



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**Procesos de envejecimientos natural y acelerado del mortero reforzado  
con fibra de abacá previamente tratada con Hidróxido de Sodio**

**AUTORES:**

**Cubillo Santana, Adriana Lissette  
Chasiguasín Nacipucha, Luis Fabricio**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**

**INGENIERA CIVIL**

**TUTOR:**

**ING. STEFANY ALCÍVAR BASTIDAS, MSc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**06 de marzo del 2020**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Cubillo Santana Adriana Lissette** y **Chasiguasín Nacipucha Luis Fabricio**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR (A)**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.**

**DECANA DE LA FACULTAD**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Lilia Valarezo Moreno, MSc.**

**Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2020**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

### **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Cubillo Santana Adriana Lissette y Chasiguasín Nacipucha  
Luis Fabricio**

#### **DECLARAMOS QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Procesos de envejecimientos natural y acelerado del mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratada con Hidróxido de Sodio** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2020**

**EL AUTOR**

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_ f. \_\_\_\_\_

**Chasiguasín Nacipucha Luis Fabricio    Cubillo Santana Adriana Lissette**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Cubillo Santana Adriana Lisette y Chasiguasín Nacipucha  
Luis Fabricio**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Procesos de envejecimientos natural y acelerado del mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratada con Hidróxido de Sodio** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2020**

**EL AUTOR**

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_

f. \_\_\_\_\_

**Chasiguasín Nacipucha Luis Fabricio    Cubillo Santana Adriana Lisette**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

**REPORTE URKUND**

**URKUND**

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** CHASIGUASIN\_LUIS\_Y\_CUBILLO\_ADRIANA\_FINAL.docx  
(D64242064)  
**Submitted:** 2/22/2020 2:09:00 AM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 1 %

Sources included in the report:

TFT\_SOZORANGA\_CÉSAR.pdf (D48216103)  
Escrito.pdf (D38457105)  
TESIS\_MASACO\_JORGE.pdf (D38563237)  
<https://docplayer.es/58659215-Universidad-tecnica-de-ambato.html>

Instances where selected sources appear:

5

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a dios por darme la guía y el apoyo de mi padre, el cual me inculco valores para seguir siempre el camino correcto. Desde el fondo de mi corazón agradezco todo el esfuerzo y sacrificio de mi padre Genaro Cubillo para sacarnos adelante a mis hermanos y a mí, en el vi un apoyo incondicional que siempre me dio fuerzas para salir adelante y gracias a él pude cumplir una meta más en mi vida profesional.

A mi abuelita, que con su sabiduría me aconsejo para poder llegar a ser la persona que ahora soy, A todas esas grandes personas que conocí y fueron un apoyo a lo largo de mi vida universitaria las llevare siempre en mí, deseando que sigan estando en mi futuro.

A mi compañero de tesis Fabricio Chasiguasin y a mi Tutora de tesis la Ing. Stefany Alcívar, por el trabajo en conjunto hicimos posible esta investigación. Un especial agradecimiento al personal de Holcim y al centro de Innovación de Holcim, por permitirnos hacer uso de su material, laboratorio y su gran conocimiento, consejo del campo investigativo.

**Cubillo Santana Adriana Lissette**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por permitirme cumplir esta meta y mantenerme siempre perseverante frente a todas las circunstancias que se han presentado, a mi familia por apoyarme en cada paso y darme fuerzas para seguir adelante.

A mi madre porque fue apoyo incondicional durante todo este tiempo, porque sin sus consejos, su esfuerzo, confianza y desvelos cada noche, conseguí cumplir mi objetivo. Agradezco a Carolina Vargas quien estuvo permanentemente conmigo desde el inicio de todo este camino y ahora gracias Dios lo culminare de igual manera.

De manera especial agradezco a la ing. Stefany Alcívar, por todo el apoyo brindado, la oportunidad y confianza entregada durante todo este proyecto de investigación. Por la predisposición entregada y porque gracias a ella pude tener la oportunidad de crecer profesionalmente.

A todo el equipo del Centro de Innovación de Holcim, el cual se ha convertido en mi segundo hogar, por permitir el uso de sus instalaciones para el desarrollo de este proyecto y por la asesoría profesional brindada. De manera especial agradezco al ing. Cristian Velasco por permitirme dedicarle el tiempo necesario al desarrollo de este proyecto de investigación y brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente bajo su supervisión.

Agradezco a Adriana Cubillo por el gran equipo que pudimos formar con el fin de lograr nuestro objetivo de la mejor manera posible, porque nos propusimos metas y que no hubiéramos podido cumplir sin ayudarnos mutuamente.

Finalmente agradezco a mis compañeros de aula con los que compartí este largo camino, por sus consejos, su tiempo, su manera tan especial de formar un gran equipo de trabajo y siempre brindar ese apoyo como familia para que todos pudiéramos salir de cualquier circunstancia difícil, gracias matadiza.

**Chasiguasín Nacipucha Luis Fabricio**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mi padre el cual siempre ha estado a mi lado protegiéndome y dándome las mejores herramientas para la vida.

**Cubillo Santana Adriana Lissette**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mis padres por su apoyo incondicional, a mis hermanas por ser la razón principal para salir adelante, a mi familia por confiar en mí y darme fuerzas para no rendirme frente a las circunstancias.

A mi madre por su enseñanza, su cuidado constante, por ese amor de madre que ha tenido, por todo el esfuerzo y los grandes consejos que me ha brindado con el fin de lograr este objetivo se lo dedico a ella por ser la persona más incondicional en mi vida.

**Chasiguasín Nacipucha Luis Fabricio**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.**  
TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Lilia Valarezo Moreno, MSc.**  
DECANA DE LA FACULTAD

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Nancy Varela Terreros, MSc.**  
DOCENTE DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Gilberto Martínez Rehpani, MSc.**  
OPONENTE

# ÍNDICE

CAPÍTULO I .....	2
1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. Antecedentes .....	3
1.2. Objetivo General .....	4
1.3. Objetivos específicos .....	4
1.4. Hipótesis .....	4
1.5. Justificación.....	5
CAPÍTULO II .....	6
2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Mortero.....	7
2.1.1. Funciones del mortero .....	7
2.2. Agregado Fino (Arena).....	8
2.3. Cemento .....	9
2.4. Agua.....	10
2.5. Fibras Vegetales .....	11
2.6. Abacá.....	12
2.6.1. Fibra de abacá.....	12
2.7. Tratamiento Alcalino .....	12
2.8. Hidróxido de Sodio.....	13
2.9. Envejecimiento.....	14
2.10. Envejecimientos naturales.....	15

2.10.1.	Envejecimiento natural con ambiente laboratorio .....	16
2.10.2.	Envejecimiento natural con ambiente intemperie .....	16
2.11.	Envejecimientos acelerados .....	20
2.11.1.	Envejecimiento acelerado con método Wet and Dry .....	21
CAPÍTULO III .....		22
3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	23
3.1.	Primera Etapa (Revisión Bibliográfica).....	23
3.2.	Segunda Etapa (Experimental) .....	25
3.2.1.	Fase 0.....	26
3.2.2.	Fase I.....	26
3.2.3.	Fase II .....	27
CAPÍTULO IV.....		28
4.	ELABORACIÓN DE PROBETAS .....	29
4.1.	Preparación de la fibra de abacá .....	29
4.1.2.	Corte de fibra .....	30
4.1.3.	Tratamiento alcalino de la fibra de abacá .....	30
4.1.4.	Tratamiento de Hidróxido de Sodio (NaOH) .....	30
4.1.5.	Amasado.....	32
4.2.	Elaboración de probetas .....	32
4.2.2.	Moldes .....	33
CAPÍTULO V.....		35
5.	PROCESOS DE ENVEJECIMIENTO .....	36
5.1.	Envejecimiento natural con ambiente laboratorio.....	36

5.2.	Envejecimiento natural con ambiente intemperie.....	36
5.3.	Envejecimiento acelerado según (Neves et al., 2019) .....	37
5.3.1.	Aplicación del proceso de envejecimiento .....	37
5.4.	Envejecimiento acelerado según (Wei et al., 2016) .....	38
5.4.1.	Aplicación del proceso de envejecimiento .....	39
5.5.	Equipo empleado en el proceso de envejecimiento. ....	40
5.5.1.	Hornos .....	40
CAPÍTULO VI.....		42
6.	ENSAYOS Y RESULTADOS.....	43
6.1.	Nomenclatura.....	43
6.2.	Fase 0: Caracterización de la fibra de abacá .....	45
6.2.1.	Tracción .....	45
6.2.2.	Absorción de agua.....	48
6.2.3.	TGA .....	48
6.2.3.1.	Fibra en estado natural.....	49
6.2.3.2.	Fibra tratada con 3% de hidróxido de sodio (NaOH) .....	50
6.3.	Fase I: Caracterización del mortero de estudio.....	52
6.3.1.	Ensayos previos a la elaboración de la probeta .....	52
6.3.1.1.	Flujo.....	52
6.3.2.	Propiedades físicas del mortero de estudio en estado fresco.....	54
6.3.2.1.	Densidad del mortero en estado fresco .....	54
6.3.2.2.	Contenido de aire del mortero por método de presión .....	56

6.3.3.	Propiedades mecánicas del mortero de estudio en estado endurecido	60
6.3.3.1.	Densidad aparente en seco.....	60
6.3.3.2.	Capilaridad (coeficiente de absorción de agua).....	65
6.3.3.3.	Flexión.....	69
6.3.3.4.	Compresión.....	73
6.3.3.5.	Cambio de longitud.....	75
6.4.	Fase II: Envejecimiento.....	81
6.4.1.	Envejecimiento natural.....	82
6.4.1.1.	Envejecimiento en ambiente laboratorio.....	82
6.4.1.2.	Envejecimiento ambiente intemperie.....	99
6.4.2.1.	Envejecimiento con ciclos Wet - Dry según (Neves et al., 2019) – W-D (1)	118
6.4.2.2.	Envejecimiento con ciclos Wet - Dry según (Wei et al., 2016) – W-D (2)	151
6.5.	Análisis de resultados.....	196
6.5.1.	Fase 0: caracterización de la fibra.....	196
6.5.1.1.	Tracción.....	196
6.5.1.2.	Absorción de agua.....	196
6.5.1.3.	TGA.....	197
6.5.2.	Fase 1 Caracterización del mortero de estudio.....	199
6.5.2.1.	Densidad en estado fresco.....	199
6.5.2.2.	Contenido de aire.....	199
6.5.2.3.	Densidad en estado endurecido.....	200

6.5.2.4.	Capilaridad .....	200
6.5.2.5.	Flexión.....	201
6.5.2.7.	Cambios de longitud.....	202
6.5.3.	Fase 2 envejecimiento.....	203
6.5.3.1.	Densidad en estado endurecido.....	203
6.5.3.2.	Flexión.....	204
6.5.3.3.	Compresión .....	206
6.5.3.4.	Cambio de longitud.....	207
6.5.3.5.	Variación de masa.....	211
CAPÍTULO VII.....		214
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		215
7.1.	Conclusiones.....	215
7.2.	Recomendaciones .....	220
REFERENCIAS .....		221
ANEXOS.....		225

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Granulometría según ASTM C144 .....	8
Tabla 2 Granulometría de la arena .....	9
Tabla 3 Tratamiento de hidróxido de sodio aplicado a diferentes fibras naturales .....	13
Tabla 4 Diferentes tratamientos de Wetting and Drying.....	14
Tabla 5 Tratamientos Naturales.....	15
Tabla 6 Procedimiento de amasado para la elaboración de probetas. ....	32
Tabla 7 Nomenclatura – Tratamiento alcalino.....	43
Tabla 8 Nomenclatura – Dosificación .....	43
Tabla 9 Nomenclatura – Procesos de envejecimiento .....	44
Tabla 10 Nomenclatura – Probetas para ensayo.....	44
Tabla 11 Nomenclatura – Muestras para ensayos.....	44
Tabla 12 Nomenclatura – Muestras para cambio de longitud .....	45
Tabla 13 Fibra natural.....	46
Tabla 14 Fibra con THS.....	47
Tabla 15 Resultados % Humedad .....	48
Tabla 16 Flujo del mortero en estado fresco sin fibra .....	54
Tabla 17 Flujo del mortero en estado fresco con fibra THS.....	54
Tabla 18 Resultados globales del mortero en estado fresco .....	56
Tabla 19 Dosificación.....	58
Tabla 20 Caracterización de la arena .....	58
Tabla 21 Procedimiento de amasado para contenido de aire en estado fresco. ....	59
Tabla 22 Resultados globales para contenido de aire .....	60
Tabla 23 Masa seca de propiedades mecánicas del mortero sin fibra .....	62
Tabla 24 Masa saturada de propiedades mecánicas del mortero sin fibra ..	63
Tabla 25 Masa sumergida de propiedades mecánicas del mortero sin fibra	63
Tabla 26 Densidad de propiedades mecánicas del mortero sin fibra.....	63
Tabla 27 Masa seca de propiedades mecánicas del mortero con fibra .....	64

Tabla 28 Masa saturada de propiedades mecánicas del mortero con fibra .	64
Tabla 29 Masa sumergida de propiedades mecánicas del mortero con fibra .....	64
Tabla 30 Densidad de propiedades mecánicas del mortero con fibra .....	65
Tabla 31 Comparativa de resultados de densidad de propiedades mecánicas. ....	65
Tabla 32 Resultados coeficiente de absorción por capilaridad en mortero con fibra THS (MFTHS) .....	68
Tabla 33 Resultados coeficiente de absorción por capilaridad en mortero sin fibra (MSF) .....	69
Tabla 34 Resultados globales de coeficiente de absorción de agua .....	69
Tabla 35 Resultados de flexión para mortero sin fibra de abacá (MSF) - 28 días .....	72
Tabla 36 Resultados de flexión para mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días .....	72
Tabla 37 Resultados globales de resistencia a flexión .....	72
Tabla 38 Resultados a compresión para mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días .....	74
Tabla 39 Resultados a compresión para mortero sin fibra (MSF) - 28 días .	74
Tabla 40 Comparación de ensayos resistencia a compresión .....	75
Tabla 41 Lecturas de cambio de longitud - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días .....	77
Tabla 42 Resultados de cambio de longitud (MFTHS) - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días .....	77
Tabla 43 Lecturas de cambio de longitud - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días .....	77
Tabla 44 Resultados de cambio de longitud - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días .....	78
Tabla 45 Lecturas de cambio de longitud - mortero sin fibra (MSF) - 28 días .....	78
Tabla 46 Resultados de cambio de longitud - mortero sin fibra (MSF) - 28 días .....	78
Tabla 47 Lecturas de cambio de longitud - mortero sin fibra (MSF) .....	79
Tabla 48 Resultados de cambio de longitud - mortero sin fibra (MSF) .....	79

Tabla 49 Mortero sin fibra (MSF) - Masa seca (Ms, sec) 28 días Ambiente laboratorio .....	83
Tabla 50 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días Ambiente laboratorio .....	83
Tabla 51 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días Ambiente laboratorio .....	83
Tabla 52 Resultados de densidad del mortero sin fibra (MSF) - 28 días Ambiente laboratorio .....	84
Tabla 53 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 28 días Ambiente laboratorio .....	84
Tabla 54 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días Ambiente laboratorio .....	84
Tabla 55 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días Ambiente laboratorio .....	85
Tabla 56 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 28 días Ambiente laboratorio .....	85
Tabla 57 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 4 meses Ambiente laboratorio .....	85
Tabla 58 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 4 meses Ambiente laboratorio .....	86
Tabla 59 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 4 meses Ambiente laboratorio .....	86
Tabla 60 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) 4 meses Ambiente laboratorio .....	86
Tabla 61 Comparación entre densidades de MSF y MFTHS ambiente laboratorio .....	87
Tabla 62 Resistencia a flexión – 28 días mortero sin fibra (MSF) .....	87
Tabla 63 Resistencia a flexión – 28 días mortero con fibra THS (MFTHS)..	87
Tabla 64 Resistencia a flexión – 4 meses mortero con fibra THS (MFTHS)	88
Tabla 65 Resultados de resistencia a flexión - envejecimiento ambiente laboratorio .....	88
Tabla 66 Resultados a compresión - 28 días mortero sin fibra (MSF) .....	89
Tabla 67 Resultados a compresión - 28 días mortero con fibra THS (MFTHS) .....	89
Tabla 68 Resultados a compresión - 4 meses mortero con fibra THS (MFTHS) .....	90

Tabla 69 Resultados globales de resistencia a compresión - envejecimiento ambiente laboratorio .....	90
Tabla 70 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero sin fibra (MSF) .....	91
Tabla 71 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero sin fibra (MSF) .....	91
Tabla 72 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero sin fibra (MSF) .....	92
Tabla 73 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero sin fibra (MSF) .....	92
Tabla 74 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	93
Tabla 75 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	94
Tabla 76 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	94
Tabla 77 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	95
Tabla 78 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) .....	96
Tabla 79 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	96
Tabla 80 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	97
Tabla 81 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra (MFTHS) .....	97
Tabla 82 Mortero sin fibra (MSF) - Masa seca (Ms, sec) 28 días Intemperie .....	101
Tabla 83 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días Intemperie .....	101
Tabla 84 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días Intemperie .....	101
Tabla 85 Resultados de densidad del mortero sin fibra (MSF) - 28 días Intemperie .....	101
Tabla 86 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 28 días Intemperie .....	102

