de seleccionar aquella mezcla que cumpliera con los siguientes parámetros, buen asentamiento, fluidez, mejor trabajabilidad, mínima segregación, tiempo de fraguado y alta resistencia.

Tabla 16. Resistencia a compresión para las mezclas a seleccionar como la Mezcla patrón

Días de curado	Resistencia Mop1(MPa)	Resistencia Mop2(MPa)	Resistencia Mop3(MPa)	Resistencia Mop4(MPa)	Resistencia Mop5(MPa)
7	30,20	34,53	32,06	34,11	34,32
14	32,50	37,03	34,49	36,06	37,09
28	36,11	40,81	36,39	38,99	40,08
60	38,42	42,64	37,42	39,71	41,27
128	41,05	44,70	40,68	42,27	43,35

Se evalúa el comportamiento a la compresión de las mezclas realizadas para seleccionar la mezcla patrón, para todas las edades, las cuales son mostradas en la tabla 16 y su relación de resistencia con la edad de curado es observada en la figura 40, se observa que la mezcla Mop2, presentó mejores valores de resistencia que la Mop5, lo que era de esperarse debido a que esta mezcla tuvo una menor relación agua/cemento 0,45, sin embargo, no cumplió el requisito de asentamiento necesario para la elaboración de losas, vigas, entre otros.

Si se comparan las mezclas Mop1, Mop3 y Mop4, con valores de resistencia para los 28 días de curado 36,11; 36,39 y 38,99 MPa respectivamente, estas presentaron menores valores de resistencia que la Mop5 con una resistencia 40,11MPa, lo que permitió usar el criterio de selección y determinar que la mezcla más adecuada es la mezcla cinco Mop5, que de ahora en adelante se denominará mezcla patrón.

La baja resistencia de la mezcla Mop1 de 36,11MPa, pudo estar asociada a la presencia de una menor cantidad de pasta lo que puede ocasionar la falla por desprendimiento del agregado producto de una mala adherencia. Al haber poca cantidad de pasta los agregados que están englobados dentro de la misma no quedan bien adheridos, ya que estos están cubiertos por una pasta deficiente.

La mezcla Mop3 presenta menor resistencia 36,39MPa, esto es asociado al error experimental y a la cantidad de agua añadida luego de la parada de la mezcladora y la mezcla Mop4 con una resistencia 38,99MPa presenta valores más cercanos a 40,11MPa, pero no tan buenos como los de la Mop5, lo que puede estar asociado al menor contenido de pasta.

En la figura 40 se muestran las resistencias a compresión de cilindros en función de la edad de curado para obtener la mezcla patrón se experimentó con cinco mezclas.

Como los valores de resistencia a la compresión de la Mop5, fueron los que tuvieron mejor desempeño, en cuanto a manejabilidad y asentamiento de la mezcla, se concluye que la Mop5, es la mezcla “Patrón” representando la mezcla óptima.

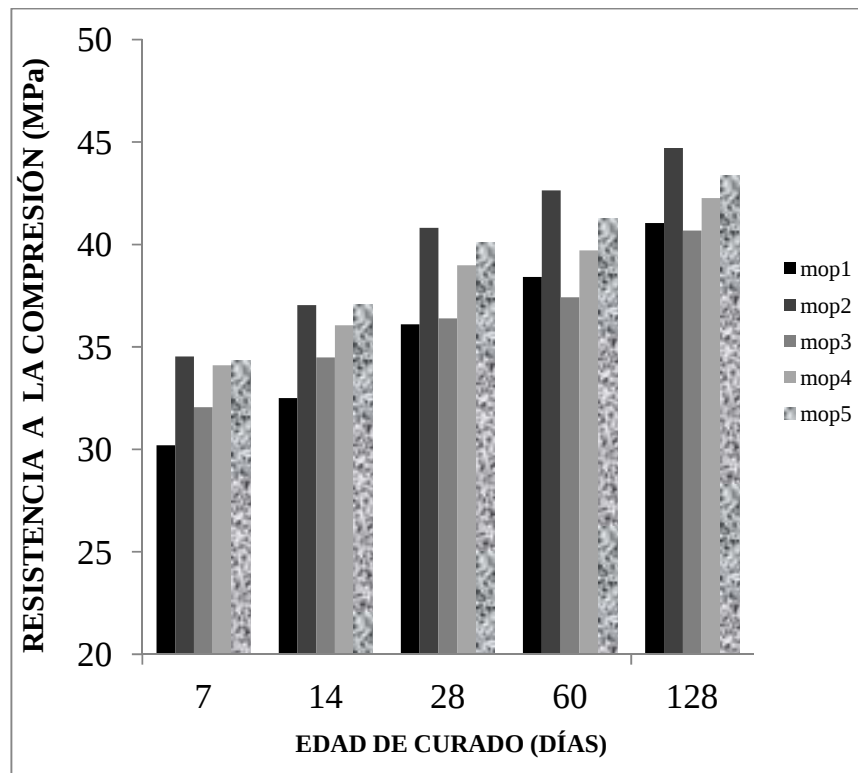


Figura 40. Resistencia a la compresión de cilindros para determinar la mezcla patrón en función de la edad de curado

Fuente: Propia

A manera de síntesis respecto al logro del objetivo I.

El diseño de mezcla sirvió de punto de partida para alcanzar la combinación adecuada de las cantidades de los componentes del concreto. Se tomó en consideración las variables fundamentales como: dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia. Resultó de suma importancia lograr la rigidez y resistencia a compresión del concreto, ya que de esta depende la calidad, durabilidad y permanencia en el tiempo de las estructuras hechas con este material. Así mismo el diseño de mezcla jugó un papel importante porque de ello depende la confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos posteriores realizados al concreto. Los ensayos

posteriores consistieron en sustituir parte del agregado fino por las fibras naturales y estudiar el comportamiento mecánico de las mezclas reforzadas.

4.2 Objetivo II: Analizar las propiedades mecánicas del concreto (cilindros, losas y vigas) reforzados con fibras de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos.

4.2.1.- Caracterización de las mezclas de hormigón con fibras de coco sin tratar y tratadas en estado fresco

Para que no ocurrieran cambios en la metodología del mezclado, se prepararon en conjunto la mezcla “Patrón” con cada una de las mezclas que contienen fibras de coco con y sin tratamiento para todas las concentraciones y tamaño.

Se consideró que el concreto se encuentra en estado fresco desde el momento en que finaliza el mezclado, hasta el momento que se inicia el endurecimiento de la pasta.

Entre las propiedades que se pueden observar y permiten evaluar la calidad del material de manera cualitativa son: a) Asentamiento, b) Retracción) y c) Segregación. El comportamiento del concreto en estado fresco al adicionar las fibras de coco sin tratamiento y tratada químicamente se describe a continuación.

4.2.2.-Asentamiento

Tal como se describió en la metodología, la trabajabilidad es una variable importante, cuando se trabaja con concretos a los cuales se les adiciona fibras, debido a que estas disminuyen significativamente la trabajabilidad, esto se evidencia en las mezclas realizadas con las fibras.

La trabajabilidad se ve disminuida por diversos factores, pero es particularmente importante cuando se adicionan fibras naturales ya sean procesadas mediante procesos de pulpación o sin ningún tipo de tratamiento, esto

es debido a que las fibras naturales absorben cantidades considerables del agua de mezclado. Por esta razón se incorporó las fibras en condición de saturación y se empleó el aditivo polyheed 1026.

En la Figura 41 se observa que los valores de asentamiento de las mezclas antes de agregar las fibras se mantuvieron cerca de los 9cm, esto era de esperarse ya que el asentamiento de la mezcla patrón con aditivo fue de 9cm.

Las variaciones en el valor de asentamiento se debieron a la incorporación de las fibras, y a que los agregados se encontraban en condiciones desecantes, por lo cual la humedad de los agregados pudo presentar pequeñas variaciones a pesar de haberse controlado. Al adicionar las fibras naturales la trabajabilidad de las mezclas disminuye considerablemente, esta relación de causalidad es referida por varios autores (Gutiérrez y Matheus, 2006; Juárez et al., 2004; Osorio et al., 2007; Quintero y González, 2006).

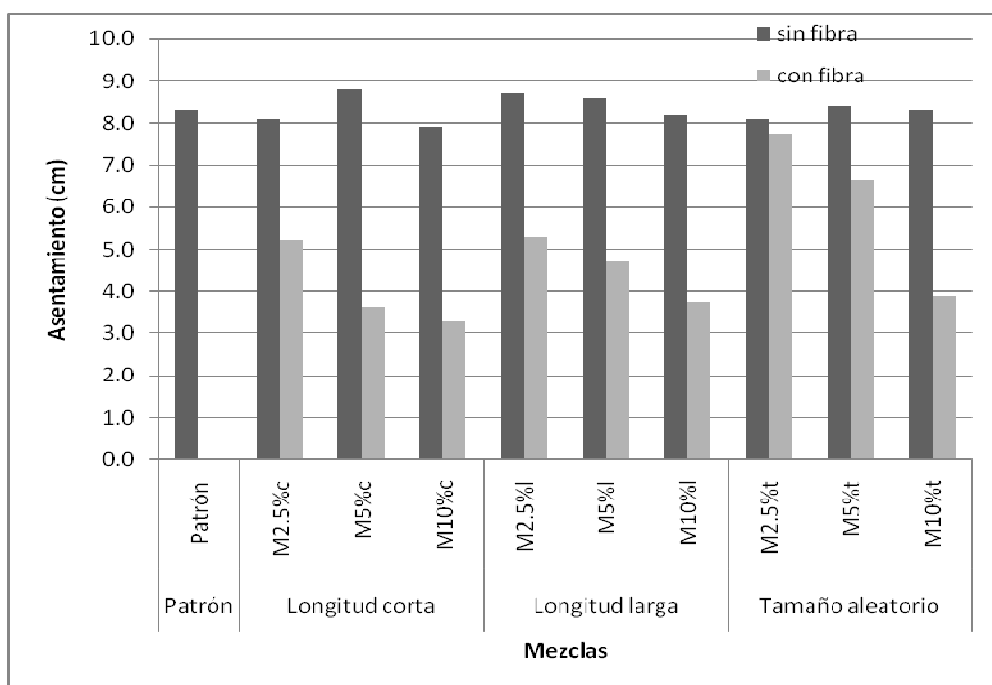


Figura 41. Valores de asentamiento obtenidos para las mezclas al adicionar fibras de coco sin tratar y tratada químicamente

Fuente: Propia

Asimismo, se observa que la disminución del asentamiento aumenta al incrementarse la proporción de fibras adicionada (2,5; 5 y 10)% en volumen respectivamente. La distribución de longitud larga fue más difícil de compactar, debido al enmarañamiento de las fibras el cual impedía la penetración de la barra compactadora, lo que permitió un mayor esfuerzo para compactar. Los valores de asentamiento de la distribución corta no difieren significativamente de los alcanzados por la distribución de longitud larga.

En cuanto al concreto reforzado con fibras tratadas al adicionar 10% de concentración en volumen de fibras, se pudo notar la disminución de los asentamientos al agregar estas fibras recubierta con PMMA, se obtuvieron valores menores si se compara con un asentamiento de 8,2 cm sin fibras, es decir, mezcla patrón y para distribuciones de tamaño corto y largo también disminuye.

Si se compara todos los tamaños de fibras con y sin tratamiento las fibras tratadas con polimetilmetacrilato para una concentración de 2,5% de concentración en volumen experimentaron mejor desempeño ya que no se enmarañaron y su distribución a lo largo de toda la mezcla fue uniforme, lo que permitió un mejor arreglo dentro de la matriz cementicia lo que concuerda con lo observado por (Gutiérrez y Matheus, 2006). Esto se debe a que de acuerdo a la relación triangular, cuando el contenido de agua y las demás proporciones de las mezclas se dejan constantes, la trabajabilidad está dirigida por el tamaño máximo de los agregados, su granulometría, forma y textura.

De esta manera la interfase que es la región de íntimo contacto entre la fibra y la matriz, tiene como función principal el transmitir los esfuerzos entre las dos fases. La adherencia interfacial puede tener una naturaleza por sí misma química o física, o una combinación de ambas. Es así como, el comportamiento mecánico del concreto con fibras está relacionado directamente con la naturaleza y las propiedades de la interfase fibra-matriz (Coutts, 1983).

Asimismo, la adherencia química entre la fibra y la matriz puede darse debido a la presencia de grupos hidroxilos en la superficie tanto de la fibra como del cemento, suficiente para propiciar una adecuada interacción química por

medio de enlaces de hidrógeno. Otra forma de incrementar la adherencia de la fibra en la matriz es mediante tratamiento físico-mecánicos que incrementa la energía de fricción en la interfase.

4.2.3.-Segregación de los agregados

No se presentó segregación de los agregados, ni tampoco de las fibras de coco adicionada para ninguna de las proporciones y distribución de longitud, así como, con y sin tratamiento químico.

En general se obtuvo una distribución homogénea de los agregados, debido a que no existía una diferencia apreciable entre los granos que conformaban la mezcla (Porrero et al., 2004), en la figura 42 se presenta un corte transversal de algunas probetas cilíndricas tomadas al azar.



Figura 42. Distribución de los agregados en el concreto a) patrón vista la izquierda b) 5% de fibras tratadas vista al centro y c) 2,5% de fibras tratadas vista derecha

Fuente: propia

4.2.4.- Retracción de las unidades experimentales

En las mezclas de concreto con fibras de coco sin tratar y tratada químicamente no se evidenció retracción, pues se verificó que tanto las muestras cilíndricas como las losas y vigas, no presentaban grietas o fisuras en la superficie de las mismas, inclusive en aquellas mezclas que requirieron cierta cantidad de agua adicional al momento del mezclado para mejorar la trabajabilidad del concreto menor de 2 litros, y esto debido a que el concreto no se encontraba en condiciones ambientales desecantes (Porrero, 2004).

Asimismo, las fibras evitan las grietas en las mezclas en estado fresco, por lo que se infiere que las mezclas tendrán mayor durabilidad a lo largo del tiempo.

4.2.5.- Caracterización de las mezclas de concreto con fibras de coco sin tratar y tratadas en estado endurecido.

Las fibras no son tan eficientes en la transmisión de los esfuerzos a tensión, sin embargo, proveen un mejor control contra el agrietamiento. La principal contribución que tienen las fibras en el concreto, es proporcionarle la capacidad de absorber gran cantidad de energía antes de fallar. Esta propiedad es conocida como tenacidad y se puede determinar según ASTM C 1018-97. Un parámetro para medir la tenacidad del concreto es su resistencia a la flexión o módulo de ruptura.

4.2.6.- Ensayos destructivos

Los ensayos destructivos que se realizaron fueron: resistencia a la compresión, a la tracción por flexión, pruebas de fuego a diferentes temperaturas y ciclos de calor y humedad. A continuación, se presentan los resultados de estos ensayos con sus respectivos análisis en cilindros, vigas y losas.

4.2.7.- Resistencia a la compresión vs. Edad de curado para mezclas reforzadas con fibras de coco tamaño corto y largo sin tratamiento

En el caso de la matriz sin fibras el esfuerzo a tensión es uniforme prácticamente en todo el diámetro del cilindro.

Cuando la matriz tiene fibras aleatoriamente distribuidas, éstas transfieren los esfuerzos a la matriz por adherencia en el momento del agrietamiento, ocasionando que no se presente la uniformidad mencionada para el concreto simple.

Se analizó el efecto de la incorporación de las fibras de coco a la mezcla de concreto a distintas concentraciones (2,5; 5 y 10) % en volumen para dos distribuciones de tamaño de longitud de las fibras, sin tratamiento y tratada con hidróxido de sodio NaOH y ácido acético CH₃COOH e impregnada con PMMA, sobre el comportamiento de la resistencia a la compresión a distintas edades (7, 14, 28, 60 y 128 días).

En los cilindros se determinó la resistencia a la compresión, que es el criterio más aceptado para calificar la calidad de un concreto, ya que diversos factores de significativa importancia están relacionados con dicha resistencia, como lo son: la dosis de cemento, la relación agua/cemento, el tiempo y temperatura de curado, entre otros.

Las fallas que comúnmente se presentan en las probetas cilíndricas en las pruebas de resistencia a la compresión, se pueden observar en la figura 43, en donde la falla tipo cono (b) corresponde a la fractura ideal esperada en este ensayo; sin embargo, se pueden obtener diferentes combinaciones de ruptura (a, c y d) en las cuales se obtienen desviaciones de la data originando resultados de resistencia más bajos.

Es importante mencionar que para mezclas con relaciones a/c alta se produce un agua de sangrado, formando acumulación de agua bajo el agregado y en este caso bajo la fibra. Lo anterior debilita la adherencia y reduce la resistencia

por lo que en esta investigación solo se trabajó para la relación agua/cemento $\alpha=0,48$.

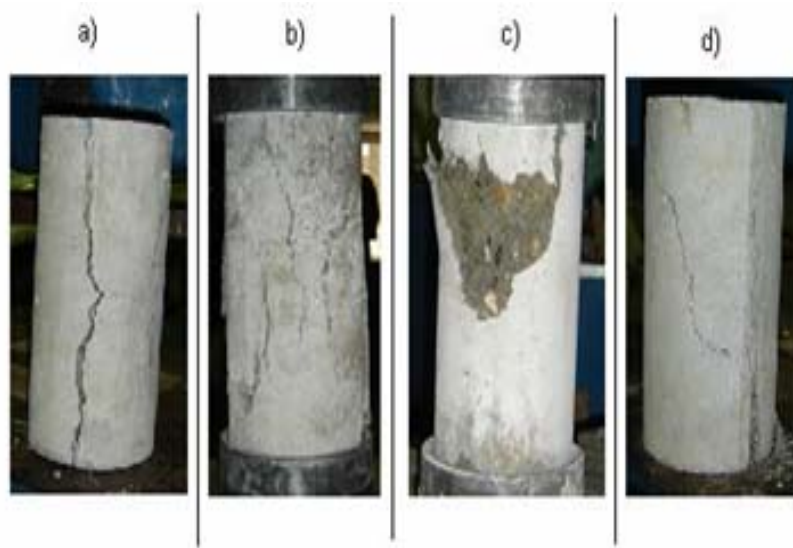


Figura 43. Fallas presentadas en una probeta cilíndrica después de ser aplicado el ensayo de resistencia a la compresión a) Falla Longitudinal b) Falla en cono c) Falla de borde d) Falla diagonal.

Fuente: Propia

Se presentan en gráficos los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión en cilindros normalizados, para la relación agua/cemento $\alpha=0,48$ a edades de 7, 14, 28, 60 y 128 días para las dos distribuciones tamaños de fibras de coco sin tratamiento químico y para las distintas proporciones (2,5; 5 y 10) %.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**⁴⁴ se pudo observar que la resistencia a la compresión para las mezclas con adiciones de fibras sin tratamiento para ambas distribuciones de tamaño corto y largo aumenta rápidamente a edades tempranas disminuyendo su incremento luego de los 28 días de curado, para mezclas con fibras tamaño corto y largo a 2,5% de concentración en volumen fue de 39,5 y 37 MPa respectivamente, mientras que para las mezclas con fibras tamaño corto y largo a 5% de concentración en

volumen fue de 36,5 y 37 MPa respectivamente y por último para las mezclas con fibras tamaño corto y largo a 10% de concentración en volumen fue de 27,5 y 30,5 MPa respectivamente.

Con estos resultados se evidencia que a mayor porcentaje de fibras la resistencia disminuye abruptamente para un 10% en concentración en volumen, asimismo cuando hubo variación en el tamaño y el mismo porcentaje también varía la resistencia.

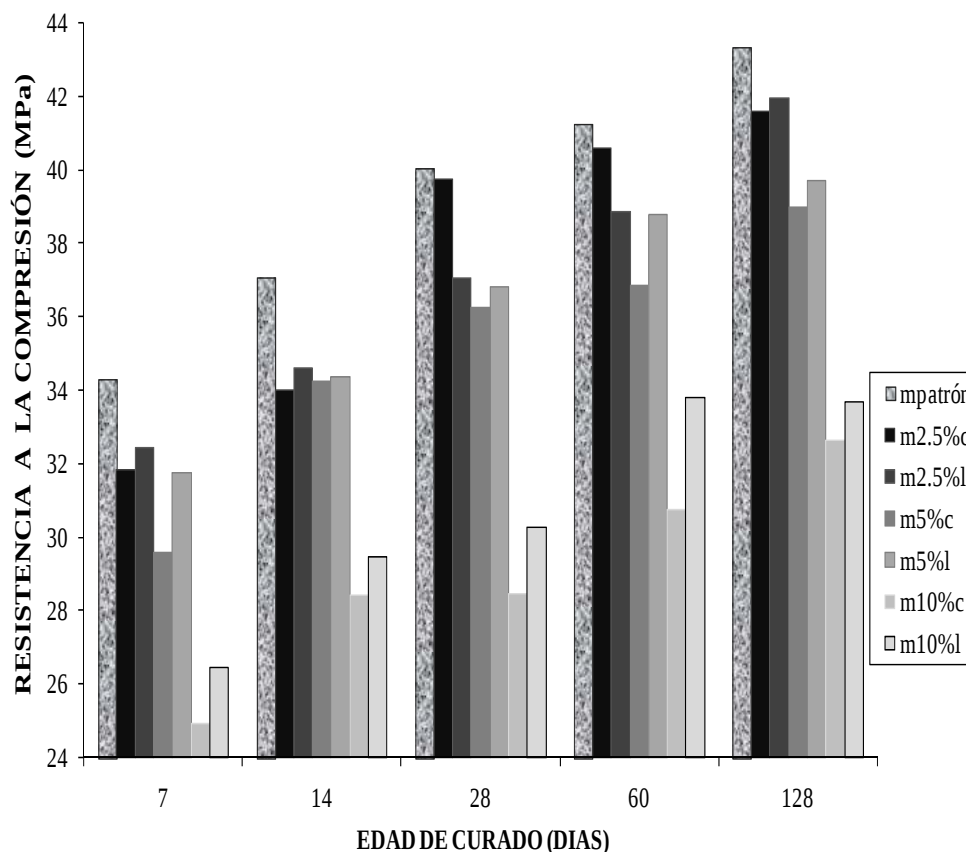


Figura 44. Resistencia a la compresión en función de la edad de curado para la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con fibra de coco sin tratamiento con ambas distribuciones de tamaño.

Fuente: Propia

La resistencia a la compresión a los 28 días, en la mayoría de los casos, se encuentra cercana a los valores de resistencia correspondiente a los 60 días; esto

se debió a que el concreto alcanza entre el 75 y 80% de la resistencia total del mismo, concordando con los resultados de (Osorio et al., 2007) quienes encontraron variaciones en la resistencia a compresión de las probetas utilizadas.

Se encontró que en probetas con el mismo porcentaje de fibras, y una variación en el tamaño de la abertura del tamiz, se produce una disminución en la resistencia cuando el tamaño de fibra es mayor para porcentajes de fibras del (0,5; 2,5 y 5) %, se reduce la resistencia en un (20,4; 42,8 y 31,7) % respectivamente, de las fibras pasadas por el tamiz n°4 con respecto al tamiz n°6.

Se observó además que el mejor valor de resistencia se obtuvo en la probeta elaborada con una adición de fibra del 0,5 % que pasa por el tamiz n°6, cuyo valor incluso es mayor que la probeta testigo de 16,88 MPa.

Durante el ensayo se pudo observar que la fibra impide una falla frágil manteniendo las partes del concreto en su posición, y en la mayoría de los casos las fibras fueron capaz de mantener momentáneamente la carga después del agrietamiento inicial, lo cual es un indicio de la capacidad de absorber energía que tiene el compuesto antes de fallar.



Figura 45. Mezclas reforzadas con fibras de coco sin tratamiento sin disgregación de los materiales

Fuente: Propia

Las fibras funcionan como un cocido o formando una red dentro de la matriz cementicia lo que ocasiona que no haya una disgregación de los materiales que conforman al cilindro, losas o vigas y sí surgieran grietas estas no se propaguen tal como se aprecia en la figura 45.

Por otro lado, se evidenció que la adición de fibras de coco sin tratar en sus dos distribuciones de tamaño corto y largo, ocasionó que la resistencia respecto a la mezcla patrón disminuyera. Esto ocurrió debido a la sustitución del agregado fino por las fibras de coco, el cual no contribuye a la resistencia del concreto como lo hace el agregado fino.

Se pudo observar que en general la resistencia a tensión disminuyó conforme se incrementó el volumen de las fibras, esto puede deberse a la falta de uniformidad en la distribución de las fibras, para volúmenes mayores.

Asimismo, se infiere que un diámetro pequeño permite que la mezcla tenga buena trabajabilidad y la falta de uniformidad en los diámetros puede provocar posible zonas débiles en el compuesto, debido a las fibras que resisten menos esfuerzos.

Es importante acotar que las fibras no tenían tratamiento químico y según (Gram, 1998), la alcalinidad del agua en los poros del concreto disuelve a la lignina y hemicelulosa y rompe los enlaces entre las microceldas por lo que las fibras se fragmentan y pierden la capacidad de reforzar al concreto.

Así también, las microceldas se llenan de Ca(OH)_2 y las fibras pierden su flexibilidad. De acuerdo a estos resultados reportados, se puede inferir que concuerdan con los obtenidos para las fibras de coco sin tratar.

A pesar de la pérdida de la resistencia, las mezclas con adición (2,5; 5 y 10)% en volumen de fibra de coco en su distribución larga alcanzaron mejores resistencias que las de distribución corta, dicho comportamiento también fueron observados por (Juárez et al., 2004b), quienes consideran que es posible que las fibras largas posean una mejor adherencia debido a su longitud, ellos pudieron observar que las fibras largas tienden a fallar por ruptura mientras que las cortas lo hacen por desprendimiento, debido a su menor adherencia a la matriz cementicia;

esto se corrobora con los resultados obtenidos en el análisis termogravimétrico, en el que se evidenció una mayor energía de activación para las fibras largas, indicando un menor grado de descomposición respecto a las fibras tamaño corto, estas están distribuidas de manera uniforme en toda la muestra tal como se aprecia en la figura 46.



Figura 46. Menor grado de descomposición para las fibras expuestas a la matriz de concreto sin tratamiento para un tamaño corto.

Fuente: Propia

Cabe considerar, por otra parte, los valores obtenidos de resistencia a compresión cumplen con los valores estándares o comerciales para concretos de moderadas resistencias según lo expresado por (Porrero et al., 2008), los cuales se encuentran en un rango de 21 y 30 MPa para un tiempo de curado de 28 días.

Es importante mencionar que incluso los valores de resistencia son superados en la adición de 2,5 y 5 % respectivamente en volumen de fibras sin

tratar, es decir, para mezclas con fibras tamaño corto y largo a 2,5% de concentración en volumen fue de 39,5 y 37 MPa respectivamente, mientras que para las mezclas con fibras tamaño corto y largo a 5% de concentración en volumen fue de 36,5 y 37 MPa. Por lo que es una mezcla que tiene la misma resistencia y hasta mejor que un concreto elaborado sin fibras como refuerzo.

4.2.8.- Resistencia a la compresión vs. edad de curado de mezclas reforzadas con fibras de coco tratadas químicamente con PMMA

En la figura 47 se observa que los valores de resistencia a la compresión obtenidos para las mezclas reforzadas con fibras tratadas químicamente para un tamaño aleatorio fueron menores, si se compara con los valores de la mezcla patrón 40,11MPa, esto indica que la porción de arena sustituida contribuye de manera determinante en las propiedades mecánicas de las mezclas que no contienen fibras.

Sin embargo, en términos generales los valores de resistencia obtenidos con las mezclas de fibras tratadas son mayores que los de las mezclas con fibras sin tratar para cada una de las proporciones y edades estudiadas. Durante el ensayo se pudo observar que la fibra impide una falla frágil manteniendo las partes del espécimen en su posición, y en la mayoría de los casos la fibra fue capaz de mantener momentáneamente la carga después del agrietamiento inicial, lo cual es un indicio de la capacidad de absorber energía que tiene el compuesto antes de fallar.

Esto se evidenció al comparar la resistencia a compresión para las mezclas con adiciones de fibras sin tratamiento para ambas distribuciones de tamaño corto y largo a los 28 días de curado, para mezclas con fibras de tamaño corto y largo a 2,5% de concentración en volumen fue de 39,5 y 37 MPa respectivamente, mientras que para las mezclas con fibras tamaño corto y largo a 5% de concentración en volumen fue de 36,5 y 37 MPa respectivamente y por último para las mezclas con fibras tamaño corto y largo a 10% de concentración en volumen fue de 27,5 y 30,5 MPa respectivamente.

De igual manera para las fibras tratadas químicamente e impregnadas con PMMA y tamaño aleatorio (≤ 4) los valores de resistencia para un (2,5; 5 y 10) % en concentración fue de (38,5; 37,5 y 35,5) MPa respectivamente.

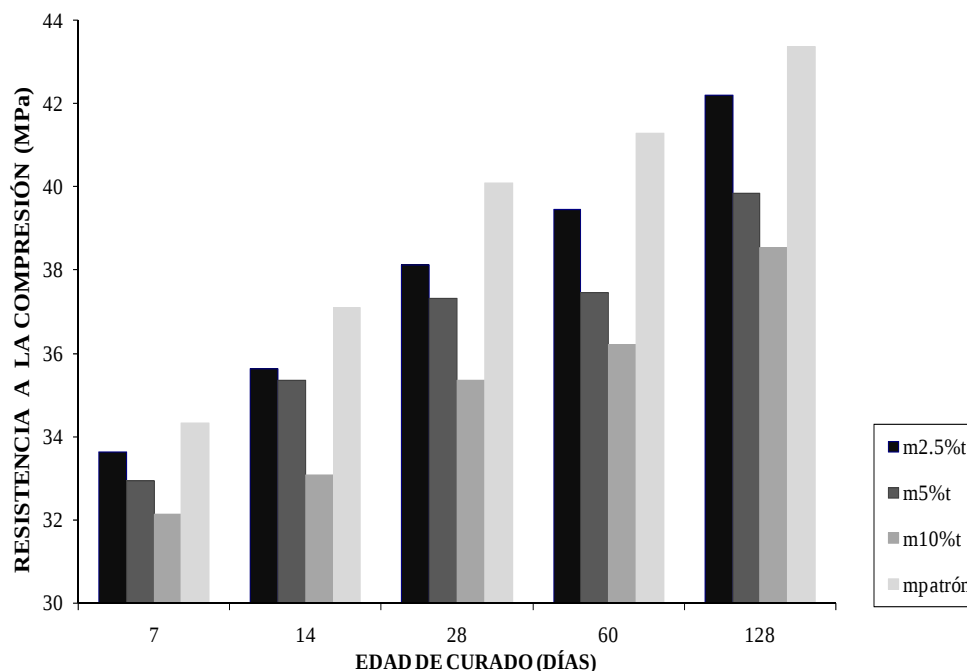


Figura 47. Resistencia a la compresión en función de la edad de curado para la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con fibras de coco tratadas químicamente con PMMA.

Fuente: Propia

Esto se debió a que el tratamiento químico aplicado a las fibras evitó el ataque del medio alcalino del concreto sobre las fibras, esto fue demostrado por los análisis termogravimétrico realizados a las fibras extraídas de los cilindros luego de ser ensayados a las distintas edades y proporciones volumétricas de las fibras agregadas ya que al realizar la inspección visual una vez ensayados los cilindros las fibras aun mantenían su estructura tal como se aprecia en la figura 48a y figura 48b.

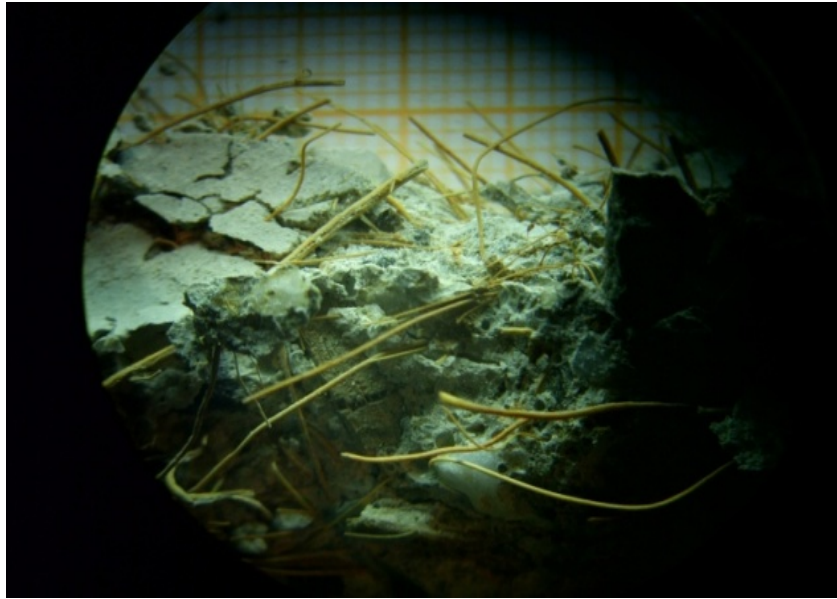


Figura 48a. Fibras de coco expuesto a la matriz cementante

Fuente: Propia



Figura 48b. Falla de una probeta de concentración 2,5% fibra tratada en el ensayo de resistencia a la compresión

Fuente: Propia

Asimismo, se observa que la matriz una vez ensayada a compresión, sus partes permanecían juntas, aun cuando la grieta fuera muy pronunciada, es decir, el cilindro no se destruyó. Resultados similares obtuvo (Mehta, 1998) sostuvo que la mejora considerable del concreto con fibras se reflejó en su comportamiento post-agrietamiento, es decir, mientras que las resistencias últimas a la tensión no se incrementaron apreciablemente, las deformaciones unitarias a la tensión de ruptura sí lo hicieron. En comparación con el concreto simple el concreto reforzado con fibras es mucho más tenaz.

