

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE FIBRAS ACRÍLICAS VERSUS
FIBRAS DE CARAGUATA, COMO INHIBIDORES DE FISURAS
CAUSADAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA EN EL HORMIGÓN”**

Por:

MARCO ANTONIO MAMANI TEJERINA

Gestión Académica II/Semestre 2019

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE FIBRAS ACRÍLICAS VERSUS
FIBRAS DE CARAGUATA, COMO INHIBIDORES DE FISURAS
CAUSADAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA EN EL HORMIGÓN”**

Por:

MARCO ANTONIO MAMANI TEJERINA

ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502

PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II

Gestión Académica II/Semestre 2019

TARIJA-BOLIVIA

.....
Ph.D. Arturo Dubravcic Alaiza
DOCENTE CIV 502
PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II

.....
M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

.....
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANA
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Paul Dennis Carrasco Arnold

.....
Ing. Liliana Carola Miranda Encinas

.....
Ing. Juan Pablo Ayala Yáñez

El docente y tribunal evaluador del presente Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleadas en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado con todo cariño a mi familia por el apoyo incondicional que me brinda.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Abel Villena y al Ing. David Zenteno por aconsejarme y guiarme en el desarrollo de esta investigación; agradezco al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y también a la Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea, por guiarme en las mediciones medioambientales desarrolladas; por último agradezco al personal del laboratorio de Física de la UAJMS por toda la ayuda brindada.

ÍNDICE

Página

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen del proyecto

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Descripción del problema	2
1.3	Objetivos	5
1.3.1	General	5
1.3.2	Específicos	5
1.4	Justificación.....	6
1.5	Hipótesis.....	6
1.6	Alcance y Restricciones	7

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1	Fisuras en el hormigón.....	8
2.1.1	Fisuras en el primer día del hormigón	8
2.1.2	Fisuras durante la vida del hormigón.....	9
2.2	El fenómeno de la retracción plástica	10
2.2.1	Fisuras por retracción plástica.....	10
2.2.2	Formas que adoptan las fisuras por retracción plástica.....	12
2.2.3	Factores que intervienen en la retracción plástica.....	15
2.2.3.1	Factores internos	15
2.2.3.1.1	Contenido y tipo de cemento.....	15
2.2.3.1.2	Contenido y tipo de áridos	16
2.2.3.1.3	Relación a/c.....	17
2.2.3.2	Factores externos.....	18

2.2.3.2.1	Temperatura ambiente.....	18
2.2.3.2.2	Velocidad del viento	18
2.2.3.2.3	Humedad relativa	19
2.2.3.2.4	Evaporación del agua en la superficie del hormigón	20
2.2.3.2.5	Curado del hormigón	20
2.2.4	Relación de variables que intervienen en la evaporación del agua.....	21
2.2.5	Influencia del viento en la velocidad de evaporación del agua.....	23
2.2.6	Medidas para evitar la fisuración por retracción plástica.....	24
2.2.7	Ensayos a escala real sobre la retracción plástica	26
2.3	Métodos de evaluación de fisuras por retracción plástica.....	27
2.4	Uso histórico del hormigón reforzado con fibras.....	29
2.4.1	Inicio de los materiales reforzados con fibras.....	29
2.4.2	Breve reseña histórica del hormigón reforzado con fibras.....	29
2.4.3	Situación actual del hormigón reforzado con fibras	30
2.5	Las fibras como refuerzo del hormigón	31
2.5.1	Características de las fibras para reforzar el hormigón	32
2.5.2	Dosificaciones de fibras comúnmente usadas.....	32
2.5.3	Fases de un hormigón reforzado con fibras	33
2.5.3.1	Fase fibrosa	33
2.5.3.2	Fase matriz	33
2.5.4	Influencia de la longitud de las fibras	34
2.6	Clasificación de las fibras	35
2.6.1	Por su origen	35
2.6.1.1	Fibras inorgánicas	35
2.6.1.2	Fibras sintéticas orgánicas.....	36
2.6.1.3	Fibras naturales orgánicas	36
2.6.2	Por su funcionalidad.....	38
2.6.2.1	Microfibras.....	38
2.6.2.2	Macrofibras	38
2.6.3	Por su sección transversal	39
2.6.4	Por su forma	40