Tabla 87 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días Intemperie .....	102
Tabla 88 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días Intemperie .....	102
Tabla 89 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 28 días Intemperie .....	103
Tabla 90 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 4 meses Intemperie .....	103
Tabla 91 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 4 meses Intemperie .....	103
Tabla 92 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 4 mese Intemperie .....	104
Tabla 93 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 4 meses Intemperie .....	104
Tabla 94 Comparación entre densidades de MSF y MFTHS Intemperie...	104
Tabla 95 Resistencia a flexión - ambiente intemperie – sin fibra (MSF) ....	105
Tabla 96 Resistencia a flexión - ambiente intemperie - con fibra THS (MFTHS) .....	105
Tabla 97 Resistencia a flexión - ambiente intemperie - con fibra THS (MFTHS) .....	106
Tabla 98 Resultados de resistencia a flexión - envejecimiento intemperie	106
Tabla 99 Resultados a compresión - ambiente intemperie – sin fibra (MSF) .....	107
Tabla 100 Resultados a compresión - ambiente intemperie - con fibra THS (MFTHS) .....	108
Tabla 101 Resultados a compresión - ambiente intemperie - con fibra THS (MFTHS) .....	109
Tabla 102 Resultados de resistencia a compresión - envejecimiento ambiente intemperie .....	109
Tabla 103 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero sin fibra (MSF) .....	110
Tabla 104 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero sin fibra (MSF) .....	110
Tabla 105 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero sin fibra (MSF) .....	111

Tabla 106 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero sin fibra (MSF) .....	111
Tabla 107 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	112
Tabla 108 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	113
Tabla 109 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	113
Tabla 110 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	114
Tabla 111 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	115
Tabla 112 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	115
Tabla 113 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	116
Tabla 114 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	116
Tabla 115 Mortero sin fibra (MSF) - Masa seca (Ms, sec) 28 días + 6 ciclos W-D (1).....	119
Tabla 116 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días + 6 ciclos W-D (1) .....	119
Tabla 117 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días + 6 ciclos W-D (1) .....	119
Tabla 118 Resultados de densidad del mortero sin fibra MSF - 28 días + 6 ciclos W-D (1) .....	119
Tabla 119 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 28 días + 6 ciclos W-D (1) .....	120
Tabla 120 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días + 6 ciclos W-D (1) .....	120
Tabla 121 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días + 6 ciclos W-D (1) .....	120
Tabla 122 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 28 días + 6 ciclos W-D (1).....	121
Tabla 123 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 4 meses + 6 ciclos W-D (1) .....	121

Tabla 124 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 4 meses + 6 ciclos W-D (1) .....	121
Tabla 125 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 4 meses + 6 ciclos W-D (1) .....	122
Tabla 126 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 4 meses + 6 ciclos W-D (1).....	122
Tabla 127 Comparación entre densidades de MSF y MFTHS - 4 meses + 6 ciclos W-D (1) .....	122
Tabla 128 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D (1) - mortero sin fibra (MSF).....	123
Tabla 129 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D (1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	123
Tabla 130 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D (1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	124
Tabla 131 Resultados de resistencia a flexión - envejecimiento W-D(1) ...	124
Tabla 132 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF).....	125
Tabla 133 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	126
Tabla 134 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	126
Tabla 135 Resultados de resistencia a compresión - envejecimiento W-D(1) .....	127
Tabla 136 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF).....	127
Tabla 137 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) – mortero sin fibra (MSF) .....	128
Tabla 138 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF).....	128
Tabla 139 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) – mortero sin fibra (MSF) .....	128
Tabla 140 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF).....	129
Tabla 141 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF).....	129
Tabla 142 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF).....	129

Tabla 143 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF) .....	130
Tabla 144 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	131
Tabla 145 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	131
Tabla 146 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	131
Tabla 147 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	132
Tabla 148 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	132
Tabla 149 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) .....	133
Tabla 150 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	133
Tabla 151 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	134
Tabla 152 Lecturas de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	135
Tabla 153 Resultados de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	135
Tabla 154 Lecturas de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	136
Tabla 155 Resultados de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	136
Tabla 156 Datos promedio en ciclos - probeta de Retracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS) .....	138
Tabla 157 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS) .....	139
Tabla 158 Datos promedio en ciclos - probeta de retracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS) .....	140
Tabla 159 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS).....	141
Tabla 160 Datos promedio en ciclos - probeta de retracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF) .....	142

Tabla 161 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF) .....	143
Tabla 162 Datos promedio en ciclos - probeta de retracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF) .....	144
Tabla 163 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF).....	145
Tabla 164 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS).....	146
Tabla 165 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS) .....	147
Tabla 166 Mortero sin fibra (MSF) - Masa seca (Ms, sec) 28 días + 6 ciclos W-D (2).....	153
Tabla 167 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días + 6 ciclos W-D (2) .....	153
Tabla 168 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días + 6 ciclos W-D (2) .....	154
Tabla 169 Resultados de densidad del mortero sin fibra (MSF) - 28 días + 6 ciclos W-D (2) .....	154
Tabla 170 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 28 días + 6 ciclos W-D (2) .....	154
Tabla 171 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días + 6 ciclos W-D (2) .....	155
Tabla 172 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días + 6 ciclos W-D (2) .....	155
Tabla 173 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 28 días + 6 ciclos W-D (2).....	155
Tabla 174 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 4 meses + 6 ciclos W-D (2) .....	156
Tabla 175 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 4 meses + 6 ciclos W-D (2) .....	156
Tabla 176 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 4 meses + 6 ciclos W-D (2) .....	156
Tabla 177 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 4 meses + 6 ciclos W-D (2).....	157
Tabla 178 Comparación entre densidades de MSF y MFTHS - 4 meses + 6 ciclos W-D (2) .....	157

Tabla 179 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D(2) – mortero sin fibra (MSF).....	158
Tabla 180 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	158
Tabla 181 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	159
Tabla 182 Resultados globales de resistencia a flexión - envejecimiento W-D(2).....	159
Tabla 183 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(2) - mortero sin fibra (MSF).....	160
Tabla 184 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	161
Tabla 185 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	161
Tabla 186 Resultados globales de resistencia a compresión - envejecimiento W-D(2).....	162
Tabla 187 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF).....	162
Tabla 188 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF).....	163
Tabla 189 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF).....	163
Tabla 190 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF).....	163
Tabla 191 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF).....	164
Tabla 192 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF).....	164
Tabla 193 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF).....	165
Tabla 194 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF).....	165
Tabla 195 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	166
Tabla 196 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	167

Tabla 197 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	167
Tabla 198 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	167
Tabla 199 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	168
Tabla 200 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	168
Tabla 201 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	168
Tabla 202 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	169
Tabla 203 Lecturas de cambio de longitud - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	170
Tabla 204 Resultados de cambio de longitud - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	170
Tabla 205 Lecturas de cambio de longitud - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS) .....	170
Tabla 206 Resultados de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS).....	171
Tabla 207 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de retracción.....	173
Tabla 208 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de flexión.....	175
Tabla 209 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de retracción.....	177
Tabla 210 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de flexión.....	179
Tabla 211 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo – mortero sin fibra (MSF) – probetas de retracción.....	181
Tabla 212 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo – mortero sin fibra (MSF) – probetas de flexión.....	183
Tabla 213 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero sin fibra (MSF) – probetas de retracción.....	185
Tabla 214 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero sin fibra (MSF) – probetas de flexión.....	187

Tabla 215 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de flexión.....	189
Tabla 216 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de flexión.....	191
Tabla 217 Características del agua potable y la usada para envejecimientos .....	219

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Requisitos físicos del cemento para mampostería .....	10
Ilustración 2 Gráfico de precipitaciones correspondiente al mes de octubre 2019.....	16
Ilustración 3 Gráfico de variación de temperatura correspondiente al mes de octubre 2019.....	17
Ilustración 4 Gráfico de precipitaciones correspondiente al mes de noviembre 2019.....	17
Ilustración 5 Gráfico de variación de temperatura correspondiente al mes de noviembre 2019 .....	18
Ilustración 6 Gráfico de precipitaciones correspondiente al mes de diciembre 2019.....	18
Ilustración 7 Gráfico de variación de temperatura correspondiente al mes de diciembre 2019 .....	19
Ilustración 8 Gráfico de precipitaciones correspondiente al mes de enero 2020 .....	19
Ilustración 9 Gráfico de variación de temperatura correspondiente al mes de enero 2020.....	20
Ilustración 10 Metodología de la revisión bibliográfica .....	24
Ilustración 11 Metodología de trabajo para la fase experimental .....	26
Ilustración 12 Equipo recomendado para realizar la disolución de las perlas de NaOH.....	31
Ilustración 13 Proceso de elaboración de las probetas, capa 1 .....	33
Ilustración 14 Moldes para ensayo de flexotracción .....	33
Ilustración 15 Moldes para ensayo de cambio de longitud. ....	34
Ilustración 16 Proceso de envejecimiento Wet and Dry según (Neves et al., 2019).....	38
Ilustración 17 Proceso de envejecimiento Wet and Dry según (Wei et al., 2016).....	40
Ilustración 18 Horno marca Grieve .....	41
Ilustración 19 Horno marca Quincy lab .....	41
Ilustración 20 Equipos y sistema usado para el ensayo de tracción .....	46
Ilustración 21 Falla de la fibra natural .....	47

Ilustración 22 Falla de la fibra con THS .....	47
Ilustración 23 Balanza térmica .....	48
Ilustración 24 Perfil de descomposición TGA, muestra 1 .....	49
Ilustración 25 Perfil de descomposición TGA, muestra 2 .....	49
Ilustración 26 Perfil de descomposición TGA, muestra 3 .....	50
Ilustración 27 Perfil de descomposición TGA, muestra 4 .....	50
Ilustración 28 Perfil de descomposición TGA, muestra 5 .....	51
Ilustración 29 Perfil de descomposición TGA, muestra 6 .....	51
Ilustración 30 Procedimiento del ensayo de flujo en estado fresco del mortero .....	53
Ilustración 31 Procedimiento de ensayo densidad en estado fresco del mortero .....	55
Ilustración 32 Equipo para el amasado del mortero .....	57
Ilustración 33 Procedimiento contenido de aire por método de presión en estado fresco del mortero .....	59
Ilustración 34 Determinación de la masa seca.....	61
Ilustración 35 Determinación de la masa saturada .....	61
Ilustración 36 Determinación de la masa sumergida .....	62
Ilustración 37 Curado de probetas .....	66
Ilustración 38 Procedimiento para ensayo de coeficiente de absorción de agua (Capilaridad) .....	67
Ilustración 39 Equipo para ensayo de resistencia a flexión.....	70
Ilustración 40 Procedimiento de ensayo a flexión .....	71
Ilustración 41 Procedimiento de ensayo a compresión .....	73
Ilustración 42 Procedimiento de lecturas para cambio de longitud .....	76
Ilustración 43 Gráfica deformación vs. tiempo – Mortero con fibra THS (MFTHS) .....	80
Ilustración 44 Gráfica deformación vs. tiempo – Mortero sin fibra THS (MSF) .....	80
Ilustración 45 Gráfica deformación vs. tiempo global - MFS y MFTHS.....	81
Ilustración 46 Serie de ensayos para envejecimiento en ambiente laboratorio .....	82

Ilustración 47 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente laboratorio 28 días - MSF.....	93
Ilustración 48 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente laboratorio 28 días - MFTHS.....	95
Ilustración 49 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente laboratorio 4 meses - MFTHS .....	98
Ilustración 50 Gráfica deformación vs. tiempo para envejecimiento en ambiente laboratorio - 28 días envejecido - MSF y MFTHS.....	99
Ilustración 51 Serie de ensayos para envejecimiento ambiente intemperie	100
Ilustración 52 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente intemperie 28 días – MSF .....	112
Ilustración 53 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente intemperie 28 días – MFTHS .....	114
Ilustración 54 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente intemperie 4 meses - MFTHS .....	117
Ilustración 55 Gráfica deformación vs. tiempo para envejecimiento ambiente intemperie - 28 días envejecido - MSF y MFTHS .....	117
Ilustración 56 Serie de ensayos para envejecimiento W-D(1).....	118
Ilustración 57 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (1) a 28 días + 6 ciclos - MSF .....	130
Ilustración 58 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (1) a 28 días + 6 ciclos - MFTHS.....	134
Ilustración 59 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (1) a 4 meses + 6 ciclos - MFTHS.....	137
Ilustración 60 Gráfica deformación vs. tiempo para envejecimiento W-D (1) - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - MSF y MFTHS .....	137
Ilustración 61 Gráfica promedio en ciclos - probeta de Retracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS) .....	139
Ilustración 62 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS) .....	140
Ilustración 63 Graficas promedio en ciclos - probeta de retracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS).....	141
Ilustración 64 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS).....	142
Ilustración 65 Grafica promedio en ciclos - probeta de retracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF) .....	143

Ilustración 66 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF) .....	144
Ilustración 67 Grafica promedio en ciclos - probeta de retracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF).....	145
Ilustración 68 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF).....	146
Ilustración 69 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS).....	147
Ilustración 70 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS) .....	148
Ilustración 71 Graficas comparativas promedio de retracción estado húmedo con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos.....	148
Ilustración 72 Graficas comparativas promedio de flexotracción estado húmedo con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos.....	149
Ilustración 73 Graficas comparativas promedio de retracción estado seco con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos .....	149
Ilustración 74 Graficas comparativas promedio de flexotracción estado seco con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos.....	150
Ilustración 75 Graficas comparativas con fibra de 28 días + 6 ciclos de envejecimiento y 4 meses + 6 ciclos de envejeciendo estado húmedo con fibra (MFTHS) .....	150
Ilustración 76 Graficas comparativas con fibra de 28 días + 6 ciclos de envejeciendo y 4 meses + 6 ciclos de envejeciendo estado seco con fibra (MFTHS) .....	151
Ilustración 77 Serie de ensayos realizados para envejecimiento W-D (2) .	152
Ilustración 78 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (2) a 28 días + 6 ciclos – MSF.....	166
Ilustración 79 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (2) a 28 días + 6 ciclos - MFTHS.....	169
Ilustración 80 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (2) a 4 meses + 6 ciclos - MFTHS.....	171
Ilustración 81 Gráfica deformación vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - MSF y MFTHS .....	172
Ilustración 82 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de retracción – MFTHS – 28 días más 6 ciclos .....	174
Ilustración 83 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MFTHS – 28 días más 6 ciclos .....	176

Ilustración 84 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de retracción – MFTHS – 28 días más 6 ciclos.....	178
Ilustración 85 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MFTHS – 28 días más 6 ciclos.....	180
Ilustración 86 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de retracción – MSF – 28 días más 6 ciclos.....	182
Ilustración 87 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MSF – 28 días más 6 ciclos.....	184
Ilustración 88 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de retracción – MSF – 28 días más 6 ciclos.....	186
Ilustración 89 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MSF – 28 días más 6 ciclos.....	188
Ilustración 90 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MFTHS – 4 meses más 6 ciclos.....	190
Ilustración 91 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MFTHS – 4 meses más 6 ciclos.....	192
Ilustración 92 Gráfica incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de retracción - estado húmedo - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento - MSF y MFTHS.....	193
Ilustración 93 Gráfica incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de flexión - estado húmedo - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento - MSF y MFTHS.....	193
Ilustración 94 Gráfica pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de retracción - estado seco - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento - MSF y MFTHS.....	194
Ilustración 95 Gráfica pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de flexión - estado seco - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento - MSF y MFTHS.....	194
Ilustración 96 Gráfica incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de flexión - estado húmedo - 28 días y 4 meses + 6 ciclos de envejecimiento – MFTHS.....	195
Ilustración 97 Gráfica pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de flexión - estado seco - 28 días y 4 meses + 6 ciclos de envejecimiento - MFTHS.....	195
Ilustración 98 Muestra de fibra en estado natural.....	197
Ilustración 99 Muestra de fibra con Tratamiento de hidróxido de sodio (NaOH 3%).....	198

Ilustración 100 Gráfica comparativa entre MSF y MFTHS para propiedades mecánicas.....	202
Ilustración 101 Gráfica comparativa de densidades con resultados globales .....	204
Ilustración 102 Gráfica comparativa de resistencias a flexión con resultados globales.....	205
Ilustración 103 Gráfica comparativa de resistencias a compresión con resultados globales .....	207
Ilustración 103 Gráfica comparativa entre envejecimiento ambiente laboratorio para MSF y MFTHS .....	208
Ilustración 104 Gráfica comparativa entre envejecimiento intemperie laboratorio para MSF y MFTHS .....	209
Ilustración 105 Gráfica comparativa entre envejecimiento W-D (1) laboratorio para MSF y MFTHS .....	210
Ilustración 106 Gráfica comparativa entre envejecimiento W-D (2) laboratorio para MSF y MFTHS .....	211
Ilustración 107 Incremento de masas 28 días + 6 ciclos W-D (1).....	212
Ilustración 108 Incremento de masas 28 días + 6 ciclos W-D (2).....	212
Ilustración 109 Pérdidas de masas 28 días + 6 ciclos W-D (1).....	213
Ilustración 110 Pérdidas de masas 28 días + 6 ciclos W-D (2).....	213
Ilustración 111 Determinación del PH para agua potable y agua de envejecimiento .....	219

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Densidad del mortero en estado fresco.....	56
Ecuación 2 Densidad aparente en seco del mortero endurecido.....	60
Ecuación 3 Coeficiente de absorción de agua por capilaridad.....	68
Ecuación 4 Resistencia a flexión del mortero de albañilería.....	71
Ecuación 5 Resistencia a la compresión del mortero .....	73
Ecuación 6 Determinación del cambio de longitud .....	76

## RESUMEN

Este trabajo tiene el propósito de mostrar el comportamiento del mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratado con hidróxido de sodio (NaOH 3%) en su estado envejecido de dos formas: natural en ambiente laboratorio, ambiente intemperie y envejecimiento acelerado después de 6 ciclos de aplicación por dos métodos de W/D para realizar un comparativo con el mortero convencional sin fibra y determinar la efectividad de la fibra previamente tratada con hidróxido de sodio (NaOH 3%) actuando en un mortero convencional; para lo cual se realizaron ensayos de flexión, compresión, cambio de longitud, densidad endurecido y fresco, contenido de aire y capilaridad dentro de los cuales se ha determinado a través de los diferentes métodos de envejecimiento, en cuanto a la densidad se presenta un aumento del 6,2%, en flexión un aumento del 11% y finalmente compresión se presenta un incremento del 15,7% a favor del mortero con fibra (MFTHS) con respecto al mortero convencional sin fibra (MSF).