Sin embargo, la adherencia interfacial puede ser afectada por diversas variables tal como la relación a/c, porosidad, la morfología de la fibra y la compactación tal como lo refleja (Coutts, 1998).

Los procedimientos utilizados para fabricar el concreto reforzado con fibras tratadas químicamente e impregnadas con PMMA pudieron influir mejorando la compactación, aumentando la durabilidad y reduciendo la porosidad del concreto. En concordancia con los resultados obtenidos por (Juárez et al., 2004).

Se puede inferir de manera general que las fibras tratadas tienen un retardo al adquirir la resistencia esperada según la mezcla patrón, sin embargo, a los 128 días se obtiene la resistencia. Por lo que sí se puede recomendar su uso para la elaboración de concretos para uso de interés social.

Se puede observar que en general la resistencia a tensión disminuye conforme se incrementa el volumen de la fibra, esto puede deberse a la falta de uniformidad en la distribución de la fibra para volúmenes mayores.

Análisis estadístico

A continuación se mostrará un resumen del análisis estadístico de los resultados, donde se evaluó por medio del ANOVA la existencia de efectos de concentración en volumen de las fibras y tiempo de curado. En el anexo 8 pueden observarse los análisis estadísticos completos. Para cada edad de curado, se cumple los supuestos del análisis de varianza (normalidad y homogeneidad).

Efecto de las fibras de coco sobre los cilindro

Para todas las mezclas analizadas se cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad, no se detectaron datos atípicos.

1. Efecto de la concentración respecto a la edad de curado para mezclas de concreto.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la mayoría los casos existe un efecto significativo producto de la incorporación de las fibras a distintas concentración en las mezclas de concreto. Encontrándose que para longitudes cortas sin tratamiento y aleatorias con tratamiento la mayoría de las mezclas que contienen 2,5 % de concentración en volumen de fibras resultaron igual a la mezcla patrón a partir de una edad de 28 días. Al aumentar la longitud de las fibras para un tamaño largo sin tratamiento se observó un comportamiento similar, es decir, la mezcla con 2,5% de concentración en volumen de fibras tienen un comportamiento similar a la mezcla patrón que no contiene fibras, sin embargo se observó que las fibras tardar más tiempo en adherirse a la mezcla. (Ver anexo 7)

2. Efecto de la longitud y concentración en las mezclas de concreto para cilindros

En cuanto al efecto de la longitud y concentración de las fibras se encontró que dependiendo de la edad del cilindro se forman grupos homogéneos lo cual es indicativo de que existen mezclas que se comportan de manera similar en cuanto a resistencia deseada. En este estudio se quiere obtener aquella que presente mayor resistencia mecánica, al comparar las diferentes concentraciones y longitudes, se determina que a partir de los 7 días de curado las combinaciones para concentración 2,5% en volumen para un tamaño corto, largo sin tratamiento y tamaño aleatorio con tratamiento presenta la mayor resistencia en el tiempo.

4.2.9.- Resistencia a la tracción por flexión aplicada en vigas reforzadas con fibras de coco, según norma COVENIN 342:2004

Una de las principales razones para agregar fibras al concreto es aumentar la capacidad de la matriz para absorber energía. En el caso de la flexión, el área bajo la curva carga vs. deflexión es usada para estimar la capacidad de absorber energía o la tenacidad del compuesto.

En esta investigación no fue posible obtener la tenacidad de los especímenes. Sin embargo, se obtuvo la resistencia a flexión o módulo de ruptura, (Gram, 1998), representa un parámetro relacionado con la tenacidad.

4.2.10.- La resistencia a flexión de vigas es también afectada por la variación del volumen y la longitud de las fibras de coco.

Durante los ensayos, las vigas reforzadas con fibras de coco tamaño corto, la falla por flexión se inició por agrietarse la matriz.

En ese momento la carga disminuyó lo que indica que la fibra no fue capaz de transferir por adherencia el esfuerzo a la matriz, el ancho de la grieta aumentó sin presentarse otros planos de falla hasta que la fibra fue extraída.

Al ser inspeccionada visualmente se observa porosidad alrededor de la fibra, para el caso de mezclas de concreto reforzada con fibras largas, al agrietarse la matriz la fibra fue capaz de sostener la carga de agrietamiento esto se pudo observar, sin embargo, no pudo soportar cargas crecientes.

Al igual que con las fibras cortas, únicamente se presentó un plano de falla, y es colapsada por ruptura.

Es posible que las fibras no pudieran soportar más carga después del agrietamiento al no transferir efectivamente los esfuerzos a la matriz, debido a su bajo módulo de elasticidad, es decir, la fibra es flexible con alta capacidad de elongación que impide soportar cargas crecientes una vez agrietada la matriz de concreto.

De los resultados obtenidos también se infiere que volúmenes bajos de fibras, con respecto al volumen de la mezcla aumentaban la resistencia. Es probable que al tener menos cantidad de fibras el efecto desfavorable del sangrado

se reduce, debido a que el agua puede subir por los poros libremente sin formar los depósitos que posteriormente se convierten en pequeños huecos.

También, el utilizar las fibras de tamaño largo permite tener mayor área de contacto con la matriz incrementando la adherencia. Esto explica el tipo de falla por ruptura que presentó la muestra con fibras. Además, aunque la fibra es de tamaño largo al mezclar volúmenes bajos, éstas no tienden a apelmazarse o enmarañarse como sucede con volúmenes mayores.

El comportamiento observado en los ensayos a flexión, fue de mínima deflexión hasta que se alcanzó la máxima carga donde apareció la primera grieta; dichas vigas no sostuvieron la carga, sino que ésta fue disminuyendo rápidamente hasta un punto donde la deflexión se incrementó notablemente.

Al parecer la primera grieta fue incrementando su ancho durante la aplicación de la carga, por lo que se generó un solo plano de falla, como se puede observar en la figura 49 estos resultados posiblemente se deban a que las fibras no es capaz de transmitir por adherencia los esfuerzos de tensión a la matriz no agrietada, no se observa la formación de pequeñas grietas adicionales a la primera.



Figura 49. Viga ensayada según Norma Covenin 342:2004.
Fuente: Propia

En la

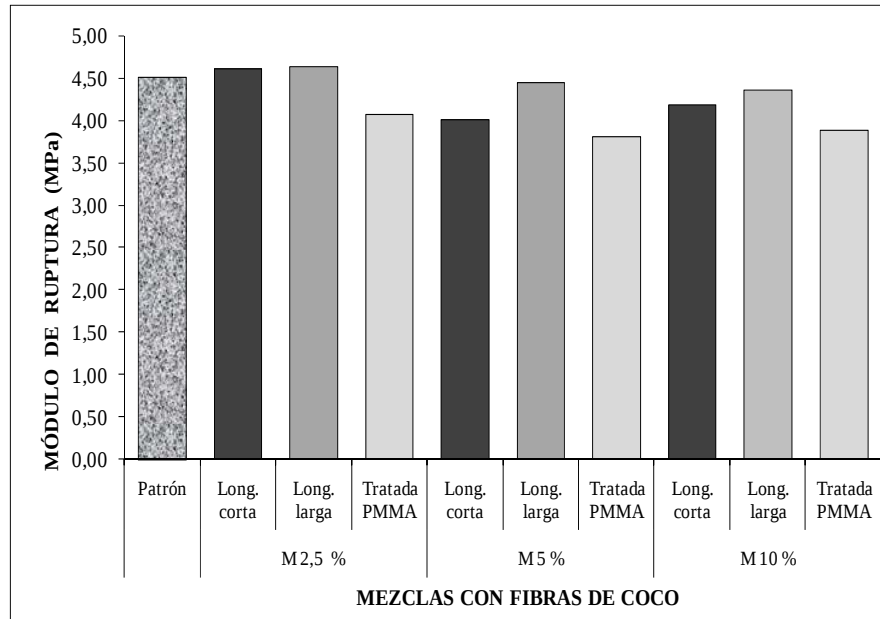


Figura 50 se observa que el módulo de ruptura disminuye ligeramente en la medida que se aumenta la proporción en volumen de las fibras en las mezclas. Los valores más altos 4,8MPa fueron obtenidos para las mezclas de 2,5 % de concentración en volumen de fibras para la distribución de tamaño largo.

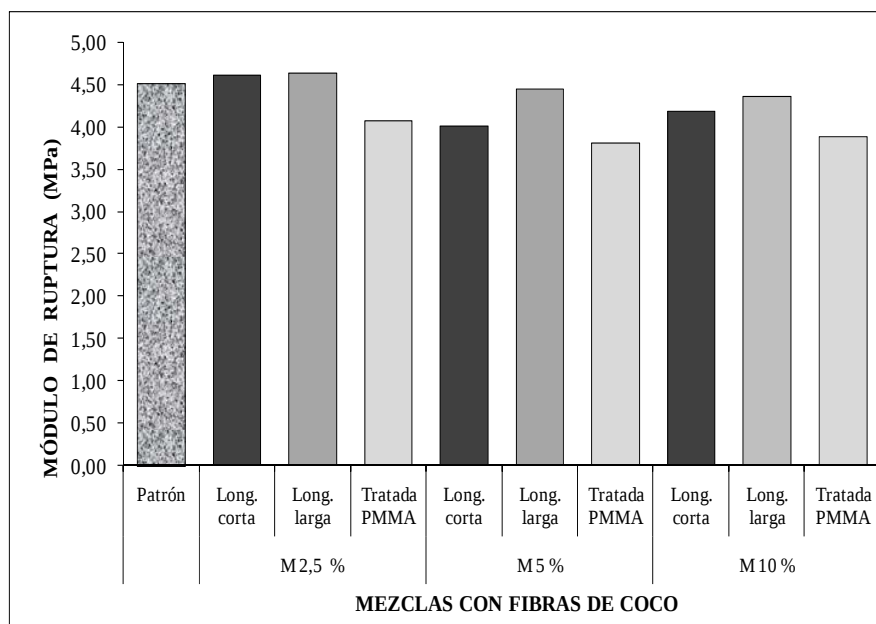


Figura 50. Módulo de ruptura en vigas para las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco sin tratamiento con ambas distribuciones de tamaño y tratadas químicamente con PMMA.

Fuente: Propia

Esto es debido a que las proporciones altas de fibras dificultan el mezclado, no hay una distribución uniforme de las fibras dentro de la matriz cementicia y estas tienden a aglomerarse, apelmazarse o enmarañarse, generando una inadecuada adherencia entre la fibra y la matriz lo que hace que disminuya su resistencia a la flexión.

Del mismo modo que la tensión, la resistencia a flexión disminuyó conforme se incrementó el volumen de fibras. Es posible que las fibras largas exhiban mayor adherencia debido a su longitud.

Las fibras de distribución de tamaño largo tuvieron una mayor adherencia a la matriz cementicia que las de menor distribución de tamaño, esto se confirma al ser examinadas las superficies de falla de los especímenes ensayados, donde se pudo observar que las fibras con distribución de tamaño corto normalmente tuvieron un tipo de falla por desprendimiento, mientras que las fibras con

distribución de tamaño largo presentaron en mayor proporción fallas por fractura, lo que indica una mayor adherencia, las fibras le permiten a las vigas deformarse en forma importante sin colapsarse, tal como se aprecia en la figura 51.



Figura 51. Fracturas de las fibras de coco después de ensayada una viga

Fuente: Propia

Adicionalmente, se evidencia que los módulos de ruptura disminuyen para las fibras tratadas químicamente en todas las proporciones volumétricas al compararse con los obtenidos de las mezclas con las fibras sin tratamiento químico. El módulo de ruptura para las mezclas reforzadas con fibras tratadas químicamente e impregnadas con PMMA y tamaño aleatorio (≤ 4) los valores fueron (2,5; 5 y 10) % de concentración en volumen 4,2; 4,3 y 3,8MPa respectivamente.

Esta disminución posiblemente es debido a la aglomeración de las fibras tratadas al formarse “conglomerados,” es decir, al solidificarse el PMMA después

de efectuado el tratamiento, estos conglomerados fueron observados cuando los especímenes se ensayaron y no hubo una adherencia matriz-fibra, ya que una elevada proporción de las fibras tratadas fallaron por desprendimiento, por lo que se puede decir, que estas fibras no soportaron la carga aplicada.

Sin embargo, (Prasad et al., 1983) demostraron que el uso de las fibras de coco tratadas con álcali mejora las características mecánicas cuando se tratan con soda cáustica al 5% por 72-96 horas, encontrando una mejora en la resistencia a tracción en un (10-15 y 40) % en su módulo respectivamente.

Análisis estadístico

De acuerdo al análisis de varianza

Paravigas reforzadas con fibras de coco sin tratamiento con ambas distribuciones de tamaño corto y largo y aleatorio con tratamiento químico se considera solo la edad de curado de 28 días.

Se determinó el efecto de incorporación de las fibras en las mezclas de concreto al igual que en los cilindros se consideró una mezcla patrón. En este caso se encontró que estadísticamente la mayoría de las mezclas donde se adicionó fibra de coco se comportan como la mezcla patrón.

4.2.11.- Efecto de altas temperaturas en la resistencia a la tracción por flexión de losas reforzadas con fibras de coco sin tratamiento para un tamaño corto según norma Covenin 343:2004 en losas no normalizadas

La resistencia a flexión de losas es también afectada por la variación del volumen y la longitud de las fibras. Se presentó el comportamiento de la resistencia a la tracción por flexión de las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco sin tratar y tratadas a temperatura ambiente y sometida a diferentes temperaturas pruebas al fuego.

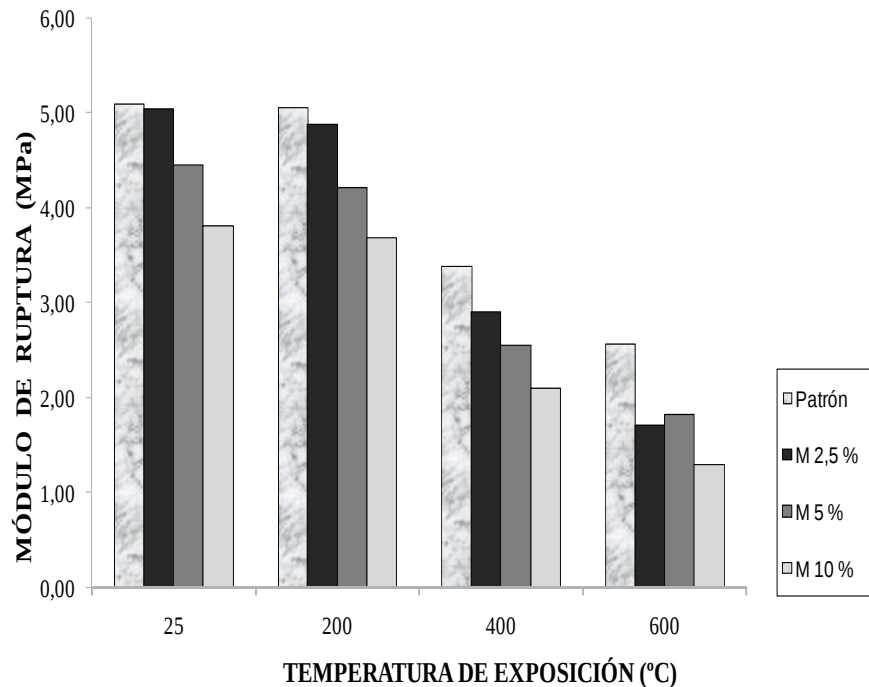


Figura 52. Módulo de Ruptura de las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco de tamaño corto sometidas a diferentes temperaturas para Mezcla patrón y concentración en volumen 2,5; 5 y 10% respectivamente.

Fuente: Propia

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 52 se observa el comportamiento del módulo de ruptura para las losas de la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con las fibras de coco sin tratamiento para la distribución de tamaño corto, el módulo de ruptura desciende cuando la cantidad de fibra en volumen aumenta, viéndose este efecto más pronunciado para el contenido de 10% de fibras de coco, a manera de ejemplo si se compara el módulo de ruptura a 25°C para mezclas de concreto con una proporción de fibras de 2,5 y 10% de concentración en volumen fue 5 y 1,8MPa respectivamente. Esto es debido a que no existe una efectiva adherencia entre las fibras y la matriz cementicia y por eso falla la mezcla reforzada a altas concentraciones, tal como se aprecia en la figura 53.



Figura 53. Fracturas de losas reforzadas con fibras de coco después de ensayada
Fuente: Propia

Por otra parte, no se observaron cambios apreciables en los valores de esta propiedad mecánica, para ninguna de las mezclas en el intervalo de temperatura entre 25 y 200°C. La variación es mínima si se comparan mezclas de concreto con una proporción de fibras de 2,5 y 5% de concentración en volumen fue 5 y 4,8 MPa respectivamente para las temperatura de 25 y 200°C respectivamente. Después de 200°C comienza el descenso en los valores del módulo de ruptura en forma más significativa.

Esto es debido a dos factores: uno que la hemicelulosa de las fibras de coco comienza a descomponerse a partir de 180°C, y el otro que el proceso de descomposición de la celulosa y la lignina presente en las fibras de coco, comienzan a partir de 240 y 280°C respectivamente, indicando que ya a 400°C de exposición se encuentra avanzada la descomposición de estos componentes, los cuales están afectando la disminución del módulo de ruptura.

Cuando la temperatura de exposición es de 600°C, tal como se aprecia en la figura 54 ya se ha degradado toda la lignina, y por lo tanto se han carbonizado las fibras de coco.

Estas fibras carbonizadas dejan espacios huecos en la matriz del hormigón y por lo tanto dan lugar a una disminución mayor del módulo de ruptura, obteniéndose un valor de 1,8MPa para una concentración de 2,5% en concentración de fibras si se compara con la mezcla reforzada a 25°C y una concentración de fibras de 2,5% obteniéndose un valor 5MPa.

Otro factor que tiene este efecto de disminuir los valores del módulo de ruptura de las mezclas, se debe al proceso de calcinación de los componentes del hormigón y a las reacciones internas de los mismos, los cuales pueden expandirse fuertemente con la temperatura en el caso de los agregados, ocasionando tensiones que provocan la disgregación del hormigón.

Los ataques químicos repercuten de manera desfavorable en las propiedades físicas del concreto ocasionando más grietas por lo que su porosidad y permeabilidad aumenta en el concreto acelerando el proceso de deterioro, lo que conlleva una reducción en las propiedades mecánicas a tracción, siendo esta disminución más significativa cuando se incrementa la temperatura por lo que la durabilidad del concreto se ve comprometida. Resultados similares fueron obtenidos por (Juárez et al., 2004).

Aunque los valores del módulo de ruptura de las mezclas con fibras sin tratar de tamaños promedio largo y corto, no presentaron entre sí diferencias muy significativas, se observa ante la inspección visual que al ser examinadas las superficies de falla de las losas ensayadas, se comprueba que las fibras con distribución de tamaño corto normalmente tuvieron un tipo de falla por desprendimiento, mientras que las fibras con distribución de tamaño largo presentaron en mayor proporción fallas por fracturas, lo que podría indicar una mayor adherencia. Este comportamiento, fue independiente de la cantidad de fibras adicionadas.

Las propiedades mecánicas del concreto con fibras a nivel macro, dependen de diversos factores entre los más importantes se puede mencionar la interacción química de la fibra con la matriz alcalina del cemento, la adherencia y el tipo de falla que presenta la fibra después de ensayar al concreto. El principal factor que controla el comportamiento del concreto con fibras, es la adherencia entre la fibra y la matriz de cemento. Sin embargo, la fibra debe ser lo suficientemente resistente para transferir en forma adecuada los esfuerzos a la matriz agrietada, mediante esfuerzos de adherencia (Coutts, 1983).



Figura 54. Losa con fibras de coco después de ser ensayada y expuesta a 600°C.
Fuente: Propia

4.2.12.- Efecto de altas temperaturas en la resistencia a la tracción por flexión de losas reforzadas con fibras de coco sin tratamiento para un tamaño largo según norma Covenin 343:2004 en losas no normalizadas:

La Figura55 muestra el comportamiento del módulo de ruptura para las losas de la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con las fibras de coco sin tratamiento para la distribución de tamaño largo. Se observa que básicamente no hay diferencias en el módulo de ruptura entre las losas ensayadas a 25 y 200°C, es

a partir de dicha temperatura donde el módulo de ruptura disminuye en todas las losas.

El mecanismo de degradación de las fibras de coco para estas pruebas, es el mismo que el que se indicó para las losas de distribución de tamaño corto con la diferencia que se observa una mayor dispersión entre los resultados.

Asimismo, se puede notar una marcada diferencia entre los módulos de ruptura de las losas de la mezcla patrón y las mezclas reforzadas con las fibras al ser expuesta a 600°C, posiblemente al tratarse de fibras de tamaño más largo los espacios vacíos dejados por la carbonización de las fibras son mayores que para las fibras de tamaño corto, por lo que las losas cedieron más fácilmente al ser ensayadas.

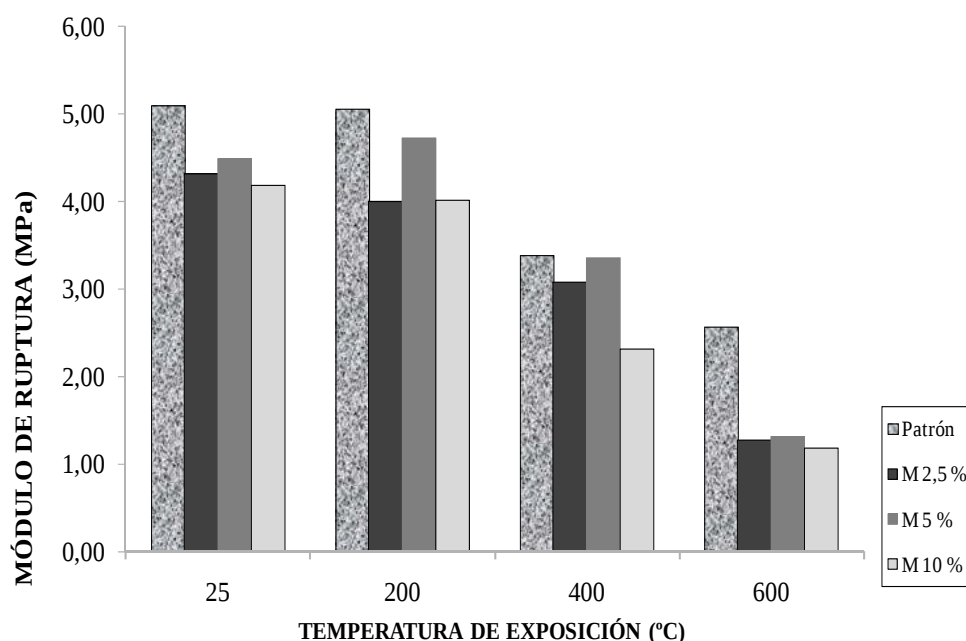


Figura 55. Módulo de Ruptura de las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco de tamaño largo sometidas a altas temperaturas para mezcla patrón concentración en volumen 2,5; 5 y 10 % respectivamente.

Fuente: Propia

Por otra parte la calcinación del concreto debido a la exposición de altas temperaturas y por las reacciones internas de sus componentes, los cuales pueden

expandirse fuertemente (principalmente en el caso de los agregados), ocasionando tensiones que provocan la disgregación del concreto, causando la disminución de la resistencia a la flexión.

4.2.13.- Efecto de altas temperaturas en la resistencia a la tracción por flexión de losas reforzadas con fibras de coco tratadas para un tamaño distribución aleatorio (corto) según norma Covenin 343:2004 en losas no normalizadas:

La figura 56 muestra el caso de las mezclas de hormigón con fibras tratadas y tamaño distribución aleatorio ($\leq 4\text{cm}$), se evidencia que no hay diferencia en el módulo de ruptura entre 25 y 400°C.

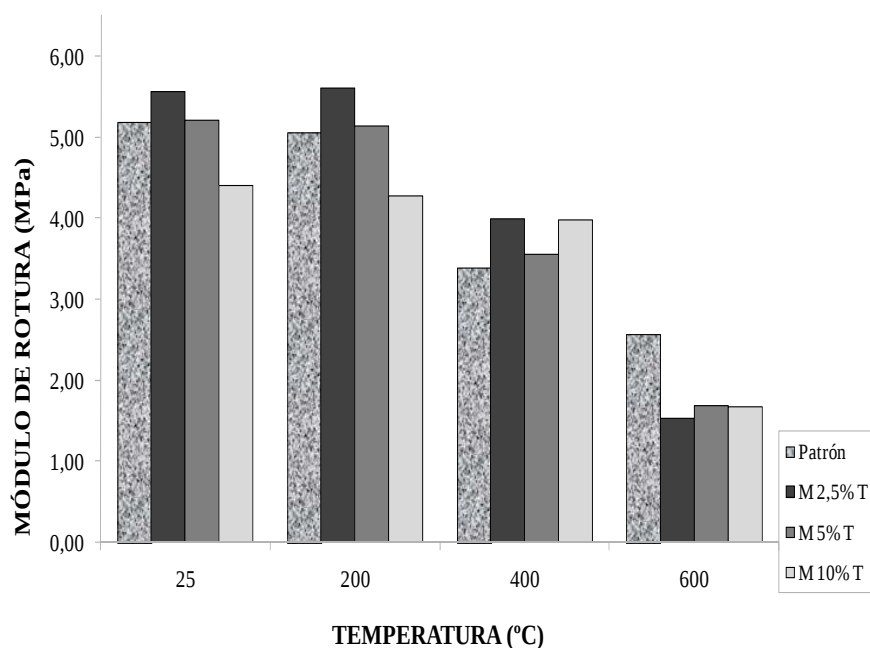


Figura 56. Módulo de Ruptura de las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco tratadas químicamente sometidas a diferentes temperaturas para mezcla patrón, concentración en volumen 2,5; 5 y 10 % respectivamente.

Fuente: Propia

Esto implica que el PMMA protege a las fibras de coco de la descomposición térmica de la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Solo a 600°C

el módulo disminuye notablemente estando en un rango (1,5-2,0) MPa; esto es debido a que al degradarse el PMMA, comienza la descomposición térmica de los componentes de las fibras de coco, y por lo tanto, perdiéndose la función protectora del PMMA, coincidiendo con los resultados de (Kang et al., 2008) conllevando a que disminuya la resistencia a la tracción.

En términos generales, se pudo observar que para cada temperatura de exposición, tal como se aprecia en la figura 57 se muestra que a la temperatura de 400°C las losas reforzadas con fibras de coco comienzan a cambiar su coloración de gris a marrón indicando degradación de las fibras, provocando menor adherencia por lo tanto la resistencia disminuye.



Figura 57. Losas sometidas a altas temperaturas, para las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco tratadas químicamente.

Fuente: Propia

Asimismo se muestra que a la temperatura de 400°C las losas reforzadas con fibras de coco comienzan a cambiar su coloración de gris a marrón indicando

degradación de las fibras, por lo tanto habrá menor adherencia y la resistencia disminuye

Análisis estadístico para losas reforzadas con fibras de coco expuestas a distintas temperaturas

Se cumplen los supuestos del análisis de varianza (normalidad y homogeneidad). Se estudió únicamente el efecto de las fibras de coco cuando la losa es expuesta a distinta temperatura, encontrándose que no existe estadísticamente una diferencia significativa entre las mezclas preparadas a distintas concentraciones ya que todas las losas presentan una baja resistencia.

4.2.14.- Efecto de los ciclos de calor y humedad en la resistencia a la tracción por flexión aplicados en losas.

La variación de humedad produce contracción y expansión en el concreto originando agrietamientos, lo que permite el paso de la humedad y, por consiguiente, provoca el deterioro en las fibras sin tratamiento, además, del ataque alcalino causan la fragilización de la fibra perdiendo de esta manera su capacidad de refuerzo. Los resultados de la resistencia a tensión y flexión indican que el PMMA, puede evitar la absorción de agua en las fibras y reducir los cambios volumétricos de ésta.

Asimismo, es característico el cambio de color en las fibras, producto de la hidrólisis alcalina. En los concretos sometidos a ciclos de humedad y temperatura se puede observar la pérdida de adherencia de la fibra con la matriz alrededor de ella. Ocasionalmente una considerable reducción en la resistencia mecánica del concreto.

Para las fibras que fueron sometidas a ciclos de humedecimiento y secado, también pueden ser observadas pequeñas separaciones entre la fibra y la matriz circundante debido posiblemente a la contracción de la matriz y las fibras, inducida durante los ciclos. Esto sugiere que la fibra pudo perder su resistencia

debido al deterioro físico por los cambios volumétricos que sufrió y, consecuentemente, se traduce en una reducción considerable de la resistencia y tenacidad del concreto.

Los especímenes sin fibras presentaron una falla frágil con mínima deflexión. Sin embargo, la falla en los especímenes con fibras fue dúctil y tuvieron la capacidad de soportar carga después del agrietamiento, (Gram, 1998b). El comportamiento observado de los especímenes durante el ensayo a flexión, fue de mínima deflexión hasta que se alcanza la carga máxima donde aparece la primera grieta posteriormente, el espécimen no es capaz de sostener la carga la cual disminuye rápidamente. En ese punto la carga es sostenida y va disminuyendo paulatinamente, mientras que la deflexión de la grieta se incrementa.

Al realizar una inspección visual, no se observa la formación de pequeñas grietas adicionales a la primera. Al aparecer la primera grieta, ésta fue incrementando su ancho durante la aplicación de la carga por lo que únicamente se genera un solo plano de falla. Esto posiblemente se deba a que las fibras fallaron por extracción y no por ruptura, lo que sugiere que los esfuerzos no se transfieren adecuadamente entre la fibra y la matriz.

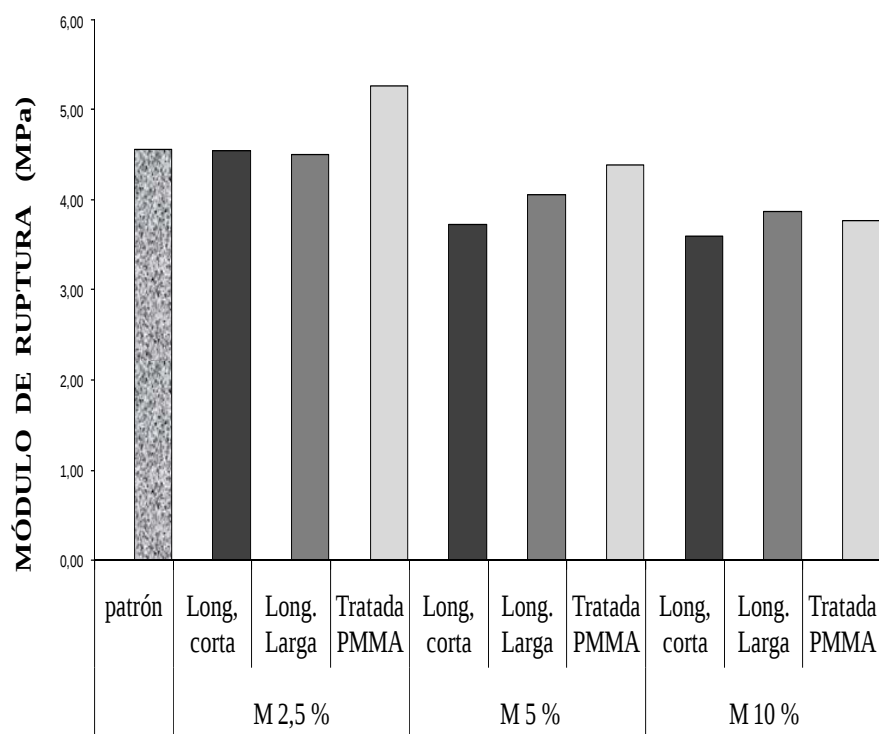


Figura 58. Módulo de Ruptura de las mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco con y sin tratamiento sometidas a ciclos de calor y humedad.

Fuente: Propia

Los efectos de los ciclos de calor y humedad en las losas de la mezcla patrón y las reforzadas con las fibras de coco con y sin tratamiento, se observaron en la Figura 58. El módulo de ruptura disminuyó en la medida que el porcentaje volumétrico de las fibras aumentaba en las losas.

Solo para las fibras tratadas con PMMA para una concentración 2,5% de fibras se obtuvo un valor de 5,3MPa este valor fue superior al de la mezcla patrón siendo 4,6MPa. Esta disminución se debió a la poca adherencia entre las fibras y la matriz de concreto. Este comportamiento indica que el tratamiento químico con el PMMA protege a las fibras de los cambios bruscos de temperatura y humedad a las que fueron expuestas durante los ciclos de humedecimiento y

calor, lo que permite concluir que este polímero resiste a la intemperie y al envejecimiento térmico.

Realizando una observación directa a las losas, se analiza el cambio de color, porosidad y fisuras que presentaron en su superficie, una vez expuestas a las diferentes temperaturas; lo cual pudo ocasionar una disminución en las propiedades físicas, química y mecánica del concreto.