CAPÍTULO III

3.	CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.1	Características de las fibras Acrílicas	41
3.1.1	Procedencia de las fibras Acrílicas	41
3.1.2	Tipo de fibra.....	41
3.1.3	Presentación de las fibras Acrílicas.....	42
3.1.4	Modo de uso de las fibras Acrílicas	42
3.1.5	Beneficios de las fibras Acrílicas.....	43
3.1.6	Propiedades de las fibras Acrílicas	44
3.2	Características de las fibras de Caraguata.....	44
3.2.1	Procedencia de las fibras de Caraguata.....	48
3.2.2	Obtención de las fibras de Caraguata.....	48
3.2.3	Tipo de fibra.....	49
3.2.4	Propiedades de las fibras de Caraguata.....	49
3.2.4.1	Longitud y diámetro.....	49
3.2.4.2	Resistencia a tracción.....	50
3.2.4.3	Módulo de elasticidad	52
3.2.4.4	Absorción de agua.....	53
3.2.4.5	Densidad de las fibras	54
3.2.4.6	Degradación de las fibras de Caraguata.....	56
3.3	Resumen de propiedades de fibras Acrílicas y fibras de Caraguata	57

CAPÍTULO IV

4.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN Y DISEÑOS UTILIZADOS.....	59
4.1	Consideraciones previas.....	59
4.2	Caracterización de los materiales.....	59
4.2.1	Agregado grueso	59
4.2.2	Agregado fino.....	61
4.2.3	Cemento	62
4.2.4	Agua de amasado	63
4.2.5	Fibras.....	65

4.2.5.1	Longitud de las fibras.....	65
4.2.5.2	Orientación de las fibras.....	65
4.2.5.3	Dosificación de las fibras.....	67
4.3	Dosificación del hormigón.....	68
4.4	Variables consideradas.....	69
4.5	Cantidad de muestras.....	70
4.5.1	Cantidad de muestras para el ensayo de resistencia a compresión.....	70
4.5.2	Cantidad de muestras para el ensayo de retracción plástica.....	71

CAPÍTULO V

5.	ENSAYOS DE RETRACCIÓN PLÁSTICA Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	73
5.1	Consideraciones sobre la resistencia a compresión del hormigón.....	73
5.2	Descripción de los ensayos.....	74
5.2.1	Procedimiento de preparación y mezclado del hormigón.....	74
5.2.2	Ensayo de asentamiento ASTM C143.....	74
5.2.3	Elaboración y curado de muestras cilíndricas ASTM C31.....	77
5.2.4	Ensayo de resistencia a compresión ASTM C39.....	78
5.2.5	Ensayo de retracción plástica ASTM C1579.....	80
5.2.5.1	Aparatos necesarios para el ensayo.....	80
5.2.5.1.1	Moldes.....	80
5.2.5.1.2	Aparatos para generar condiciones medioambientales.....	82
5.2.5.1.3	Cámara ambientada.....	82
5.2.5.1.4	Fuentes de monitoreo.....	83
5.2.5.1.5	Aparatos para medir condiciones medioambientales.....	84
5.2.5.1.6	Comparador de fisuras.....	86
5.2.5.2	Procedimiento del ensayo.....	87
5.2.5.3	Cuantificación de fisuras.....	91
5.3	Resultados obtenidos en los ensayos.....	93
5.3.1	Resultados del ensayo de resistencia a compresión.....	93
5.3.2	Resultados del ensayo de retracción plástica.....	94
5.4	Interpretación de los resultados obtenidos.....	95
5.4.1	Interpretación del ensayo de resistencia a compresión.....	95