*Palabras Claves: (Abacá, envejecimiento, natural, acelerado, propiedades físicas y mecánicas)*

## **ABSTRACT**

This research has the purpose to demonstrate the behaviour of reinforced mortar with abaca fiber previously treated with Sodium Hydroxide (NaOH3%) submitted to different aging process: natural-laboratory condition, outdoor and accelerated process after applying 6 cycles of W/D method in order to compare the mechanical properties of a traditional mortar vs a reinforced abaca mortar applying bending, density for hardened and fresh mortar, retraction, air content and capilarity. In terms of density, there's an increase of 6.2%, in bending 11% more and compression 15.7%.

*Key words: Abacá, Aging, Natural, Accelerated, mechanical and pphysical properties)*

# **CAPÍTULO I**

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Antecedentes**

La fibra de abacá es una fibra abundante en Ecuador, siendo así el segundo país con mayor índice de exportación en el mundo, después de Filipinas; alrededor del 15% de las exportaciones en el mundo son de Ecuador.

Se ha demostrado que las fibras vegetales mejoran el comportamiento mecánico de los morteros; sin embargo, presentan una desventaja que es la degradación que sufriría al estar expuesta en una matriz cementicia. Por tal razón, tratamientos han sido usados para contrarrestar esa posible degradación. El tratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 3% ha presentado resultados interesantes cuando se habla de propiedades mecánicas, pero es indispensable analizar el comportamiento a través del tiempo, para lo cual se ha simulado el paso del tiempo a través de procesos de envejecimientos acelerados como procesos de W/D.

## **1.2. Objetivo General**

Analizar el comportamiento físico y mecánico del mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratada con hidróxido de sodio cuando es sometido a procesos de envejecimientos natural y acelerado.

## **1.3. Objetivos específicos**

- Analizar el comportamiento mecánico del mortero reforzado con fibra de abacá mediante la aplicación de ensayos de flexo tracción, densidad, porosidad, retracción.
- Analizar el comportamiento físico y mecánico del mortero reforzado con fibra de abacá sometidas a envejecimientos naturales y acelerados.
- Comparar el desempeño del mortero reforzado con fibra de abacá expuesto a diferentes tipos de envejecimiento tanto naturales como acelerados.

## **1.4. Hipótesis**

La aplicación de métodos de envejecimiento acelerados influirá en los resultados del comportamiento mecánico del mortero reforzado con fibra de abacá.

## 1.5. Justificación

En investigaciones previa se realizaron estudios empleando morteros elaborados bajo la norma INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015) y reforzados con fibra de abacá para morteros de mampostería; dónde se determinó, el tratamiento más efectivo para curar la fibra de abacá y obtener un mejor desempeño frente a la degradación de la fibra, que no altere la matriz cementicia. El tratamiento alcalino con hidróxido de sodio presentó mejores resultados (Freire, 2019). Adicionalmente se estableció el tamaño y dosificación óptimo de la fibra a tratar en la investigación (Calle, 2019), sin embargo para poder tener la certeza de un buen comportamiento, es indispensable simular el paso del tiempo para determinar la durabilidad de la matriz cementicia reforzada con la fibra de abacá, como en efecto otros autores lo han realizado, donde se simula la variación del desempeño a través del tiempo con envejecimientos acelerados y relacionando esto con el cambio de masa como se indica en artículos (Wei, Ma, & Thomas, 2016) analizando sus propiedades tanto físicas como mecánicas.

Para lo cual procesos de envejecimiento serán empleados ya que simular el paso del tiempo es necesario puesto que en 6 meses no se puede determinar durabilidad (en tiempo real); sin embargo, se considera importante también analizar el comportamiento del material en su forma natural en condiciones de laboratorio y expuestos a la intemperie donde se puede presentar fisuración al estar en un ambiente de estrés (Zukowski et al., 2018). En trabajos realizados se indica que el proceso de envejecimiento acelerados puede causar un aumento en el enlace entre la fibra y la matriz cementicia como lo definen la investigación (Soroushian, Won, & Hassan, 2012).

# **CAPÍTULO II**

## **2. MARCO TEÓRICO**

Esta sección, se centrará en la definición bibliográfica de los diferentes métodos de envejecimiento tanto naturales como acelerados aplicados en morteros con fibra de abacá tratada previamente con NaOH al 3%, además, de una detallada explicación de los ensayos realizados para complementar las propiedades mecánicas del mortero con fibra de abacá definidas en investigaciones previas.

### **2.1. Mortero**

Según (Zambrano, 2013) se denomina mortero a la mezcla compuesta por conglomerantes inorgánicos como agregado fino (arena), cemento y agua en proporciones adecuadas para obtener la resistencia óptima en tiempo establecidos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010); además, en algunos casos se añaden aditivos o fibras vegetales como un plus dependiendo del uso para el cual el mortero sea destinado como por ejemplo mejorar el tiempo de fraguado, maleabilidad, adherencia, permeabilidad y durabilidad. Existen varias condiciones para obtener un mortero de gran calidad donde este depende de las características de los agregados, aditivos o fibras que se vayan utilizar, se puede tomar como referencia las especificaciones técnicas establecidas en la NTE INEN 2518 (anexo 1) la cual indica requerimientos como resistencia, contenido de aire, densidad, flujo, entre otras condiciones que se deben cumplir para morteros de mampostería.

#### **2.1.1. Funciones del mortero**

El mortero se lo puede utilizar para varias funciones en diferentes trabajos en el área de la construcción, entre las más usadas se considera la pega de bloques en paredes divisorias entre juntas horizontales y verticales, que al unirse se los considera como elementos estructurales que generalmente no entran en un análisis de diseño previo. El revestimiento en superficies de mampostería tiene como fin de nivelar y recubrir las mismas, además, esto se puede conseguir gracias a la gran capacidad de adherencia que posee el mortero ya que a diferencia del hormigón en lo que corresponde a sus

agregados, el contener solo agregado fino como compuesto eleva considerablemente esta característica junto con la maleabilidad en trabajos de mampostería (Zambrano, 2013).

## 2.2. Agregado Fino (Arena)

Existen diversas fuentes para la obtención del agregado fino, tales como canteras, ríos, entre otras. Por lo general cuando son provenientes de ríos el agregado posee una forma redondeada, debido al arrastre de las corrientes van tomando esa forma y son depositadas al final del río.

Tabla 1 Granulometría según ASTM C144

TAMIZ	% PASANTE	MÍNIMO PERMITIDO	MÁXIMO PERMITIDO	CUMPLE
4 (4,75 mm)	100%	100%	100%	SI
8 (2,36 mm)	97%	95%	100%	SI
16 (1,18 mm)	91%	70%	100%	SI
30 (600 $\mu$ m)	75%	40%	75%	SI
50 (300 $\mu$ m)	28%	10%	35%	SI
100 (150 $\mu$ m)	3%	2%	15%	SI

**Nota:** Fuente: (American Society for Testing and Materials, 1974)

La procedencia del agregado utilizado en los ensayos descritos posteriormente es del Río boliche ubicado en la provincia del Guayas posee la siguiente caracterización es según la norma ASTM C 144 – 04

Tabla 2 Granulometría de la arena

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
4 (4,75 mm)	0	0%	0%	100%
8 (2,36 mm)	40,5	3%	3%	98%
16 (1,18 mm)	218,7	14%	16%	84%
30 (600 $\mu$ m)	461,7	29%	45%	56%
50 (300 $\mu$ m)	534,6	33%	78%	23%
100 (150 $\mu$ m)	226,8	14%	92%	9%
200 (75 $\mu$ m)	97,2	6%	98%	3%
FONDO	40,5	3%	100%	0%
TOTAL	1620			

**Nota:** Fuente: Autor

El agregado fino puede ser empleado en distintas áreas; sin embargo, se enfocará en el área de construcción, el cual puede ser empleado para diseños de hormigón, morteros y enlucidos.

### 2.3. Cemento

En la presente investigación se usará un tipo de cemento para todos los ensayos que se aplicarán, el denominado Holcim Fuerte (Holcim Ecuador S.A., 2015) es un cemento hidráulico tipo GU que al poseer esta característica particular se entiende como aquel que fragua y se endurece por reacción química al contacto con el agua, además, este se encuentra compuesto por la pulverización de clinker la cual consiste de silicatos cálcicos hidráulicos y algunas adiciones como sulfato de calcio y piedra caliza en porcentajes especificados en la NTE INEN 152.

El uso más común que se le brinda a este tipo de cemento es la construcción en general, en lo que concierne a los requisitos principales del mismo tales como: resistencia, contenido de aire, tiempo de fraguado y otras condiciones

establecidas en la NTE INEN 2380 (Intituto Ecuatoriano de Normalización, 2002) el cemento Holcim Fuerte tipo GU cumple y excede dichos requisitos.

La aplicación que se le dará en esta investigación será la de matriz cementicia en la elaboración de mortero para mampostería la cual según NTE INEN 1806 debe cumplir con los estándares que se pueden observar en la tabla 3. Para el caso del Holcim fuerte tipo GU las características de este indican que corresponde a un tipo M el cual indica que no debe contener mayor adición de cemento o cal hidratada que la especificada en NTE INEN 2518 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

Tipo de cemento para mampostería	N	S	M
Finura, residuo sobre el tamiz de 45 µm (No. 325), % máx.	24	24	24
Expansión en autoclave, % máx.	1,0	1,0	1,0
Tiempo de fraguado, método de Gillmore			
Tiempo inicial, minutos, no menos de	120	90	90
Tiempo inicial, minutos, no mayor de	1 000	1 000	1 000
Resistencia a la compresión (promedio de 3 cubos)			
La resistencia a la compresión de cubos de mortero, compuesto de 1 parte de cemento y 3 partes de arena mezclada (la mitad de arena graduada normalizada y la otra mitad de arena normalizada 20 – 30) en volumen, preparados y ensayados de acuerdo con esta norma, debe ser igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:			
7 días, MPa	3,4	9,0	12,4
28 días, MPa	6,2	14,5	20,0
Contenido de aire del mortero, preparado y ensayado de acuerdo con los requisitos de esta norma.			
Volumen, % mín	8	8	8
Volumen, % máx.	21	19	19
Valor de retención de agua, % de flujo original	70	70	70

Ilustración 1 Requisitos físicos del cemento para mampostería

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)

Tomando en consideración investigaciones previas (Calle, 2019) se procedió a homogenizar el cemento con el fin de evitar variaciones en los resultados dado que, para un trabajo de análisis netamente en laboratorio se debe usar materiales de un mismo lote para las pruebas que se deseen realizar. Adicional se añadió las certificaciones de cemento de los meses de trabajo de esta investigación. Ver Anexo 4 a 7

## 2.4. Agua

El agua se considera como compuesto fundamental en la mezcla del mortero, este debe estar contemplado con las características indicadas en la norma

NTE INEN 2518, que especifica lo siguiente: “El agua debe ser limpia y estar libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos, u otras sustancias que sean perjudiciales para los morteros o para cualquier metal en la pared”(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

Es importante mencionar que la relación cemento agua es inversamente proporcional a la resistencia del mortero, es decir mientras más agua menor resistencia y viceversa. Sin embargo, es un factor a tener en cuenta ya que al poner menor de cantidad de agua pudiera estar afectando a la trabajabilidad del mortero lo cual pudiera resolverse empleando aditivos.

## **2.5. Fibras Vegetales**

Las fibras vegetales son amigables con el ambiente, procedentes de diversas plantas y al ser compuestos orgánicos se ven afectadas con el pasar del tiempo causando degradación de ésta, es decir son biodegradables. Entre las fibras ideales para combinar junto con la base cementicia encontramos diferentes tipos de fibras: como de origen animal, derivado de minerales y de origen vegetal. Este documento se enfocará específicamente en la fibra de abacá de origen vegetal.

Las fibras naturales de origen vegetal consisten en celulosa, hemicelulosa, lignina, extractos y cenizas. Las concentraciones de estos componentes. dependerá de factores como el tipo de fibra, la condición de crecimiento, la dimensión, edad, ubicación en planta, método de extracción y procesamiento. (Onuaguluchi & Banthia, 2016)

La degradación de la fibra se debe principalmente a elevadas cantidades de hemicelulosa y la lignina.

## **2.6. Abacá**

El abacá es una planta endémica de filipina, presente en países con climas tropicales como el Ecuador. Conocida principalmente por las fibras de abacá, las cuales son empleadas por lo general para la fabricación de cuerdas puesto que puede llegar a medir de 5 metros o más (Calle, 2019).

### **2.6.1. Fibra de abacá**

Las fibras de abacá son una alternativa interesante de estudio debido a sus propiedades mecánicas y a su barato precio. Al combinarla con la matriz cementicia se pueden obtener diferentes ventajas como gran resistencia al agrietamiento, flexibilidad entre otros.

El método de extracción de la fibra contempla: la tala de la planta de abacá con apariencia similar a la planta de banano, deshojamiento y desfibrado del tronco. Para este trabajo se emplearon fibras cortadas a 3 cm de longitud con un porcentaje del 0.2 con respecto a los sólidos del mortero.

## **2.7. Tratamiento Alcalino**

Al ser biodegradable se presenta un deterioro de la fibra de acaba, razón por la cual se analizó en estudios anteriores la mejor manera de conservación de la fibra dando como resultado un tratamiento con Hidróxido de sodio, obteniendo una disminución de la absorción del agua, una mejor trabajabilidad y duración con el pasar del tiempo.

Se puede resaltar el comportamiento hidrofílico de estas fibras, lo que puede dificultar la adhesión de la fibra a la matriz. Además, la naturaleza hidrofílica de las fibras de acaba puede contribuir a una rápida absorción de la humedad, lo que lleva a una consiguiente pérdida de estabilidad dimensional de la pieza fabricada (Souza & Almeida, 2014).

El objetivo de este tratamiento es garantizar la permanencia de la fibra en la matriz cementicia después de varios años, para que de esa manera siga actuando en la misma (Onuaguluchi & Banthia, 2016).

## 2.8. Hidróxido de Sodio

El Hidróxido de sodio posee un PH alcalino, ideal para el tratamiento de la fibra de abacá, debido a que mejora las propiedades mecánicas de la misma. Sin embargo, es altamente peligroso por lo cual su uso es restringido y se debe usar empleando todos los equipos de seguridad.

A temperatura ambiente el Hidróxido de Sodio (NaOH) es un sólido cristalino, blanco, sin olor, que tiene la propiedad de absorber rápidamente el dióxido de carbono y la humedad del aire (delicuescente). Es una sustancia muy corrosiva. Cuando se disuelve en agua o cuando se neutraliza con algún ácido libera gran cantidad de calor, el cual puede ser suficiente para hacer que material combustible en contacto con el hidróxido haga ignición. (INSHT, 2010)

Tabla 3 Tratamiento de hidróxido de sodio aplicado a diferentes fibras naturales

Fibra	Tipo de tratamiento	Beneficios
Hoja		Mejoran las propiedades mecánicas. Ofrece un óptimo aislamiento térmico (Jiang, y otros, 2018).
Abacá	Hidróxido de sodio (NaOH)	Con un 5% de solución se ven mejoras de un 8% en el esfuerzo a tracción y un 38% en el módulo de Young. (Cai, Takagi, Nakagaito, Li, & Waterhouse, 2016)
Lino & Cábamo		Ayuda a controlar el tamaño y el número de grietas. Demuestra mejora en la resistencia a tracción y en el módulo de Young (Snoeck, Smetryns, & De Belie, 2015)

**Nota:** Fuente: (Calle, 2019)

## 2.9. Envejecimiento

Con el pasar del tiempo existen factores o propiedades físicas que pueden mejorar y a su vez algunas pueden disminuir en el caso de materiales. Según (Elices, 2002) en el campo de la ingeniería el envejecimiento se considera al efecto de exponer un material a agentes externos que influyen en el comportamiento del mismo, como, por ejemplo: oxígeno, agua, cambios de temperatura o incluso la radiación en casos más severos. Estos factores harán que el elemento busque el equilibrio que fueron perdiendo durante este proceso de envejecimiento y de ahí se generarán las pérdidas o mejoras en sus propiedades mecánicas.