En la losa sometida a 200°C, se observa que al compararla con la losa de la misma mezcla sin exposición al fuego, no se evidenciaron cambios en la morfología superficial de las mismas, ya que son prácticamente iguales respecto al color gris característico de las mezclas de concreto en su forma tradicional. Este comportamiento se observa en todas las losas de cada una de las mezclas que fueron sometidas a esta temperatura.

Cuando la exposición fue a 400°C la superficie de la losa está más deteriorada respecto a la losa sin exposición al fuego, ya que presenta un color marrón el cual se debe a las reacciones químicas entre el óxido férrico con la caliza que forman parte de la mezcla de concreto.

En la inspección visual, para esta temperatura, también se evidencia que el PMMA, se fundió fluyendo a la superficie de las losas a través de las grietas; al enfriarse las losas volvió a su estado sólido quedando expuestas en las superficies de las mismas. Aunque las mezclas de concretos no son buenas conductoras del calor, para esta temperatura de exposición de las losas alcanzaron en su interior temperaturas superiores a la temperatura de fusión del PMMA.

Cuando la temperatura de exposición fue de 600°C se evidencia un notable cambio en la morfología de dichas losas presentando un color negro característico de materiales degradados.

La diferencia extrema de temperaturas entre la temperatura exterior e interior en un miembro estructural de concreto ocasiona fisuración superficial.

Cuando la superficie externa se enfría y tiende a contraerse, se originan esfuerzos de tracción y compresión en las caras opuestas que dan lugar a la

formación de grietas, las cuales se acentúan por efecto de la contracción y la dilatación (Fracelli, 1996).

De acuerdo con lo anterior, se puede decir, que las variaciones en la humedad, temperatura y el ataque químico son las principales causas del deterioro del concreto reforzado con fibras. De allí la importancia de la protección de las fibras antes de ser expuestas al ataque alcalino propio de las mezclas de concreto. Sin embargo, (Juárez et al., 2004) aseguraron que los concretos con ceniza volante reforzados con fibras tratadas con parafina resultaron con la mejor resistencia a la flexión tanto en los ciclos de humedecimiento y secado, como al ataque químico producido por los cloruros y los sulfatos, ya que al reducir las relaciones agua/cementante los concretos con ceniza volante fueron más densos e impermeables. Esto viene a confirmar la importancia de la permeabilidad del concreto en lo referente a su durabilidad.

4.2.15.- Análisis termogravimétrico de las fibras de coco expuesta a la matriz de cemento

Se analizaron las fibras de coco, con y sin tratamiento químico para las distintas proporciones y edades de curado extraídas de los cilindros ensayados. A estas se les determinó el porcentaje en pérdida del agua y de los componentes principales de la fibra, así como, la degradación del PMMA en la fibra tratada. También dicho análisis sirvió para determinar la energía de activación de las fibras como se explicará más adelante.

En la figura 59 se muestra la curva del TGA y DTG de las fibras de coco sin tratamiento al 10 % con la distribución de tamaño corto a los 60 días de curado, representada por la curva de color gris.

Se muestra claramente dos etapas de pérdida de masa; la primera consiste en la vaporización del agua que se encuentra en la fibra eliminándose el 10,5 % de la masa total, la segunda etapa consiste en la degradación simultánea de la

hemicelulosa, la celulosa y parte de la lignina, concordando con (Mohan et al., 2006), representando una pérdida del 72,1 % de la masa total.

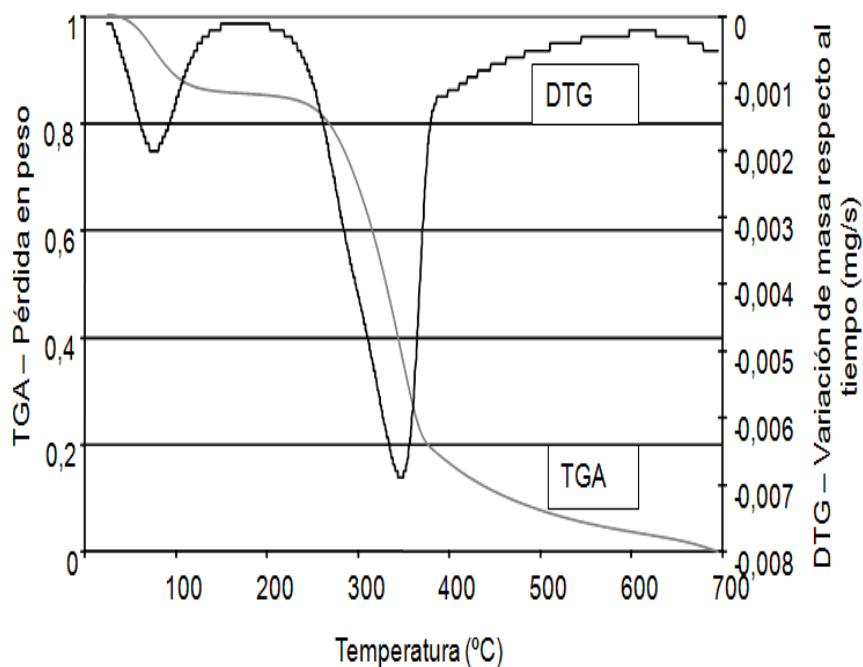


Figura59. Curvas TGA y DTG para las fibras de coco sin tratamiento al 10% de distribución de tamaño corto.

Fuente: Propia

Asimismo, se observa la curva del DTG, representada por la curva de color negro; en la que se distinguen dos picos de máxima velocidad en la pérdida de masa, el primero se encuentra alrededor de 81°C que representa la temperatura donde se vaporizó el agua con mayor rapidez, el segundo pico se encuentra cerca de 347°C indicando la temperatura donde la fibra se degradó con mayor rapidez.

Se observa en la figura 59 y 60 que la pérdida de peso por vaporización del agua de la fibra sin tratamiento para todas las mezclas y todas las edades, estuvo comprendido entre 7,6 y 10,5 %, así como la pérdida en peso por la degradación de la fibra se encontró entre 54 y 72,1 %.

En el análisis de las curvas de DTG, las temperaturas de mayor vaporización del agua estuvieron entre 76,1 y 82°C, para las de mayor degradación de la fibra se encontraron entre 316 y 354°C.

En la figura 60 se muestra la curva de TGA de la fibra de coco tratada al 10 % a los 60 días de curado. La curva del TGA muestra claramente dos etapas de pérdida de masa y una tercera etapa menos visible; la primera consiste en la vaporización del agua que se encuentra en la fibra eliminándose el 10,3 % de la masa total, la segunda etapa consiste en la degradación simultánea de la hemicelulosa, la celulosa, la lignina y la tercera etapa la degradación del PMMA representando ambas etapas una pérdida del 71,4 % de la masa total.

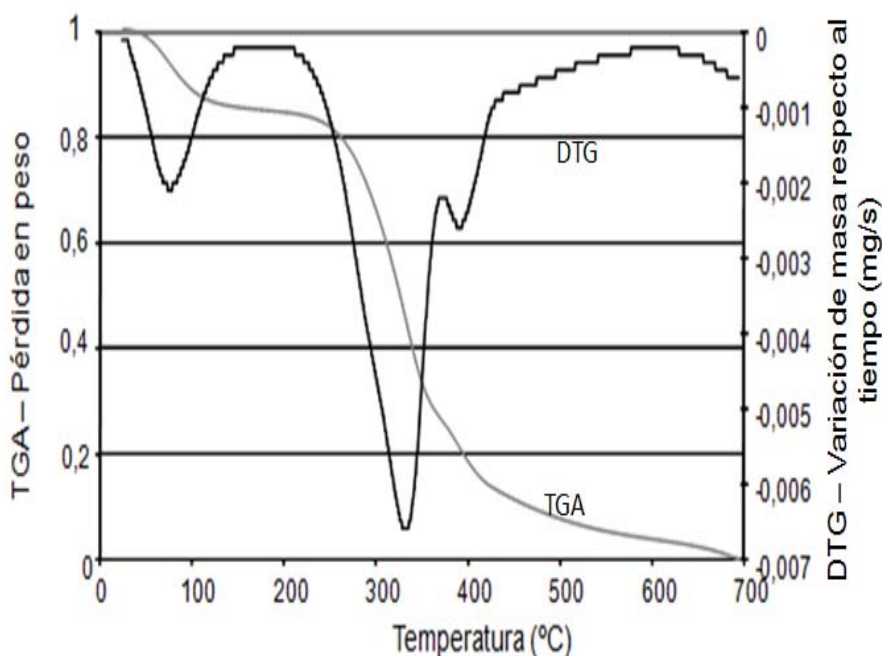


Figura 60. Curva TGA y DTG para las fibras de coco tratada químicamente al 10%.

Fuente: Propia

El PMMA a una temperatura cercana a los 400°C se degrada a su monómero el Metil metacrilato (Kang et al., 2008).

También se evidencia en la curva de DTG, tres picos de máxima pérdida de masa, el primero se encuentra alrededor de 75°C para la vaporización del agua, el segundo pico se encuentra cerca de 331°C representando la degradación simultánea de los componentes principales de las fibras, por último el tercer pico en 394°C indica la degradación del PMMA.

4.2.16.- Parámetros cinéticos del proceso degradativo de la fibra de coco expuesta a la matriz de cemento.

El objetivo de este análisis es evaluar los parámetros cinéticos siguiendo el proceso de degradación de la fibra de coco en el concreto y de esta forma entender su mecanismo de descomposición y su relación con la data obtenida.

En la Figura 61 se presentan las energías de activación globales para la fibra de coco sin tratamiento al 10 % en volumen para los 7, 14, 28, 60 y 128 días de curado, tomadas de los cilindros ensayados.

Se pudo notar como disminuye la energía de activación de las fibras de 122kJ/mol en la medida que transcurren los días de curado, ya que la exposición de las fibras dentro de la matriz cementicia permite que ocurran reacciones y ocasione una pequeña pérdida de masa, correspondiente a la evaporación de la humedad presente en los materiales, así como a la descomposición de compuestos de bajo peso molecular remanentes de los procedimientos de extracción.

La alta alcalinidad de la pasta del cemento afecta las fibras lignocelulósicas, deteriorándolas con el paso del tiempo.

Esto ocurre por la degradación que sufren las fibras naturales, debido al ataque químico que con el tiempo produce el agua alcalinizada por los elementos alcalinos, como el hidróxido de calcio contenido en el cemento.

Se puede decir, que el proceso degradativo de la fibra comienza desde su superficie, donde el álcali del cemento va atacando las células más externas de la fibra hasta las más internas, en el cual su efecto será notablemente perjudicial en el comportamiento de la fibra.

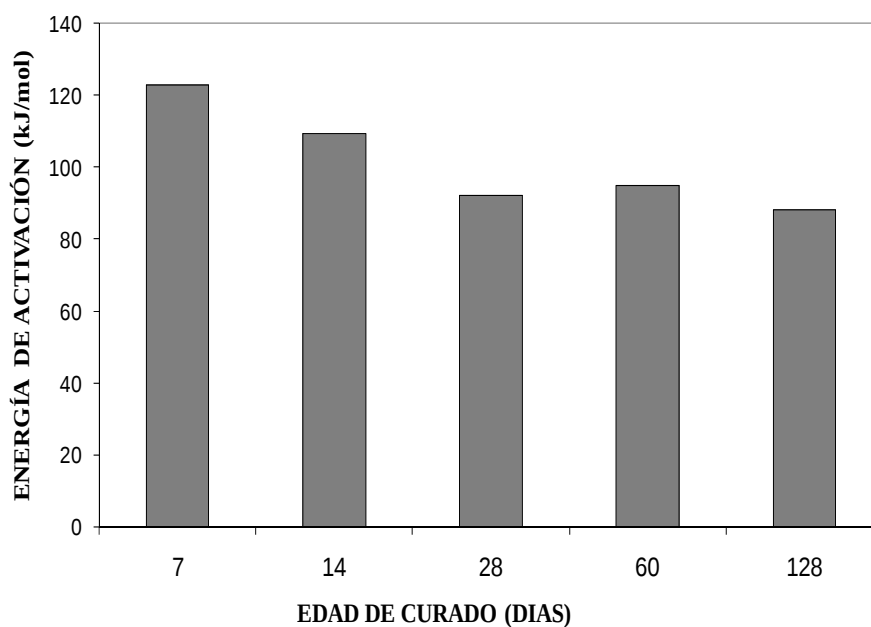


Figura 61. Energía de activación de las fibras de coco sin tratamiento al 10 % en volumen para los distintos días de curado.

Fuente: Propia

A continuación en la tabla 17 se presentan los parámetros cinéticos de las fibras al 10 % de tamaño corta para los distintos días de curado:

Tabla 17. Parámetros cinéticos de las fibras sin tratamiento al 10 % en volumen

Días de curado	Ea (kJ/mol)	A (min ⁻¹)	Orden de Reacción
7	122, 2	$2,5 \cdot 10^{11}$	1
14	109, 3	$1,7 \cdot 10^{10}$	1
28	92, 2	$8,0 \cdot 10^8$	1
60	95, 0	$4,1 \cdot 10^9$	1
128	88, 2	$3,4 \cdot 10^8$	1

Fuente: Propia

En la figura 62 se tienen las energías de activación globales del proceso de descomposición de las fibras de coco sin tratamiento químico, con ambas

distribuciones de tamaño a los 128 días de curado, donde se presenta la mayor degradación de la fibra extraída de los cilindros ensayados.

Dichas energías de activación estuvieron en un rango entre 71,9 y 95 kJ/mol para la fibra de distribución de tamaño corta y entre 91,1 y 103,9 kJ/mol para las de tamaño largo, estando estos valores por debajo de los reportados por (Yao et al., 2008), para distintas fibras naturales ubicados entre 146 y 176,2 kJ/mol.

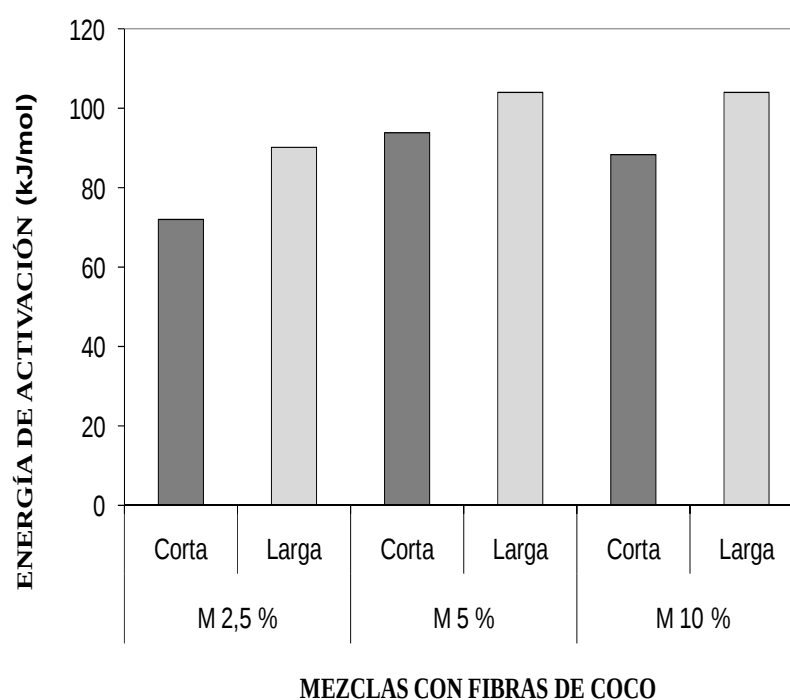


Figura 62. Energía de activación de las fibras de coco sin tratamiento para las distintas proporciones y ambas distribuciones de tamaño a los 128 días.

Fuente: Propia

Cuando el concreto reforzado con fibras de coco al 10 % de concentración en volumen sin tratamiento estuvieron expuestas a los 128 días de curado, la energía de activación fue 88,2 kJ/mol, reportándose el valor más bajo cuando es comparado con mezclas reforzadas expuesta a los 7 y 14 días con sus valores 122,2 y 109,3 kJ/mol respectivamente. Es evidente que las fibras se degradaron

este resultado era de esperarse, ya que el medio alcalino al que estuvieron sometidas las fibras deterioró partes de sus componentes y otro factor importante es que las fibras no estaban recubierta con un agente protector, resultados que concuerdan con lo que reportaron, (Juárez et al., 2004; Quintero y González, 2006), a otras edades de curado.

Tabla 18. Parámetros cinéticos de las fibras sin tratamiento a distintas proporciones y ambas distribuciones de tamaño a los 128 días de curado.

Mezclas (% Vol)	Tamaño de fibra	Ea (KJ/mol)	A (min^{-1})	Orden de Reacción
M 2.5	Corta	71,9	$7,5 \cdot 10^6$	1
	Larga	90,1	$5,0 \cdot 10^8$	1
M 5	Corta	93,7	$9,6 \cdot 10^8$	1
	Larga	103,9	$5,7 \cdot 10^9$	1
M 10	Corta	88,2	$3,4 \cdot 10^8$	1
	Larga	103,9	$9,6 \cdot 10^9$	1

Fuente: Propia

También se puede observar en la tabla 18 y de manera gráfica en las figuras 63a y 63b que las energías de activación globales para las fibras de distribución de tamaño corto son menores que las de tamaño largo, para una misma proporción en volumen. Esto indica que las fibras de tamaño corta sufrieron una mayor degradación durante su permanencia en la matriz cementicia, posiblemente por tener en promedio una menor masa que las fibras largas.

En términos de proporción se vieron más afectadas ante el medio agresivo en el que estaban inmersas.

En su trabajo de investigación (Juárez et al., 2004), obtuvieron mejores resultados en la resistencia a la flexión por tracción para la fibra de tamaño larga que para la corta.

Al sufrir la fibra un proceso degradativo, sus propiedades mecánicas tales como resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción por flexión se ven afectadas, comprometiendo de esta forma el desempeño del concreto.

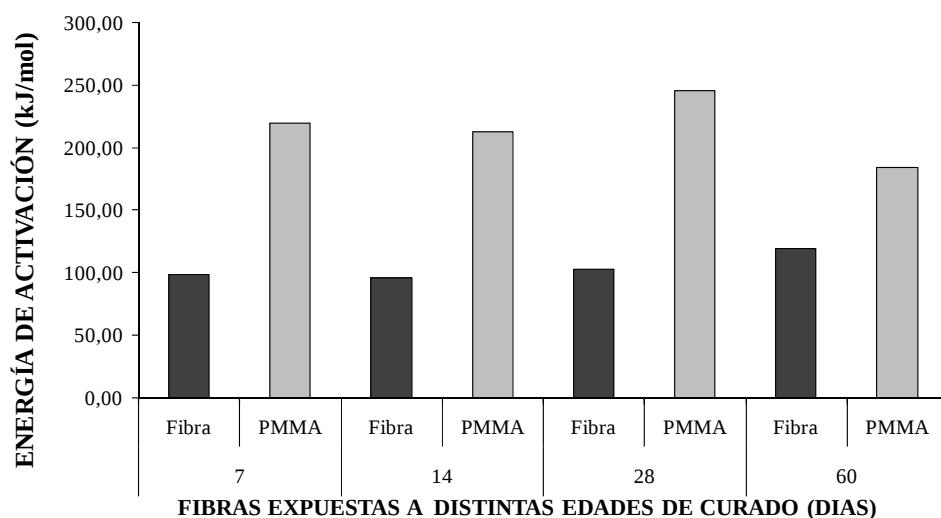


Figura 63a. Energía de activación de las fibras de coco tratadas químicamente al 2,5 % en volumen para los distintos días de curado.

Fuente: Propia

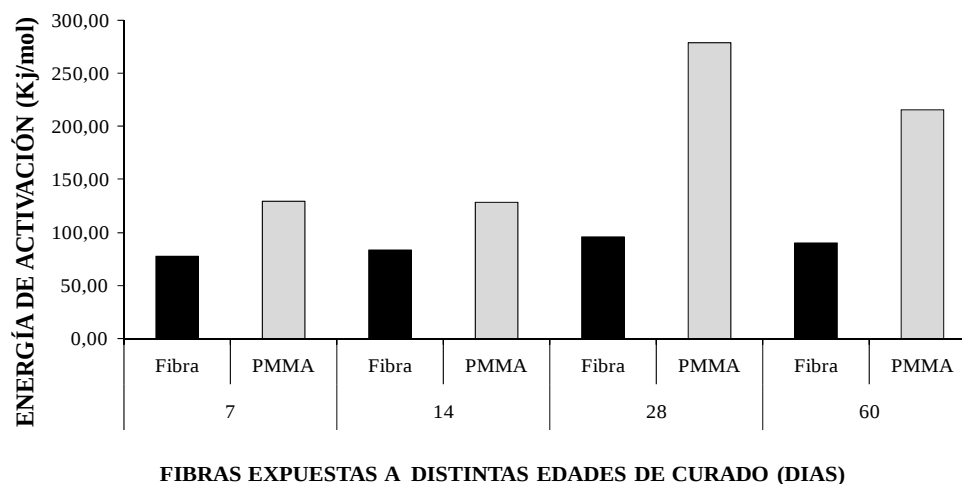


Figura 63b. Energía de activación de las fibras de coco tratadas químicamente al 5 % en volumen para los distintos días de curado.

Fuente: Propia

En la figura 63c se muestran las energías de activación globales para las fibras de coco tratadas químicamente al 10% en volumen para los 7, 14, 28 y 60 días de curado extraída de los cilindros ensayados. Se pueden observar dos energías de activación para cada edad de curado esto es debido a los procesos de degradación de la fibra tratada y del PMMA.

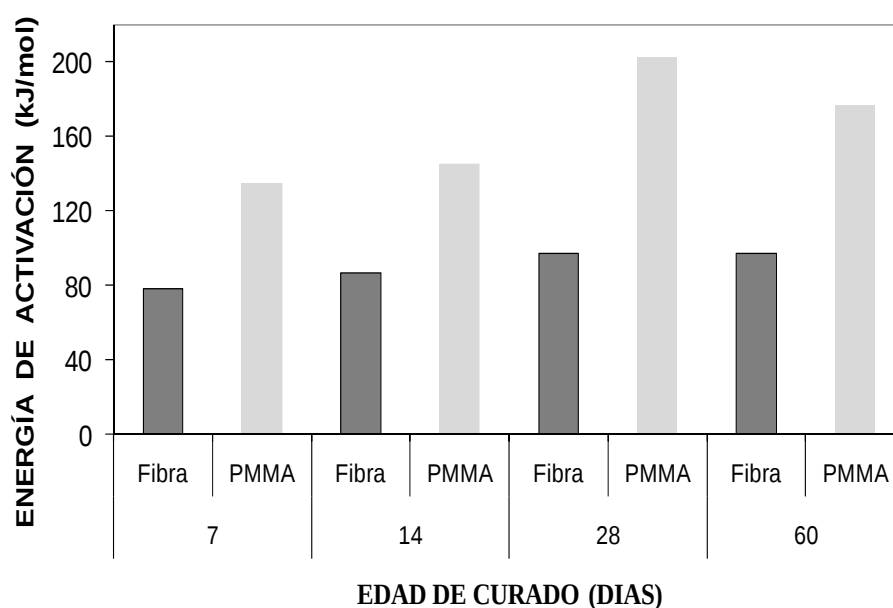


Figura 63c. Energía de activación de las fibras de coco tratadas químicamente al 10 % en volumen para los distintos días de curado.

Fuente: Propia

Para las fibras de coco tratadas dichas energía estuvieron entre 77,8 y 108,5 kJ/mol y para el PMMA entre 134,6 y 202,7 kJ/mol. En sus trabajos de investigación (Ferriol et al., 2003) reportan valores cercanos a 200 kJ/mol en la energía de activación del PMMA, mientras que (Kang et al. 2008) obtienen valores entre 118 y 206,3 kJ/mol, esto indica que el PMMA no sufrió degradación mientras se encontraba expuesto en la matriz cementicia.

Sin embargo, se evidencia a los 60 días de curado una disminución en la energía de activación de 177kJ/mol, posiblemente se debió a la heterogeneidad de las fibras tratadas ya que no todas fueron impregnadas de la misma forma con el PMMA durante el tratamiento químico. Asimismo, se puede observar en la misma figura que no hay una disminución de la energía de activación de las fibras tratadas en la medida que paso el tiempo, lo que indica que esta fue protegida por el PMMA del ataque alcalino, cumpliendo de esta forma con su función protectora.

La siguiente Tabla 19 muestra los parámetros cinéticos de la fibra tratada a distintas edades de curado.

Tabla 19. Parámetros cinéticos de la fibra tratada químicamente al 10 % en volumen, donde 1: Fibra de coco, 2: PMMA

Días de curado	Ea 1 (KJ/mol)	A1 (min ⁻¹)	Orden de Reacción 1	Ea 2 (KJ/mol)	A2 (min ⁻¹)	Orden de Reacción 2
7	77,8	$2,8 \cdot 10^7$	1	134,6	$3,7 \cdot 10^{11}$	1
14	86,4	$1,2 \cdot 10^8$	1	145	$5,8 \cdot 10^{13}$	1
28	96,9	$1,9 \cdot 10^9$	1	203	$1,3 \cdot 10^{17}$	1
60	108,5	$2,4 \cdot 10^9$	1	177	$1,12 \cdot 10^{15}$	1

Fuente: Propia

4.2.17.- Ensayos no destructivos

A continuación se presentan los resultados de los ensayos no destructivos con sus pertenecientes análisis.

Entre estos ensayos se realizaron: Determinación del efecto de la incorporación de las fibras de coco en el peso de los cilindros, morfología en losas sometidas a altas temperaturas y efecto de altas temperaturas en la pérdida de agua en losas.

4.2.18.- Efecto de la incorporación de las fibras de coco en el peso de los cilindros

Los pesos de los cilindros de concreto en condición de saturación con superficie seca no varían significativamente con la edad de curado.

En la figura 64 se observa que los pesos de las mezclas de concreto al agregar fibras de coco disminuyen respecto a la mezcla patrón a medida que se incrementa el porcentaje de fibras añadidas, tal como lo indica la línea de tendencia.

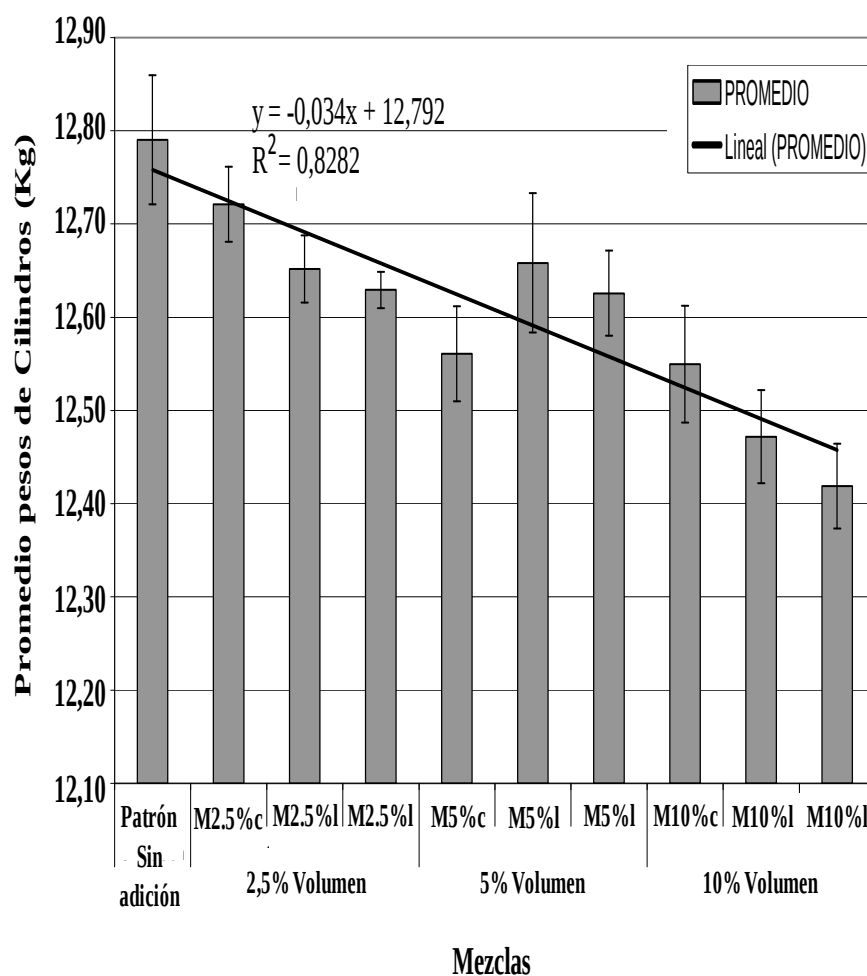


Figura 64. Pesos promedio de cilindros con fibras de coco

Fuente: Propia

Este comportamiento se cumple tanto para las fibras sin tratar en su distribución corta y larga, como para la distribución aleatoria de las fibras tratada. Sin embargo, el porcentaje de disminución del peso respecto al patrón es menor a 2,90 % y no se observan variaciones significancia, tal como se aprecia en la tabla 20.

Tabla 20. Desviaciones de peso respecto al patrón

Mezclas	Desviación de peso respecto al patrón
M2.5%c	0.54
M2.5%l	1.08
M2.5%t	1.26
M5%c	1.79
M5%l	1.03
M5%t	1.29
M10%c	1.88
M10%l	2.49
M10%t	2.90

Fuente: Propia

Los valores bajos se presentan para las adiciones de 10 % en volumen, mientras que para el 2,5 % en volumen de las fibras de tamaño corto, es de 0,54 %. Estos porcentajes bajos si se comparan con el peso respecto a la mezcla patrón se deben a que la sustitución de las fibras se efectuó en función de la cantidad de agregado fino presente en el concreto siendo entre el 37,5 y 38% del peso de la mezcla total, resultados que concuerdan con (Quintero y González, 2006) ellos no encontraron variaciones significativas en los pesos específicos de los cilindros reforzados con volúmenes de fibras de coco de 0,5 y 1,5 % en volumen para longitudes de 2 y 5 cm.

4.2.19.- Morfología superficial en losas sometidas a altas temperaturas

En la inspección visual de las losas, se tomó en cuenta el cambio que presentaron las losas en su superficie, al sacarlas del horno una vez expuestas a las altas temperaturas.



Figura 65. Losas reforzadas con fibras de coco sometidas a las altas temperaturas
Fuente: Propia

En la figura 65 se pueden observar que para las losas de las mezclas reforzadas con fibra de coco tratadas químicamente al 10 % en volumen, sometidas a 200°C, al ser comparadas con su correspondiente losa control (sin exposición de temperatura), no se evidenció cambios en la morfología superficial de las mismas, ya que a simple vista se puede apreciar que son prácticamente iguales respecto al color gris característico del concreto, este resultado concuerda con (Fernández, 1977).

Este comportamiento se observó en todas las losas de cada una de las mezclas que fueron sometidas a esta temperatura.

Para las losas de las diferentes mezclas reforzadas con fibra de coco tratadas químicamente expuestas a la temperatura de 400°C sí se manifiestan

cambios en la morfología su superficie está más deteriorada respecto a la losa control y su color es marrón.

Esto se debió al desarrollo de reacciones químicas entre los materiales que componen el concreto debido a la presencia del calor. Este cambio de color se debe a la reacción del óxido férrico con la caliza.

Para esta temperatura se evidenció que el PMMA se fundió fluyendo a la superficie de las losas a través de las grietas, al enfriarse las losas volvió a su estado sólido cubriendo ciertas zonas de las superficies de dichas losas, como se puede observar en la figura 65.

Aunque el concreto no es un buen conductor del calor, para esta temperatura de exposición las losas alcanzan en su interior temperaturas superiores a los 180°C, que es la temperatura en la cual el PMMA se convierte en un líquido viscoso.

Para las losas reforzadas con fibras de coco tratadas químicamente expuestas a la temperatura de 600°C se evidenció un notable cambio en la morfología de dichas losas, como se puede notar en la Figura 66 estas presentaron un color negro característico de material degradado, efectivamente a esta temperatura las fibras se habían degradado por completo, incluyendo una gran parte las que se encontraban en el interior de las losas, al igual que el PMMA.



Figura 66. Losa reforzada con fibras de coco tratadas químicamente al 10 % en volumen sometida a 400°C.

Fuente: Propia

4.2.20.- Efecto de las altas temperaturas en la pérdida de agua en las losas.

Pese a las numerosas ventajas que poseen las fibras naturales como sistema de refuerzo en comparación con las fibras sintéticas, cabe destacar un inconveniente principal, las fibras naturales son altamente hidrófilas.

La presencia de grupos hidroxilos y grupos con oxígeno presentes en su formulación atraen a las moléculas de agua estableciéndose puentes de hidrogeno.

El estudio de la absorción de agua en las mezclas reforzadas con fibras naturales, la evaluación de los mecanismos de absorción y de los niveles de saturación máxima son factores fundamentales a tener en cuenta para el diseño de las mezclas y la determinación de su ciclo de vida.

Las mezclas de concreto reforzados con fibras naturales sometidos a atmósferas de alta humedad a menudo absorben agua afectando negativamente a las propiedades mecánicas, térmicas, dieléctricas y de barrera.

El tiempo de saturación disminuye en función del contenido en celulosa. Mientras que la capacidad de absorción hasta saturación aumenta en función del

contenido de hemicelulosa, que es el componente más hidrofílico de las fibras naturales.