5.4.2	Interpretación del ensayo de retracción plástica	98
5.4.2.1	Tiempo de inicio de fisuración.....	98
5.4.2.2	Ancho de fisura promedio.....	99
5.4.2.3	Reducción porcentual de ancho de fisura promedio	100
5.5	Aplicación	101
5.5.1	Costo de fibras Acrílicas y fibras de Caraguata.....	101
5.5.2	Campo de aplicación	102
	CONCLUSIONES	104
	RECOMENDACIONES	107
	BIBLIOGRAFÍA	108

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1 Anchos de fisuras en muestras de hormigón reforzado con fibras.....	2
Cuadro 2 Máxima abertura característica aceptable de fisura	4
Cuadro 3 Combinaciones de viento, temperatura y humedad cuando la tasa de evaporación se acerca a 1 kg/m ² /h	23
Cuadro 4 Propiedades de fibras sintéticas orgánicas	36
Cuadro 5 Fibras naturales orgánicas utilizadas en algunos países.....	37
Cuadro 6 Propiedades de las fibras Acrílicas.....	44
Cuadro 7 Condiciones climáticas donde crece la Caraguata	46
Cuadro 8 Longitudes y diámetros promedio de las fibras de Caraguata.....	50
Cuadro 9 Resistencia de las fibras de Caraguata a tracción.....	51
Cuadro 10 Absorción de agua de las fibras de Caraguata.....	53
Cuadro 11 Densidad de las fibras de Caraguata.....	55
Cuadro 12 Degradación de las fibras de Caraguata	57
Cuadro 13 Propiedades de fibras Acrílicas y fibras de Caraguata.....	57
Cuadro 14 Granulometría del agregado grueso	60
Cuadro 15 Granulometría del agregado fino.....	61
Cuadro 16 Características de “Cemento El Puente IP-30”	63
Cuadro 17 Especificaciones del agua potable para el amasado del hormigón.....	64
Cuadro 18 Eficiencia de la orientación de las fibras.....	66
Cuadro 19 Dosificación de fibras.....	67
Cuadro 20 Dosificación del hormigón	69
Cuadro 21 Cantidad de muestras para el ensayo de resistencia a compresión.....	70
Cuadro 22 Cantidad de muestras para el ensayo de retracción plástica.....	71
Cuadro 23 Grupos de muestras para el ensayo de retracción plástica	72
Cuadro 24 Resistencia a compresión a los 28 días	93
Cuadro 25 Tiempo de inicio de fisuración.....	94
Cuadro 26 Ancho de fisura promedio	94

Cuadro 27	Desviación estándar de ancho de fisura promedio a las 24 horas	95
Cuadro 28	Productos impermeabilizantes.....	103
Cuadro 29	Comparación de costos en una losa alivianada de 200 m ²	103

Índice de Figuras

	Página
Figura 1 Fisuras causadas por retracción plástica	3
Figura 2 Fisuras en el primer día del hormigón	9
Figura 3 Clasificación de las fisuras durante la vida del hormigón	10
Figura 4 Relación Exudación – Evaporación.....	11
Figura 5 Mecanismo de fisuración por retracción plástica	11
Figura 6 Formas que adoptan las fisuras por retracción plástica	13
Figura 7 Fisuras por retracción plástica en elementos de espesor variable.....	13
Figura 8 Esquema de fisuración aleatoria por retracción plástica.....	14
Figura 9 Forma en que fisuras atraviesan una pieza	15
Figura 10 Influencia del contenido de cemento en la retracción	16
Figura 11 Influencia del contenido de árido en la retracción.....	17
Figura 12 Influencia del agua de amasado en la retracción	18
Figura 13 Retracción en diferentes tipos de ambientes.....	19
Figura 14 Retracción a diferentes humedades relativas.....	19
Figura 15 Retracción a diferentes tasas de evaporación	20
Figura 16 Influencia del curado sobre la retracción.....	21
Figura 17 Nivel de riesgo de fisuración por retracción plástica.....	21
Figura 18 Nomograma de Menzel.....	22
Figura 19 Fratasado de una losa de hormigón	25
Figura 20 Testigos de fisuras por retracción plástica.....	27
Figura 21 Tipos de especímenes usados en ensayos de retracción	28
Figura 22 Curvas esfuerzo-deformación para hormigones reforzados con fibras	31
Figura 23 Comportamiento de las fibras ante esfuerzos de tracción	33
Figura 24 Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción.....	34
Figura 25 Transferencia de esfuerzos en una fibra	35
Figura 26 Microfibras	38