Tabla 4 Diferentes tratamientos de Wetting and Drying

Tipo de tratamiento	Tipo de elemento	Consecuencias
Wetting and Drying	Mortero con fibra curaua	El comportamiento de flexión compuesto se modifica (Zukowski et al., 2018).  Este proceso puede conducir a un aumento de enlaces entre las fibras y la matriz. La petrificación de la fibra aparentemente aumenta su resistencia y rigidez, y a su vez conduce a una mayor resistencia. El aumento en la fuerza fue acompañado de una disminución de la tenacidad, que podría deberse a la densificación de las interfaces de fibra-matriz (Soroushian et al., 2012).
Wetting and Drying	Mortero con Kraft (SSK) pulp.	Este proceso actúa directamente en la mejora de la resistencia a tracción y a su vez en la rigidez del mortero. Pero disminuye el Modulo de elasticidad del mortero reforzado con fibra, lo que genera que sea más fácil de doblarse frente a carga aplicada (Wei et al., 2016).
Wetting and Drying	Mortero con fibra de sisal	La investigación propuso un tratamiento de 1 y 24 horas con CO2 luego de 6 horas de hidratación se usa un flujo multidireccional (Neves et al., 2019).

**Nota:** Fuente: Autor

## 2.10. Envejecimientos naturales

Es un método al cual no se aplica ningún tratamiento más allá que el normal, a 28, 56 y 90 días. Además es aplicado directamente en el mortero (Booya, Gorospe, Ghaednia, & Das, 2019).

Tabla 5 Tratamientos Naturales

Tipo de tratamiento	Tipo de elemento	Consecuencias
Intemperie	Hormigón con fibra	La exposición a la intemperie natural provocó el comportamiento posterior a la fisuración. cambio, desde el endurecimiento por deformación observado en las muestras de referencia al ablandamiento por deformación presentado por los compuestos sometidos al medio ambiente estrés (Zukowski et al., 2018).
Natural	Hormigón con fibra	Es un método al cual no se aplica ningún tratamiento más allá que el normal, a 28, 56 y 90 días. Además es aplicado directamente en hormigón (Nasr, Behforouz, Rezaei, Afzali, & Zehtab, 2019).

**Nota:** Fuente: Autor

El envejecimiento con un proceso natural se lo puede definir como aquel que no se utilizaran medios de aceleración para este proceso, por el contrario, se aplicaran métodos que dependen netamente de la condición física y ambiental al cual el elemento se lo expondrá. Pueden existir variaciones dependiendo del tipo de estado o condiciones climáticas donde se aplicará el proceso de envejecimiento natural, por esa razón es importante definir previamente dichos agentes climáticos o de laboratorio de ser el caso (Booya et al., 2019).

### 2.10.1. Envejecimiento natural con ambiente laboratorio

En este trabajo, se definirá a ambiente laboratorio, a la condición de someter a la muestra a las siguientes temperaturas y humedades: según UNE–EN 1015-11 la temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  con una humedad de  $65\% \pm 5\%$  son las condiciones adecuadas para almacenar las muestras de morteros elaborados para albañilería (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000b).

### 2.10.2. Envejecimiento natural con ambiente intemperie

Ambiente intemperie se define como la exposición del mortero de estudio a las condiciones climáticas naturales del sector donde se analizará el elemento (Guayaquil - Ecuador), estas condiciones pueden presentar variaciones tanto en la temperatura como en la humedad a las que se verán expuestas las probetas.

A continuación, se presentan tablas de precipitaciones para los meses en los que se realizó el trabajo de investigación tanto de los valores esperados como lo reales.

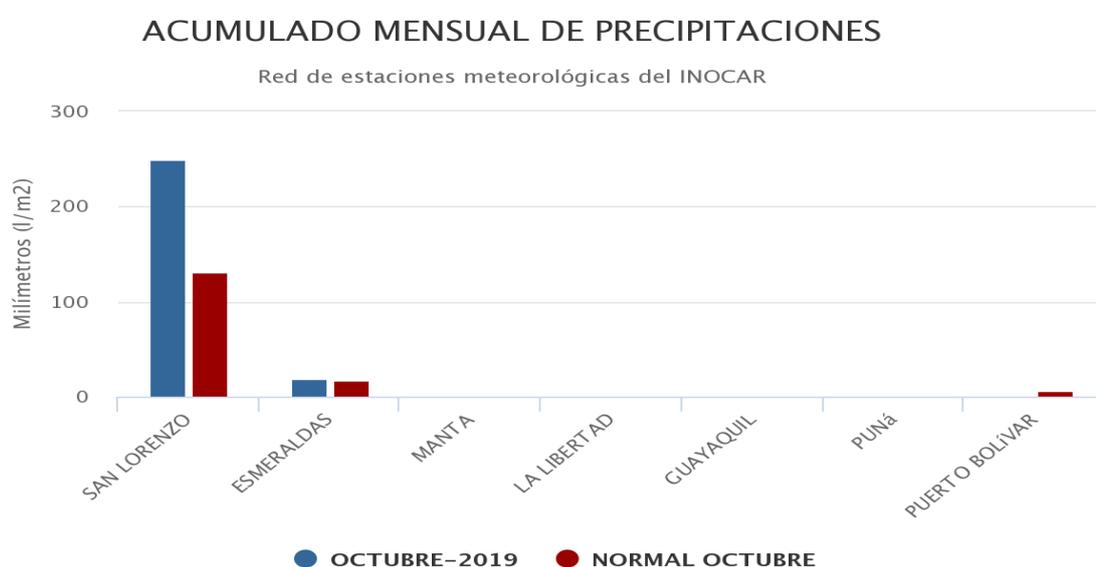


Ilustración 2 Gráfico de precipitaciones correspondiente al mes de octubre 2019

Fuente: (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2020)

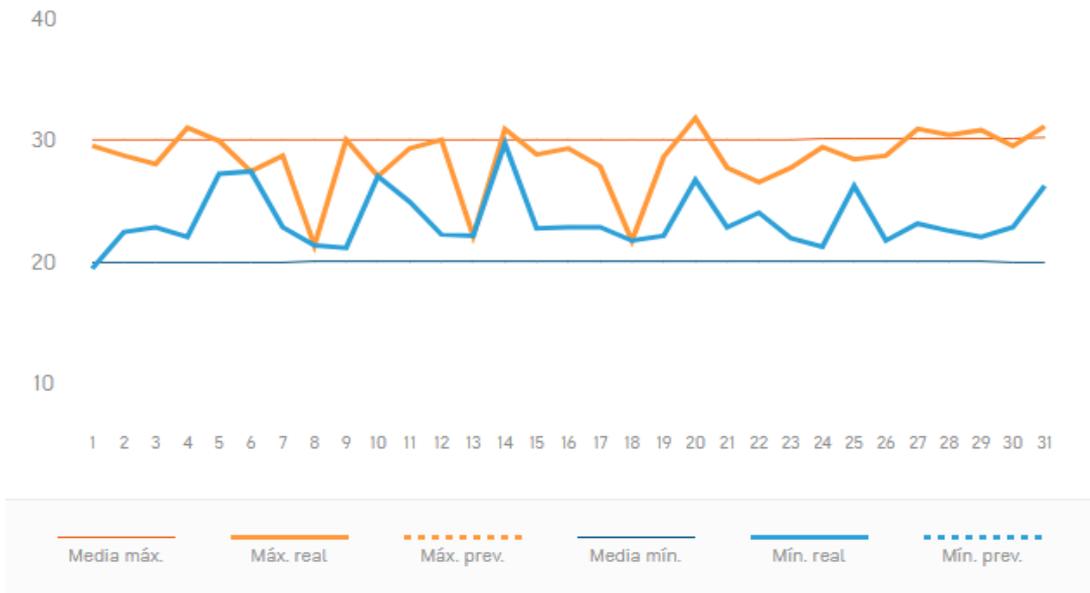


Ilustración 3 Gráfico de variación de temperatura correspondiente al mes de octubre 2019

Fuente: (AccuWeather, 2020)

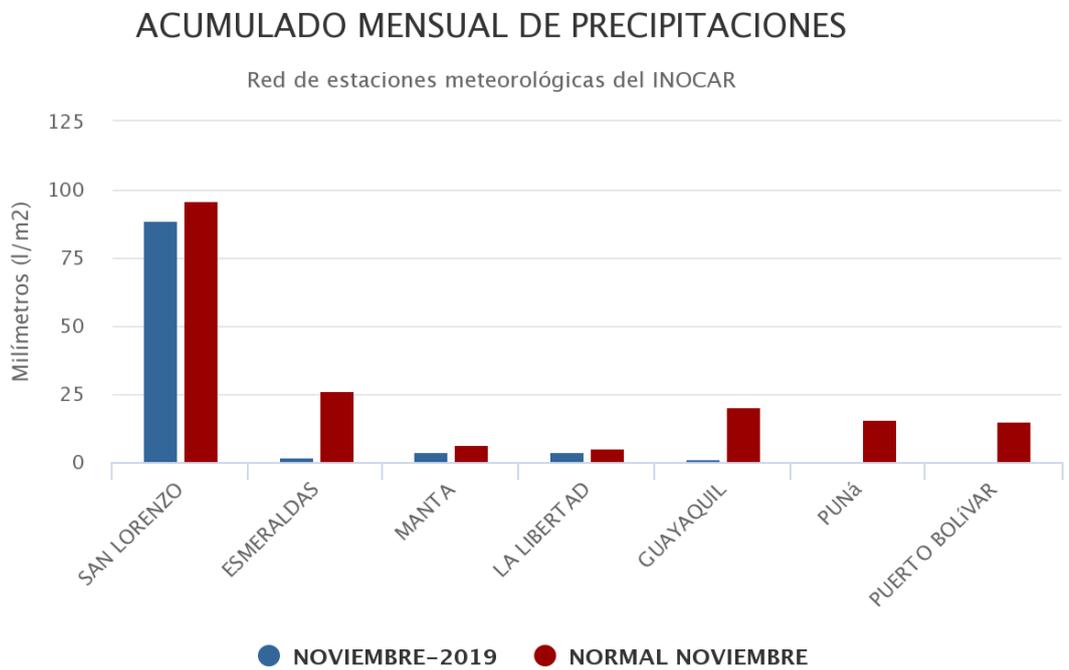


Ilustración 4 Gráfico de precipitaciones correspondiente al mes de noviembre 2019

Fuente: (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2020)

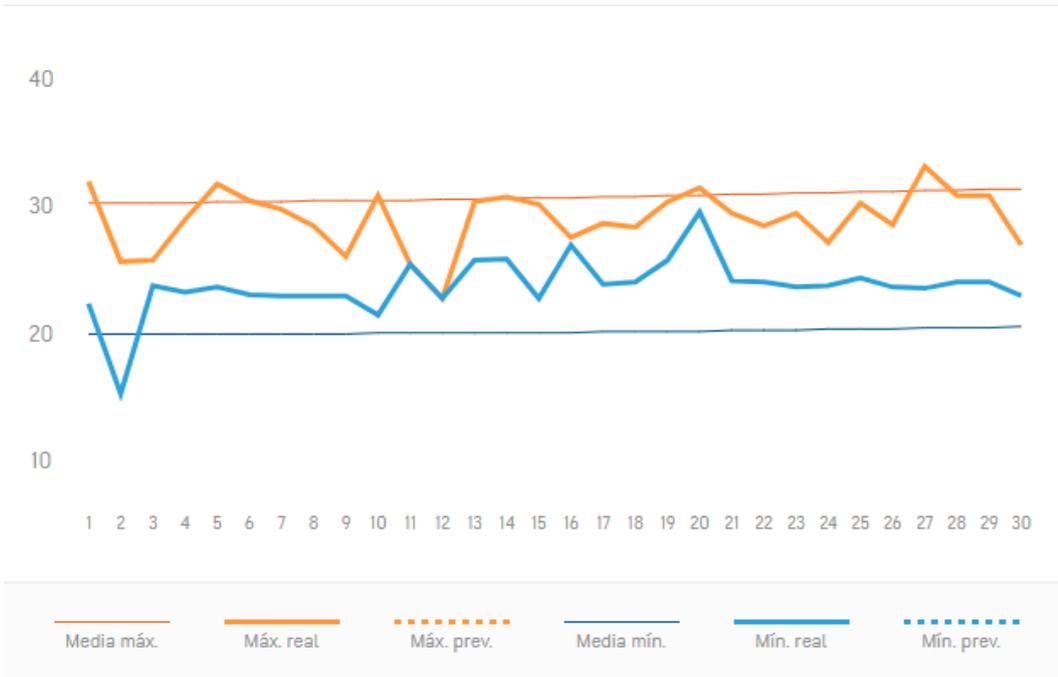


Ilustración 5 Gráfico de variación de temperatura correspondiente al mes de noviembre 2019

Fuente: (AccuWeather, 2020)

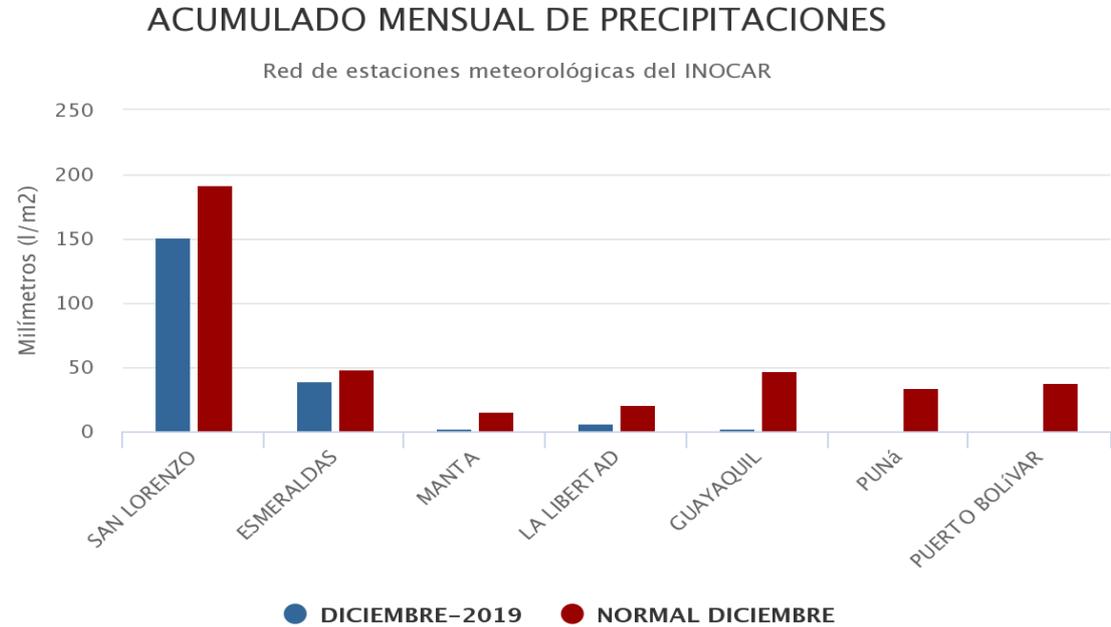


Ilustración 6 Gráfico de precipitaciones correspondiente al mes de diciembre 2019

Fuente: (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2020)

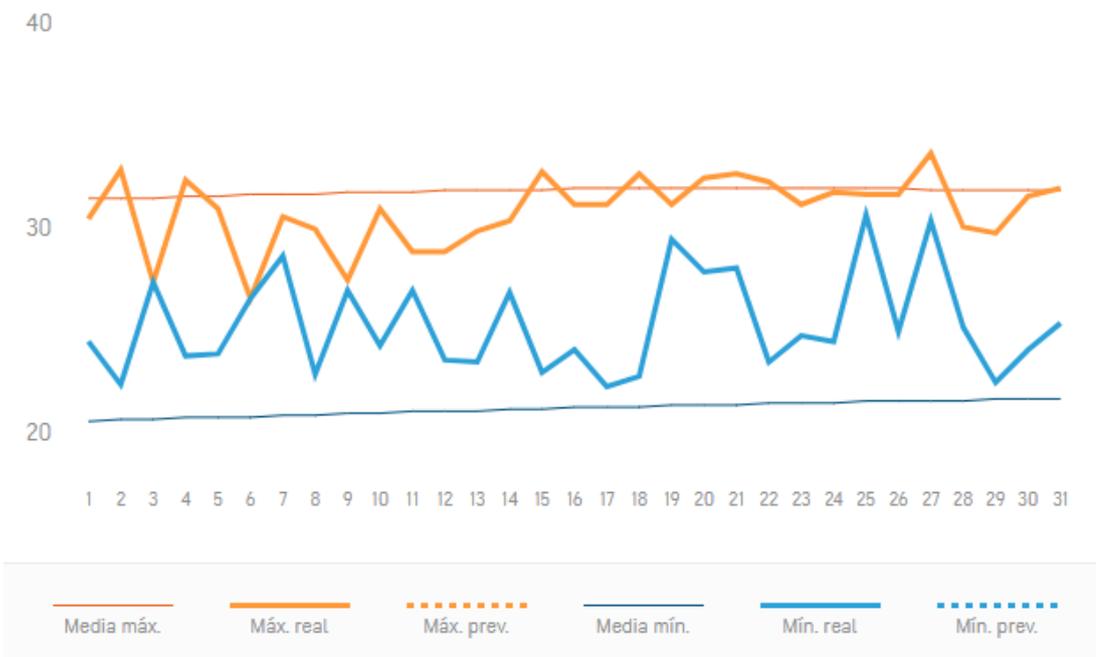


Ilustración 7 Gráfico de variación de temperatura correspondiente al mes de diciembre 2019