En la Figura 67 se representa el porcentaje de pérdida de agua respecto al peso total en las losas de la mezcla patrón y las reforzadas con la fibra sin tratamiento químico (2,5; 5 y 10) % con la distribución de tamaño corto a los 28 días de curado, se observó el efecto de las altas temperaturas a las cuales fueron sometidas dichas losas (100, 200, 400 y 600) °C.

Para los 100 y 200°C la pérdida en agua fue básicamente la misma estando en un rango de 4 a 7,2 %, esta agua evaporada consiste en el agua capilar situado en los macroporos de las losas como lo indica (Rodríguez, 1994), así como, el agua capilar contenida en la fibra de coco.

Para la temperatura de exposición a 400°C la pérdida en agua estuvo entre 6 y 7,9 %, tratándose del agua de gel que ha sido evaporada ubicada en los microporos de la pasta de cemento, una vez se ha evaporado el agua capilar la siguiente en ser evaporada es el agua de gel.

Para la temperatura de exposición a 600°C la pérdida en agua estuvo entre 7,2 y 9,3 %, esta se puede tratar de agua zeolítica ubicada entre los extractos microcristalinos y en los intersticios de la pasta de cemento, ya que para su extracción es necesario un secado muy intenso.

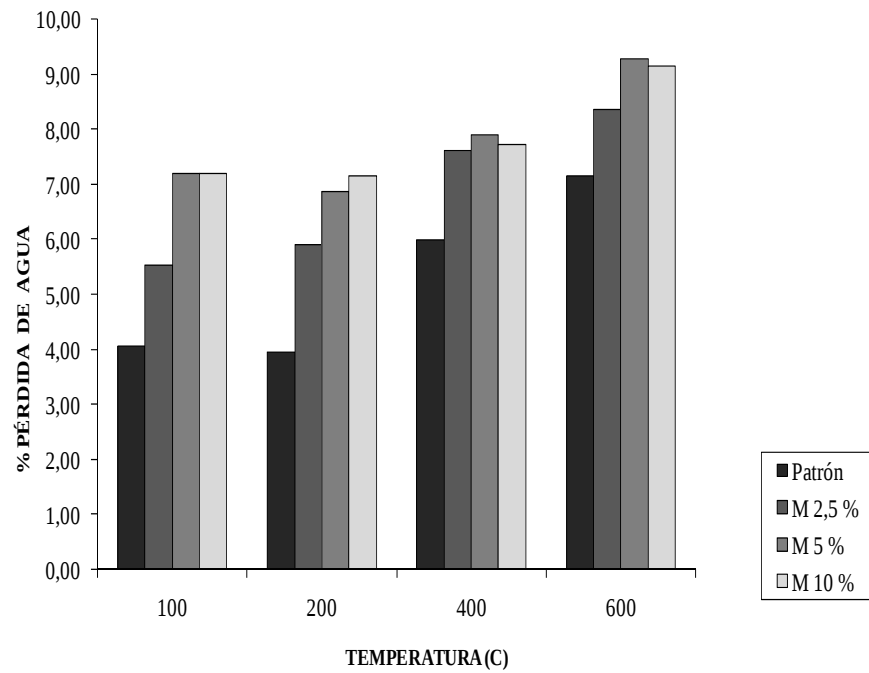


Figura 67. Pérdida de agua en las mezclas reforzadas con fibra de coco sin tratamiento con distribución de tamaño corto sometidas a las diferentes temperaturas de exposición.

Fuente: Propia

En

la

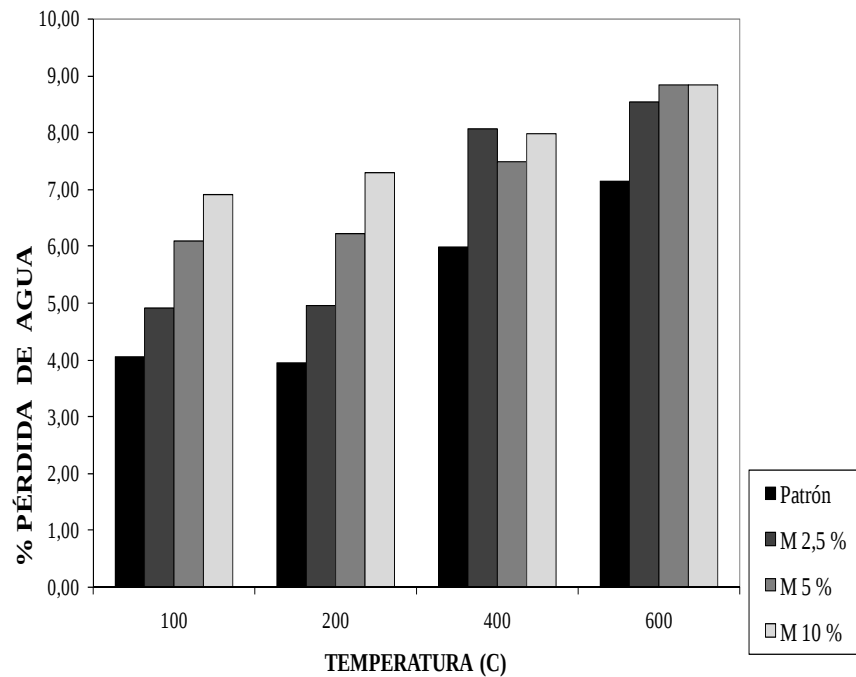


Figura68 se representa el porcentaje de pérdida de agua respecto al peso total en las losas de la mezcla patrón y las reforzadas con la fibra sin tratamiento químico a las distintas proporciones en volumen, con la distribución de tamaño largo a los 28 días de curado sometido a altas temperaturas.

Para los 100 y 200°C el agua capilar evaporada estuvo en un rango de 4 a 7,3%. Para la temperatura de exposición de 400°C la pérdida en agua de gel estuvo entre 6 y 8,1 % y para los 600°C la pérdida en agua estuvo entre 7,2 y 8,8 %.

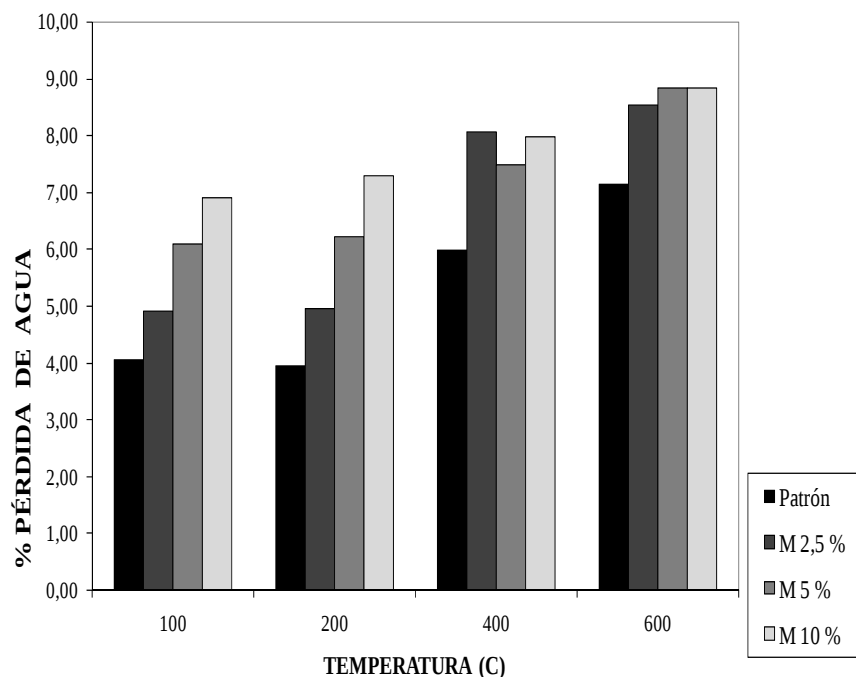


Figura 68. Pérdida de agua en losas reforzadas con fibra sin tratamiento con distribución de tamaño largo sometidas a altas temperaturas.

Fuente: Propia

Las Figuras 67 y 68 muestran que para ambas distribuciones de tamaño, la pérdida de agua no sufrió grandes diferencia para las mismas condiciones a las que fueron expuestas, por lo que podemos afirmar que la distribución de tamaño de la fibra no afecta la pérdida de agua. Asimismo, en la medida que se incrementó la proporción de fibra y la temperatura de exposición a las que fueron sometidas las losas, la pérdida en agua fue mayor.

En la figura 69 se representa el porcentaje de pérdida de agua respecto al peso total en las losas de la mezcla patrón y las reforzadas con la fibra tratada químicamente (2,5; 5 y 10) % a los 28 días de curado sometido a altas temperaturas. Para los 100 y 200°C el agua capilar evaporada estuvo en un rango de 4 a 5,2 %. Para la temperatura de exposición de 400°C la pérdida en agua de

gel estuvo entre 6 y 7 % y para la temperatura de 600°C la pérdida en agua estuvo entre 7,2 y 9 %.

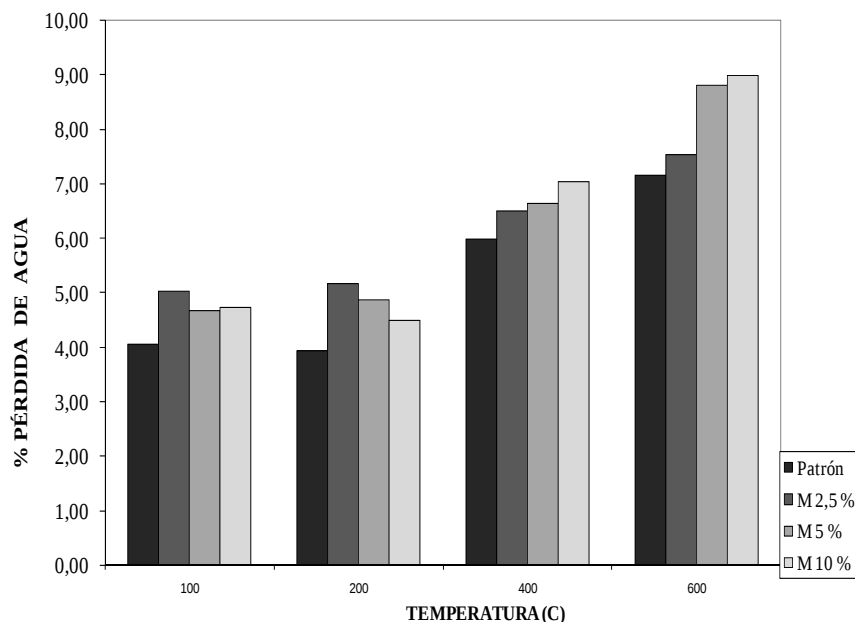


Figura69. Pérdida de agua en losas reforzadas con fibras tratadas químicamente sometidas a altas temperaturas.

Fuente: Propia

Se observó una ligera disminución en la pérdida de agua con respecto a las losas reforzadas con la fibra sin tratamiento sometida a las mismas condiciones de temperatura y proporción en volumen.

Esto se debió a que las fibras con tratamiento químico e impregnadas con PMMA evitó que se evaporase parte del agua capilar contenida en las fibras, actuando de esta forma como una barrera a la evaporación frente a las altas temperaturas, solo a 600°C el porcentaje de pérdida de agua fue similar al obtenido en las losas reforzadas con las fibras sin tratamiento a esta temperatura el PMMA se ha degradado, lo que indica una pérdida de la protección que le ofrecía a las fibras, concordando con lo observado por (Kang et. al., 2008).

Este análisis es importante ya que existe una relación entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento, como lo indica la Ley de Abrams.

Se conoce que desde el fraguado el agua se fija químicamente al cemento, siendo entre el 25 y 28 % del peso del cemento la cantidad de agua ligada químicamente por lo que una disminución de la misma afecta el proceso de hidratación del cemento disminuyendo en consecuencia la resistencia del concreto.

A manera de síntesis del logro del objetivo II

Los valores más altos de resistencia a compresión para cilindros y módulo de ruptura para vigas fueron obtenidos para las mezclas reforzadas con fibras de coco sin tratamiento para un tamaño largo y concentraciones 2,5 y 5% respectivamente, y para las fibras tamaño aleatorio tratado químicamente y recubiertas con PMMA 2,5% tamaño corto para cilindro y para vigas tamaño largo.

La resistencia disminuyó al incrementarse el volumen de fibras y al examinar la superficie de falla, la fibra larga falla por ruptura a diferencia de la fibra corta que falla por extracción, las fibras largas alcanzan más adherencia que las fibras cortas.

Los valores de resistencia dependen del refuerzo que les esté proporcionando las fibras a la mezcla de concreto. Las fibras al añadirse a las mezclas de concreto, se dispersan perfectamente en todo el volumen de éste y esto fue corroborado cuando se hizo la inspección visual a los especímenes ensayados. Esto confiere a dicha matriz un armado en tres dimensiones en el que las fibras cosen las fisuras del concreto formando un “puente” entre los áridos gruesos, permitiendo una formación controlada de las fisuras, y llevando al mismo a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial. Es importante también considerar la longitud; porque a mayor longitud, mayor cantidad de posibles fisuras interceptará. Y al mismo tiempo, a menor diámetro, mayor cantidad de fibras por unidad de volumen habrá para una dosificación dada.

En general, la adición de fibras naturales tratadas químicamente con PMMA a las mezclas de concreto, mejora la resistencia y su durabilidad. Del

mismo modo, las fibras sin tratamiento químico tienen mayor carácter hidrófilo mostrando una elevada capacidad para degradarse.

4.3 Objetivo III: Estudio de las propiedades mecánicas del concreto (cilindros y vigas) reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar mediante ensayos destructivos y no destructivos.

Para la elaboración de los cilindros 2,5%, con adición de fibras como reemplazo en parte del agregado fino, se elaboraron mezclas donde permanecieron constantes la cantidad de cemento, arena y la relación $a/c=0,48$, variando únicamente la cantidad de agregado fino representado por las fibras de bagazo.

4.3.1.- Caracterización de las mezclas de hormigón con fibras de bagazo de caña de azúcar sin tratar y tratadas en estado fresco

Para que no ocurrieran cambios en la metodología de mezclado, se prepararon en conjunto la mezcla “Patrón” con cada una de las mezclas que contienen fibras de bagazo de caña de azúcar.

Un diámetro pequeño permite que la mezcla tenga trabajabilidad, Así también, la falta de uniformidad en los diámetros puede provocar posibles zonas débiles en el compuesto debido a las fibras que resisten menos esfuerzos.

4.3.2.- Propiedades en estado fresco:

Las propiedades del hormigón en estado fresco dependen fundamentalmente de las características de los materiales componentes y las proporciones utilizadas, destacándose la influencia de los agregados (forma, tamaño y distribución) que suelen ocupar más del 70 % del volumen del hormigón.

Además, las características del cemento *Pórtland* puzolánico influyen en el comportamiento del hormigón. Se trató de seguir el mismo patrón usado en las mezclas reforzadas con fibras de coco. Cuando se agregó las fibras de bagazo de

caña de azúcar, evidenciándose una buena mezcla, con capacidad de compactación. No hubo segregación de los materiales.

4.3.3.- Trabajabilidad de las mezclas de concreto reforzadas con bagazo de caña de azúcar:

Si bien, las microfibras en general reducen dramáticamente la tendencia a la fisuración o simplemente la eliminan antes de las 24 horas retracción plástica, en la mayoría de las ocasiones hacen que el concreto en estado fresco, en apariencia, pierda manejabilidad o asentamiento.

La mezcla se hizo menos trabajable cuando se incorporaron las fibras de bagazo de caña de azúcar y fue mejorada añadiéndole un aditivo químico llamado polyheed 1026, aumentando notablemente la manejabilidad de la mezcla.

Por tener una relación $a/c=0,48$ relativamente baja, no se observó sangrado, es decir, acumulación de agua bajo el agregado y en este caso las fibras, por lo que la adherencia a la matriz cementante no se vio comprometida.

En fibras no tratadas, restos de hemicelulosa dispersos en la región interfibrilar separan las cadenas de celulosa unas de otras y la superficie es rugosa. Las fibras sin tratamiento presentan un valor más alto de contenido de humedad, debido a la presencia de los grupos hidroxilo y puentes de hidrógeno, con el tratamiento alcalino estas fuerzas disminuyen al removerse estos grupos, logrando en las fibras menos humedad en su interior.

La descomposición química de la lignina y la hemicelulosa por el Ca(OH)_2 es la principal causa del deterioro por fragilización de la fibra en el concreto. La alcalinidad del agua en el poro de la matriz de cemento disuelve la lignina, rompiendo la unión de las microceldas individuales las cuales absorben el hidróxido de calcio producto de las reacciones de hidratación del cemento, (Gram, 1998a).

Lo anterior explica los resultados obtenidos, la compresión tiende a disminuir al ser mayor el tiempo de exposición en la solución alcalina. Es de gran importancia, tener en cuenta que el bagazo ha pasado por un proceso mecánico, y

es probable que se hayan roto muchas de ellas conllevando a la disminución de las propiedades mecánicas del concreto reforzado.

Por otra parte, el exceso de agua absorbida genera un sustancial incremento de volumen en la fibra, la cual se encuentra embebida en la pasta de cemento durante su estado plástico. Al endurecer el concreto y secarse la fibra, ésta se contrae con la consiguiente pérdida de adherencia entre la fibra y la matriz, originando que la resistencia a flexión y tensión del concreto se vean afectadas.

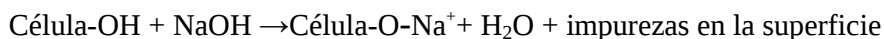
4.3.4.- Tratamiento de las fibras de bagazo de caña de azúcar

Las principales propiedades físicas de estos materiales que los hacen interesantes desde el punto de vista constructivo son: baja densidad, aislamiento acústico, abundancia y precio reducido.

Por el contrario, los principales inconvenientes que presenta el utilizar el bagazo de caña de azúcar como material de construcción son su porosidad, su higroscopia, y sus componentes orgánicos. Con objeto de reducir la materia orgánica presente en el bagazo, en especial los azúcares solubles en agua retardadores del fraguado, se procedió a un pretratamiento consistente en un lavado y agitado con agua destilada. Se aplicaron también pretratamiento con hidróxido sódico y posterior lavado con agua destilada a las muestras, a fin de que se pudiera hidrolizar la parte orgánica del bagazo al contactar con la base; de ese modo, se eliminaría con el lavado, permitiendo que la interacción posterior entre el bagazo y el medio alcalino del cemento no aumente la concentración de azúcares en el medio acuoso e impida el fraguado del cemento.

El proceso acetilado alcalino, es un tratamiento muy efectivo que produce modificaciones en la superficie de la fibra natural, además de presentar bajos costos reduce considerablemente la naturaleza higroscópica de la fibra y como resultado otorga estabilidad dimensional. Como la fibra no absorbe humedad no se hinchará o se contraerá en el material compuesto.

La reacción del hidróxido de sodio con la fibra natural (Célula-OH) se explica mediante la siguiente reacción:



Este tratamiento retira cierta cantidad de lignina, cera y aceites que cubren el exterior de la superficie de la pared celular que protege el contenido de la célula vegetal, despolimerizando la estructura celulósica inicial. Cuando las hemicelulosas han sido removidas, la región interfibrilar se vuelve menos densa y menos rígida, permitiendo que las fibras se puedan reacomodar en la dirección del esfuerzo de tracción. Debido a esto, el módulo de elasticidad de las fibras aumenta con el incremento del grado de orientación molecular, además de incrementar la rugosidad de la superficie de la fibra que provoca un aumento en el anclaje mecánico.

La concentración de la solución de NaOH, el tiempo de tratamiento y la temperatura son parámetros esenciales. Una alta concentración de NaOH, puede despolimerizar la celulosa y deslignizar la fibra excesivamente lo cual puede afectar adversamente la resistencia de la fibra.

Al observar las fibras que estuvieron expuestas a la solución de NaOH, éstas presentaban señales del ataque alcalino, ya que su color en el agua de lavado cambio de amarillo claro a marrón, señal de la disolución de la lignina. Además las fibras de bagazo son rígidas y de contornos irregulares, presentándose fibras partidas como consecuencia del trabajo mecánico al que son sometidas durante su procesamiento para la obtención del azúcar.

Razón importante que permite inferir que las resistencias a compresión y tracción para este tipo de fibras es menor en comparación con las fibras de coco. Asimismo, en teoría el contenido de humedad de las fibras de bagazo de caña de azúcar es elevado por tratarse de fibras naturales, con un gran contenido de grupos hidroxilo que les confiere sus características higroscópicas.

Por lo que el tratamiento químico disminuye las zonas amorfas de las fibras, volviéndola más cristalina, lo cual permite la disminución en su densidad lineal e hidrofiliidad principal característica de las fibras sin tratamiento.

No obstante, las fibras evitan el colapso catastrófico del material en comparación al material sin refuerzo que rompe en forma frágil al alcanzar la carga de ruptura.

El tratamiento alcalino redujo el diámetro y tamaño de las fibras y es una razón más que produce un aumento en las propiedades mecánicas.

Además, causa una topografía rugosa en la superficie de la fibra y deja poros abiertos en su estructura, separando las fibras unas de otras formando filamentos y mejorando su capacidad de adhesión con otros materiales.

Estos resultados concuerdan con (Sreekala et al., 2001) indicando que luego del tratamiento los microporos en la superficie de la fibra llegan a ser visibles y esto puede ocurrir debido a la lixiviación de la capa cerosa fuera de la cutícula, lo que aumenta la aspereza de la fibra, y facilita la unión mecánica en la interfase matriz concreto. La modificación sobre la estructura de la red radica principalmente en la desvinculación del hidrógeno.

Los estudios experimentales realizados en esta investigación, mostraron que con los volúmenes y tamaños de fibras que podían ser adecuadamente incorporados en concreto convencionales, los productos reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar no presentaron una mejora sustancial en la resistencia en comparación con las mezclas sin fibras, es decir, mezcla patrón. Esto ocurre debido, a que el bagazo de caña de azúcar, contiene un porcentaje menor de sílice y menor finura, experimentando descensos drásticos de la resistencia en función del incremento del porcentaje de sustitución.

Una de las consecuencias de que la resistencia disminuya, es el hecho de que las fibras ya fueron expuestas a un proceso mecánico, casi llegando a la trituración desmejorando sus propiedades físicas, químicas y mecánicas significativamente y el interés de trabajar con esta fibra está limitado a obtener mezclas de concreto reforzadas con fibras de bagazo con un peso liviano.

La fisuración del concreto es un fenómeno indeseable cuyas causas van desde variaciones en la composición del material, hasta efectos de cambios

térmicos. Una fisura delata realmente la “competencia pérdida” entre la capacidad del material de resistir un esfuerzo frente al efecto de un esfuerzo actuante.

Por supuesto en la medida en que una estructura de concreto no se fisure, mejor en cuanto a su durabilidad, la transmisión y continuidad de las cargas, la no concentración de esfuerzos y la estética de un concreto cada vez más a la vista.

Sin embargo, para mezclas reforzadas con bagazo de caña de azúcar, sin tratamiento, los especímenes no soportaban la carga fallando drásticamente.

Y al realizar la inspección visual la fibra no tenía anclaje con la matriz de concreto tal como se aprecia en la figura 70.



Figura 70. Falla de las fibras de bagazo de caña de azúcar reforzando mezclas de concreto.

Fuente: Propia

Una vez la matriz del concreto se ha fisurado, el concreto sin fibra simplemente falla, colapsa, es decir, no hay continuidad en los cilindros disgregándose por mala adherencia.

En un concreto no fibroreforzado, la falla y el colapso ocurren con la primera fisura; mientras que en un concreto microreforzado, la falla y colapso de

la estructura tienen lugar mucho después de la aparición de la fisura principal tal como se aprecia en la figura 71.



Figura 71. Mezclas de concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de
Fuente: Propia

El concreto fibroreforzado le permite a la estructura, después de la fisuración, continuar “absorbiendo” carga sin colapsar y continuar funcionando. De allí la importancia de reforzar los concretos con fibras aportándole características específicas y ventajosas para los distintos ramo de la construcción.

Estas soluciones, a pesar de no ser definitivas, reducen en una cantidad importante, el empleo de materiales plásticos que se logran sustituir incorporando cargas naturales a la matriz formulada y crea las bases para estudiar el empleo de materiales biodegradables más estables en el tiempo, como una de las vías más seguras para propiciar un entorno amigable.

4.3.5.- Resultados de la resistencia a compresión para cilindros reforzados con fibras tamaño corto de bagazo de caña de azúcar a una concentración 2,5% en volumen medidas en MPa.

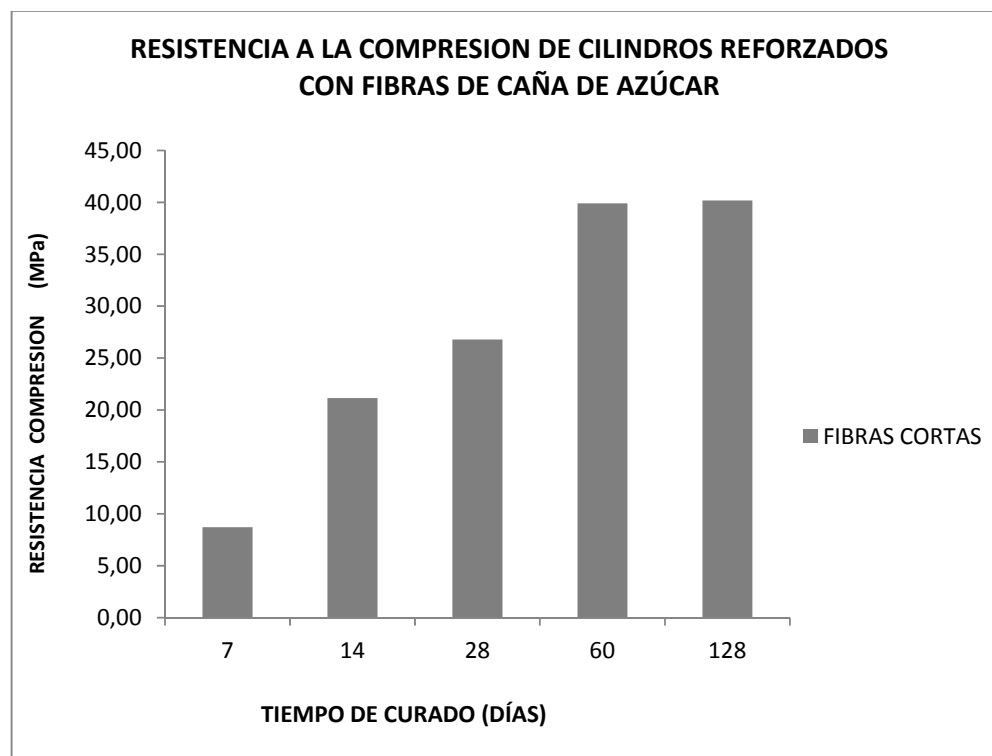


Figura 72. Ensayos resistencia a la compresión de cilindros reforzados con fibras de caña de azúcar con un porcentaje en volumen 2,5% tamaño corto.

Fuente: Propia

En la figura 72 se observa que los cilindros reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar para un tamaño corto sin tratamiento y una concentración en volumen de 2,5% a los 7 días de curado la resistencia se redujo a 8,72MPa con respecto a los cilindros sin fibras que fue 34,32MPa, este efecto, se debió, a que las fibras no estaban tratadas con un agente protector y el medio alcalino propio de la matriz de concreto afectó su función de refuerzo, de acuerdo a lo anterior las fibras aun contenían un porcentaje de azúcar lo que ocasionó que la resistencia descendiera abruptamente, y no hubo una adherencia entre la fibra y

la matriz de concreto comprometiendo su resistencia y durabilidad tal como se aprecia en la figura 73.



Figura 73. Mezclas de concreto reforzado con fibras de bagazo de caña presentando mala adherencia

Fuente: Propia

Al endurecer el concreto y secarse las fibras, ésta se contraen con la consiguiente pérdida de adherencia entre las fibras y la matriz, originando que la resistencia a flexión se vea afectada.

Sin embargo a partir de los 28 días la resistencia comenzó a subir observándose una tendencia similar a la mezcla patrón.

4.3.6.- Resultados de la resistencia a compresión para cilindros reforzados con fibras tamaño corto de bagazo de caña de azúcar a una concentración 2,5% en volumen medidas en MPa.

Asimismo, en la figura 74 se observa que los cilindros reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar para un tamaño largo sin tratamiento y una concentración en volumen de 2,5% a los 7 días de curado la resistencia fue de

21,03MPa, resultado satisfactorio en comparación con la mezcla con adición de fibras tamaño corto sin tratamiento.

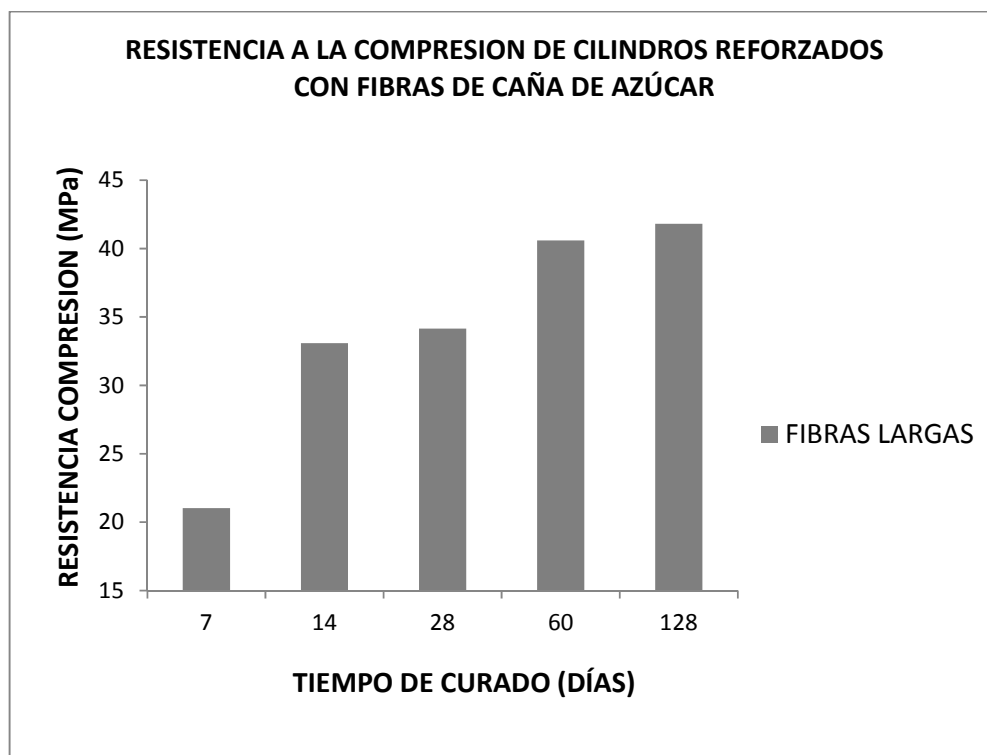


Figura 74. Ensayos resistencia a la compresión de cilindros reforzados con fibras de caña de azúcar con un porcentaje en volumen 2,5% tamaño largo.

Fuente: Propia

Sin embargo, a los 28 días de curado la misma mejoró y a los 128 días la resistencia comenzó a tener cambios poco significativos con una tendencia similar a la mezcla patrón, la adherencia mejoro por tratarse de fibras largas y de allí el aumento de la resistencia, en la figura 75 se observa una mejor unión entre las fibras y la matriz cementicia.

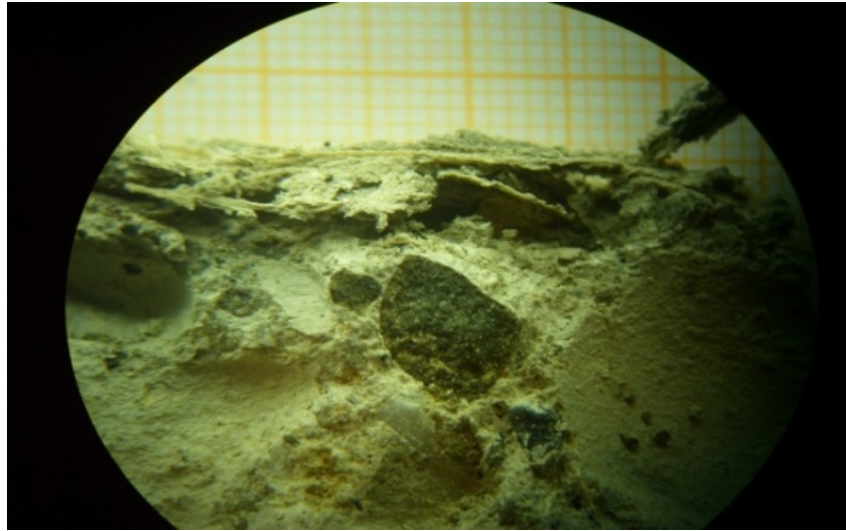


Figura 75. Mezclas de concreto reforzado con fibras de bagazo de caña presentando mejor adherencia

Fuente: Propia

Cuando la cantidad de azúcar se incrementa a un 0,29 % por peso de cemento el fraguado generalmente se acelera, si la cantidad es de 0,25 o más por peso de cemento, puede causar un fraguado rápido y una sustancial reducción de resistencia a los 28 días de edad, lo que permite deducir que las reacciones y el proceso de fraguado fue lento aumentando la resistencia, el ascenso fue progresivo hasta los 128 días hasta mantenerse casi constante (Sánchez, 2001).