Figura 27	Macrofibras.....	39
Figura 28	Secciones transversales de las fibras más comunes.....	39
Figura 29	Formas de las fibras más comunes	40
Figura 30	Eficiencia de las fibras Drymix RC 4020.....	41
Figura 31	Fibras Drymix RC 4020.....	42
Figura 32	Proyectos que usan Drymix RC 4020 en sus construcciones	43
Figura 33	Fibras de Caraguata	45
Figura 34	Regiones donde existen plantas de Caraguata	47
Figura 35	Medición del diámetro de una fibra de Caraguata.....	49
Figura 36	Ensayo de resistencia a tracción	51
Figura 37	Diagrama esfuerzo-deformación de las fibras de Caraguata	52
Figura 38	Absorción de agua de las fibras de Caraguata en función al tiempo	54
Figura 39	Ensayo de densidad de las fibras de Caraguata	55
Figura 40	Degradación de fibras de Caraguata	56
Figura 41	Granulometría del agregado grueso.....	60
Figura 42	Granulometría del agregado fino	62
Figura 43	Orientación de las fibras	66
Figura 44	Cono de Abrams llenado en tres capas	75
Figura 45	Ensayo de asentamiento en el hormigón	76
Figura 46	Medición del asentamiento en el hormigón.....	76
Figura 47	Elaboración de probetas cilíndricas	77
Figura 48	Ensayo de resistencia a compresión	79
Figura 49	Dimensiones de los moldes y restricciones geométricas.....	81
Figura 50	Aparatos para generar condiciones medioambientales.....	82
Figura 51	Cámara ambientada	83
Figura 52	Fuentes de monitoreo.....	84
Figura 53	Calibración del psicrómetro.....	84
Figura 54	Software “SisMet”	85
Figura 55	Anemómetro de marcación digital.....	86
Figura 56	Juego de galgas metálicas	87
Figura 57	Moldes antes del ensayo	87

Figura 58 Paneles de hormigón.....	88
Figura 59 Calentador y ventilador encendidos.....	88
Figura 60 Paneles de hormigón en la cámara ambientada.....	89
Figura 61 Medición de las condiciones medioambientales.....	89
Figura 62 Velocidad de flujo de aire sobre los paneles	90
Figura 63 Formación de fisuras en los paneles de hormigón.....	91
Figura 64 Manera de cuantificar las fisuras	92
Figura 65 Resistencia a compresión para las diferentes muestras	96
Figura 66 Reducción porcentual de la resistencia a compresión	97
Figura 67 Tiempo de inicio de fisuración	98
Figura 68 Ancho de fisura promedio a las 6 horas.....	99
Figura 69 Ancho de fisura promedio a las 24 horas.....	100
Figura 70 Reducción porcentual del ancho de fisura promedio.....	101

Índice de Anexos

- Anexo I. Clasificación taxonómica de la Caraguata
- Anexo II. Caracterización de las fibras de Caraguata
- Anexo III. Densidad del agua a diferentes temperaturas
- Anexo IV. Ensayo de los agregados y Dosificación del hormigón
- Anexo V. Ensayo de resistencia a compresión
- Anexo VI. Registro de condiciones medioambientales
- Anexo VII. Ensayo de retracción plástica
- Anexo VIII. Insumos y Precio unitario de 1 m³ de hormigón y una losa alivianada
- Anexo IX. Reporte fotográfico