Fuente: (AccuWeather, 2020)

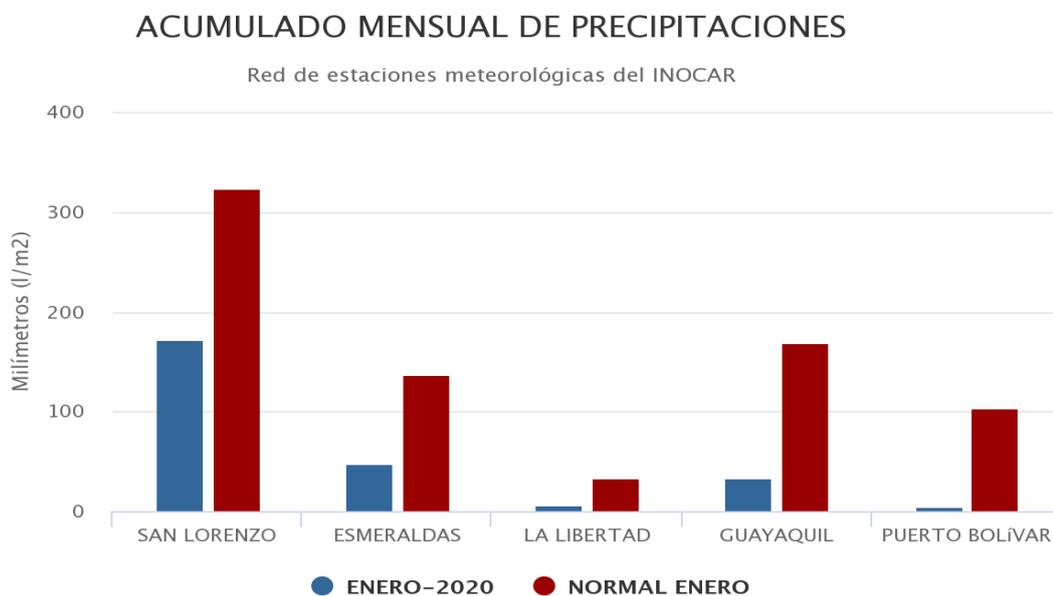


Ilustración 8 Gráfico de precipitaciones correspondiente al mes de enero 2020

Fuente: (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2020)

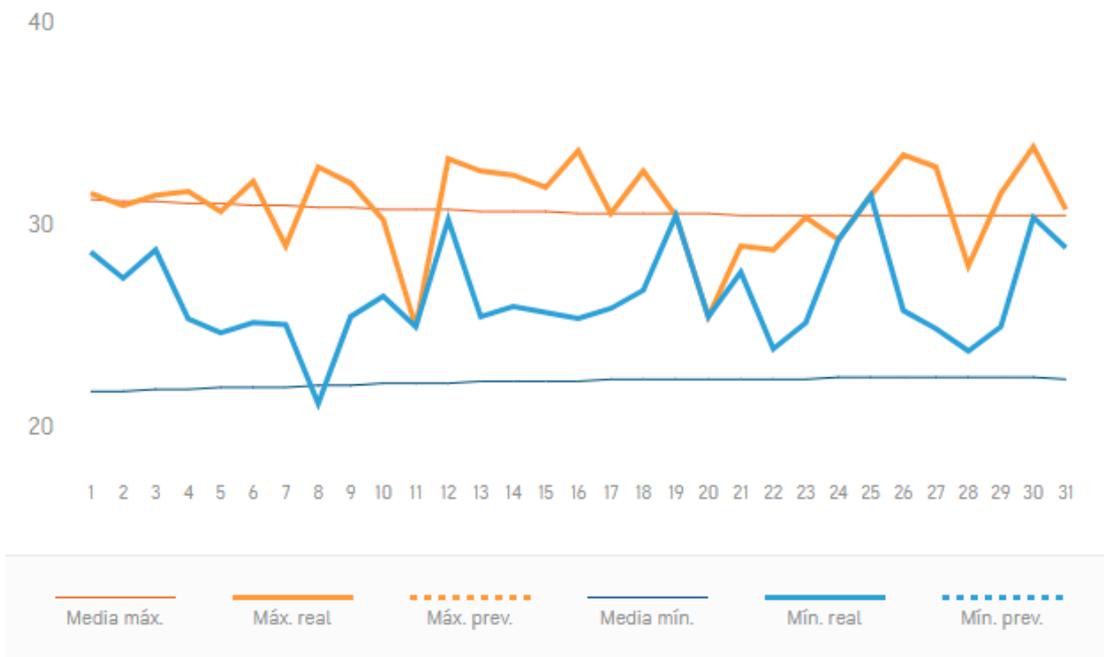


Ilustración 9 Gráfico de variación de temperatura correspondiente al mes de enero 2020

Fuente: (AccuWeather, 2020)

Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre se presentaron precipitaciones bajas en relación al mes de enero, por el contrario, para el mes de diciembre y enero existió un promedio alto en la variación de temperatura, es decir, durante estos meses existirá un ataque más fuerte de los cambios climáticos hacia los elementos expuestos a intemperie.

### 2.11. Envejecimientos acelerados

Conocer sobre básicamente todos los factores a los cuales se puede generar alteración en el comportamiento físico de un mortero es fundamental, sin embargo, para evaluar proyectos a los cuales se deben considerar aspectos como la resistencia o el degradado de la matriz cementicia se debe esperar lapsos de tiempo muy extendidos y frente a estas situaciones complicadas, se generan los denominados envejecimientos acelerados como los estudiados en la tabla 4; donde se busca reducir el tiempo real al cual se presentaron deficiencias en los elementos por medio de diferentes metodologías,

basándose en ciclos a los cuales se aplicarán las muestras para tratar de llevar al caso más severo que podría presentarse durante la vida útil del material dependiendo de los factores a los que se expondrá el elemento pudiendo ser estas situaciones: Wetting and Drying

Durante este estudio se aplicarán ciclos de envejecimiento para situaciones de Wet and Dry, dado que es la situación más severa a la cual se expondrá en general las muestras de morteros por los factores climáticos de nuestro país.

#### **2.11.1. Envejecimiento acelerado con método Wet and Dry**

Los ciclos de Wet and Dry buscan simular las condiciones naturales para la cual el mortero se verá afectado frente a lluvia y calor simultáneamente. Esta condición de envejecimiento acelerado genera que se vean afectados algunos mecanismos químicos y físicos que son fundamentales para la composición del mortero incluyendo en esta la matriz cementicia o directamente a la fibra. Estas condiciones aceleran el ataque de agua alcalina que se genera por la degradación del cemento en la fibra, además, esta situación promueve la migración por disolución y re-precipitación desde productos de hidratación de cemento que inician en la matriz cementicia hasta el núcleo de la fibra afectando ésta y presentando situaciones en la cual si no se realiza un tratamiento previo de la fibra existiría un desgaste acelerado en sus propiedades mecánicas (Soroushian et al., 2012).

# **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El siguiente trabajo se ha dividido en seis capítulos:

1. Introducción
2. Marco teórico
3. Metodología de trabajo
4. Elaboración de las probetas
5. Proceso de envejecimiento
6. Ensayos y resultados
7. Conclusiones (análisis final del trabajo)

El planteamiento de esta investigación se basa en realizar comparaciones para diferentes procesos de envejecimiento acelerados y naturales, en base a los resultados que requieran de un análisis completo del comportamiento mecánico de morteros para enlucidos fabricados con fibra de abacá previamente tratada con Hidróxido de Sodio (NaOH) a un 3% de solución, que se considera adecuada para elevar la resistencia frente a factores que puedan ser agresivos a la fibra. Frente a este plan de estudio se elabora una metodología de trabajo con el fin de llevar un orden adecuado para cumplir el objetivo general planteado y resolviendo la hipótesis planteada previamente.

#### **3.1. Primera Etapa (Revisión Bibliográfica)**

Durante el desarrollo de esta etapa se realizó la respectiva revisión bibliográfica para el tema de investigación propuesto en el cual se pudo hallar varias metodologías o aplicaciones para envejecimientos acelerados mediante ciclos de Wet and Dry, además, se pudo hallar que existen diferentes situaciones dependiendo de cada autor para plantear ciclos que aceleren el deterioro de la matriz cementicia, la fibra vegetal o ambos. El comportamiento mecánico se torna en un factor importante para poder determinar qué tan fiable puede ser la metodología aplicada y que tan cercano a la realidad se lo puede considerar para determinar concluir como la aplicación más óptima.

El desarrollo del trabajo de investigación se lo realizó con la colaboración de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil y el Centro de Innovación de Holcim (CIH), brindando facilidades tanto en equipos necesarios para la realización de ensayo, material para el tratamiento de la fibra y moldes para elaboración de barras de mortero para enlucido como información necesaria para un enfoque más específico de la investigación.

Continuando con la metodología propuesta según (Calle, 2019) donde el porcentaje óptimo de fibra incluida en los morteros para enlucido será del 0,2% de la masa total de la dosificación donde incluye la masa del agregado y el cemento, además, una longitud de 3 cm se determinó como adecuada para mejorar el comportamiento mecánico del mortero.

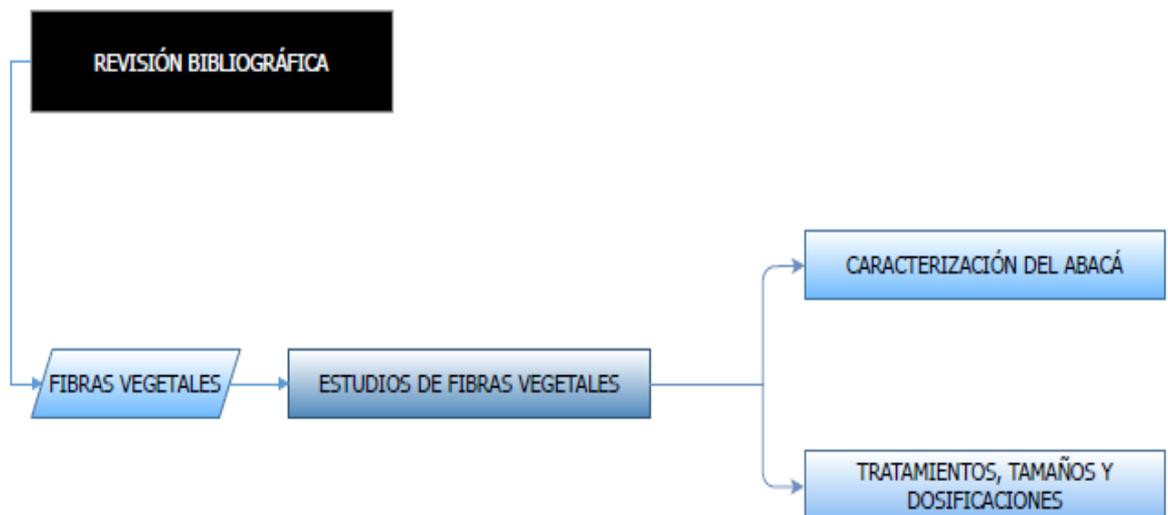


Ilustración 10 Metodología de la revisión bibliográfica

Fuente: Autor

### 3.2. Segunda Etapa (Experimental)

La segunda etapa del proyecto de investigación corresponde a la parte experimental, la cual se subdivide de la siguiente manera:

**Fase I:** Caracterización del mortero de estudio, donde se realizarán ensayos al mortero elaborado con fibra de abacá con una dosificación obtenida de investigaciones previas (Calle, 2019) para un mejor comportamiento mecánico y a su vez determinar las propiedades físicas del mortero mediante ensayos de: porosidad, densidad, flexotracción y cambio de longitud

**Fase II:** Aplicación de envejecimiento en el mortero de estudio; se realizarán diferentes tipos de envejecimientos tanto naturales como acelerados, para éste último mencionado se realizarán 6 ciclos de 2 procesos hallados de investigaciones previas que se desarrollaron durante la primera etapa del proyecto de investigación

El proyecto de investigación propuesto se enfoca de manera primordial en la etapa experimental la cual se debe tener un proceso muy organizado y minucioso al momento de realizar los ensayos de caracterización del mortero de estudio tanto en la determinación de las propiedades mecánicas como la aplicación de los procesos de envejecimiento. En la ilustración 11 se detalla esquemáticamente la metodología que se utilizará durante la fase II:

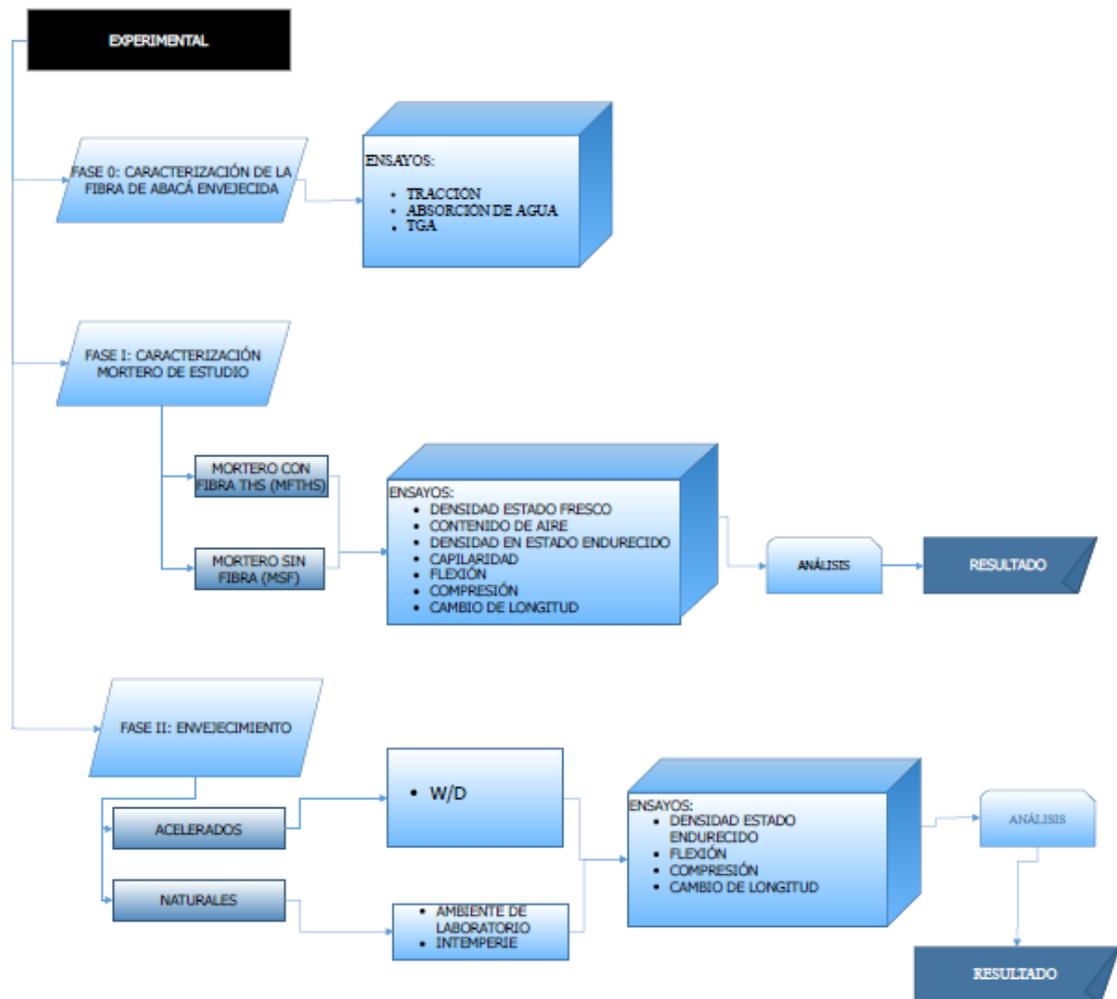


Ilustración 11 Metodología de trabajo para la fase experimental

Fuente: Autor

### 3.2.1. Fase 0

La fase 0 determina las características de la fibra de abacá en su estado natural y luego de aplicarle un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 3% (NaOH) para mejorar las propiedades físicas de la fibra.

### 3.2.2. Fase I

La fase I comprende la fundición de las respectivas probetas, una vez pasado el tiempo para desmoldar se procedió a realizar los ensayos necesarios para calcular las propiedades del mortero fresco y endurecido como: contenido de aire, densidad, flexotracción, coeficiente de capilaridad y cambios de longitud.

Las características del mortero deben estar sujetas a las normas NEC 2015/ASTM C 1180 donde se especifica el tipo de cemento a emplear (cemento GU de Holcim) y su flujo debe estar comprendido según NTE INEN 1806 en un rango de  $110\% \pm 5\%$ , esto se lo obtiene usando la dosificación de agua adecuada establecida anteriormente (Calle, 2019), y es el resultado de la suma 4 dimensiones de diámetro obtenidas después de 25 golpes en la mesa de flujo que cumpla con lo especificado en ASTM 230.