Por otra parte, el azúcar residual en altas concentraciones causa efectos inhibidores o retardadores sobre el fraguado del cemento.

El azúcar provoca que los tiempos de fraguado no sean los normales, dependiendo de la cantidad de azúcar puede retrasarse o acelerarse el fraguado. La fibra de caña de azúcar disminuye la dureza del mortero de hormigón permitiendo la disgregación del material reforzado.

4.3.7.- Resultados de la resistencia a compresión para cilindros reforzados con fibras tratadas tamaño aleatorio de bagazo de caña de azúcar a una concentración 2,5% en volumen medidas en MPa.

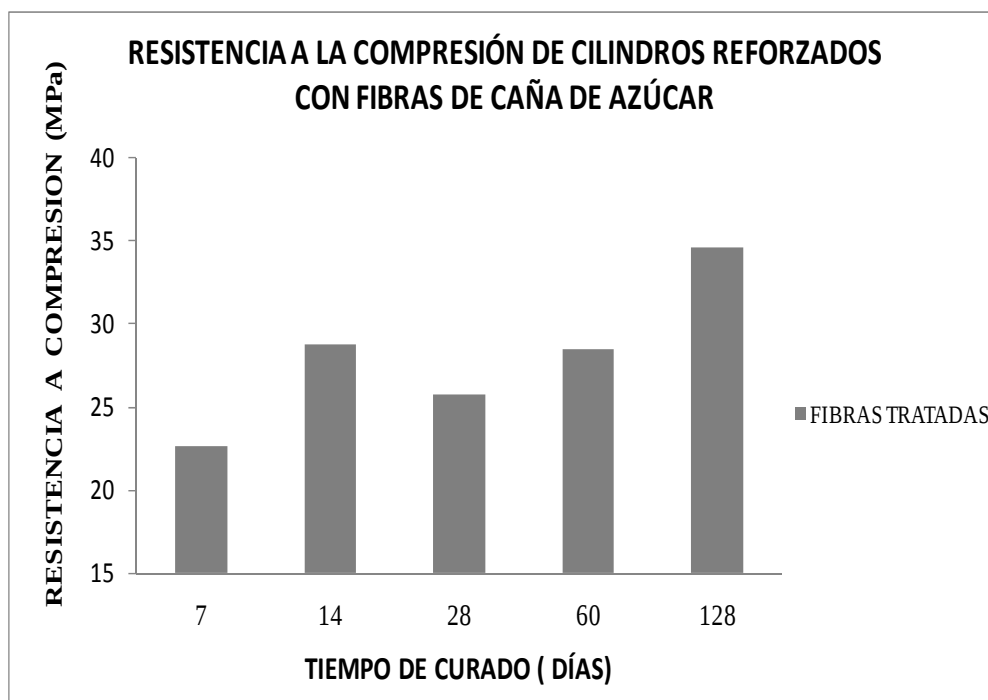


Figura 76. Ensayos resistencia a la compresión de cilindros reforzados con fibras de caña de azúcar con un porcentaje en volumen 2,5% de fibra tratada y distribución aleatoria para un tamaño corto.

Fuente: Propia

En la figura 76 se observa que para las mezclas reforzadas con fibras de bagazo de caña de azúcar tratada la resistencia obtenida a los 7 días fue de 22,44MPa siendo ligeramente superior si se compara con fibras de tamaño largo sin tratamiento 21,03MPa, esto es debido a que las fibras estaban recubiertas con PMMA que repele al agua protegiéndolas de la alcalinidad propia de la matriz cementante.

Sin embargo, a partir de los 28 días la resistencia es inferior si se compara con las mezclas reforzadas con fibras de bagazo de caña de azúcar tamaño largo, la resistencia obtenida para los días 28, 60 y 128 fue 34,51; 40,59; 41,82 MPa respectivamente y para las mezclas de concreto con fibras tratadas para los días 28, 60 y 128 fue 29,76; 34,51; 40,1 MPa respectivamente, esto se debió a que los materiales compuestos con fibras tratadas contienen vacíos ya que la

impregnación incompleta de las fibras con el PMMA, produjo puntos débiles en el material lo cual no es favorable a alta concentración de esfuerzos que favorecen la propagación de grietas originando la disminución de la resistencia tal como se aprecia en la figura 77.

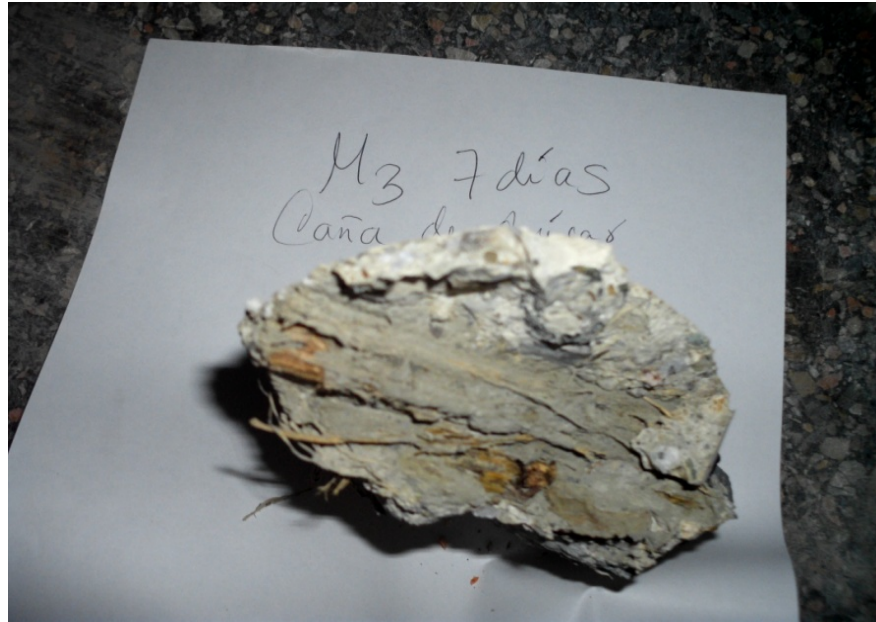


Figura 77. Impregnación incompleta de las fibras de bagazo de caña de azúcar con el PMMA

Fuente: Propia

Se han utilizado algunas prácticas con el fin de minimizar los procesos de deterioro de las fibras vegetales en la matriz de concreto por efectos de alcalinidad buscando que el fraguado del cemento no se vea afectado, sin embargo para esta investigación no se obtuvieron resultados tan satisfactorio si se compara con fibras no tratadas.

Similares fueron las apreciaciones de (Osorio et al. 2007), quienes acotan que el tratamiento aplicado a las fibras de bagazo con hidróxido de calcio al 5,0 % durante 24 horas a una temperatura de laboratorio de 24°C y con cloruro de calcio al 3,0 % en relación a la masa de cemento como acelerante del fraguado, presentó

un comportamiento aceptable, permitiendo baja degradación de la fibra en la matriz del compuesto

Se observa además, que la adherencia de las fibras a la matriz del concreto era aceptable en aquellos perímetros, donde las fibras son uniformes, sin embargo, se presentan esparcimiento entre la fibra y la matriz de concreto, debido a la ausencia de áridos finos, a la irregularidad de la longitud y posiblemente a la degradación que sufre la fibra natural, debido al ataque químico que le producen los elementos alcalinos contenidos en el cemento pese al tratamiento realizado; lo anterior puede generar una menor resistencia en el concreto fibroreforzado, debido a que estos espacio disminuyen la compacidad en el concreto resultados que concuerdan con (Osorio et al.2007).

4.3.8.- Resultados de la resistencia a compresión para todos los cilindros reforzados con fibras tamaño corto, largo y aleatorio con y sin tratamiento reforzadas con bagazo de caña de azúcar a una concentración 2,5% en volumen medidas en MPa.

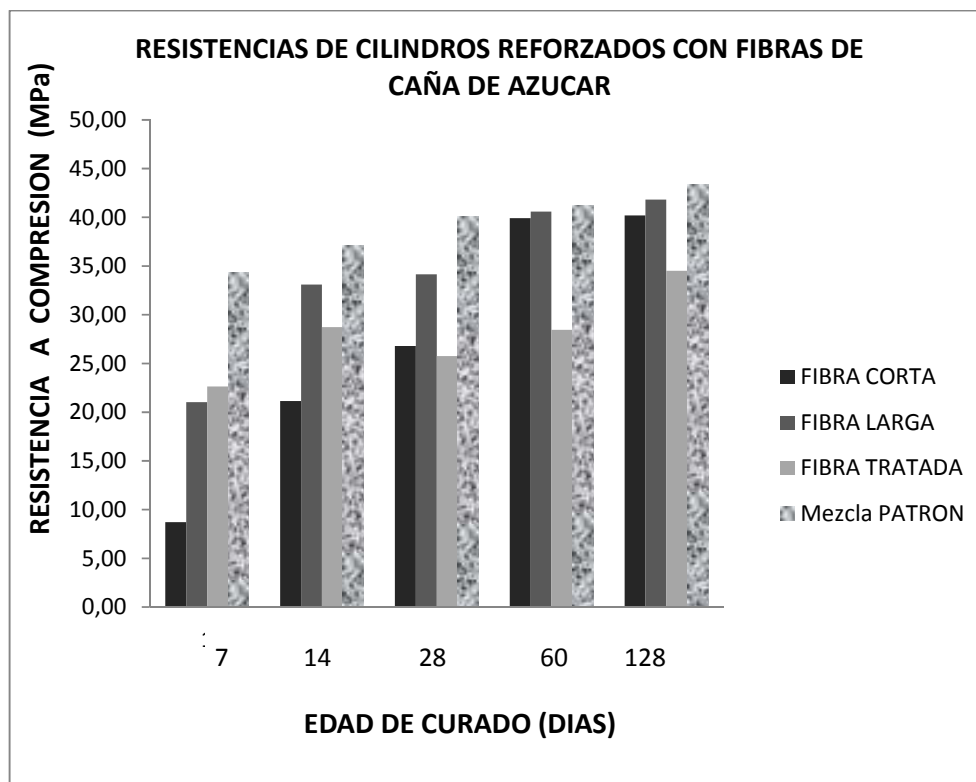


Figura 78. Ensayos resistencia a la compresión de cilindros reforzados con fibras de caña de azúcar con un porcentaje en volumen 2,5% de fibras con y sin tratamiento de distinto tamaño.

Fuente: propia

En cuanto a los valores de la resistencia para cilindros reforzados con bagazo de caña de azúcar para todas las edades son expresadas en el anexo 8, y su relación con el tamaño, con y sin tratamiento realizados son mostrados en la figura 78. Donde se observa una disminución de la resistencia para todos los tamaños cortos y largos para fibras sin tratamiento y tamaño aleatorio para fibras tratadas, al compararse con la mezcla patrón sin fibras. Se observa que las columnas experimentan una tendencia al cabo de los 128 días de curado, todas las mezclas con las distintas longitudes, y fibras con y sin tratamiento químicos, tienden a una resistencia similar por lo que, las mezclas con fibras de bagazo de caña de azúcar pueden ser recomendadas para su uso en construcción. Sin embargo a edades tempranas la resistencia se ve comprometida.

Nótese que a los 60 días de curado a la mezcla sin fibra denominada fibra patrón iguala la resistencia a compresión de la mezcla con fibra corta 40,11MPa.

Estos resultados concuerdan con (Osorio et al.2007) al señalar que las fibras de bagazo de caña utilizada en la elaboración del concreto reforzado para ser evaluadas a compresión, le imparten propiedades mecánicas importantes al compuesto, principalmente las probetas con adiciones de fibras entre el 0,5 y 2,5% en relación al peso total del agregado grueso, y cuyas fibras tengan longitudes entre 15 y 25 mm retenidas en el tamiz N°6, las cuales alcanzan resistencia a compresión a los 14 días de fraguado entre 8,6 y 16,88 MPa, estando por encima de probetas sin adición de fibras es decir la mezcla patrón.

Análisis estadístico para cilindros reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar

Para las fibras de caña de azúcar se consideró solo la concentración 2,5% en volumen como sustitución en parte del agregado fino, se analizó el efecto del tamaño de la fibra respecto a la mezcla patrón que no contiene fibras. En este caso se observó que las fibras de bagazo de caña de azúcar no se adhieren fácilmente a la mezcla requiriendo más tiempo para que ocurra este proceso, de acuerdo al análisis de varianza se obtuvo que a partir de los 28 días de curado es que se obtiene una mezcla parecida a la patrón, encontrándose que a una concentración en volumen de 2,5% tamaño largo produce una alta resistencia, sin embargo al transcurrir los días de curado las mismas comienzan a perder resistencia y dejan de comportarse como la mezcla patrón.

Comparación de fibra para concentración fija 2,5% pero variando la edad

Al comparar la resistencia entre las mezclas reforzadas con fibras de coco y la de caña de azúcar, se encontró que las mezclas que poseen fibras de coco son mejores independientemente de su tamaño y edad para la misma concentración ya que son más resistentes en el tiempo.

Dentro de esta perspectiva el análisis estadístico es consistente con los análisis cuantitativos discutidos en esta tesis doctoral.

4.3.5.- Peso de los cilindros reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar
A continuación se presenta el peso de los cilindros saturados con superficie seca

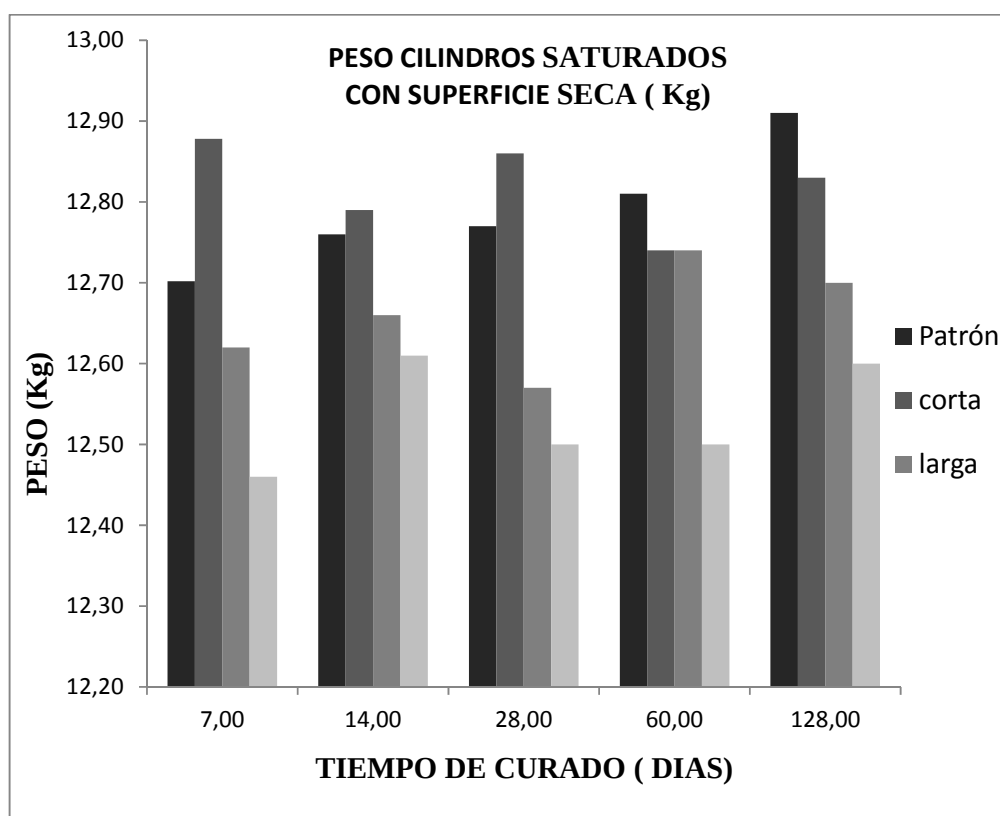


Figura 79. Peso de los cilindros reforzados con bagazo de caña de azúcar
Fuente: Propia

En cuanto a los valores de la resistencia para cilindros reforzados con bagazo de caña de azúcar para todas las edades son expresadas en la tabla 23, y su relación con el tamaño, con y sin tratamiento realizados son mostrados en la

figura 79. Se observó que la pérdida de peso de las fibras de bagazo de caña de azúcar fue máxima en aquellas que estuvieron tratadas y secadas en horno a 100 °C, esto se debió a que con el secado se elimina mayor cantidad de agua y con el tratamiento alcalino se diluyo parte de los componente de la fibra, lo cual fue observado cuando fueron sometidas al proceso de acetilación en donde el agua de lavado tomó una coloración bastante marrón eliminando, ceras e impurezas naturales y artificiales

Por otro lado, cuando el álcali reacciona con la hemicelulosa se destruye la estructura de acoplamiento y se dividen las fibras en filamentos más finos, produciendo una fibrilación que permite un acercamiento entre las cadenas de celulosa, de tal forma que la cristalinidad de las fibras aumenta, causando un mejoramiento en su resistencia.

A su vez, incrementa el área superficial eficaz disponible y disminuye el peso de las fibras. Esta tendencia se observa en la figura 79 donde se visualiza que el peso de los cilindros con fibras tratadas es menor en comparación con las fibras no tratadas

En comparación con la madera, el deterioro del bagazo tiene lugar de una manera diferente, debido a su contenido inicial en humedad, sacarosa, azúcares invertidos, proteínas residuales, minerales y a la heterogeneidad de sus tejidos, que se agrava por el daño sufrido durante la operación de la caña.

Las fibras de bagazo de caña de azúcar no tratada generaron un olor a alcohol y tornándose de un color marrón oscuro, por lo que al usar este tipo de fibras, las propiedades mecánicas del concreto específicamente la resistencia se vieron desventajadas.

Estas condiciones favorecen procesos de oxidación química, disminuyendo el grado de brillantez y pérdidas en peso del bagazo almacenado, y al mismo tiempo, afecta significativamente la calidad de la fibra, en concordancia con (Sharma et al., 2000) tal como se aprecia en la figura 80.



Figura 80. Fibras de bagazo de caña de azúcar no tratada con indicios de descomposición

Fuente: Propia

La tenacidades la energía total absorbida para romper un espécimen de concreto a la flexión. Esta propiedad se ha visto incrementada con la adición de fibras ya que en las zonas de microgrietas al momento de aplicar una carga las fibras no permiten que se rompa o disgregue el material.

Las fibras de bagazo de caña de azúcar lograron mantener unidos los cilindros y viga, por lo que le aportaron durabilidad a las mezclas de concreto provocando ventajosamente la disminución de las fisuras tanto en estado fresco como endurecido. En la figura 81 se observan cilindros ensayados a los cuales se les determinó la resistencia a compresión ellos mostrando comportamiento similar a los que experimentó la mezcla patrón, soportando la carga sin llegar a la fractura.



Figura 81. Concreto reforzado con fibras experimentando buena tenacidad
Fuente: Propia

4.3.6.- Estudio de las Vigas reforzadas con las fibras de bagazo de caña de azúcar

El concreto es un material frágil y de baja resistencia a flexo tracción, debido a su falta de capacidad para soportar deformaciones, se analizó la resistencia de las vigas cuando son preparadas con mezclas reforzadas con fibras de bagazo de caña de azúcar.

En cuanto a los valores de la resistencia de vigas reforzadas con bagazo de caña de azúcar, y su relación con el tamaño, con y sin tratamiento realizado estos son mostrados en la figura 82 donde se observó una disminución de la resistencia para todo los tamaños corto, largo y tratado de fibras con y sin tratamiento al compararse con la mezcla patrón sin fibras. La resistencia más baja fue 2,38MPa para las mezclas reforzadas con fibras tamaño largo sin tratamiento al compararse con la mezcla patrón la resistencia fue 4,63MPa, esto se debió a que las vigas reforzadas con fibras tamaño largo presentaron falta de capacidad para soportar deformaciones.

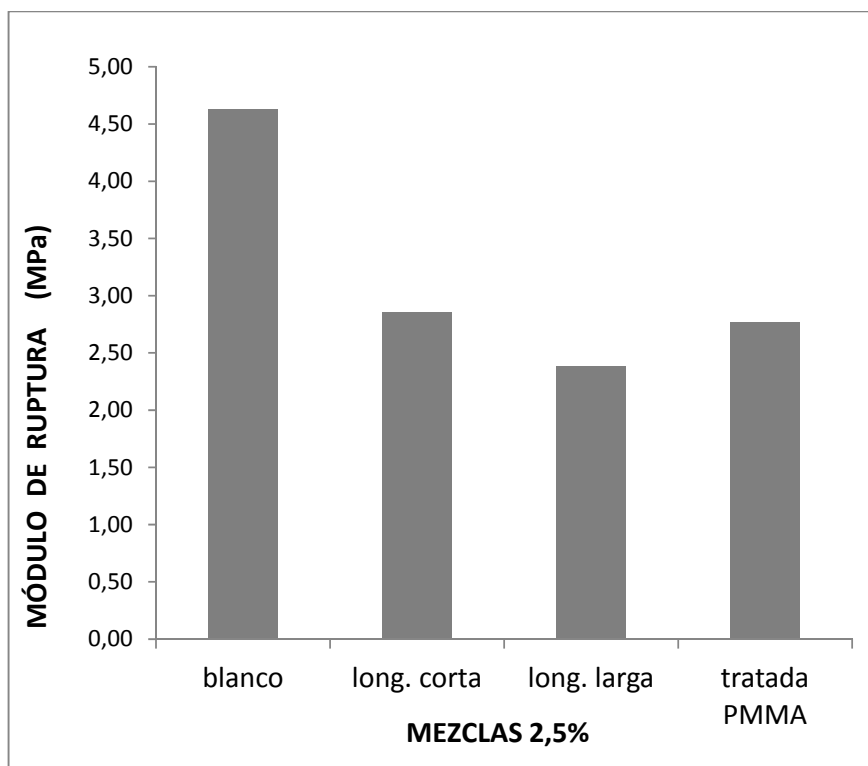


Figura 82. Resistencia de vigas reforzadas con las fibras de bagazo de caña de azúcar medida a los 28 días de curado.

Fuente: Propia

Esto implica que hubo una mala adherencia en algunos sitios de la viga existiendo puntos débiles entre las fibras y la matriz cementante, además como no estaban tratadas, es decir, recubierta con PMMA es posible que la absorción de humedad de las fibras haya perjudicado los valores tan bajo de resistencia. Estos resultados que concuerdan con (Águila y Sosa, 2008), quienes usaron cenizas de caña de azúcar y las muestras contentivas de ceniza de bagazo de caña no mostraron posibilidades de ser empleadas como material puzolánico, sin embargo en el análisis de su composición química se pudo apreciar que se presentaron en el material altos contenidos de humedad con un 10,72 % lo que pudo afectar la resistencia.

A pesar de que no se obtuvieron buenos resultados en el módulo de ruptura al compararse con la mezcla patrón sin fibras, y las propiedades mecánicas se vieron comprometidas.

En la inspección visual se logró ver que la adición de fibras al concreto mejoró el agrietamiento del concreto en su estado endurecido y cuando el espécimen fue ensayado éste permaneció unido, no hubo desprendimiento ni disgregación, esto fue debido a que la fibra sirvió como unión entre las partes y le proporcionó a la viga mayor flexibilidad.

Sin embargo, es de mucha importancia acotar que las fibras contenidas en las vigas, controlan las microfisuras que se pueden originar durante las primeras 24 horas y detienen su desarrollo a macrofisuras, evitando que la estructura donde es usada este tipo de mezcla colapse, permitiendo además que la mezcla de concreto desarrolle su mejor forma en cuanto a sus características.

Si se compara con las mezclas reforzadas con fibras de coco estas presentaron una menor velocidad de evaporación de agua lo que reduce aún más la posibilidad de fisuramiento. Tanto en estado fresco como en estado endurecido, el concreto es susceptible a fisurarse; es por ello que si llegase a presentarse un patrón de fisuración dado, se espera que la estructura continúe funcionando y que el ancho de la fisura sea controlado y que no crezca, es decir, las fibras limitan el crecimiento del ancho de la fisura.

Análisis estadístico de las vigas reforzadas con fibras de bagazo de caña de azúcar.

Se verificó el cumplimiento de los supuestos del ANOVA, y se pudo determinar el efecto de las fibras sobre las vigas tomando como referencia una mezcla patrón, encontrándose que la mayoría de las mezclas donde se adicionó fibra de coco se comportan como la patrón, mientras que para las mezclas con fibra de caña se alejaron del patrón.

Por lo que se puede concluir que la fibra de coco es mejor que la del bagazo de caña de azúcar.

A manera de síntesis de los resultados alcanzados en el objetivo III

El uso de fibras orgánicas provenientes de bagazo de caña de azúcar, podría satisfacer la necesidad de encontrar y aplicar materiales de construcción con tecnologías sustentables. Es cierto que con el uso de estas fibras la resistencia disminuye un poco cuando se compara con la mezcla control o patrón sin fibras, pero todo dependerá de las exigencias del material a preparar. El uso de ellas permitirá construir materiales más flexibles disminuyendo la presencia de microfisuras y macrofisuras.

Aportación social y económica de la Tesis Doctoral

La Tesis Doctoral presenta una contribución de acuerdo a todos los resultados obtenidos se comprobó que los concretos reforzados con fibras naturales como fibras de coco y bagazo de caña de azúcar tienen el potencial para ser usados como materiales de construcción económicos, ya que su tendencia es similar a las mezclas elaboradas de manera tradicional.

Las fibras pueden proporcionar una adecuada resistencia mecánica a los esfuerzos internos de la mezcla. Al encontrarse homogéneamente distribuidos dentro del concreto constituyen un armado que, por un lado, se muestran eficaz para contrastar el fenómeno de la fisuración por retracción y, por otro, confiere a las mezclas de concreto una ductilidad, que puede llegar a ser considerable en la medida en que sea elevada la resistencia misma de las fibras y su cantidad, confiriendo además al concreto una gran tenacidad.

Lo anterior expuesto, permite inferir que las fibras naturales son materiales que actúan como un alternativa tecnológica para un amplio rango de aplicaciones donde sea requerida la detección y el monitoreo de fisuramiento. El recomendar su uso en distintas áreas de construcción estará sujeto a los requerimientos exigidos por la estructura.

La selección de una u otra fibra natural como material de refuerzo va a depender de las propiedades finales de diseño seleccionadas. Resulta obvio que en

función de la dosificación, de las longitudes de fibras y de las propiedades de las mismas se confiere al concreto propiedades distintas, de esta manera se acentúan más unas propiedades sobre otras en función de los distintos usos y aplicaciones del concreto reforzado con fibras.

Ventajas Económicas de los concretos reforzados con fibras naturales

El material fibroreforzado con fibras de coco y/o bagazo de caña de azúcar tiene ventajas económicas que se pueden analizar en diferentes direcciones vinculadas a las ventajas propias de este nuevo material que son:

- La introducción dentro del proceso productivo no requiere de variaciones tecnológicas del mismo, sino que se inserta de manera natural.
- Mejoran un grupo importante de propiedades del material resultante asociadas a las resistencias, la durabilidad, la impermeabilidad, la densidad, la absorción y el desgaste, así como a la disminución de la retracción y por ende de la fisuración.
- Al usar las fibras naturales se humaniza el proceso constructivo, siendo su manipulación y empleo muy fácil.

Se cuenta con fibras suficientes para ser usadas reforzando concretos, sin interferir en otras líneas de producción asociadas a las fibras; por demás los costos de producción son bajos y el recurso es renovable.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los aspectos más relevantes que se desprenden de esta investigación, son la comprobación de que los concretos reforzados con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar tienen el potencial para ser usados como materiales de construcción económicos y amigables al ambiente. Y al añadirse a las mezclas de concreto, las fibras se dispersan en todo el volumen de éste. Esto confiere a dicha matriz un armado en tres dimensiones en el que las fibras cosen las fisuras del concreto formando un “puente” entre los áridos gruesos, permitiendo una formación controlada de las fisuras, y llevando al mismo a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial.

A continuación se presentan las principales conclusiones del trabajo de investigación realizado.

En el primer objetivo se estableció seleccionar las relaciones de los componentes de distintas mezclas, con base en una fórmula comercial, para utilizar fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar como aditivo en sustitución de una parte del agregado fino, en la elaboración de un concreto reforzado, considerando sus propiedades mecánicas.

1.- En cuanto a la selección de las materias primas a conformar la mezcla patrón, es de suma importancia lograr las relaciones óptimas entre las materias primas para obtener buena trabajabilidad, fluidez y poca o nula segregación, la mezcla que cumplió con estas características fue la mezcla 5 denominada “mop5”.

2.- La densidad promedio de las fibras de coco sin tratamiento químico fue de $(1140 \pm 15) \text{ kg/m}^3$ con una absorción promedio de agua de $(155 \pm 11) \%$, mientras que con tratamiento químico la densidad promedio fue de $(1014 \pm 21) \text{ kg/m}^3$ y la absorción de agua promedio fue de $(39 \pm 7) \%$.

3.-El diámetro máximo para las fibras de coco estuvo en el rango (0,18- 0,33) mm y un diámetro mínimo entre (0,10-0,21) mm.

El segundo objetivo buscó analizar las propiedades mecánicas del concreto para cilindros, losas y vigas reforzados con fibras de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos.

4.- En cuanto a los cilindros la resistencia a compresión de la mezcla patrón sin fibras naturales fue de 40,11MPa. Para mezclas con fibras de coco tamaño corto y largo al 2,5% de concentración, sin tratamiento, la resistencia a compresión fue de 39,5 y 37 MPa respectivamente, para las de 5% de concentración fue de 36,5 y 37 MPa y por último, para las de 10% de concentración fue de 27,5 y 30,5 MPa respectivamente. Para las fibras tratadas químicamente e impregnadas con PMMA y tamaño aleatorio (≤ 4) los valores de resistencia, para 2,5; 5 y 10 % en concentración fue de 38,5; 37,5 y 35,5 respectivamente.

5.-El tratamiento protector con polimetilmetacrilato, le permite a la fibra mantener un porcentaje aceptable de su resistencia última a la tensión, después de haber estado expuesta a ambientes de ciclos de calor, humedad y alcalino.

6.-La resistencia a tracción para vigas reforzadas con fibras de coco fue 4,8MPa para las mezclas de 2,5 % de concentración en volumen de fibras para la distribución de tamaño largo.

7.-En las losas sometidas a ciclos de humedad y secamiento se observó la pérdida de adherencia de la fibra con la matriz alrededor de ella. Ocasionado una considerable reducción en la resistencia mecánica del concreto. Solo para las fibras tratadas con PMMA para una concentración 2,5% de fibras se obtuvo un valor de 5,3MPa este valor fue superior al que se obtuvo en la mezcla patrón siendo 4,6MPa.

8.- En la evaluación del proceso de degradación de las fibras de coco la energía de activación estuvo en un rango entre 71,9 y 95 kJ/mol para las fibras de tamaño corto y entre 91,1 y 103,9 kJ/mol para las de tamaño largo. Y en cuanto a las características de las fibras se pudo demostrar que dependiendo del tamaño, concentración en volumen y tratamiento químico se consiguen comportamientos favorables en cuanto a resistencia a compresión y flexión.

9.-Las fibras evitan las grietas en las mezclas en estado fresco, por lo que las mezclas tendrán mayor durabilidad a lo largo del tiempo.

10.- Los concretos reforzados con fibras de coco como sustituto en parte del agregado fino no se fracturan de manera inmediata al momento de recibir la carga máxima (kg), sino que, se comportan de forma dúctil, para luego ir deformándose hasta llegar al fallo o ruptura final, este comportamiento es deseable para su utilización como material constructivo.

El tercer objetivo planteó determinar las propiedades mecánicas del concreto para cilindros y vigas reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar mediante ensayos destructivos y no destructivos.

11.- Se pudo evidenciar que en las muestras de concreto ensayadas a compresión donde se utilizan las fibras de bagazo de caña de azúcar tamaño largo (5-6) cm sin tratamiento químico con un porcentaje en volumen 2,5% arrojaron resultados satisfactorios en comparación con la mezcla con adición de fibras tamaño corto y fibras impregnadas con PMMA, los valores fueron para 7, 14, 28, 60 y 128 días (21,03; 33,09; 34,1; 40,59; y 41,82) MPa respectivamente.

12.-Se pudo apreciar que la incorporación de las fibras de Caña de azúcar en las muestras utilizadas, no se produjo resultados significativos en flexión, ya que las

mismas se comportan de manera similar a la mezcla patrón en donde no se utiliza fibra.

13.-A los 128 días de curado todas las mezclas reforzadas con caña de azúcar presentan valores de resistencia similares. Asimismo al adicionar estas fibras al concreto, se potencia el desempeño ante una carga o una fisura, pues se genera una resistencia residual para que la estructura no colapse de inmediato. Por lo tanto, estos materiales la hacen más elástica y de mayor soporte a la fractura.

RECOMENDACIONES

La investigación del concreto reforzado con estas fibras naturales no concluye con esta tesis, al contrario, proporciona el fundamento para investigaciones futuras sobre el tema estudiado. Es necesario esforzarse aún más para llegar a obtener los resultados esperados; en lo referente a la durabilidad, es necesario seguir investigando para asegurar una vida útil apropiada de estos materiales y que contribuyan en la búsqueda de materiales de construcción con una óptica de sustentabilidad alternativos a los tradicionales.

Las fibras vegetales todavía están en un campo de investigación muy fuerte, porque no se han desarrollado los niveles de mejoramiento de propiedades similares a las sintéticas o a las de acero.

Es importante realizar una campaña de divulgación de la contribución al estudio de las fibras naturales para reforzar mezclas de concreto en revistas especializadas, congresos y simposios, además, se prevé realizar reuniones interinstitucionales entre la Universidad de Carabobo y los entes del Estado que administran los recursos del sector construcción.

De manera general se recomienda:

- 1.- Generar mezclas reforzadas con fibras naturales con muestras sometidas a medios corrosivos, ya que áreas del sector industrial y de la construcción, siempre están inmersos con este fenómeno.
- 2.- Construir paneles rellenos de concreto reforzados con fibras y exponerlos a medios agresivos, de tal manera que se pueda evaluar su vida útil.
- 3.- Se recomienda generar modelos con muestras asociadas a comportamientos con fatiga, debido a la diversidad de usos de este material, por ser utilizado tanto en ambientes agresivos como húmedos.
- 4.- Estudiar la variación de las propiedades de la mezcla alrededor de 2,5 % de contenido de fibras de coco.

REFERENCIAS

ACI Committee 544, (1998). "Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part 5: 544.4R-1 - 544.4R-I8.

Agopyan V., Savastano, H., John, V., y Cincotto, M. (2004). "La evolución en los materiales de concreto basado en fibras vegetales en Sao Paulo, Brasil: una visión general".

Agopyan, V., Savastano, H., John, V., y Cincotto, M. (2005). "Developments on vegetable fibre–cement based materials in Sao Paulo, Brazil: an overview". *Cement Conc Compos*, 27(5) 527-536.

Águila I., y Sosa, M. (2008). "Evaluación físico química de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales pusilánimos". Universidad Central de Venezuela, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, Vol. 23, (4). 55–66.

Albano, C., Gonzalez J., Ichazo, M., y Kaiser, D. (1999). "Thermal stability of blends of polyolefins and sisal fiber". *Polymer Degradation and Stability* (66): 179-190.

Albano, C., Camacho, N., Reyes, J., Feliu, J.L., Hernández, M. (2005). Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing, *Composite Structures*, 71, 439-446.

Albertsson, A., Erlandsson, B., Hakkarainen, M., y Karlsson S. (1998). "Molecular weight changes and polymeric matrix changes correlated with the formation of degradation products in biodegraded polyethylene". *Journal of Environmental Polymer Degradation*. 6(4):187-195.

Antal, M., y Varhegyi, G. (1995). "Cellulose Pyrolysis Kinetics: The Current State of Knowledge" *Ind. Eng. Chem. Res.* (34): 703-717.

Aranberri, I., Lampke, T., y Bismarck, A. (2003). "Wetting behavior of flax fibers as reinforcement for polypropylene". *Journal of Colloid and Interface Science*, 263 (2): 580-589.

Asasutjarit, C., Hirunlabh, J. Khedari, J. Charoenvai, S. Zeghamati B., y Shin, U. (2007). "Development of coconut coir-based lightweight cement board". *Construction and Building Materials*, 21 (2): 277-288.

ASTM C 1018-97. "Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete"

ASTM D 1708-02. "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic by Use of Microtensile Specimens"

Aziz, M., Paramaswivam, P., y Lee, S. (1984). "Concrete Reinforced with Natural Fibers", *Concrete Technology and Design Vol. 2, New Reinforced Concretes*, edited by R. N. Swamy, Surrey University Press, U.K. 106–140.

Aziz, S., y Ansell, M. (2004). "The effect of alkalization and fibre alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fibre composites: Part 1 – polyester resin matrix". *Composites Science and Technology*, Volume 64, (9): 1219- 1230.

Baruah, P., y Talukdar, A., (2007). Comparative study of compressive, flexural, tensile and shear strength of concrete with fibres of different origins. *Indian Conc. J.*, 81(7): 17-24.

Bastioli C. (2005). Editor. "Handbook of Biodegradable Polymers". Shrewsbury: Rapra Technology.

Beraldo, A. (2004). "Composito Ligero Partículas de Guadua". *Seminario Internacional de Guadua*, Pereira Colombia. 15.

Betancourt, P., Gañán, A. y Jiménez, L. (2009). "Degradación térmica de fibras naturales procedentes de la calceta de plátano (estudio cinético)". *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, (1): 215-21.

Bilba, K., Arsene, M., y Quesanga, A. (2003). "Sugarcane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on setting of bagasse/cement composite". *Cement and concrete composites* (25): 91-96.

Bisanda, E. (2000). "The effect of alkali treatment on the adhesion characteristics of sisal fibres". *Appl Comp Mater*; (7):331–9.

Bismarck, A., Aranberri, J. Springer, K., Mohanty, A., Misra, M., Hinrichsenand,

G., y Czapla S., (2001). "Surface characterization of natural fibers; surface properties and the water up-take behavior of modified sisal and coir fibers". *Green Chemistry* (3):100–107.

Bledzki, K., y Gassan, J. (1999). "Composites reinforced with cellulose based fibres". *Progress in Polymer Science*, 24 (2): 221-274.

Bledzki, K., Reihmane, S., y Gassan, J. (1996). "Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites". *Journal of Applied Polymer Science* (59): 1329-1336.

Bos, L., Müssig, J., y van den Oever, J. (2006). "Mechanical properties of short-flax-fibre reinforced compounds". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37 (10): 1591-1604.

Brett C y Waldron K. (1996). "Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls", 2nd ed., Chapman & Hall, London

Broido, A., Shafizadeh, F, Sarkanen, V, y Tillman, A, (1976). Editors. Academic Press: New York.

Broido, A., y Nelson, M. (1975). "Char yield on pyrolysis of cellulose". *Combust. Flame*, (24): 263–268.

Brown, A., Matellanes, L., Álvarez, A., Momeñe, E., Txarroalde, J., Serantes, M., Leal, J., y Renté, A. (2007). "Disminución del empleo de materiales plásticos a partir de la revalorización del bagazo cubano". *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 8(4)*: 287-299

Canovas, M., Kawiche, G., y Selva, N. (1990). "Possible Ways of Preventing Deterioration of Vegetable Fibres in Cement Mortars", *Second International RILF.M Symposium Proceedings*, Salvador Bahia Brazil Chapman and Hall, edited by 11. S. Sobral:120 – 129

Cao, Y., Shibata, S., y Fukumoto, I. (2006). "Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments". *Composites* (37): 423-429.

Cavides, H., y Rojas, W. (1994). "Evaluación de la estopa de coco como fuente alternativa de fibra celulósica para papel". Tesis (Ingeniero Químico). Universidad del Valle. Santiago de Cali, 77.

Centeno, Y. (2012). "evaluación del desempeño del concreto reforzado con fibras

de sisal y su factibilidad en la producción de paneles para cerramientos exteriores". Trabajo de Grado, presentado ante la Universidad Central de Venezuela para optar al Grado Académico de Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción.

Chandra, R, y Rustgi, R. (1997). "Biodegradation of maleated linear low-density polyethylene and starch blends", *Polym. Degrad. Stab.*, (56): 185-202

Chanzy, H.; Imada, K. y Vuong, R. (1978). "Electron diffraction from the primary wall of cotton fibers". *Protoplasma*, (94): 299-306

Chen, B., y Evans J., (2005). "Thermoplastic starch-clay nanocomposites and their characteristics". *Carbohydr Polym* (61):455–463

Chen, H., Lai, K. y Lin, Y. (2004). "Methods for determining the Kinetic Parameters from nonisothermal Thermogravimetry: a comparison of reliability". *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37(9): 1172-1178.

Choudhury, A. (2008). "Isothermal crystallization and mechanical behavior of ionomer treated sisal/HDPE composites". *Materials Science and Engineering: A*, 491 (1-2): 492-500.

Cincotto, J., Sjöström, C., Agopyan, V. y Oliveira, C. (2005). "Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre". *Cement y Concrete Composites* (27): 565–574

Clarival, A., Halleux, J. (2005). Smith R editor. "Biodegradable polymers for industrial applications". London; Woodhead Publishing.

Coats, A., y Redfern, J. (1964). "Nature", 201:68doi:10.1038/201068a0

Coats, A., y Redfern, J. (1965). "Kinetic Parameters from Thermogravimetric Data. II." *Polymer Letters*, (3): 917 - 920.

Conesa, F. (2000). "Curso básico de análisis térmico: Termogravimetría, cinética de reacciones y análisis térmico diferencial", Universidad de Alicante, 11-20.

Coutts, R. (1983). "Flax Fibers as Reinforcement in Cement Mortars". *Int. J. Cement Composites and Lightweight Concrete*, 5(4): 257- 262.

Coutts, R. (1987a). "Air-Cured Wood pulp Fiber/Cement Mortars", *Int. J. Cement*

Composites and Lightweight Concrete, 18 (4): 325 - 328.

Coutts, R. (1987b). "Microstructure of Wood-Fibre-Plaster Composites", Journal of Materials Science Letters, 562 - 564.

Coutts, R. (1987c). "Fibre-Matrix Interface in Air Cured Wood-Pulp Fibre-Cement Composites", Journal of Materials Science, (6): 140 - 142.

Coutts, R. (1988). "Wood Fibre Reinforced Cement Composites, Concrete Technology and Design Vol. 5", Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete, edited by R. N. Swamy, Blackie and Son Ltd, U.K. 1-62.

Covenin 1753:2006 "Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural".

Covenin 254:1998 (ASTM E 11). "Cedazos de Ensayos".

Covenin 255:1988 "Agregados. Determinación de la composición granulométrica".

Covenin 263:1978 (ASTM C 29). "Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado".

Covenin 268:1998 (ASTM C 128). "Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción".

Covenin 269:1998 (ASTM C 127). "Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción".

Covenin 28: 2002 (ASTM C 150). "Cemento Portland. Especificaciones".

Covenin 338:2002 (ASTM C 31, C 39 y C 192). "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto"

Covenin 339:1994 (ASTM C 143). "Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams".

Covenin 340: 2004 (ASTM C 192/ C 192M-02). "Concreto. Elaboración y curado de probetas en el laboratorio para ensayos a flexión".

Covenin 342:2004 (ASTM C78-02). "Concreto. Determinación de la resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas. Cargas en los extremos del tercio

central”.

Covenin 343:2004 (ASTM C293-02). “Concreto. Determinación de la resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas. Carga en el centro del tramo”.

Covenin 344:2002 (ASTM C 172). “Concreto fresco. Toma de muestra”.

Covenin 354:2001 (ASTM C 192). “Concreto. Método para mezclado de concreto en el laboratorio”.

Das Gupta N C, Paramshivam P, Lee SL (1979). Mechanical properties of coir reinforced cement pastes composites. *Housing Science*, Pergamon Press Inc. London, 2(5): 391-406.

Dhakal, H., Zhang, Z., y Richardson, M. (2007). "Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites". *Composites Science and Technology*, 67 (7-8): 1674-1683.

Di Blasi, C., y Branca. C. (2001). "Temperatures of Wood Particles in a Hot Sand Bed Fluidized" by *Industrial y Engineering Chemistry Research*; 40(23): 5547-5556.

Doan, T., Brodowsky, H., y Mäder, E. (2007). "Jute fibre/polypropylene composites II. Thermal, hydrothermal and dynamic mechanical behavior". *Composites Science and Technology*, 67 (13): 2707-2714.

Dos Santos, A. (2006). "Estudo de compositos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia". Curitiba: Universidad Federal de Parana.

Duarte, S., Queiroz, S., Sanches, A., Vicentini, R., y Dedini, G. (2012). "Ethnobotany of Natural Fibres-Bactris setosa (tucum) in a Traditional Rural Community". *Poland: Fibres & Textiles in Eastern Europe* (2): 18-20.

Ehrenstein, G., Riedel, G. y Trawiel, P. (2004). "Thermal Analysis of plastics: Theory and practice". Hansen, Munich, 368.

Erlandsson, B., Karlsson, S., y Albertsson A. (1997). "The mode of action of corn starch and a pro-oxidant system in LDPE: influence of thermo oxidation and UV-irradiation on the molecular weight changes". *Polym Degrad Stab*; (55):237–45

Espitia, H. (2010). "Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en reforzamiento de polímeros termoplásticos". Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ciencias Química. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Escuela de Química Sede Medellín.

Facca, G., Kortschot, T., y Yan, N. (2006). "Predicting the elastic modulus of natural fibre reinforced thermoplastics". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37 (10): 1660-1671.

Facca, G., Kortschot, T., y Yan N. (2007). "Predicting the tensile strength of natural fibre reinforced thermoplastics". *Composites Science and Technology*, 67 (11-12): 2454-2466.

Fedeagro, (2006). "Estadísticas Agrícolas Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios", Venezuela.

Félix, F. (2002). "La paradoja de Kaldor y el comercio de azúcar entre los EE.UU. y México". Trabajo de investigación. Programa de doctorado en economía. 12-18.

Fengel D, y Wegener G. (1984). "Chemistry, ultra-structure, reactions". Berlín-New York, 613.

Fernández M., (1977). "Patología y terapéutica del hormigón armado", editorial dossat, Madrid, 389.

Fernández, S. Fernández C., Baptista, P., (2010). Metodología de la investigación (5ta. ed.). D.F., México: McGraw Hill.

Ferriol, M., Gentilhomme, A., Cochez, M., Oget, N., Mieloszynski, J. (2003). "Thermal degradation of poly (methyl methacrylate) (PMMA): modelling of DTG and TG curves". *Polymer Degradation and Stability* (79):271-281.

Fracelli, M. (1996). "Reparación de daños estructurales". Caracas, 321.

Freites, Antonio., Osuna, Melanie., Rodríguez, Héctor., Romero, Miguel., y Salazar, Diana. (2013). "Estudio de la resistencia a compresión en mezclas de concreto, sustituyendo el 10% en peso de cemento por cenizas de las hojas secas de la palma chaguaramo como material puzolánico 1162" – Tecnología del Concreto - Marzo. Universidad Central de Venezuela.

García, J. (2007). "Fibras Papeleras", Ed UPC

Gassan, J, y Bledzki, K. (2000). "Possibilities for improving the mechanical properties of jute/epoxy composites by alkali treatment of fibres", *Compos Sci Technol*, (59):1303-1309.

Gatani, M., Argüello, R., y Sesín, S., (2010). "Materiales compuestos de cáscara de maní y cemento. Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas", *Materiales de Construcción*, 60, (298):137-147

Geymaryr, W. (1985). "Concreto". Valencia: G.W. Geymaryr.

Gram, H., (1988a). "Natural Fibre Concrete Roofing, Concrete Technology and Design Vol. 5", *Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete*, edited by R. N, Swamy, Blackie and Son Ltd, U.K. 256 – 285.

Gram, H., (1988b). "Durability of Natural Fibres in Concrete", *Concrete Technology and Desig, Vol. 5: Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete*, London, Blackie and Son Ltd. 143 -172.

Griffin, J., (1994). "Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers". Glasgow: Blackie Academic Professional.

Gutiérrez, A y Matheus, A. (2006). "Estudio a través de ensayos destructivos y no destructivos de las mezclas de concreto con Polietilentereftalato (PET) reciclado". Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Hermann, S., Nickel, J., y Riedel, U. (1998). "Construction materials based upon biologically renewable resources-from components to finished parts", *Polym Degrad Stab*, 59 (1-3): 251-261.

Herrera, P., y Valadez, A. (2004). "Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35 (3): 339-345.

Hong, K., Hwang, I., Kim, N., Park, H., Hwang, S., y Nah, C. (2008). "Mechanical properties of silanized jute–polypropylene composites". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14 (1): 71-76.

Iannace, S., Nocilla, G., y Nicolais, L. (1999). "Biocomposites based on sea algae fibers and biodegradable thermoplastic matrices". *J Appl Polym Sci* (73):583–92.

Idicula, M., Boudenne, A., Umadevi, L., Ibos, L., Candau, Y., y Thomas, S. (2006). "Thermophysical properties of natural fibre reinforced polyester composites". *Composites Science and Technology*, (66): 2719–2725.

Jain, S., Jindal, C., y Kumar, R. (1993). "Development and fracture mechanism of the bamboo polyester resin composite". *Journal of materials science letters*, 12 (8): 558-560.

Jain, S., y Kumar, R. (1996). "Mechanical behaviour of bamboo fibres reinforced plastic (BFRP) composite and effect of environment on properties". *Conference Information: Symposium on Processing and Fabrication of Advanced Materials V*, at Materials Weet 96, Cincinnati Ohio, processing and fabrication of advanced materials, 443-456.

Jayaraman k. (2003). "Manufacturing sisal–polypropylene composites with minimum fibre degradation". *Comp. Sci. Tech*, (63): 367-374

Joseph K, Varghese S, Kalaprasad G, Thomas S, Prasannakumari L, Koshy P, y Pavithran C. (1996). "Influence of interfacial adhesion on the mechanical properties and fracture behaviour of short sisal fibre reinforced polymer composites". *European Polymer Journal*, 32 (10): 1243-1250.

Joseph V, Joseph K, y Thomas S. (1999). "Effect of processing variables on the mechanical properties of sisal-fiber-reinforced polypropylene composites". *Composites Science and Technology*, (59): 1625-1640.

Juárez C., Valdez, P. y Durán, A. (2004a). "Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción". *Ingeniería de Construcción*, 19 (2): 83-92

Juárez, C., Rodríguez P., Rivera R., Rechy M. (2004b). "Uso de las fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto", *Universidad Autónoma de Nuevo León vol. VII*, N° (22): 7- 19.

Kang, B., Kim, S. y Kim, J. (2008). "Thermal degradation of polymethyl methacrylate polymers: Kinetics and recovery of monomers using a fluidized bed reactor". *J. Anal. Appl. Pyrolysis* (81): 7–13.

Keller, A. (2003). "Compounding and mechanical properties of biodegradable hemp fibre composites". *Composites Science and Technology*, 63 (9): 1307-1316.

Kulkarni, A., Satyanarayana, K., Sukumaran, K. y Rohatgi, P. (1981). "Mechanical behaviour of coir fibres under tensile load". *Journal of materials science* (16): 905-914.

Lewis, G., y Mirihagalia, P. (1979). "Natural Vegetable Fibers as Reinforcement in Cement Sheets", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 31, N° (107): 104–108.

Li, H., Meng, Z., Wang, J., Rajulu, V., y Tjong, C. (2004). "Completely biodegradable composites of poly (propylene carbonate) and short, lignocellulose fabric *hildegardia populifolia*". *J Polym Sci: Part B*; (42):666–75.

Li, Z., Wang, L., and Wang, X. (2007). "Cement composites reinforced with surface modified coir fibers." *Journal of Composite Materials*, 41(12): 1445-1457.

Luo, S, y Netravali, N. (1999). "Interfacial and mechanical properties of environment friendly 'green' composites made from pineapple fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin". *J Mater Sci* (34): 3709–19.

Machado, A. (2003). "La agricultura del Litoral Pacífico". En *Colombia Pacífico*, tomo II. Editorial Pablo Leyva. En: www.banrep.gov.co/blaavirtual/letra-c/cpacifi2/55.htm. Descargado en enero de 2012.

Marcelo, V, y Edwin, T, (1995). *Amstrong RC. Polymer*; (36):1869.

Martínez, L., López, M., Vázquez, A., y Arroyo, M. (2000). "Efecto de distintos tipos de fibra corta en las propiedades mecánicas de las mezclas de polipropileno/polietileno". En *Jornadas SAM 2000-IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga*, 1017- 1024.

Martins, P., Watanabe, T., Silva, L., Borelli, C., Marcicano, P., y Sanches, R. (2013). "Aproveitamento de fibra de coco verde para aplicabilidade têxtil". *Use of young nut coir fiber for textile applicability*. Rio de Janeiro: Redige V.4, N.2.

Maya J., y Sabu T. (2008a). "Biofibres and biocomposites". En: *Carbohydrate Polymers*. (71): 343–364.

Maya, J. y Rajesh, D. (2008b). "Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites". *Polymer composites*.

(29):187-208.

Mehta, K., y Monteiro, P., (1998). "Concreto Estructura, Propiedades y Materiales, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto", A.C., México, 286–297.

Min, L., Q. C. Xiang y S. Wei (2004). "Mechanical properties of high-strength concrete after fire". *Cement and Concrete Research* (34): 1001-1005.

Miravete, A. y Cuartero, J. (2004). "Materiales Compuestos 03". Edit. Reverté. España.

Mohan, D., Pittman, Ch., y Steele, P. (2006). "Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review". *Energy & Fuels* (20): 848-889.

Mohanty, A., Misra, M., y Hinrichsen, G. (2000a). "Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview", *Macromol Mater Eng*, (1):276/277

Mohanty, A, Khan M, y Hinrichsen, G. (2000b). "Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics-polyester amide composites". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31 (2): 143-150.

Mohanty, A, Khan M, y Hinrichsen G. (2000c). "Surface modification of jute and its influence on performance of biodegradable jute-fabric/Biopol composites". *Compos Sci Technol*; (60):1115–24.

Mohanty, A., Wibowo, A., Misra, M., y Drzal, T. (2004). "Effect of process engineering on the performance of natural fiber reinforced cellulose acetate biocomposites". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35 (3): 363-370.

Mohd, H., Mohd, R., Azriszul, A., Ahmad, A. y Saparudin, A. (2012). "Efecto del tratamiento de mercerización sobre las fibras naturales en las propiedades mecánicas de los compuesto reforzado". *World Academy of Science, Engineering and Technology* 68

Morán, J. (2008). "Extracción de celulosa y obtención de nanocelulosa a partir de fibra sisal – caracterización". División Polímeros – INTEMA - Universidad Nacional de Mar del Plata Av. Juan B. Justo 4302 – Mar del Plata, Argentina 2do Encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales – Posadas–Misiones, 16 - 17 Octubre.

Murali, R., y Mohana, K., (2007). "Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo". *Composite Structures*, (77): 288–295.

Nabi D, y Jog, P. (1999). "Natural fiber polymer composites: A review". *Advances in Polymer Technology*, 18 (4): 351–363.

Nishino, T., Hirao, K., Kotera, M., Nakamae, K., y Inagaki, H. (2003). "Kenaf reinforced biodegradable composite". *Composites Science and Technology*, Volume 63, Issue 9, July, 1281-1286.

Ochi, S. (2006). "Development of high strength biodegradable composites using Manila hemp fiber and starch-based biodegradable resin". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37 (11): 1879-1883.

Osorio J, Varón F, y Herrera J. (2007). "Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de bagazo de caña de azúcar". *Dyna* 74 (153): 69-79.

Paiva, Z., de Carvalho, H., Fonseca, M., Monteiro, N., y d'Almeida, R. (2004). "Analysis of the tensile strength of polyester/hybrid ramie–cotton fabric composites". *Polymer Testing*, 23 (2):131-135.

Pan, N. (1993). "Theoretical determination of the optimal fiber volume fraction and fiber-matrix property compatibility of short fiber composites". *Polymer Composites*, 14 (2): 85-93.

Porrero, J., y Ramos, C. (2004). "Manual del Concreto Estructural". Sidetur, Venezuela, 31-185.

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., y Velazco, G. (2008). "Manual del Concreto Estructural". Caracas: SIDETUR.

Pracella, M., Chionna, D., Anguillesi, I., Kulinski, Z., y Piorkowska, E. (2006). "Functionalization, compatibilization and properties of polypropylene composites with Hemp fibres". *Composites Science and Technology*, 66 (13): 2218-2230.

Prasad, S. V.; Pavithram, C.; y Rohatgi P. K. (1983). "Alkali treatment of coir fibers for coir – polyester composites". *Journal of Material Science*, Vol. (18): 1443- 1454.

Quintero, S., (2003). "Evaluación del uso de la estopa de coco (*Cocos nucifera*),

obtenida como residuo de la industria alimenticia en el Valle del Cauca, para la elaboración de elementos prefabricados de concreto aligerado". Trabajo de grado (Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración. Palmira. 156.

Quintero, S., y González, L., (2006). "Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto". *Ingeniería y Desarrollo*, (20):134-150,

Ramesh, S., Koay, L., Kumutha, K., y Arof (2007). "FTIR studies of PVC/PMMA blend based polymer electrolytes *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*", 66 (4-5):1237-1242

Reis, M., (2006). "Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete," *Construction and Building Materials*, 20 (9): 673-678.

Rodríguez, L., (1994). "La retracción de la pasta de cemento y sus mecanismos". Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Rout, J., Misra, M., Tripathy, S., Nayak, K., Mohanty, A. (2001). "The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites". *Compos Sci Technol*; 61 (13):03-10.

Rout, J., Tripathy, S., Nayak S., Misra, M., (2001). "Scanning electron microscopy study of chemically modified coir fibers". En: *Journal of Applied Polymer Science*. Orissa. 79 (7):1169-1177

Salgado, R., Coria, L., García, E., Vargas, Z., Rubio, E., y Crispín, I., (2010). "Elaboración de materiales reforzados con carácter biodegradable a partir de polietileno de baja densidad y bagazo de caña modificado" *Rev. Iberoam. Polím.*, 11(7): 520-531

Sánchez, D., (2001). "Tecnología del concreto y del mortero quinta edición Bogotá pontificia universidad javieri, facultad de ingeniería civil. 62

Satyanarayana, G., Sukumaran, K., Mukherjee, S., Pavithran, C., y Pillai, G., (1990). "Natural fibre-polymer composites". *Cement and Concrete Composites*, 12 (2): 117- 136.

Satyanarayana, G., Ravikumar, K., Sukumaran, K., Mukherjee, S., Pillai, G., y Kulkarni, K. (1986). "Structure and properties of some vegetable fibres". Part 3. Talipot and palmyrah fibre, *J of Material Science* 21(1): 57-63

Schnabel W. (1981). "Polymer Degradation, Principles and Practical Applications". München: Hanser.

Scott G, (2002). "Degradable Polymers". Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Sen T., y Jagannatha R. (2011). "Aplicación de sisal, bambú, fibra de coco y yute composites naturales, como reforzamiento estructural". International. Journal of innovation, management and technology vol. 2, (3)

Sera, E., Robles, L., y Pama, P. (1990). "Natural Fibers as Reinforcement". Journal of Ferrocement, Bangkok. 20 (2):109-124.

Shackelford, J., y Güemes, A. (1998). "Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros", 4ª Ed. Madrid. Prentice Hall Iberia. (ISBN 84-8322-047-): 675

Sharma K., Yadav, R., Maheshwari, L., y Kothari, M. (2000). "Bagasse Preservation: A Need for a Biotechnological Approach". Critical Reviews in Biotechnology, 20(4):237–263.

Shibata M, Ozawa K, Teramoto N, Yosomiya R, y Takeishi H. (2003). "Biocomposites made from short abaca fiber and biodegradable polyester". Macromol Mater Eng; (288):35–43.

Shibata M, Takachiyo K, Ozawa K, Yosomiya R, y Takeishi H. (2002). "Biodegradable polyester composites reinforced with short abaca fiber". J Appl Polym Sci; (85):129–38.

Silva, A. (2002). "Estudo da durabilidade de composites reforçados com fibras de celulose". Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Silva, G., De Souza, D., Machado, J. y Hourston, D. (2000). "Mechanical and thermal characterization of native brazilian coir fiber". Journal of Applied Polymer Science (76): 1197-1206.

Singleton, A. C. N., Baillie, C. A., Beaumont, P. W. R., y Peijs, T. (2003). "On the mechanical properties, deformation and fracture of a natural fibre/recycled polymer composite". Composites Part B: Engineering, 34 (6): 519-526.

Sivaraja, M. Kandasamy, N Velmani, M y Sudhakaran Pillai. "Estudio sobre la durabilidad de los materiales compuestos de hormigón con fibras naturales evaluando la resistencia mecánica y las propiedades microestructurales". Departamento de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Química, Ingeniería Kongu Colegio, Perundurai, Erode 638 052, India Universidad de Anna - Trichy, Ariyalur Campus, Tiruchirapalli 621 713, India Instituto Central de Tecnología de coco, coco Junta, Bangalore 560 058.

Sreekala, M. y Tomas S., (2001). "Stress-relaxation behaviour in composites based on short oil-palm fibres and phenol formaldehyde resin". En: Composites Science and Technology. India. (Jul.); Vol. 61, N° (9):1178

Stocchi, A., Lauke, B., Vázquez, A., y Bernal, A. (2007). "Novel treatment applied to woven jute fabric/vinylester laminates". Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 38 (5): 1337-1343.

Suárez, Y. (2003). "Esponjas de coco para crecer en un Periódico". Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, N° 43.

Sullcahuamán, A., Fuentes, C., Mateo, M., Pastor, A., Castro O., y Zavaleta J. (2007). "Materiales compuestos de cemento, papel reciclado, quitosano y refuerzo de fibras de sisal químicamente modificadas". 8 Congreso iberoamericano de ingeniería mecánica. Lima, Universidad Católica del Perú. Octubre 23-25.

Sun, C., Sun, F., Wang, Q., Zhu, W., y Wang, Y. (2002). "Ester and ether linkages between hydroxycinnamic acids and lignins from wheat, rice, rye, and barley straws, maize stems, and fast-growing poplar wood". Industrial Crops and Products, (15):179-188.

Swamy, N. (1990). "Vegetable Fibre Reinforced Cement Composites - a False Dream or a Potential Reality?". Second International RILEM Symposium Proceedings, Salvador Bahia Brazil, Chapman and Hall, edited by H. S. Sobral, 3-8.

Tobias, C. (1997a). "Hygrothermal degradation of abaca fiber-reinforced composite". Conference Information: 42nd International SAMPE Symposium and Exhibition on Evolving Technologies for the Competitive Edge (42nd ISSE), 1997 ANAHEIM CA, vol. (42): 996-1006.

Tobias, C., y Zhu, H. (1995). "Banana fibre-reinforced composites". Conference Information: 40th International SAMPE Symposium and Exhibition on Materials Challenge Diversification and the Future, ANAHEIM CA Vol. (40): 221-231.

Tobias, C., Ibarra, E. (1997b). "Influence of cure temperature on the flexural strength of natural based composites". Conference Information: 42nd International SAMPE Symposium and Exhibition on Evolving Technologies for the Competitive Edge (42nd ISSE), mayo, Vol.(42): 181-188

Toledo R., Barbosa, N., y Ghavami K. (1990). "Proc second inter, Rilem Simp. on vegetable plants and their fibers as building material Salvador", Brazil set 17-21, 139

Toledo, R., Ghavami, K., England, G., y Scrivener, K., (2000). Development of vegetable fibremortar composites of improved durability. *Cement y Concrete Composites* (25) 185–196

Toledo, R., Scrivener, K., England, G y Ghavami, K. (2000). "Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites". *Cement Concrete Composites* (22):127–43.

Torres, F., y Cubillas, M. (2005). "Study of the interfacial properties of natural fibre reinforced polyethylene". *Polymer Testing*, 24, 694–698.

Torró R., (2010). "Desarrollo y caracterización de biocomposites enfibrados procedentes de recursos renovables". Estudio de su degradación en tierra. Tesis doctoral Valencia, Octubre.

Valencia, G., Mejía, R., Barrera, J. y Delvasto, S. (2012). "Estudio de durabilidad y corrosión en morteros armados adicionados con toba volcánica y ceniza de bagazo de caña de azúcar". *Revista de la Construcción Volumen 12* (22)

Vélez, J. (2003). "La estopa de coco: nueva materia prima para la industria papelera". Agencia Universitaria de Periodismo Científico. AUPEC. En: www.univalle.edu.co. Descargado en enero de 2011.

Vignon, M., Dupeyre, D. y García, C. (1996). "Morphological characterization of steamexploded hemp fibers and their utilization in polypropylene-based composites". *Bioresource Technology*, 58 (2): 203-215.

Vilaseca, F., Mendez, J.A., Pèlach, A., Llop, M., Cañigueral, N., Gironès, J., Turon, X. Mutjé, P. (2007). "Composite materials derived from biodegradable starch polymer and jute strands". *Process Biochemistry*, 42 (3): 329-334.

Wambua, P., Ivens, J., y Verpoest, I. (2003). "Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics" *Comp. Sci. Tech.* (63):1259-1264.

Wielage, B., Lampke, T., Utschick, H. y Soergel, F. (2003). "Dynamic Mechanical Properties", *Journal of Materials Processing Technology*, (139): 140-146.

Wollerdorfer, M. y Bader, H. (1998). "Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers". *Ind Crop Prod* (8): 105–112.

Yao, F., Wu, Q., Lei, Y., Guo, W. y Xu, Y, (2008). "Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermogravimetric analysis". *Polymer Degradation and Stability* (23): 90-98.