### **3.2.3. Fase II**

La fase II consiste en la aplicación de los métodos de envejecimiento tanto naturales como acelerados. Después de una extensa revisión bibliográfica, se determinó que los métodos que se aplicarán, serán los siguientes: según (Neves et al., 2019) indica un proceso que considera temperaturas relativamente bajas de exposición en cual se aplicaran 6 ciclos de Wet and Dry a las probetas que hayan cumplido un tiempo de almacenamiento establecido de 28 días, además, como segunda metodología se seguirá lo establecido por (Wei et al., 2016) las probetas se verán expuestas a temperaturas altas tomando mediciones de masas en tiempos establecidos y se aplicaran 6 ciclos de Wet and Dry para las probetas almacenadas en condiciones de laboratorio. Ver tabla 4

Para el envejecimiento natural se han considerado dos tipos, el primero consiste en exponer las muestras a la intemperie simulando la condición real de una estructura que sufre cambios de temperatura, lluvia, etc. y la otra a condición de laboratorio la cual indica las condiciones ideales de temperatura y humedad para una probeta de mortero establecida en UNE-EN 1015-11 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000b). Ver tabla 5

Después de aplicar los procesos de envejecimiento a todas las muestras, éstas fueron sometidas a ensayos de: porosidad-densidad, flexotracción y cambio de longitud.

# **CAPÍTULO IV**

## 4. ELABORACIÓN DE PROBETAS

Durante el desarrollo del capítulo IV se indicará de manera detallada el proceso de elaboración para las probetas de mortero a las que se realizarán los respectivos ensayos y procesos de envejecimiento indicados previamente.

El proyecto de investigación planteó una hipótesis por lo que se desea realizar una comparación en las propiedades mecánicas del mortero con/sin fibra de abacá previamente tratada con NaOH al 3%, que se expondrán a diferentes envejecimientos tanto naturales como acelerados, por lo tanto, teniendo como base este tipo de muestras denominadas como mortero de estudio y mortero patrón, se realizó una fundición masiva de muestras que se les aplicará cada situación mencionada anteriormente.

- **Mortero de estudio:** se lo define al mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratada con hidróxido de sodio (3% NaOH), con una dosificación óptima determinada de investigaciones anteriores (Calle, 2019).
- **Mortero patrón:** se define al mortero que cumple con lo establecido en NTE INEN 1806 pero sin ningún refuerzo de fibra vegetal.

El mortero de estudio se lo realizó bajo la norma UNE-EN 196-1 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2005)

### 4.1. Preparación de la fibra de abacá

Durante éste trabajo de investigación la fibra de abacá utilizada corresponde a fibra de segundo orden, la cual se la conoce como una fibra de mejor calidad y de exportación (Calle, 2019).

#### **4.1.2. Corte de fibra**

Basado en un proyecto de investigación realizado anteriormente se pudo definir que el tamaño óptimo para el corte de fibra es de 3 cm (Calle, 2019), por lo tanto, las muestras deberán tener dicha longitud.

#### **4.1.3. Tratamiento alcalino de la fibra de abacá**

Obteniendo información de un proyecto de investigación previo acerca de los diferentes tratamientos que se le puede aplicar a la fibra de abacá, se concluyó que el más óptimo es el tratamiento alcalino a base de hidróxido de sodio (Freire, 2019).

#### **4.1.4. Tratamiento de Hidróxido de Sodio (NaOH)**

Para iniciar el tratamiento se debe obtener la fibra de abacá cortada al tamaño más óptimo es decir 3cm, a la cual se le aplicará el tratamiento.

El contenido de hidróxido de sodio que se necesita para la solución debe ser un aproximado de 3% de la masa total de agua que se requiera utilizar, en este caso de uso 5820 g de agua y 180 g de hidróxido de sodio para elaborar la solución. El NaOH utilizado en esta investigación se presentaba en forma de perlas, sin embargo, cabe recalcar que existen varias presentaciones. Para realizar el tratamiento de NaOH se realizó el siguiente proceso:

1. Pesar el agua en un recipiente lo suficientemente grande tal que pueda ocupar el volumen de la solución y la cantidad de fibra a tratar.
2. Usando un equipo adecuado para disolver la solución (ilustración 12), colocar cuidadosamente en pequeñas porciones de masa aproximadamente igual las perlas de NaOH.
3. Diluir hasta que se pueda observar que todas las perlas de NaOH lograron disolverse completamente con el agua.

4. Colocar la fibra en la cantidad previamente definida (350 g) en la solución hasta que esté completamente cubierta por la misma.
5. Dejar la fibra completamente sumergida durante 4 horas.
6. Pasada las 4 horas realizar lavados de manera simultánea con agua potable hasta 7 veces, esto con el fin de obtener un color más transparente y claro en el último lavado realizado.
7. Colocar la fibra a un horno eléctrico de ventilación por un periodo de 24 horas a una temperatura controlada de  $85 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
8. Pasado este periodo se procede a retirar las fibras del horno y colocarlas a una temperatura maleable hasta que puedan ser guardadas en bolsas donde la fibra no absorba la humedad.

Se debe tener mucho cuidado con cambios bruscos de temperatura dado que al retirar la fibra del horno puede ocasionar choques electrostáticos, por lo que se recomienda mantener la fibra al ambiente de laboratorio por un aproximado de 30 min.



Ilustración 12 Equipo recomendado para realizar la disolución de las perlas de NaOH

Fuente: Autor

#### 4.1.5. Amasado

Una vez obtenido los pesos, 1620 g de agregado fino (Tabla 2), 540 g cemento, 4.3 g fibra de acaba previamente tratada con hidróxido de sodio y agua para que cumpla el flujo, se procede a emplear el procedimiento de amasado descrito en la Tabla 6 con un rango de tolerancia de tiempo  $\pm 2$  segundos, cabe recalcar que en cada fundición se obtendrán 3 probetas.

Tabla 6 Procedimiento de amasado para la elaboración de probetas.

Procedimiento	Parcial	Cronómetro
1. Verter el agua en el recipiente		
2. Verter el cemento, velocidad lenta	30 seg	
3. Verter arena	15 seg	45 seg
4. Verter fibra	15 seg	1 min
5. Velocidad alta	30 seg	1 min 30 seg
6. Retirar el mortero adherido a las paredes laterales	30 seg	2 min
7. Dejar reposar	1 min	3 min
8. Velocidad alta	1 min	4 min

**Nota:** Fuente: (Freire, 2019)

#### 4.2. Elaboración de probetas

La elaboración de probetas comprende un procedimiento similar, pero empleando diferentes moldes.

Pasos para la elaboración de probetas una vez obtenido el amasado.

1. Armar el molde.
2. Engrasado de molde con aceite.

3. Se funde en dos capas, con 15 golpes entre cada una.



Ilustración 13 Proceso de elaboración de las probetas, capa 1

Fuente: Autor

4. Se lo pone en la mesa vibratoria por 45 segundos para extraer el aire atrapado.
5. Se repite el proceso con la segunda capa
6. Con el bailejo se enrasa el material.
7. Se lo desmolda a las 24 horas.
8. Se limpia y se vuelven a iniciar.

#### 4.2.2. Moldes

Se emplearon 2 tipos de moldes, considerando los requerimientos de los ensayos a realizar:

Para el ensayo de flexotracción se emplearon los siguientes moldes:



Ilustración 14 Moldes para ensayo de flexotracción

Fuente: Autor

Para el ensayo de Retracción se emplearon los siguientes moldes, los cuales fueron hechos según la norma C490/C490M – 17 del ensayo de retracción.

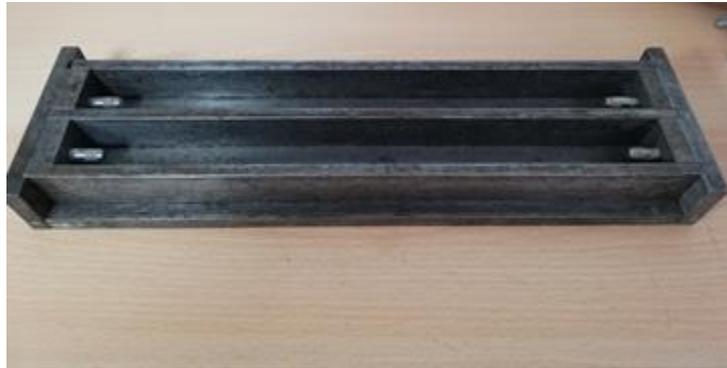


Ilustración 15 Moldes para ensayo de cambio de longitud.

Fuente: Autor

# **CAPÍTULO V**

## **5. PROCESOS DE ENVEJECIMIENTO**

Luego de haber elaborado las probetas con el proceso respectivamente indicado en el capítulo IV de esta investigación, se iniciaron los ciclos de envejecimiento al finalizar el proceso de curado de 28 días. Es importante que este proceso se realice al finalizar los 28 días de curado en agua con cal porque se sobreentiende que para ese periodo de tiempo el mortero ya adquirió toda la resistencia que puede generar.

### **5.1. Envejecimiento natural con ambiente laboratorio**

Para esta clase de situación a la cual el mortero con fibra de abacá será expuesto, cumple con la condición de mantenerse en ambiente de laboratorio a una temperatura estandarizada la cual es  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , este valor se lo toma como referencia de la UNE-EN 1015-11 que indica la temperatura adecuada para el almacenamiento de las probetas preparadas para ensayos de flexotracción

### **5.2. Envejecimiento natural con ambiente intemperie**

Colocar el mortero en una condición de envejecimiento natural con ambiente en intemperie depende netamente de las condiciones climáticas a la cual se expondrá el elemento, la ciudad de Guayaquil-Ecuador durante el periodo de esta investigación tendrá unas condiciones climáticas templadas, en las que durante el día tendrá una temperatura indicada en el capítulo II del presente trabajo de investigación. Estos datos son variables dependiendo de la temporada a la cual se encuentra la ciudad, además, durante este periodo se considera época de invierno con lluvias continuas. Todos estos cambios climáticos influyen en la asimilación del envejecimiento natural por intemperie en el mortero.

### **5.3. Envejecimiento acelerado según (Neves et al., 2019)**

Durante el proceso investigativo se definió que este método indica el siguiente procedimiento:

El proceso comienza saturando las muestras completamente en agua a  $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . El ciclo tiene una duración de 3 días (1 día sumergido en agua para una saturación completa, seguido de 2 días en secado dentro del horno). El horno debe estar a una temperatura de  $36^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y con una velocidad del viento de 0,5 m/seg, se tomó en consideración que después de 48 horas de secado la muestras presentan una pérdida de masa de aproximadamente el 70% de la masa saturada (Neves et al., 2019).

#### **5.3.1. Aplicación del proceso de envejecimiento**

1. Buscar un recipiente lo suficientemente grande como para que se puedan sumergir completamente las muestras a las que se aplicará el ciclo de envejecimiento y llenarlo de agua.
2. Colocar el recipiente con agua sellada aproximadamente 30 min antes de iniciar el primer ciclo, al horno de ventilación una temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$
3. Tomar medidas de masas iniciales.
4. Sumergir las probetas en el recipiente con agua y dejarlas reposar durante 24 horas para después proceder a tomar lecturas de masa. Antes de pesarlas en una balanza con una precisión de 0,01% se las debe secar superficialmente para retirar los excesos de agua que se presenten.
5. Se ingresa las probetas nuevamente en el horno, pero esta vez con el recipiente sin agua, después de 24 hora de secado se toman medidas.
6. Se repite el mismo proceso de secado durante un día más.

Una vez concluido los 3 días, se concluye el primer ciclo y se reinicia el proceso.



Ilustración 16 Proceso de envejecimiento Wet and Dry según (Neves et al., 2019)

Fuente: Autor

#### 5.4. Envejecimiento acelerado según (Wei et al., 2016)

El siguiente proceso se lo tomó de un artículo de investigación leído durante la primera etapa del proyecto de investigación el cual indica lo siguiente:

Se sumergen las muestras en agua de grifo sellada a 70°C y luego se la seca al horno en un entorno de aire de circulación a 70°C alternativamente. Se determina el cambio de masa en función del tiempo de inmersión o secado. Se toma la medida del aumento o disminución de la masa para ciclos de Wet and Dry cada 10 min durante las 2 primeras horas, luego cada hora y cada 3 (para humedecer) o 4 (para secar) horas luego de haber transcurrido 12 horas. las muestras se consideran en equilibrio cuando el cambio de masa es inferior al 2% en 3 mediciones consecutivas. (Wei et al., 2016).

#### **5.4.1. Aplicación del proceso de envejecimiento**

Una vez planteado el proceso de envejecimiento a utilizar, se procede a realizarlo para las probetas elaboradas previamente de la siguiente manera:

1. Buscar un recipiente lo suficientemente grande como para que se puedan sumergir completamente las muestras a las que se aplicará el ciclo de envejecimiento y llenarlo de agua. Colocar el recipiente con agua sellada aproximadamente 30 min antes de iniciar el primer ciclo, al horno de ventilación una temperatura de 70°C
2. Sumergir las probetas en el recipiente con agua a una temperatura de 70°C y proceder a tomar lecturas de masa cada 10 min durante 1 hora. Antes de pesarlas en una balanza con una precisión de 0,01% se las debe secar superficialmente para retirar los excesos de agua que se presenten
3. Retirar las probetas y colocarlas en una bandeja metálica o plástica, luego colocarlas en el horno de ventilación a una temperatura de 70°C y tomar mediciones de masa cada 10 min durante 1 hora
4. Luego de cumplirse el proceso del paso 4 se repite el proceso del paso 3 con la diferencia de que ahora se toman lecturas de masa cada hora durante 6 horas
5. Se repite el proceso del paso 4 con la diferencia de que ahora se toman mediciones de lectura cada hora durante 6 horas
6. Se repite el proceso del paso 4, pero ahora tomando mediciones cada 3 horas para húmedo hasta que la masa de la probeta se haya estabilizado, es decir, que la diferencia de 2 lecturas de masa no exceda del 2% de la lectura anterior
7. Para culminar el ciclo de envejecimiento se realiza el proceso indicado en el paso 4, con la diferencia de que ahora se toman lecturas de masa cada 4 horas hasta que la masa de la probeta se haya estabilizado, es decir, que la diferencia de 2 lecturas de masa consecutivas no varíe en un 2%



Ilustración 17 Proceso de envejecimiento Wet and Dry según (Wei et al., 2016).

Fuente: Autor

Una vez finalizado el proceso de envejecimiento, se procede a realizar nuevamente el ciclo con la misma metodología indicada en éste ítem.

## 5.5. Equipo empleado en el proceso de envejecimiento.

### 5.5.1. Hornos

Los ciclos de envejecimiento se realizaron en simultáneo empleando dos diferentes hornos, considerando los tiempos y temperaturas descritas anteriormente, con certificaciones actualizadas con #4371-9275641 en base a la norma calibration complies with ISO/IEC 17025, ANSI/NCSL z540-1, and 900, ver anexos 1 - 2

El envejecimiento tipo 1 con temperatura de 30 grados utilizó el horno marca Grieve, modelo mpa-270 serie 059159.

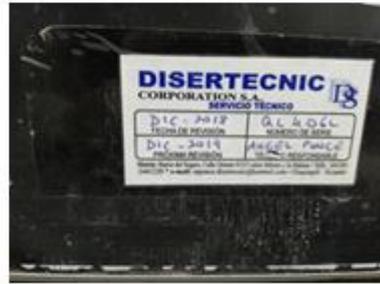


Ilustración 18 Horno marca Grieve

Fuente: Autor

El envejecimiento tipo 2 con temperatura de 70 grados utilizo el horno marca Quincy lab, modelo 40GC serie 2678



Ilustración 19 Horno marca Quincy lab

Fuente: Autor

# **CAPÍTULO VI**

## 6. ENSAYOS Y RESULTADOS

### 6.1. Nomenclatura

Se designará una nomenclatura a lo largo del desarrollo del proyecto de investigación para los siguientes casos:

- Tratamiento alcalino
- Dosificación
- Probetas para ensayo
- Procesos de envejecimiento
- Muestras para ensayos

Tabla 7 Nomenclatura – Tratamiento alcalino

<b>Tratamiento alcalino</b>	<b>Nomenclatura</b>
Tratamiento de Hidróxido de Sodio al 3%	THS

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 8 Nomenclatura – Dosificación

<b>Dosificación</b>	<b>Nomenclatura</b>
3 cm (longitud de fibra), 0,2% (4,8 g)	3/0,2

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 9 Nomenclatura – Procesos de envejecimiento

<b>Procesos de envejecimiento</b>	<b>Nomenclatura</b>
Proceso de envejecimiento (Neves et al., 2019)	W - D (1)
Proceso de envejecimiento según (Wei et al., 2016)	W - D (2)

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 10 Nomenclatura – Probetas para ensayo

<b>Probetas para ensayo</b>	<b>Nomenclatura</b>
Probetas de 25 x 25 x 285 mm de mortero con fibra de abacá	Cambio de longitud
Probetas de 40 x 40 x 160 mm de mortero con fibra de abacá	Flexión

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 11 Nomenclatura – Muestras para ensayos

<b>Nombre de mortero</b>	<b>Nomenclatura</b>
Mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratada con hidróxido de sodio al 3%	MFTHS
Mortero sin fibra de abacá	MSF

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 12 Nomenclatura – Muestras para cambio de longitud

<b>Nombre de mortero</b>	<b>Nomenclatura</b>
Mortero con fibra THS, colocada en agua durante 7 días	MFTHS - AG
Mortero con fibra THS, colocada al aire sin curado inicial	MFTHS - A
Mortero sin fibra, colocada en agua durante 7 días	MSF - AG
Mortero sin fibra, colocada al aire sin curado inicial	MSF - A

**Nota:** Fuente: Autor

## **6.2. Fase 0: Caracterización de la fibra de abacá**

### **6.2.1. Tracción**

De investigaciones previas se utilizó una metodología adecuada para poder hallar la resistencia a tracción de la fibra de abacá, en la cual ya se realizaron ensayos previos con resultados de poca variación.