Anexos

ANEXO 1: Especificaciones granulométricas del para el agregado fino



PC-CC-R-01

Caracas, 3-Abr-2009

ENSAYO DE AGREGADO FINOMATERIAL: **ARENA (Entrada a Planta)**

ENSAYO SOLICITADO POR: LABORATORIO

MUESTRA SACADA POR: MAXIW CHONA

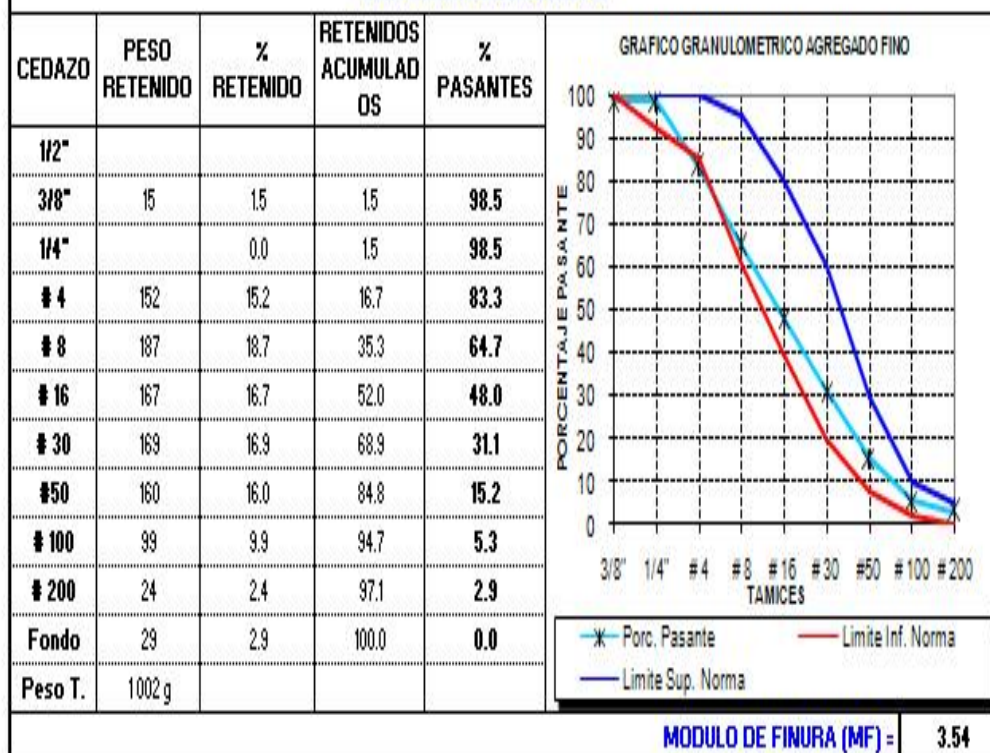
FECHA: MARZO

ENTREGADO POR: MAXIW CHONA

FECHA: MARZO

PROCEDENCIA: F.N.C DIVISION CONCRETOS

USO REQUERIDO: AGREGADO PARA CONCRETO

PROCEDENCIA: **ARENERA PUENTEAREA****ENSAYO GRANULOMETRICO**

ANEXO 2: Especificaciones de peso, impurezas orgánicas, cloruros y sulfatos para el agregado fino.

PESO ESPECIFICO

Densidad*Muestra+Envase:	663.69 gr/cm ³
Peso del Envase:	165 g
Peso del Envase+H ₂ O:	662 g
P.del Envase+H ₂ O+Muestra	971 g
Peso de La Muestra:	500 g
Densidad del H ₂ O:	0.99797 cm ³
P ESPECIFICO:	2.58 g/cm³

PORCENTAJE DE ABSORCION

Peso \$\$\$:	500 g
Peso Seco:	489 g
PORC ABS:	2.19 %

PESO UNITARIO SUELTO

Temperatura:	23 °C
Peso Unitario H ₂ O:	997.3962
Peso del Agua:	2.815 Kg
Peso Recipiente:	6.558 Kg
Peso Muest. + Recip.:	11.272 Kg
Peso Muestra:	4.714 Kg
Factor:	354.31481 m ³

PESO UNITARIO SUELTO:

1 670 Kg/m³

PESO UNITARIO COMPACTO

Temperatura:	23 °C
Peso Unitario H ₂ O:	997.3962
Peso del Agua:	2.815 Kg
Peso Recipiente:	6.558 Kg
Peso Muestra + Recipiente:	11.803 Kg
Peso Muestra:	5.245 Kg
Factor:	354.31481 m ³

PESO UNITARIO COMPACTO:

1 858 Kg/m³

TAMIZ # 200

Peso Lav.Ta. # 200:	2 000 g
Peso Sec.D.Lav:	1 931 g
TAMIZ # 200:	3.45%

IMPUREZAS ORGANICAS

Color N° 1
NO Contiene Impurezas.

PORCENTAJE EN SUSPENSION

Cant de Mat en Suspensión:	30 cm ³
Cant de Muestra:	500 g

PORCENTAJE EN SUSPENSION

3.60 %

PRESENCIA DE CLORUROS Y SULFATOS

Cloruros: ☐ SI ☒ NO
 Sulfatos: ☐ SI ☒ NO

Fecha: 03/04/09 Realizado por: Tsu. Maxiir Chona Revisado por: Ing. Gleicy Ramos

Normas utilizadas en la elaboracion del informe: Covenin 254,256,258,259,263,268,270,277.

ANEXO 3: Especificaciones granulométricas del agregado grueso.



PC-CC-R-02

Caracas, 3-Jul-2009

ENSAYO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: PIEDRA #1

ENSAYO SOLICITADO POR: F.N.C. CONCRETOS

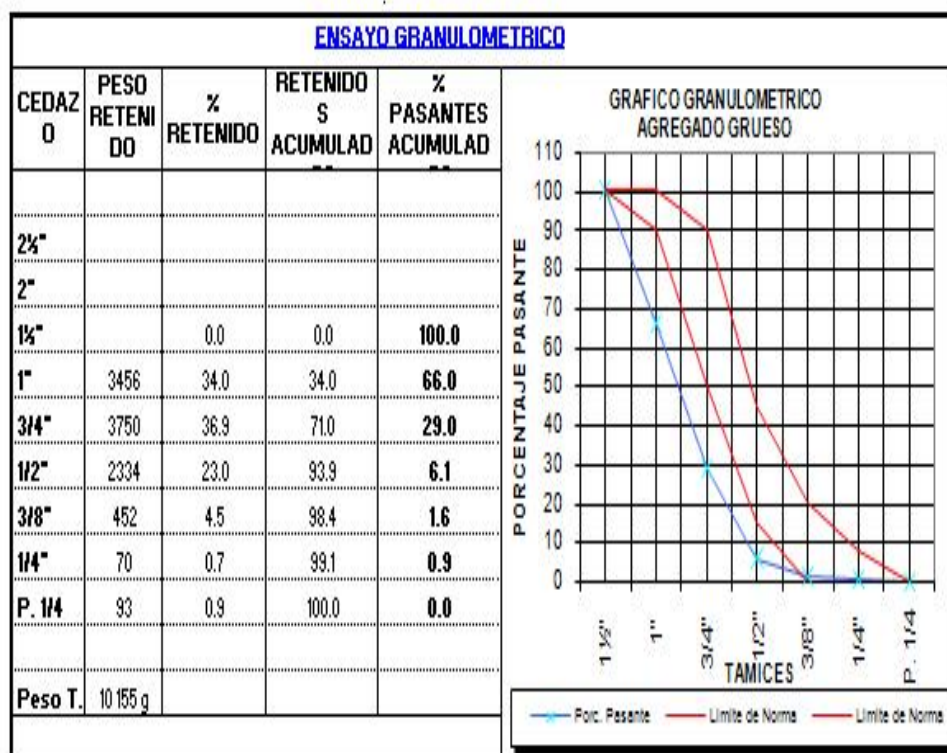
MUESTRA SACADA POR: DOUGLAS RODRIQUEZ FECHA: JUNIO

MUESTRA ENTREGADA POR: DOUGLAS RODRIQUEZ FECHA: JUNIO

PROCEDENCIA: F.N.C. CONCRETOS

USO REQUERIDO: AGREGADO PARA CONCRETO

MATERIAL PRODUCIDO O VENDIDO POR: CANTERA EL MELERO



ANEXO 4: Especificaciones de peso y porcentajes de partículas máximas y mínimas del agregado grueso.

PESO ESPECIFICO

Peso en el Aire: 5.003 g

Peso en el Agua: 3.122 g

P ESPECIFICO: 2.66 g/cm³**PESO UNITARIO SUELTO**

Temperatura: 23 °C

Peso Unitario H₂O: 997.3962

Peso del Agua: 14.130 Kg

Peso Recipiente: 7.508 Kg

Peso Muest. + Recip. 27.860 Kg

Peso Muestra: 20.352 Kg

Factor: 70.58713 m³**PESO UNITARIO SUELTO:** 1437 Kg/m³**TAMIZ # 200**

Peso Lav.Ta. # 200: 5.000 g

Peso Sec.D.Lav: 4.960 g

TAMIZ # 200: 0.80%**PORCENTAJE DE ABSORCION**

Peso Mues S.S 5.003 g

Peso Seco: 4.955 g

PORC ABS: 0.96 %**PESO UNITARIO COMPACTO**

Temperatura: 23 °C

Peso Unitario H₂O: 997.3962

Peso del Agua: 14.130 Kg

Peso Recipiente: 7.508 Kg

Peso Muestra + Recipiente: 29.380 Kg

Peso Muestra: 21.872 Kg

Factor: 70.58713 m³**PESO UNITARIO COMPACTO:** 1544 Kg/m³**PORCENTAJE DE PART (MAXIMAS Y MINIMAS)**

Número Partículas Medidas: 50

Numero de Part. Largas: 15

%Part. Largas: 26.00

Numero de Part. Planas: 12

%Part. Planas: 17.00

Numero de Part. Planilargas: 7

%Part. Planilargas: 6

Numero de Partículas: 25

Porcentaje Max Min: 22.00

Fecha: 03/07/09 Realizado por: Douglas Rodrique Revisado por: Gleicy Ramos

Normas utilizadas en la elaboracion del informe: Covenin 254,255,258,269,270,277.

CCL

ANEXO 5: Especificaciones técnicas del aditivo Polyheed 1026



BASF
The Chemical Company

Construction Chemicals

POLYHEED® 1026

Aditivo reductor de agua de mediano y alto rango, retardador del fraguado. Mejora la trabajabilidad sin adición de agua.

DESCRIPCIÓN:

POLYHEED 1026, es un aditivo para concreto multipropósito, reductor de agua de alto y mediano rango con un efecto de retardo, manteniendo su rango de manejabilidad dependiendo de la dosis utilizada. Reduce la cantidad de agua requerida para una trabajabilidad dada, permitiendo economías en el costo de cemento manteniendo la relación a/c especificada. No contiene cloruros añadidos.

Cumple con las normas COVENIN 356 Y ASTM C494, para aditivos tipo D y G.

VENTAJAS:

El concreto producido con POLYHEED 1026, proporciona las siguientes cualidades al concreto:

- Mejor trabajabilidad sin modificar la relación a/c.
- Retiene el asentamiento por más tiempo, dependiendo de la dosis utilizada.
- Baja permeabilidad, alta durabilidad
- Menor dispersión de resultados.
- Aumento de la resistencia a compresión, flexión y flexo tracción.
- Control de la segregación por deficiencia en el contenido de finos.
- Mejores características de manejabilidad, capacidad de bombeo.

USOS RECOMENDADOS:

Se recomienda el uso del POLYHEED 1026, donde se requiera un fraguado controlado.

Permite el transporte del concreto sin generar pérdidas apreciables en la trabajabilidad.

Mejora las características del concreto en estado fresco como endurecido, en especial la bombeabilidad y resistencia, así como la impermeabilidad para concretos que requieran esta propiedad.

El aditivo POLYHEED 1026 no iniciará ni promoverá la corrosión del acero de refuerzo del concreto. Este aditivo no contiene cloruro de calcio o ingredientes con base a cloruro que hayan sido adicionados de manera intencional.

DATOS TÉCNICOS:

Aspecto: Líquido color café.
Compatibilidad: Puede emplearse en combinación con otros aditivos de la línea BASF Construction Chemicals S.A. Siendo 100% compatible cuando se adicionen separadamente la mezcla.

DOSIS/RENDIMIENTO:

POLYHEED 1026 se recomienda en un rango de 4 a 12 cc. Por cada kilo de cemento, dependiendo de la aplicación o retención del asentamiento deseado. Las condiciones de obra y/o los materiales utilizados pueden hacer necesario el uso de una dosificación diferente a la recomendada. En tal caso consulte a su asesor de BASF CONSTRUCTION CHEMICALS S.A.

MODO DE USO:

POLYHEED 1026 debe adicionarse al concreto con el agua de mezcla (preferiblemente en el último tercio) nunca directamente sobre el cemento o los agregados.

PRESENTACIÓN:

POLYHEED 1026 se suministra en tambores de 208 litros o a granel.

VIDA EN ALMACEN:

En envases originales cerrados, almacenados en sitio fresco y seco, mínimo un año.

SEGURIDAD:

Consulte la hoja de datos de seguridad (MSDS) para este producto.

ANEXO 6: Especificaciones técnicas de Resicryl (PMMA)

RESICRYL 1228 RESINA ACRILICA TERMOPLASTICA EN SOLUCIÓN DE MEKP/TOLUENO PARA REACABADOS AUTOMOTRICES

Octubre, 2002

APLICACIONES

Resina base en la formulación de lacas acrílicas de resacabado automotriz.

BENEFICIOS.

- Rápido secamiento
- Alta dureza, claridad y resistencia al amarilleo.
- Excelente retención de brillo y durabilidad a la intemperie
- Alta resistencia al agua y a la gasolina.
- Facilidad de pulitura y desarrollo de brillo

ESPECIFICACIONES

No Volátiles, % en peso, ± 2	40
Viscosidad Gardner-Holdt, @ 25°C	X - Z
Color APHA, máximo	5
Índice de Acidez, mgKOH/g	5
Peso Específico @ 25°C/25°C	0,945-0,985

PROPIEDADES TÍPICAS

Tolerancia de Tolueno, % en peso, min	1000
No volátiles, % en volumen, calculado	31,72
Kg / gal del Vehículo No Volátil	4,317
Kg / gal. de los Ingredientes Volátiles	3,210
Temperatura de transición vítrea, Tg °C, calculado	78
Temperatura de Inflamación, copa cerrada °C, aprox.	7

SOLUBILIDAD Soluble en Hidrocarburos Aromáticos, Cetona, Esteres y Glicoleteres. Limitadamente soluble en Alcoholes; Insoluble en Hidrocarburos Alifáticos

ENVASES Tambores metálicos de boca pequeña, 200 Kg neto.

ALMACENAMIENTO Y VIDA ÚTIL En sus envases originales sellados, bajo techo a temperatura ambiente, protegidos de toda posible contaminación y fuente de ignición, en conformidad con las regulaciones vigentes para líquidos inflamables. Bajo estas condiciones la vida útil es de un (1) año.

ANEXO 7: Análisis estadístico para todos los especímenes experimentales

CILINDRO

Trat 1: Control Trat2: 2,5% Trat 3: 5% Trat4: 10% Resp: Resistencia

Análisis de los supuestos

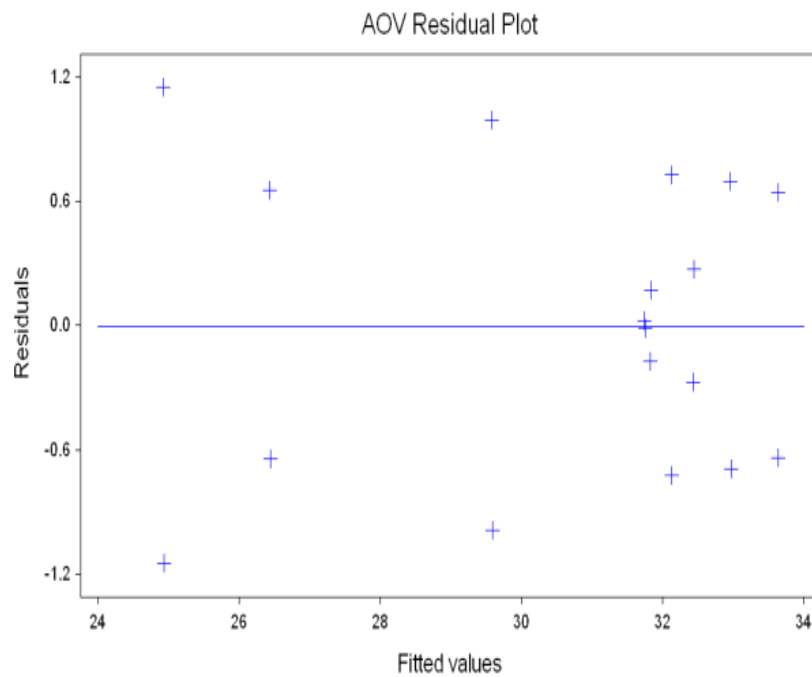
Fibra de Coco, considerando Concentraciones y longitudes

Normalidad prueba Shapiro-Wilk

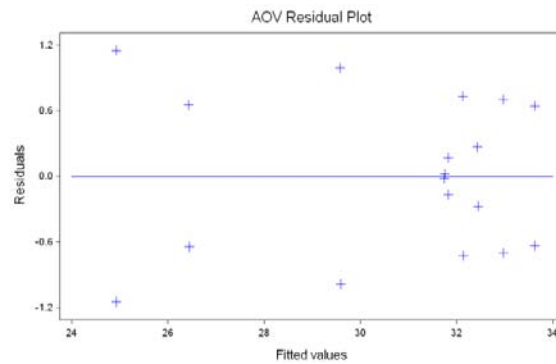
Variable	N	W	P
Coco 7d	18	0.9506	0.4352
Coco 14 d	18	0.8962	0.4940
Coco 28 d	18	0.9491	0.2042
Coco 60 d	18	0.9517	0.2355
Coco 128 d	18	0.8962	0.494

Homogeneidad de Varianza

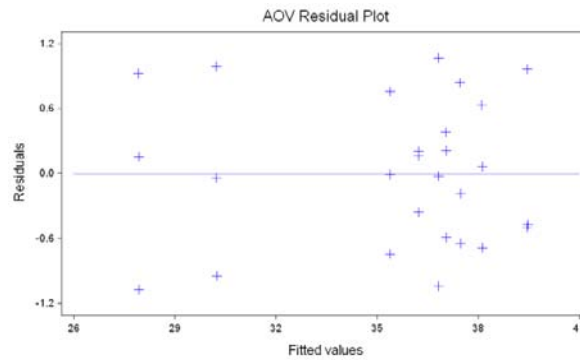
Mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco para los 7 días de curado



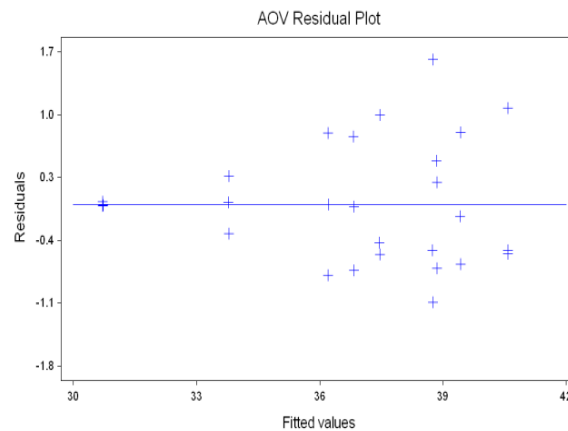
Mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco para los 14 días de curado



Mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco para los 28 días de curado



Mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco para los 60 días de curado



FIBRA DE COCO TAMAÑO CORTO. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN VS EDAD

Para 7 días de curado**Análisis de Varianza**

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratamiento	3	95.506	31.8353	22.9	0.0056
Error	4	5.565	1.3912		
Total	7	101.071			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	34.320			
2	31.840	-6.747	-2.480	1.787
3	29.590	-8.997	-4.730*	-0.463
4	24.935	-13.652	-9.385*	-5.118

Para 14 días de curado**Análisis de Varianza**

Source	DF	SS	MS	F	P
V001	3	78.5953	26.1984	57.0	0.0010
Error	4	1.8374	0.4593		
Total	7	80.4327			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	37.085			
2	34.000	-5.537	-3.085*	-0.633
3	34.245	-5.292	-2.840*	-0.388
4	28.435	-11.102	-8.650*	-6.198

Para 28 días de curado**Análisis de Varianza**

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	281.487	93.8288	142	0.0000
Error	8	5.293	0.6616		
Total	11	286.780			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	40.080			
2	39.473	-2.519	-0.607	1.306
3	36.253	-5.739	-3.827*	-1.914
4	27.933	-14.059	-12.147*	-10.234

Para 60 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	209.757	69.9191	134	0.0000
Error	8	4.167	0.5208		
Total	11	213.924			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

tRAT	Mean	Bound	Difference	Bound
1	41.273			
2	40.587	-2.384	-0.687	1.010
3	36.830	-6.140	-4.443*	-2.746
4	30.733	-12.237	-10.540*	-8.843

Para 128 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	2	28.9270	14.4635	44.1	0.0003
Error	6	1.9664	0.3277		
Total	8	30.8934			

One-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF RESISTENC

Control: TRAT=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

TRAT	Mean	Lower Bound	Difference
1	43.353		
2	41.573	-2.872	-1.780
3	38.987	-5.459	-4.367

FIBRA DE COCO TAMAÑO LARGO. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN VS EDAD

Para 7 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	68.4976	22.8325	47.5	0.0014
Error	4	1.9218	0.4805		
Total	7	70.4195			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	34.320			
2	32.445	-4.383	-1.875	0.633
3	31.760	-5.068	-2.560*	-0.052
4	26.440	-10.388	-7.880*	-5.372

Para 14 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	61.0845	20.3615	37.5	0.0022
Error	4	2.1721	0.5430		
Total	7	63.2566			

tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RESISTENC by TRAT

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	37.085			
2	34.620	-5.131	-2.465	0.201
3	34.360	-5.391	-2.725*	-0.059
4	29.465	-10.286	-7.620*	-4.954

Para 28 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	154.689	51.5630	65.4	0.0000
Error	8	6.309	0.7886		
Total	11	160.998			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	40.080			
2	37.053	-5.115	-3.027*	-0.939
3	36.823	-5.345	-3.257*	-1.169
4	30.243	-11.925	-9.837*	-7.749

Para 60 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	88.9780	29.6593	37.0	0.0000
Error	8	6.4056	0.8007		
Total	11	95.3836			

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RESISTENC by TRAT

wo-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	41.273			
2	38.853	-4.524	-2.420*	-0.316
3	38.760	-4.617	-2.513*	-0.409
4	33.787	-9.591	-7.487*	-5.383

Para 128 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	3	165.598	55.1994	6.86	0.0133
Error	8	64.357	8.0446		
Total	11	229.955			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	43.353			
2	41.947	-8.076	-1.407	5.262
3	38.990	-11.032	-4.363	2.306
4	33.660	-16.362	-9.693*	-3.024

FIBRA DE COCO TAMAÑO ALEATORIO TRATADA. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN VS EDAD

Para 7 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	5.21854	1.73951	1.84	0.2798
Error	4	3.77585	0.94396		
Total	7	8.99439			

Para 14 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

TRAT	3	16.5016	5.50055	7.49	0.0406
Error	4	2.9392	0.73479		
Total	7	19.4408			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	37.085			
2	35.635	-4.551	-1.450	1.651
3	35.350	-4.836	-1.735	1.366
4	33.075	-7.111	-4.010*	-0.909

Para 28 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	33.7094	11.2365	18.6	0.0006
Error	8	4.8407	0.6051		
Total	11	38.5501			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	40.080			
2	38.117	-3.792	-1.963*	-0.134
3	37.480	-4.429	-2.600*	-0.771
4	35.383	-6.526	-4.697*	-2.868

Para 60 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	44.4034	14.8011	22.8	0.0003

Error	8	5.1978	0.6497
Total	11	49.6012	

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF RESISTENC

Control: TRAT=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

TRAT	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	41.273			
2	39.430	-3.739	-1.843	0.052
3	37.473	-5.695	-3.800*	-1.905
4	36.213	-6.955	-5.060*	-3.165

COMPARACION DE LONGITUDES Y CONCENTRACIONES

Trat 1 :corta 2,5% Trat 2 : corta 5 Trat 3: corta 10% Trat 4 :larga 2,5% Trat 5 : larga 5% Trat 6: larga 10% Trat 7 : tratada 2,5% Trat 8 : tratada 5% Trat 9: tratada 10% Resp: Resistencia

Para 7 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	8	147.795	18.4744	19.6	0.0001
Error	9	8.488	0.9431		
Total	17	156.283			

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RESISTENC by TRAT

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RESISTENC by TRAT

TRAT	Mean	Homogeneous Groups
7	33.640	A
8	32.965	A
4	32.445	A
9	32.140	A
1	31.840	A
5	31.760	AB
2	29.590	B
6	26.440	C
3	24.935	C

Para 14 días de curado**Análisis de Varianza**

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	8	104.601	13.0751	19.1	0.0001
Error	9	6.149	0.6833		
Total	17	110.750			

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RESISTENC by TRAT

TRAT	Mean	Homogeneous Groups
7	35.635	A
8	35.350	A
4	34.620	A
5	34.360	A
2	34.245	A
1	34.000	A
9	33.075	A
6	29.465	B
3	28.435	B

Para 28 días de curado**Análisis de Varianza**

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	8	348.378	43.5473	68.7	0.0000
Error	18	11.415	0.6342		
Total	26	359.793			

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RESISTENC by TRAT

TRAT	Mean	Homogeneous Groups
1	39.473	A
7	38.117	AB
8	37.480	ABC
4	37.053	BC
5	36.823	BC
2	36.253	BC
9	35.383	C
6	30.243	D
3	27.933	E

Para 60 días de curado**Análisis de Varianza**

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	8	227.273	28.4091	43.7	0.0000

Error	18	11.697	0.6498
Total	26	238.969	

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RESISTENC by TRAT

TRAT	Mean	Homogeneous Groups
1	40.587	A
7	39.430	AB
4	38.853	ABC
5	38.760	ABC
8	37.473	BCD
2	36.830	CD
9	36.213	D
6	33.787	E
3	30.733	F

VIGAS REFORZADAS CONFIBRAS COCO PARA 28 DÍAS DE CURADO

EFFECTO CONCENTRACION Y LONGITUD

Trat 1: Patron Trat 2 : corta 5% Trat 3 : corta 5% Trat 4: corta 10% Trat 5: larga 2,5% Trat 6 : larga 5% Trat 7: larga10% Trat 8 : tratada 2,5% Trat9: tratada 5% Trat 10: tratada10% Resp: Resistencia

Análisis de los supuestos

Normalidad prueba Shapiro Wilk

Variable	N	W	P
Viga coco	29	0.9328	0.0583

Homogeneidad de Varianza

Fibras de coco

Analisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	9	6605.33	733.925	771	0.0000
Error	20	19.04	0.952		
Total	29	6624.37			

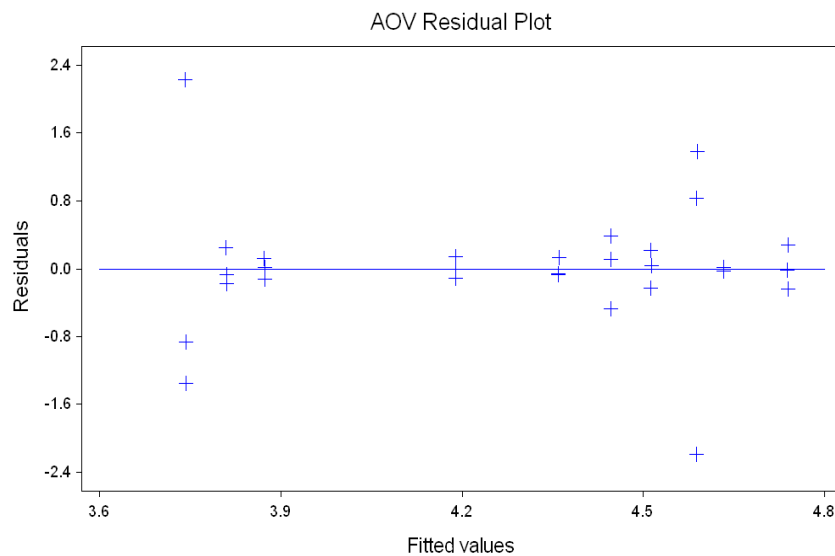
Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	4.513			
2	4.740	-2.121	0.227	2.574
3	41.410	34.549	36.897*	39.244
4	4.190	-2.671	-0.323	2.024
5	4.633	-2.227	0.120	2.467
6	4.447	-2.414	-0.067	2.281
7	4.360	-2.501	-0.153	2.194
8	41.410	34.549	36.897*	39.244
9	3.810	-3.051	-0.703	1.644
10	3.873	-2.987	-0.640	1.707

Homogeneidad de Varianza



LOSAS

REFORZADAS CON FIBRAS COCO PARA 28 DÍAS DE CURADO

Análisis de los supuestos básicos

Fibra de Coco en losas

Normalidad prueba Shapiro Wilk

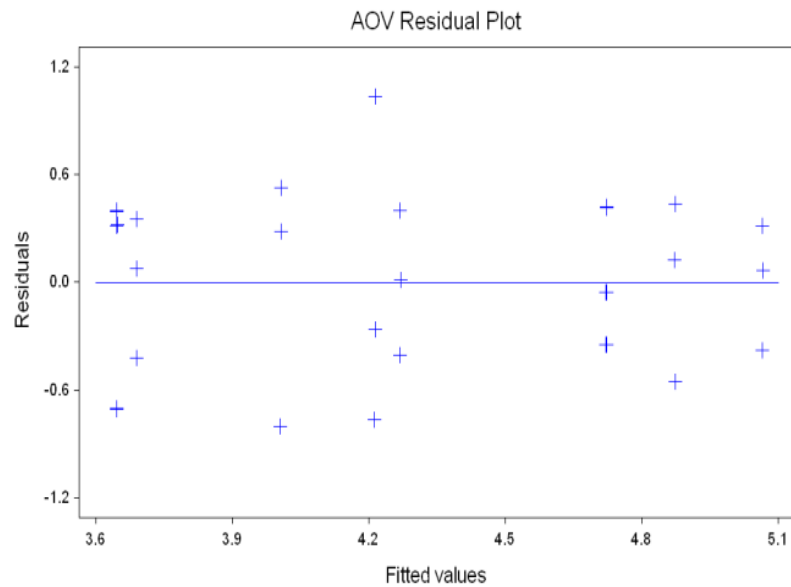
Variable	N	W	P
Losa 200	30	0.9581	0.2764
Losa 400	29	0.9675	0.4931
Losa 600	29	0.9388	0.0934
Losa 25	30	0.9836	0.9104

Losaexpuesta a 200°C

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	9	7.7796	0.86440	2.77	0.0277
Error	20	6.2429	0.31215		
Total	29	14.0225			

Homogeneidad de Varianza

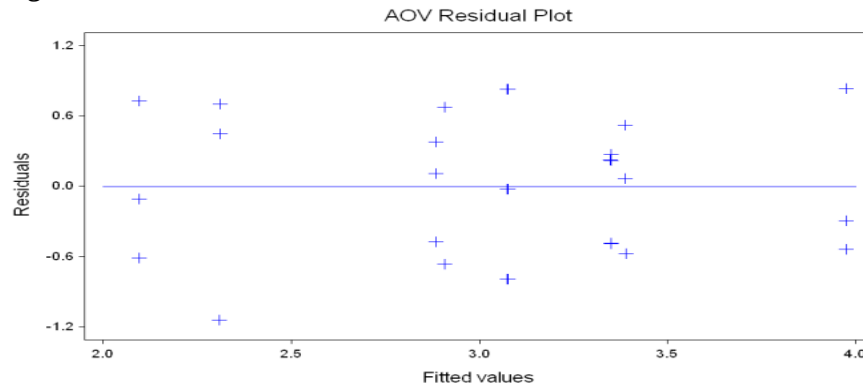


Losa expuesta a 400°C

Analisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	9	7.9369	0.88188	1.82	0.1304
Error	19	9.2141	0.48495		
Total	28	17.1511			

Homogeneidad de Varianza

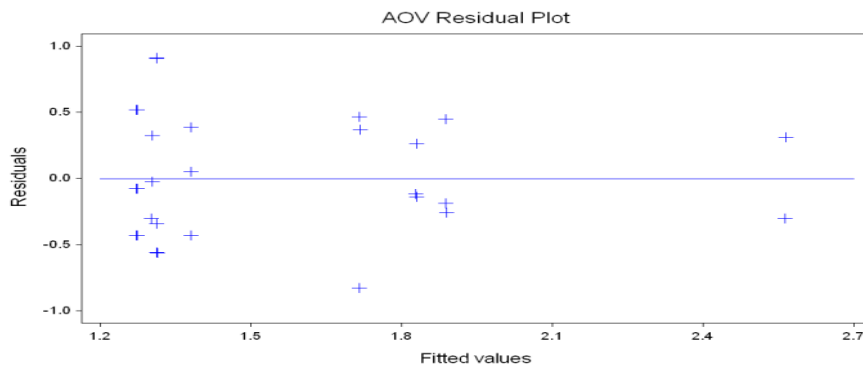


Losa expuesta a 600°C

Analisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	9	3.79023	0.42114	1.43	0.2436
Error	19	5.59285	0.29436		
Total	28	9.38308			