El proceso consiste en ensayar fibras de abacá naturales y con THS, la longitud para cada elemento consiste de 50 cm, con el único fin de tener una mayor longitud de agarre en las fibras ya que se utilizará un sistema de poleas y placas, la alternativa más adecuada fue utilizar una balanza diseñada para resistir cargas mayores a los 500 kg donde el funcionamiento de la misma consiste en medir la carga aplicada hasta que llegue un punto en que la fibra no soportaría y fallará, para esto la carga en el equipo disminuirá porque ya no existirá resistencia en el elemento ensayado. Los puntos importantes a tomar en cuenta durante ésta metodología son los siguientes:

- En los extremos de la fibra se colocarán placas que recubren un aproximado de 15 cm de la longitud total del elemento ensayado
- Se deberá colocar una resina epóxica en los extremos de las muestras para evitar fallos en las mordazas

- El rango de la longitud donde se analizará la falla se encuentra entre los 18 y 21 cm del elemento, dando a entender que sí ocurre en este rango el ensayo se lo puede considerar como aceptable

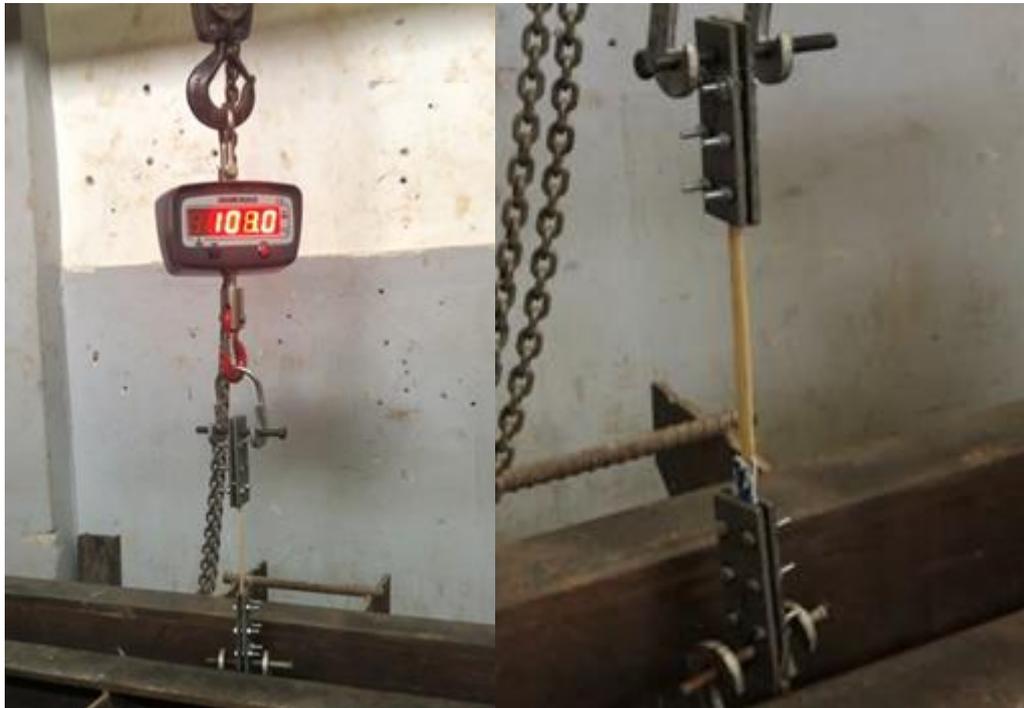


Ilustración 20 Equipos y sistema usado para el ensayo de tracción

Fuente: Autor

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos a tracción de la fibra:

Tabla 13 Fibra natural

Muestra	Carga (Kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
1	200	0,401	48,9
2	214.8	0,371	56,8

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 14 Fibra con THS

Muestra	Carga (Kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
1	472.5	0,361	128,3
2	425	0,319	130,6

**Nota:** Fuente: Autor



Ilustración 21 Falla de la fibra natural

Fuente: Autor



Ilustración 22 Falla de la fibra con THS

Fuente: Autor

### 6.2.2. Absorción de agua

Para determinar el porcentaje de absorción de la fibra en estado natural y con THS se utilizó una balanza térmica. Se sumergieron 10 g de cada muestra de fibra tanto natural como con THS por 24 horas tomando medidas de masa al inicio del ensayo y al final, obteniendo los siguientes resultados:



Ilustración 23 Balanza térmica

Fuente: Autor

Tabla 15 Resultados % Humedad

Muestra	Estado	% Humedad
1	Natural	70,74
2	THS	74,71

**Nota:** Fuente: Autor

### 6.2.3. TGA

El proceso termogravimétrico consiste en colocar a la fibra en estado de descomposición donde existen 2 variantes las cuales son: temperatura y tiempo. Al someter la fibra a temperaturas elevadas en un horno, se va midiendo progresivamente la pérdida de masa en tiempos determinados, cuando finaliza el ensayo se obtendrán diferentes gráficas o perfiles de descomposición que sufrirá la fibra durante todo el proceso. Se logró realizar el ensayo gracias a la empresa Holcim Ecuador S.A.

Se colocaron 6 muestras al proceso de TGA, 3 muestras de fibra de abacá en estado natural y 3 muestras de fibra de abacá previamente tratada con 3% de hidróxido de sodio (NaOH) (Calle, 2019).

### 6.2.3.1. Fibra en estado natural

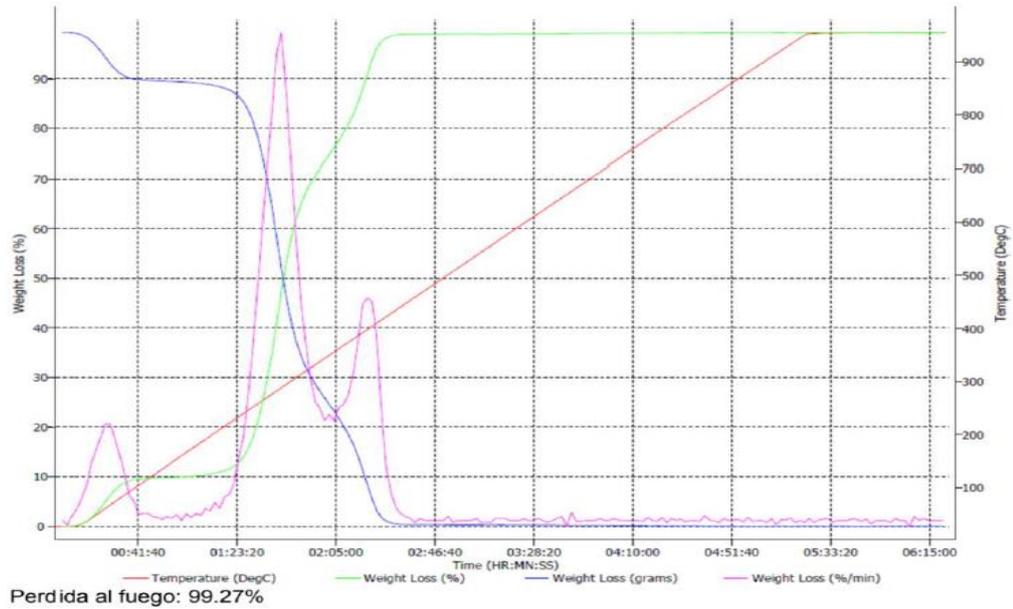


Ilustración 24 Perfil de descomposición TGA, muestra 1

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)

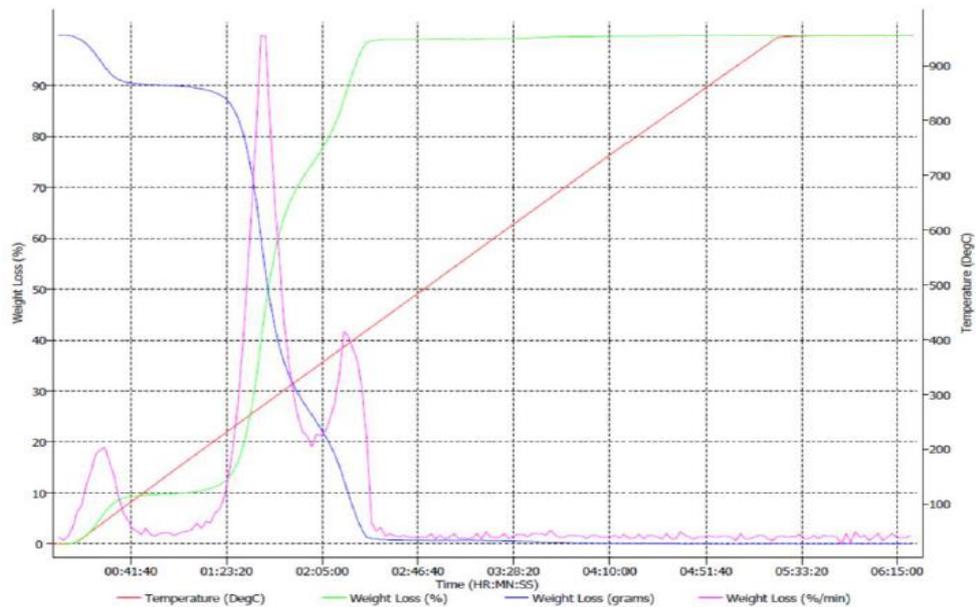
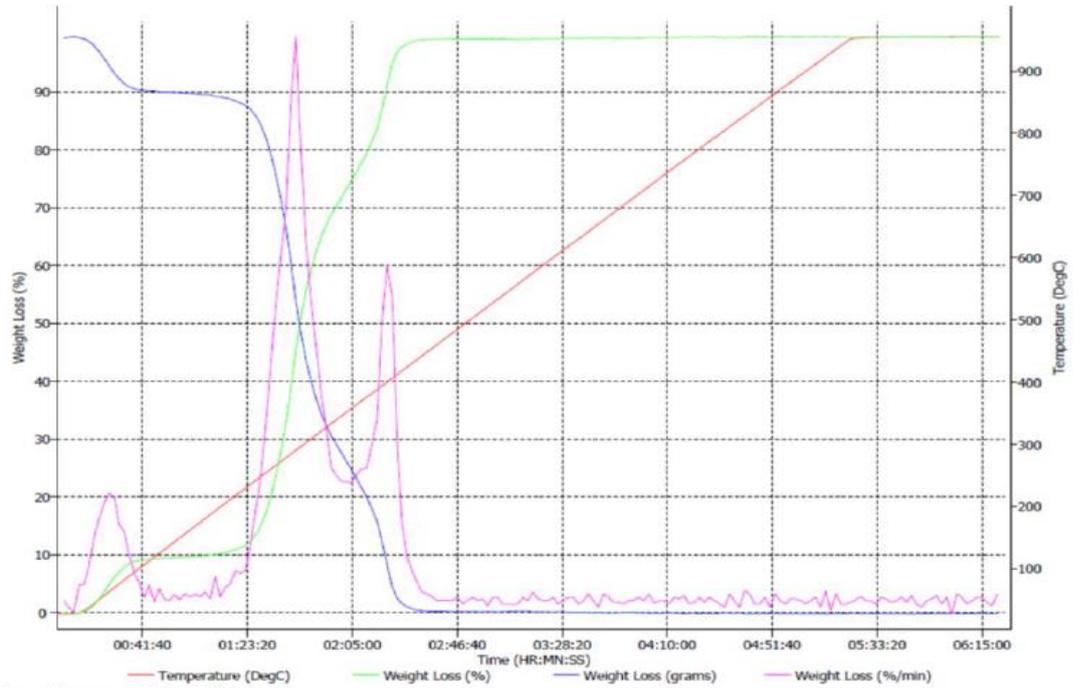


Ilustración 25 Perfil de descomposición TGA, muestra 2

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)

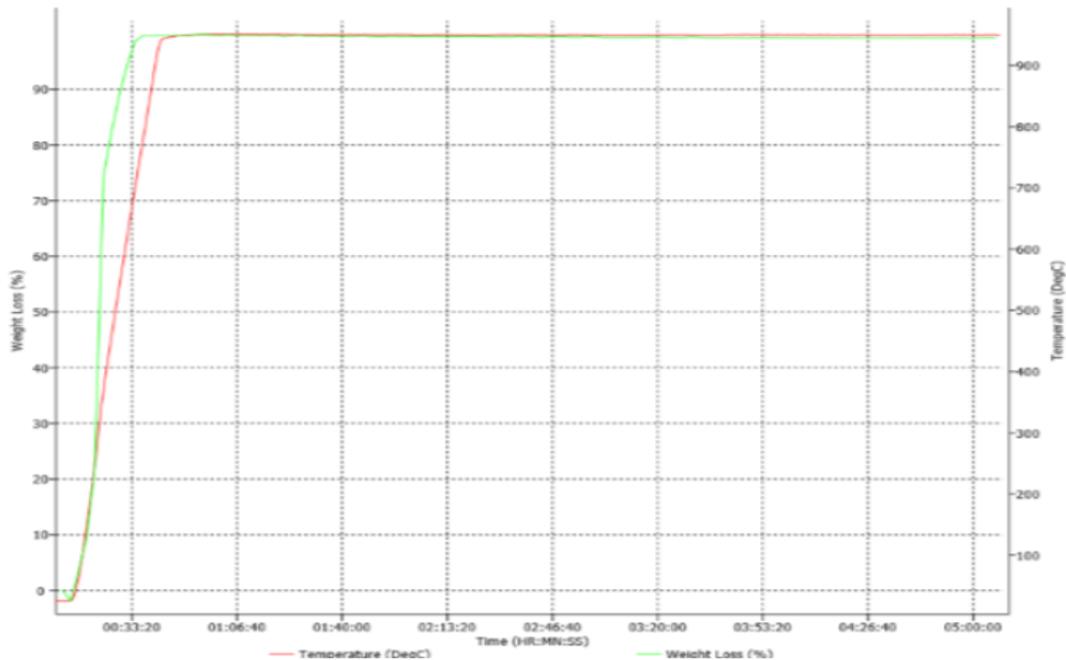


Perdida al fuego: 99.45%

Ilustración 26 Perfil de descomposición TGA, muestra 3

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)

### 6.2.3.2. Fibra tratada con 3% de hidróxido de sodio (NaOH)

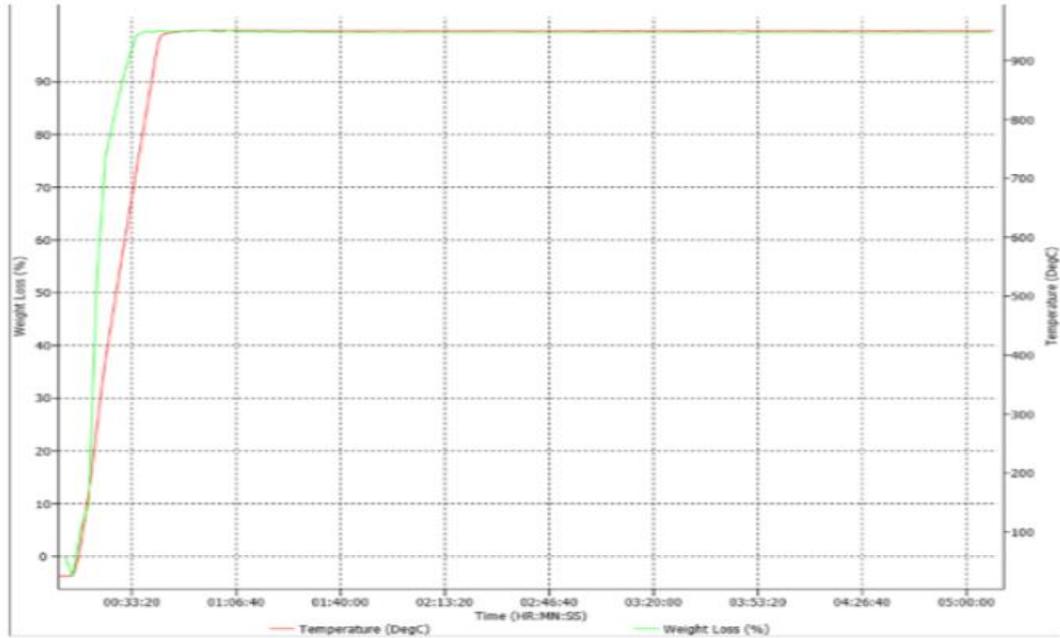


Perdida por Calcinación 950°C: 99.5%

Ceniza: 0.5%

Ilustración 27 Perfil de descomposición TGA, muestra 4

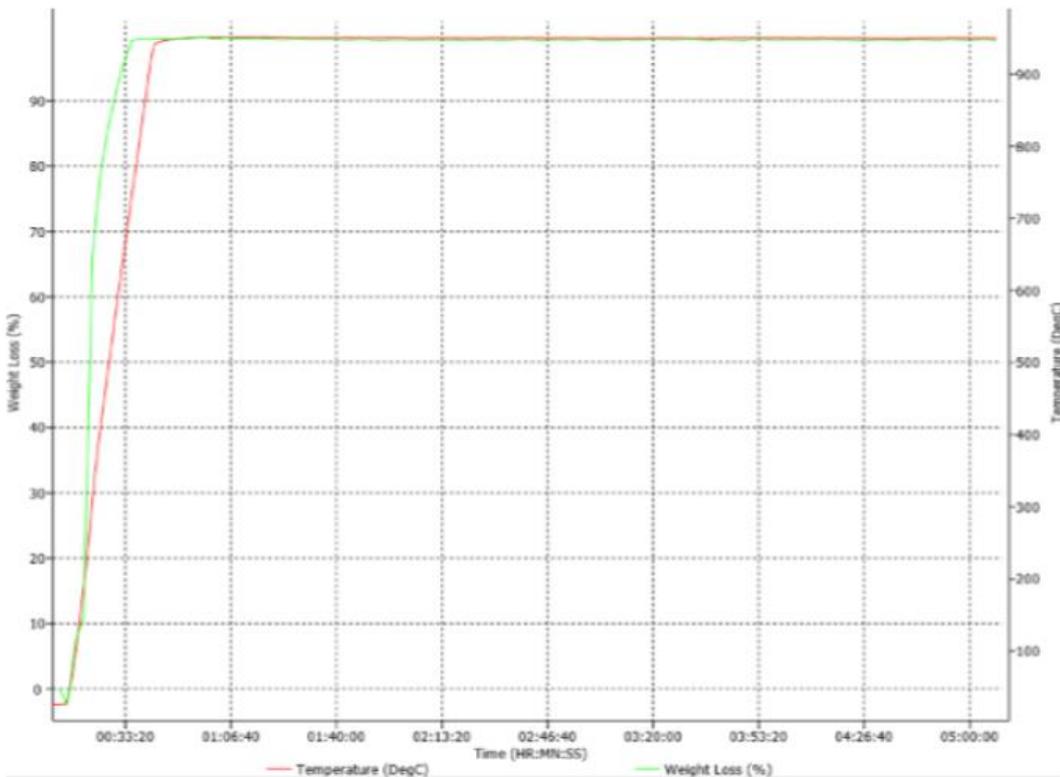
Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)