Homogeneidad de Varianza



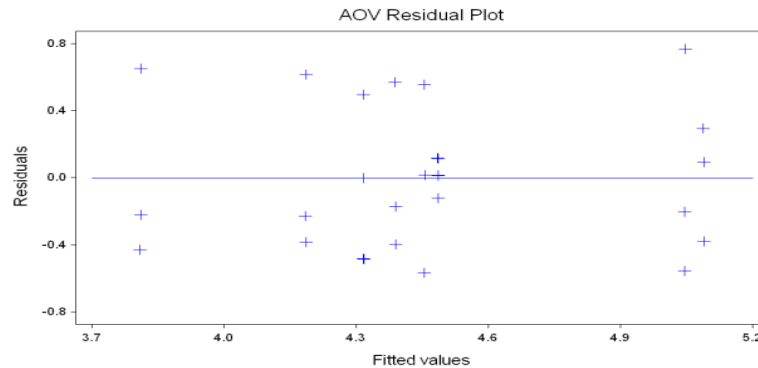
Losaexpuesta a 25°C

Analisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

trat	9	3.85708	0.42856	1.88	0.1154
Error	20	4.56467	0.22823		
Total	29	8.42175			

Homogeneidad de Varianza



Bagazo de caña de azúcar

Análisis estadístico para las mezclas de concreto reforzadas con fibras de bagazo de caña de azúcar

Caña de azúcar única concentración 2,5%, comparación con longitudes

Trat 1: Control, Trat 2: Corto, Trat 3: Largo, Trat 4: Tratado (aleatorio)

Resp: Resistencia

Análisis de los supuestos básicos

Para mezclas reforzadas con fibras de bagazo Caña de Azúcar

Normalidad prueba Shapiro-Wilk

Variable	N	W	P
Bagazo 7días	11	0.9650	0.8318
Bagazo 14días	11	0.9721	0.9070
Bagazo 28días	11	0.9711	0.9222
Bagazo 60días	11	0.9739	0.9470
Bagazo 128días	11	0.9231	0.3123

Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 7 días de curado

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	834.391	278.130	215	0.0000

Error	7	9.075	1.296
Total	10	843.465	

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

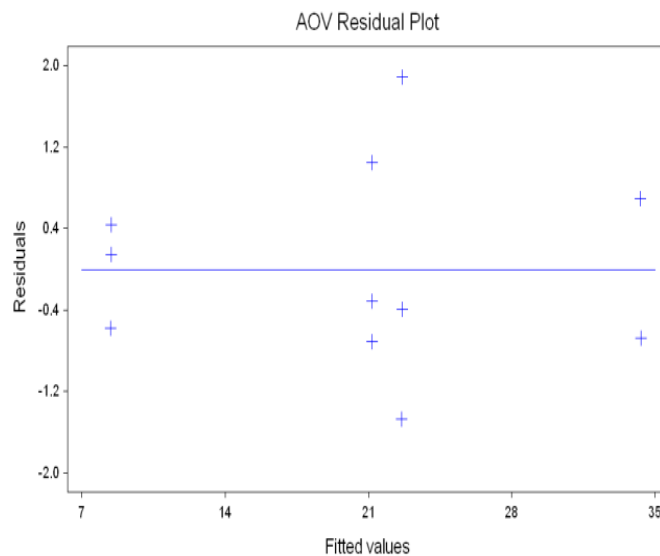
Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	34.320			
2	8.430	-28.935	-25.890*	-22.845
3	21.223	-16.142	-13.097*	-10.052
4	22.643	-14.722	-11.677*	-8.632

Homogeneidad de Varianza

Mezclas reforzadas con bagazo de caña de expuestas a los 7 días de curado



Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 14 días de curado

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	403.577	134.526	178	0.0000
Error	7	5.290	0.756		

Total 10 408.867

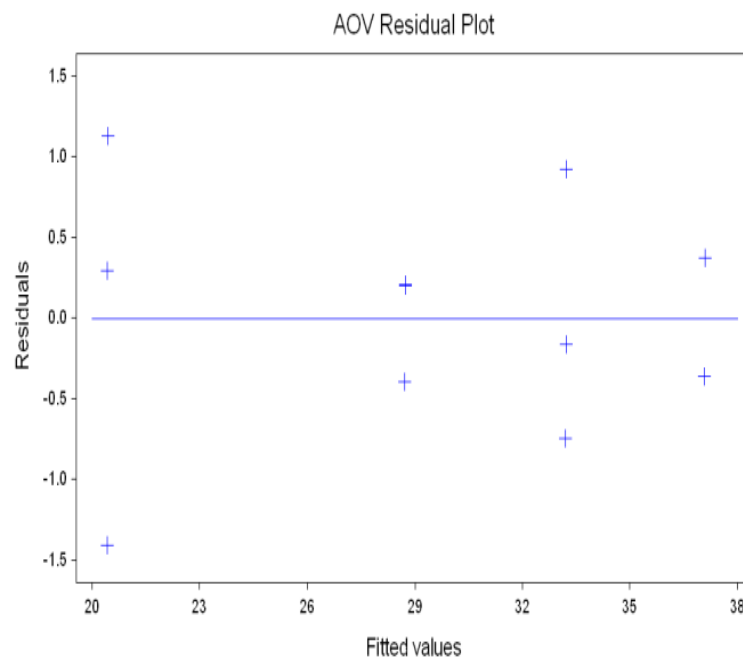
Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	37.085			
2	20.443	-18.967	-16.642*	-14.317
3	33.223	-6.187	-3.862*	-1.537
4	28.740	-10.670	-8.345*	-6.020

Mezclas reforzadas con bagazo de caña de expuestas a los 14 días de curado



Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 28 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	482.908	160.969	42.1	0.0000

Error	8	30.574	3.822
Total	11	513.482	

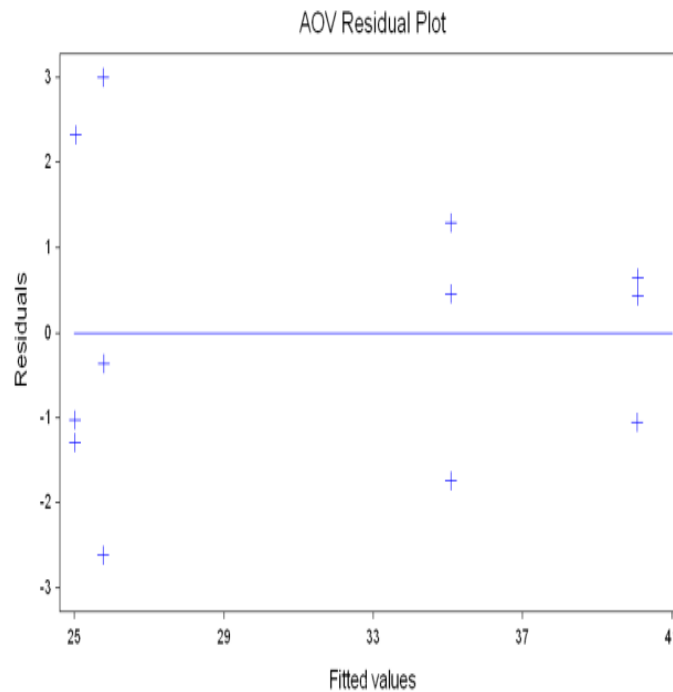
Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	40.080			
2	25.030	-19.647	-15.050*	-10.453
3	35.090	-9.587	-4.990*	-0.393
4	25.790	-18.887	-14.290*	-9.693

Mezclas reforzadas con bagazo de caña de expuestas a los 28 días de curado



Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 60 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	303.150	101.050	17.3	0.0007
Error	8	46.853	5.857		

Total 11 350.003

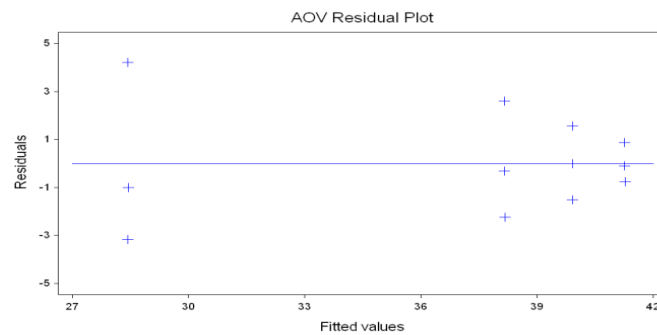
Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	41.273			
2	39.907	-7.057	-1.367	4.324
3	38.167	-8.797	-3.107	2.584
4	28.457	-18.507	-12.817*	-7.126

Mezclas reforzadas con bagazo de caña de azúcar de expuestas a los 60 días de curado



Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 128 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	3	23.4601	7.82003	46.2	0.0000
Error	8	1.3535	0.16918		
Total	11	24.8136			

Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
------	------	-------------	------------	-------------

1	43.353			
2	40.113	-4.207	-3.240*	-2.273
3	40.147	-4.174	-3.207*	-2.240
4	40.113	-4.207	-3.240*	-2.273

Estudio comparativo de las mezclas reforzadas con fibras de coco respecto a las fibras de bagazo de caña de azúcar para una concentración 2,5% en volumen como sustitución en parte del agregado fino variando la edad de curado

Trat 1: Coco corta, Trat 2: Coco larga, Trat 3 Coco tratada, Trat 4: Bagazo corto, Trat 5: Bagazo larga, Trat 6: Bagazo tratada (aleatorio) Resp: Resistencia

Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 7 días de curado

Análisis de Varianza

Completely Randomized AOV for RESISTENC

Source	DF	SS	MS	F	P
TRAT	5	1203.84	240.768	236	0.0000
Error	9	9.18	1.020		
Total	14	1213.02			

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RESISTENC by TRAT

TRAT	Mean	Homogeneous Groups
3	33.640	A
2	32.445	A
1	31.840	A
6	22.643	B
5	21.223	B
4	8.4300	C

Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 14 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	5	445.928	89.1857	136	0.0000
Error	9	5.887	0.6541		
Total	14	451.815			

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of resistenc by trat

trat	Mean	Homogeneous Groups
3	35.635	A
2	34.620	A

1	34.000	A
5	33.223	A
6	28.740	B
4	20.443	C

Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 28 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	5	609.901	121.980	46.2	0.0000
Error	12	31.716	2.643		
Total	17	641.617			

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of resistenc by trat

trat Mean Homogeneous Groups

1	39.473	A
3	38.117	A
2	37.053	A
5	35.090	A
6	25.790	B
4	25.030	B

Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 60 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	5	309.227	61.8454	15.1	0.0001
Error	12	49.090	4.0908		
Total	17	358.316			

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of resistenc by trat

trat Mean Homogeneous Groups

1	40.587	A
4	39.907	A
3	39.430	A
2	38.853	A
5	38.167	A
6	28.457	B

Análisis de Varianza para mezclas reforzadas expuestas a los 128 días de curado

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	4	6.4460	1.61151	3.38	0.0539
Error	10	4.7701	0.47701		
Total	14	11.2162			

Comparación de las mezclas reforzadas con fibra de coco y bagazo considerando la edad como un factor controlado.

Randomized Complete Block AOV Table for resistenc

Source	DF	SS	MS	F	P
bloque	4	2605.53	651.382		
trat	5	1472.07	294.415	17.36	0.0000
Error	71	1203.91	16.956		
Total	80				

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of resistenc for trat

trat	Mean	Homogeneous Groups
3	38.341	A
1	37.291	A
2	36.466	A
5	33.570	A
6	29.149	B
4	26.785	B

Análisis de los supuestos básicos para vigas reforzadas con fibras de bagazo de caña de azúcar

Normalidad prueba Shapiro Wilk

Variable	N	W	P
Viga	30	0.9322	0.4036

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
trat	3	9.00923	3.00308	40.3	0.0000
Error	8	0.59607	0.07451		
Total	11	9.60529			

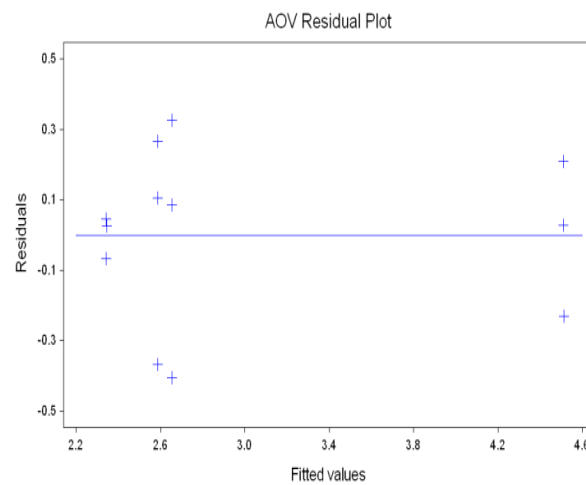
Two-sided Dunnett's Multiple Comparisons with a Control OF resistenc

Control: trat=1

Simultaneous 95% confidence intervals of treatment mean - control mean

trat	Mean	Lower Bound	Difference	Upper Bound
1	4.5133			
2	2.6567	-2.4985	-1.8567*	-1.2149
3	2.3467	-2.8085	-2.1667*	-1.5249
4	2.5867	-2.5685	-1.9267*	-1.2849

Homogeneidad de Varianza



Anexo9

Resistencia de las diferentes mezclas de concreto reforzadas con fibras de coco a distintas concentraciones y longitudes

Día de curado	Mezcla patrón	M2.5 %c	M2.5 %l	M5 %c	M5 %l	M10 %c	M10 %l	M2.5%t	M5%t	M10%t
7	34,32	31,84	32,44	29,59	31,76	24,94	26,44	33,65	32,93	32,15
14	37,09	34,00	34,62	34,25	34,36	28,44	29,47	35,62	35,35	33,06
28	40,08	39,74	37,05	36,26	36,82	28,47	30,27	38,12	37,33	35,36
60	41,27	40,59	38,85	36,83	38,76	30,74	33,79	39,44	37,46	36,20
128	43,35	41,57	41,95	38,99	39,70	32,65	33,66	42,20	39,85	38,54

Resistencias promedio de cilindros reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar para mezcla patrón sin fibras, tamaño cortas, largas y aleatorio a los distintos días de curado.

Resistencia a compresión (MPa)				
tiempo de curado (días)	Mezclas confibras Cortas	Mezclas con fibras Largas	Mezclas con fibras tratadas	Mezcla patrón
7	8,72	21,22	22,64	34,32
14	20,44	33,22	28,94	37,09
28	25,03	35,09	29,70	40,08
60	39,91	38,17	32,65	41,27
128	40,11	40,15	40,18	43,35

Peso de los cilindros reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar para los distintos días de curado y longitud de las fibras.

Pesos de los cilindros(kg)				
Días de curado	Mezcla patrón	Mezclas con fibras corta	Mezclas con fibras largas	Mezclas con fibras tratadas (aleatorio)
7	12,7	12,88	12,62	12,46
14	12,76	12,79	12,66	12,61
28	12,77	12,86	12,57	12,50
60	12,81	12,74	12,74	12,50
128	12,91	12,83	12,50	12,60

A continuación se presentan dos artículos publicados:

- 1.- Degradación térmica de fibras de coco con tratamiento químico provenientes de mezclas de concreto (Estudio cinético).
- 2.- Efectos de las fibras de coco sobre la resistencia a la flexión de mezclas de Hormigón.

Ponencias en Congresos publicados en extensos

- 1.- Degradación térmica de fibras de coco con tratamiento químico provenientes de mezclas de concreto (Estudio cinético).
- 2.- Estudios de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos.
- 3.- Estudios de las propiedades mecánicas de vigas y losas reforzada con fibras de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos.



Degradación térmica de fibras de coco con tratamiento químico provenientes de mezclas de concreto (estudio cinético).

Belén Paricaguán^a, Carmen Albano^b, Jordana Palacios^c, Ronald Torres^b, Nelson Camacho^b, Jeison Infante^b, Migdalis Alvarado^b

^a*Departamento de Química, Dirección de estudios Básicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia - Venezuela*

^b*Escuela de Ingeniería Química e IMME, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas - Venezuela*
^c*Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas - IVIC, Caracas - Venezuela*

Resumen -

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la cinética de la degradación térmica de las fibras de coco sin tratamiento y tratadas, extraídas de la matriz cementicia a diferentes concentraciones y edades de curado, mediante análisis termogravimétrico. En el cálculo de las temperaturas de inicio (onset) y final (endset) de descomposición de la fibra se usó el método de la integración primera derivada. El método integral planteado por Coast-Redfern fue usado para determinar los parámetros cinéticos en la degradación de las fibras a partir de la data de temperatura y masa generada por el TGA, para una velocidad de calentamiento constante y una atmósfera inerte de nitrógeno. Se obtuvo que las fibras experimentan una mayor degradación en la matriz de cemento en la medida que aumentan los días de curado. Las fibras sin tratamiento con distribución de tamaño cortas sufren una mayor descomposición en la matriz de cemento que las fibras largas, tal como fue corroborado con la energía de activación a los 128 días de curado. El tratamiento químico con el PMMA protege a las fibras del ataque alcalino del concreto a las distintas edades de curado. Así mismo el análisis termogravimétrico permite concluir que los factores como los días de curado, el porcentaje en volumen y la distribución de tamaño de las fibras, resultaron significativos sobre la resistencia de las mezclas de concreto.

Palabras clave: Degradación térmica, energía de activación, fibras naturales, polimetilmetacrilato, análisis termogravimétrico.

Thermal degradation of fibers of coconut with chemical treatment from mixtures of I make concrete (kinetic study).

Abstract -

The aim of this work was to study the kinetics of thermal degradation of coconut fibers untreated and treated, extracted from the cement matrix at different concentrations and ages of curing, by thermogravimetric analysis. In calculating the temperature of onset (onset) and end (endset) decomposition of the fiber is used the method of integrating the first derivative. The integral method proposed by Coast-Redfern was used to determine the kinetic parameters in the degradation of the fibers from the temperature and mass data generated by the TGA, for a constant heating rate and an inert atmosphere of nitrogen. It was found that the fibers undergo further degradation in the cement matrix to the extent that increase the days of curing. Untreated fibers with short size distribution have an increased decomposition in the cement matrix containing fibers, as corroborated by the activation energy for 128 days of curing. Chemical treatment with PMMA fibers protects alkaline etching of concrete at different ages of curing. Likewise thermogravimetric analysis allows to conclude that factors such as the days of curing, the percentage by volume and the size distribution of the fibers to be significant on the resistance of concrete mixtures.

Keywords: Thermal degradation, activation energy, natural fibers, polymethylmethacrylate, thermogravimetric analysis.

Efecto de las fibras de coco sobre la resistencia a la flexión de mezclas de hormigón



Belén María Paricaguán¹
 Carmen Lilian Albano¹
 Ronald Vladimir Torres¹
 Nelson Camacho¹
 Jairo Infante²
 José Luis Muñoz²

Doctorante en Ingeniería área Química
 Doctor en Materiales
 Doctor en Cálculo Dinámico en Ingeniería Sismica
 Ingeniero en Química
 Ingeniero en Química
 Licenciado en Química

¹ UNIVERSIDAD DE CARABOBO. Facultad de Ingeniería. Avenida Salvador Allende - 2005 Nagonagua (Venezuela). Tfn: + 58 241 8672928
² UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. Facultad de Ingeniería. Avenida Paseo los Ilustres. Ciudad Universitaria - 1050 Los Chaguaramos-Caracas (Venezuela). Tfn: +58 212 6053062.

Recibido: 13/12/2012 • Aceptado: 10/06/2013
 DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5646>

EFFECT OF THE COCONUT FIBERS ON THE FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE MIXTURES

ABSTRACT

Concrete is a brittle material and low resistance to flexo traction, due to their lack of ability to withstand deformation. These limitations could be overcome by incorporating a reinforcement, as natural fibers. The objective of this study was to analyze the effect of the coconut fibers treated and untreated PMMA on the flexural strength of concrete mixtures, as a substitute of part of a fine aggregate proportion of 2.5, 5 and 10% in volume. For this, we determined optimum design of concrete mixture to a water / cement ratio of 0.48, then the mixtures were prepared with untreated coconut fibers averages two lengths (3-4 cm; 5-6cm) and treated with PMMA (≤ 4 cm).

The concrete reinforced with chemically treated fibers with the PMMA, gave better results in the modulus of rupture at high temperatures, in the modulus of rupture to cycles of heat and moisture and presents a decrease in the loss of the water with the fibers without treatment; this was due to the fact that the fibers do not damaged by the protection offered by the PMMA of chemical attack that with the time he produces the alkalinized water by the alkali elements present in the cement. The highest values in the modulus of rupture were obtained for mixtures with 2.5 % and 5% of fibers treated short size. The tensile strength in bending of the mixtures at different temperatures exhibited markedly decreases when the temperature is above 200 ° C.

• **Keywords:** Flexural strength, reinforced concrete, coconut fibers, Materials Characterization, polymethylmethacrylate.

RESUMEN

El hormigón es un material frágil y de baja resistencia a flexo tracción, debido a su falta de capacidad para soportar deformaciones.

Estas limitaciones podrían resolverse incorporando un refuerzo, como las fibras naturales. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de las fibras de coco -sin tratar y tratadas con PMMA- sobre la resistencia a la flexión de mezclas de hormigón, como sustituto de parte del agregado fino a las proporciones de 2,5, 5 y 10% en volumen. Para ello, se determinó un diseño de mezcla óptimo de hormigón para una relación agua/cemento de 0,48; luego se prepararon las mezclas con fibras de coco sin tratar a dos longitudes promedios (3-4 cm; 5-6cm) y tratadas con PMMA (≤ 4 cm).

El hormigón reforzado con las fibras tratadas químicamente con el PMMA, arrojó mejores resultados en el módulo de ruptura a altas temperaturas, en el módulo de ruptura a ciclos de calor y humedad y presenta una disminución de la pérdida del agua que con las fibras sin tratamiento; esto se debió a que las fibras no se degradaron por la protección que ofreció el PMMA del ataque químico que con el tiempo le produce el agua alcalinizada por los elementos alcalinos presentes en el cemento.

Los valores más altos en el módulo de ruptura fueron obtenidos para las mezclas con 2.5% y 5% de fibras tratadas tamaño corto. La resistencia a la tracción por flexión de las mezclas expuestas a las diferentes temperaturas disminuye notablemente cuando la temperatura es superior a 200 °C.



DEGRADACIÓN TÉRMICA DE FIBRAS DE COCO CON TRATAMIENTO QUÍMICO PROVENIENTES DE MEZCLAS DE CONCRETO (ESTUDIO CINÉTICO)

Belen Paricaguán^{1,*}, Carmen Albano², Jordana Palacios³, Ronald Torres², Nelson Camacho²,
Jeison Infante², Migdalis Alvarado².

¹Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Estudios Básicos.

²Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química e IMME.

³Instituto de Investigaciones Científicas (IVIC)

Correo electrónico: belenparicaguan@gmail.com, carmen.albano@ucv.ve, ronald.torres@ucv.ve

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la cinética de la degradación térmica de las fibras de coco sin tratamiento y tratadas, extraídas de la matriz cementicia a diferentes concentraciones y tiempo de curado, mediante análisis termogravimétrico. En el cálculo de las temperaturas de inicio (onset) y final (endset) de descomposición de las fibras se usó el método de la integración primera derivada. El método integral planteado por Coats-Redfern fue usado para determinar los parámetros cinéticos en la degradación de las fibras a partir de la data de temperatura y masa generada por el TGA, para una velocidad de calentamiento constante y una atmósfera inerte de nitrógeno. Como resultado se evidenció que las fibras sufren una mayor degradación en la matriz de cemento en la medida que aumentan los días de curado. Las fibras sin tratamiento con distribución de tamaño cortas sufren una mayor descomposición en la matriz de cemento que las fibras largas, tal como fue corroborado con la energía de activación a los 128 días de curado. El tratamiento químico con el PMMA protege a las fibras del ataque alcalino del concreto a las distintas edades de curado.

Así mismo el análisis termogravimétrico permite concluir que los factores como los días de curado, el porcentaje en volumen y la distribución de tamaño de las fibras, resultaron significativos sobre la resistencia de las mezclas de concreto.

Palabras Clave: Degradación térmica, energía de activación, fibras naturales, polimetilmetacrilato, Análisis termogravimétrico

ABSTRACT

The aim of this work was to study the kinetics of thermal degradation of coconut fibers untreated and treated, extracted from the cement matrix at different concentrations and curing time, by thermogravimetric analysis. The method of integrating of the first derivative was used to calculate the onset and endset decomposition temperatures of the fibers. The integral method proposed by Coats-Redfern was used to determine the kinetic parameters in the degradation of the fibers from the temperature and mass data generated by the TGA, for a constant heating rate in an inert atmosphere of nitrogen. Results evidenced that the fibers undergo further degradation in the cement matrix in the extent that the days of curing are increased. Untreated fibers with short length distribution have an increased decomposition in the cement matrix containing fibers, as corroborated by the activation energy for 128 days of curing. Chemical treatment with PMMA fibers protects alkaline etching of concrete at different ages of curing. Likewise thermogravimetric analysis allowed to conclude that factors such as the days of curing, the volume percentage and distribution of fiber size, were significant on the resistance of concrete mixtures.

Keywords: Thermal degradation, activation energy, natural fibers, polymethylmethacrylate, thermogravimetric analysis

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS. Coordinación de Investigación. Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644 / 1645. Telfax: +58 212 - 6628927
Correo electrónico: jifi.em.2012.ucv@gmail.com <http://www.ing.ucv.ve>



Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos

Belén Paricaguán¹, Carmen Albano², Ronald Torres², Nelson Camacho², Jeison Infante², Migdalis Alvarado²

¹Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Estudios Básicos.

belenparicaguan@gmail.com

²U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

ronald.torres@ucv.ve, carmen.albano@ucv.ve, nelson.camacho@ucv.ve,

jasoninfante@hotmail.com, migdagil@yahoo.com

Resumen

El concreto a base de cemento Portland ha sido siempre el material más ampliamente usado en la industria de la construcción en todo el mundo. Sin embargo, existen algunos entornos químicos bajo los cuales su vida útil se reduce, aún la del mejor concreto. En la búsqueda de la durabilidad de las estructuras en concreto, esta investigación se basó en la determinación de un diseño de mezcla óptimo de concreto reforzado con fibra de coco, con el objeto de disminuir el peso de las estructuras y proporcionarle un grado aceptable de resistencia, dándole de esta manera un uso comercial a los desechos naturales.

Se realizaron mezclas de concreto reforzado con fibra de coco, sustituyéndose parte del agregado fino (arena de río), para una relación en peso de agua/cemento igual a 0,48. Se variaron las proporciones de 2,5, 5 y 10 %, en volumen del agregado, así como la distribución de tamaño de la fibra añadida como refuerzo. Para brindarle una protección a la fibra del ataque alcalino del cemento, se le realizó un tratamiento químico con polimetilmetacrilato (PMMA) y se compararon los resultados obtenidos con las mezclas reforzadas con la fibra sin ningún tratamiento. Se determinaron las propiedades mecánicas de las probetas reforzadas con la fibra de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos.

Se encontró que las fibras usadas como refuerzo del concreto que fueron tratadas químicamente con PMMA, ofrecen mejores resultados en la resistencia a la compresión, que las mezclas reforzadas con la fibra sin tratamiento químico. Las proporciones en volumen de fibra añadidas en el concreto, no afectaron significativamente el peso del mismo.

Palabras Clave: Concreto, Fibra de coco, Polimetilmetacrilato, Compósito.

Study of the mechanical properties of the concrete one reinforced with fiber of coconut by means of destructive testings and not destructive

Abstract

The concrete one with Portland cement has been always the material more widely used in the industry of the construction anywhere in the world. Nevertheless, some chemical surroundings exist under which its life utility is reduced, still the best the one of the concrete one. On the search of the durability of the structures in particular, this investigation was based on the determination of an optimal design of reinforced mixture of concrete with coconut of fiber, with the intention of diminishing the weight of the structures and providing an acceptable degree to him of resistance, giving him this way a commercial use to the natural remainders.

Mixtures of concrete reinforced with coconut of fiber, replacing itself were made part of the fine aggregate (sand of river), for a relation in weight of water/equal cement to 0,48. The proportions of 2,5, 5 and 10% were varied, in volume of the aggregate, as well as the distribution of size of the fiber added like reinforcement. In order to offer a protection to the fiber of the alkaline attack of the cement, a chemical treatment with polimetilmetacrilato (PMMA) was made to him and the results obtained with the mixtures reinforced with the fiber without treatment were compared. The mechanical properties of the test tubes reinforced with the fiber of coconut by means of destructive testings and nondestructive were determined.

One was that the used fibers as reinforcement of the concrete one that were dealt chemically with PMMA, offer better results in the compressive strenght, that the mixtures reinforced with the fiber without chemical treatment. The proportions in added volume of fiber in the concrete one, did not affect the weight of he himself significantly.

Key words: Concrete, Fiber of coconut, Polimetilmetacrilato, Composite.

Introducción

Las fibras naturales o vegetales pueden ser una posibilidad real para los países en desarrollo, ya que están disponibles en grandes cantidades y representan una fuente renovable continua. No obstante estas fibras son afectadas principalmente por la alcalinidad de la matriz cementante del concreto, haciendo que su durabilidad dependa de la protección que tenga la fibra. En el presente trabajo se empleó fibra de coco tratada químicamente

y se evaluaron las propiedades del concreto reforzado. Para garantizar que los resultados obtenidos se deba al tratamiento de la fibra, se evaluaron en primer término las mezclas de concreto con la fibra sin tratar. Para brindar protección a la fibra de coco del ataque alcalino, se realizó un tratamiento químico que consistió en el lavado de la fibra en soluciones diluidas de hidróxido de sodio (NaOH) y ácido acético, para eliminar los residuos de grasas o aceites remanentes y su posterior impregnación

Estudio de las propiedades mecánicas de vigas y losas reforzadas con fibra de coco mediante ensayos destructivos y no destructivos

Belén Paricaguán¹, Carmen Albano², Ronald Torres²,
Nelson Camacho², Jelson Infante², Migdella Alvarado²

¹Universidad de Cumbuco, Facultad de Ingeniería, Estudios Básicos,

belenparicaguam@gmail.com

²U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química,

ronald.torres@ucv.ve, carmen.albano@ucv.ve, nelson.camacho@ucv.ve

jelsoninfante@hotmail.com, migdella@yahoo.com

Resumen

Aunque el concreto a base de cemento Portland, es uno de los compuestos más extraordinarios y versátiles en la construcción, existe la necesidad de modificar sus propiedades, tales como la resistencia a la tracción, dureza, ductilidad y durabilidad. Por lo que una forma de modificar las propiedades del concreto y de reciclar materiales de desechos, es unir estos materiales, se realizaron mezclas de concreto modificadas con fibras de coco y se ensayaron. La resistencia a la tracción del concreto disminuye en la medida que aumenta la proporción en volumen de la fibra añadida en las mezclas de concreto.

Las fibras de distribución de tamaño larga en las distintas proporciones en volumen arrojan mejores resultados en la resistencia a la tracción por flexión que las fibras de distribución de tamaño corta.

Las mezclas reforzadas con la fibra de coco sin tratamiento al 2,5 % con la distribución de tamaño larga ofrecen los mejores resultados de resistencia a la tracción por flexión aplicado en vigas, en comparación con las diferentes proporciones en volumen de la fibra analizadas con o sin el tratamiento. La máxima pérdida en peso debido a la eliminación del agua durante las altas temperaturas a la que fue sometido el fibroconcreto, en las distintas proporciones en volumen estudiadas fue cerca del 9 %.

Palabras Clave: concreto, Fibra de coco, Módulo de ruptura, Fibroconcreto.

Study of the mechanical properties of beams and slabs reinforced with fiber of coconut, by means of destructive testings and not destructive

Abstract

Although the concrete one with Portland cement, is one of the most extraordinary and versatile compounds in the construction, exists the necessity to modify its properties, such as the tensile strength, hardness, ductility and durability. Reason why a form to modify the properties of the concrete one and to recycle materials of remainders, is to unite these materials, modified mixtures of concrete were made with coconut fibers and they were tried. The tensile strength of the concrete one diminishes in the measurement that increases the proportion in volume of the fiber added in the mixtures of concrete.

The fibers of long distribution of size in the different proportions in volume; they throw better results in the tensile strength by flexion that the fibers of short distribution of size.

The mixtures reinforced with the fiber of coconut without treatment to 2.5% with the long distribution of size offer the best results of tensile strength by flexion applied in beams, in comparison with the different proportions in analyzed volume of the fiber with or without the treatment. The Maximum loss in weight due to the elimination of the water during the high temperatures which the fibroconcrete was put under, in the different proportions in volume studied was near 9%.

Key words: Concrete, Fiber of the Coco, Modulus of rupture, Fibroconcrete

Introducción

El hormigón en masa presenta muy buena resistencia a compresión, pero escasa resistencia a tracción. Este ha demostrado tener prestaciones mecánicas muy amplias y una ductilidad adecuada para los usos a los que se destina. La ductilidad se puede ver afectada por diferentes deterioros ya que el hormigón es permeable a líquidos y gases. Con el desarrollo sostenible y la posibilidad de utilizar materiales alternativos de construcción que permitan reducir costos y la extracción de materiales no renovables. Se inició la búsqueda de posibles sustitutos que le proporcionaran al concreto las mismas propiedades tan favorables que le otorgan los materiales convencionales. Para tales efectos existe

la posibilidad del uso de fibras naturales que están disponibles razonablemente en grandes cantidades en muchos países en desarrollo y representan una fuente renovable continua. La alta alcalinidad de las pastas de cemento Portland, deteriora con el paso del tiempo a las fibras naturales celulósicas. Se pretendió entonces a partir de este trabajo conocer el comportamiento de la resistencia a flexión de losas y vigas reforzadas con fibras de coco, estas tratadas químicamente con hidróxido de sodio (NaOH), ácido acético (CH₃COOH) y polimetilmetacrilato (PMMA), para evitar el deterioro de las mismas, aprovechando los grandes volúmenes de desechos provenientes de la agroindustria.