**Perdida por Calcinación 950°C: 99.27%**      **Ceniza: 0.73%**

Ilustración 28 Perfil de descomposición TGA, muestra 5

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)



**Perdida por Calcinación 950°C: 99.26%**      **Ceniza: 0.74%**

Ilustración 29 Perfil de descomposición TGA, muestra 6

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)

### **6.3. Fase I: Caracterización del mortero de estudio**

#### **6.3.1. Ensayos previos a la elaboración de la probeta**

##### **6.3.1.1. Flujo**

Este ensayo se realiza en el mortero en estado fresco para determinar el escurrimiento, es decir la cantidad de agua que tiene el mortero lo cual define la consistencia al ser un mortero simple; basado en la NTE INEN 2502 y norma NTE INEN 2 518:2010, específica que se debe cumplir con  $110\% \pm 5\%$  de flujo en cada muestra.

La instrumentalización empleada en el ensayo:

- Batidora eléctrica
- Cuchara
- Paleta
- Pisón con una masa ideal entre  $0,250 \text{ kg} \pm 0,015 \text{ kg}$ .
- Molde troncocónico

Acero inoxidable o de latón, de  $60 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  de altura, con un diámetro interior de  $100 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  en la base y de  $70 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  en la parte superior. La superficie interior y los bordes del molde están pulidos. Los planos que contienen los bordes, superior e inferior, son perpendiculares al eje del molde. El espesor mínimo de la pared del molde es de  $2,0 \text{ mm}$ . (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

- Mesa de Golpes
- Calibre

Para iniciar el ensayo primero se prepara la mezcla de arena, agua, cemento, fibra de ser el caso, tal como se especifica en la Tabla 6. luego se prepara la mesa de golpes, de no estar en funcionamiento dentro de un lapso de 24 horas se realizan 10 sacudidas previo al inicio del ensayo. Luego se inicia el llenado

del molde en dos capas con 20 golpes de compactación entre cada una de ellas, se enrasa e inmediatamente se retira el molde y se aplica los 25 golpes sucesivos con la mesa para finalmente tomar las 4 medidas con el calibre.



Ilustración 30 Procedimiento del ensayo de flujo en estado fresco del mortero

Fuente: Autor

Tabla 16 Flujo del mortero en estado fresco sin fibra

<b>SIN FIBRA</b>				
	Peso	865	gr	
	Densidad	2162,5	kg/m3	
	A/C	0,56	-	
	cemento	540	gr	
	agua	305	gr	
	fibra	0	gr	
	arena	1620	gr	
	Caídas	25	golpes	
D1	D2	D3	D4	FLUJO
29	29	26	31	115

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 17 Flujo del mortero en estado fresco con fibra THS

<b>CON FIBRA</b>				
	Peso	843	gr	
	Densidad	2107,5	kg/m3	
	A/C	0,62	-	
	cemento	540	gr	
	agua	335	gr	
	fibra	4,3	gr	
	arena	1620	gr	
	Caídas	25	golpes	
D1	D2	D3	D4	FLUJO
28	28	30	29	115

**Nota:** Fuente: Autor

### 6.3.2. Propiedades físicas del mortero de estudio en estado fresco

#### 6.3.2.1. Densidad del mortero en estado fresco

Basado en la NTE INEN 195 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016) se procedió a realizar el ensayo de densidad del mortero en estado fresco, ésta se puede tomar como una referencia de la cantidad de aire que contiene el mortero, ya que a menor densidad del mortero se puede decir que tiene mayor cantidad de poros.



Ilustración 31 Procedimiento de ensayo densidad en estado fresco del mortero

Fuente: Autor

El procedimiento consiste en realizar el mezclado del mortero de acuerdo a la NTE INEN 155 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009), luego se procede a determinar la masa del mortero para un recipiente de 400 cm<sup>3</sup> usando la cantidad sobrante de la tasa donde se realizó el mezclado. Usando una cuchara se procede a llenar el recipiente de 400 cm<sup>3</sup> en tres capas iguales, compactar cada capa 20 veces alrededor de la superficie interior del recipiente. en la capa final se debe llenar con un exceso de aproximadamente 20 mm, la posición del recipiente debe ser tal que esté perpendicular a la superficie interior del recipiente. Eliminar el aire atrapado por el proceso de llenado con el mazo dando ligeros golpes en 5 puntos diferentes con espaciado aproximadamente igual, no se debe dejar ningún espacio vacío

entre el mortero y la superficie interior del recipiente. Para finalizar el proceso se debe enrasar la superficie con un enrasador usando un movimiento de vaivén, se debe realizar 2 enrasadas donde la segunda debe ser perpendicular a la dirección de la primera. todo el proceso se lo debe realizar en un lapso de tiempo de 1 ½ min. Determinar la masa del mortero y este se lo utiliza en la siguiente ecuación:

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

### Ecuación 1 Densidad del mortero en estado fresco

Donde:

- densidad del mortero en estado fresco, kg/m<sup>3</sup>, ( $\rho$ )
- masa del mortero en estado fresco, kg, (m)
- Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>, (V)

Tabla 18 Resultados globales del mortero en estado fresco

Muestra	Estado	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	Mortero con fibra THS	2108
2	Mortero sin fibra	2163

**Nota:** Fuente: Autor

#### 6.3.2.2. Contenido de aire del mortero por método de presión

Para hallar el contenido de aire del mortero en estado fresco se utilizó el procedimiento establecido en la norma UNE-EN 1015-7 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 1999) la cual tiene como objetivo determinar el aire introducido en un mortero de albañilería. Se usó el método A en el cual se aplica presión, este método se aplica para morteros cuyo contenido de aire sea menor al 20%. Para realizar la fundición se utilizó un equipo que abastezca con el volumen necesario para el ensayo como se observa en la ilustración 32



Ilustración 32 Equipo para el amasado del mortero

Fuente: Autor

El procedimiento consiste en elaborar un volumen de mortero con el cual se pueda realizar el ensayo, se colocan 4 capas de mortero de volumen aproximadamente igual, para cada capa se realizan 10 golpes en forma espiral sin que la varilla de compactación entre en contacto con la parte inferior de la olla. Cuando se coloque la última capa luego de la compactación se enrasa con una regla hasta obtener una superficie plana y nivelada con el borde superior del recipiente, limpiar la superficie para que no exista algún inconveniente al momento de colocar la tapa del recipiente. Se abren las válvulas donde se coloca el agua luego se procede a incorporar aire a presión hasta la marca de calibración del equipo y se cierran las válvulas, al momento de inyectarle presión al mortero se da un golpe seco con un martillo de goma hasta que la marca del dial se estabilice. El valor hallado en el equipo se debe reportar al 0,5% más cercano donde este valor es el contenido de aire que posee el mortero.

Tabla 19 Dosificación

<b>Material</b>	<b>Masa (kg)</b>
Arena	10,93
Cemento	3,60
Fibra	0,22
Agua	2,20

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 20 Caracterización de la arena

<b>Tamiz</b>	<b>Masa (g)</b>
8	459
16	1662
30	3301
50	3793
100	1716

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 21 Procedimiento de amasado para contenido de aire en estado fresco.

Procedimiento	Parcial	Cronómetro
1. Verter el cemento y agregado en el recipiente		
2. Homogenizar el material	1 min	1 min
3. Colocar el 50% del agua de diseño	30 seg	1 min 30 seg
4. Dejar mezclar	1 min	2 min 30 seg
5. Colocar la fibra de abacá con THS	30 seg	3 min
6. Dejar mezclar	30 seg	3 min 30 seg
7. Colocar el agua faltante	30 seg	4 min
8. Dejar mezclar	1 min	5 min

**Nota:** Fuente: Autor

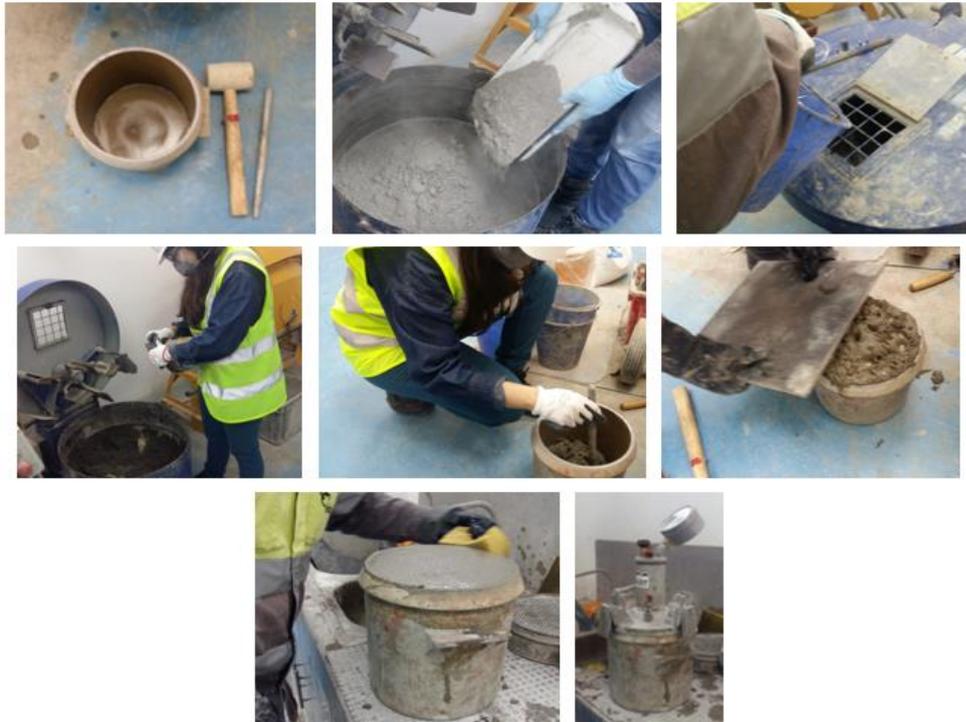


Ilustración 33 Procedimiento contenido de aire por método de presión en estado fresco del mortero

Fuente: Autor

Tabla 22 Resultados globales para contenido de aire

Muestra	Estado	% aire
1	Mortero con fibra THS	5,5
2	Mortero sin fibra	5,5

**Nota:** Fuente: Autor

### 6.3.3. Propiedades mecánicas del mortero de estudio en estado endurecido

#### 6.3.3.1. Densidad aparente en seco

Este ensayo es basado en la UNE-EN 1015-10, (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000a) el cual especifica que se debe someter a la probeta a diferentes condiciones para determinar la masa en seco ( $m_{s,sec}$ ), la masa sumergido ( $m_{s,i}$ ) y en estado saturada ( $m_{s,sat}$ ) para poder implementar la fórmula:

$$D_{aparente\ en\ seco} = \frac{m_{s,sec} * \rho_{agua}}{m_{s,sat} - m_{s,i}}$$

#### Ecuación 2 Densidad aparente en seco del mortero endurecido

La masa en estado seco se determina ingresando a la probeta a la estufa a una temperatura específica por norma de  $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  al existir presencia de compuestos orgánicos como las probetas ensayadas en esta investigación, este proceso se debe de repetir en intervalos de dos horas hasta que exista una diferencia de 0,2% entre dos pesadas consecutivos.



Ilustración 34 Determinación de la masa seca

Fuente: Autor

Luego de la obtención de la masa seca, se procede a determinar la masa en estado saturado, se ingresa a la probeta en agua ambientada a temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y se la pesa cada 15 minutos hasta que la masa se estabilice es decir que la diferencia de masas no sea mayor a 0,2%.



Ilustración 35 Determinación de la masa saturada

Fuente: Autor

Finalmente se obtiene la masa sumergida por el método de pesada hidrostática, para lo cual se empleó una balanza hidrostática con agua, se ingresó la probeta procurando que las burbujas de agua salieran y al estar en equilibrio la balanza se obtuvo el valor de la masa sumergido.



Ilustración 36 Determinación de la masa sumergida

Fuente: Autor

A continuación, se mostrará los resultados de densidades en estado endurecido:

- Mortero sin fibra (MSF) - Masa seca (Ms, sec)

Tabla 23 Masa seca de propiedades mecánicas del mortero sin fibra

Muestra	Masa 1(gr)	Masa 2 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	516,61	516,23	0,07%	cumple
D2	526,42	525,6	0,16%	cumple
D3	524,32	523,3	0,19%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

- Mortero sin fibra (MSF) - Masa Saturada (Ms, sat)

Tabla 24 Masa saturada de propiedades mecánicas del mortero sin fibra

<b>Muestra</b>	<b>Masa 5(gr)</b>	<b>Masa 6 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	555,78	556,28	0,09%	cumple
D2	558,83	559,31	0,09%	cumple
D3	564,44	564,96	0,09%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

- Mortero sin fibra (MSF) - Masa Sumergida (Ms, i)

Tabla 25 Masa sumergida de propiedades mecánicas del mortero sin fibra

<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>
D1	280
D2	278
D3	277

**Nota:** Fuente: Autor

- Mortero sin fibra (MSF) – Densidad en estado endurecido

Tabla 26 Densidad de propiedades mecánicas del mortero sin fibra

<b>Muestra</b>	<b>Ms, sat (gr)</b>	<b>Ms, i(gr)</b>	<b>Vs (m3)</b>	<b>Ms, sec (gr)</b>	<b>Dseco (kg/m3)</b>	<b>promedio (kg/m3)</b>
D1	556,28	280	276,28	516,23	1869	
D2	559,31	278	281,31	525,6	1868	1851
D3	564,96	277	287,96	523,3	1817	

**Nota:** Fuente: Autor

- Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec)

Tabla 27 Masa seca de propiedades mecánicas del mortero con fibra

<b>Muestra</b>	<b>Masa 5(gr)</b>	<b>Masa 6 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	507,7	506,92	0,15%	cumple
D2	504,4	503,64	0,15%	cumple
D3	499,5	498,88	0,12%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

- Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat)

Tabla 28 Masa saturada de propiedades mecánicas del mortero con fibra

<b>Muestra</b>	<b>Masa 5(gr)</b>	<b>Masa 6 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	558,7	558,82	0,02%	cumple
D2	555,28	555,36	0,01%	cumple
D3	550,69	550,72	0,01%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

- Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i)

Tabla 29 Masa sumergida de propiedades mecánicas del mortero con fibra

<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>
D1	300
D2	283
D3	294

**Nota:** Fuente: Autor

- Mortero con fibra (MFTHS) – Densidad en estado endurecido

Tabla 30 Densidad de propiedades mecánicas del mortero con fibra

Muestra	Ms, sat (gr)	Ms, i(gr)	Vs (m3)	Ms, sec (gr)	Dseco (kg/m3)	promedio (kg/m3)
D1	558,82	300	258,82	506,92	1959	
D2	555,36	283	272,36	503,64	1849	1917
D3	550,72	294	256,72	498,88	1943	

**Nota:** Fuente: Autor

- Comparación entre densidades de MSF y MFTHS

Tabla 31 Comparativa de resultados de densidad de propiedades mecánicas.

Muestra	Tipo de mortero	DENSIDAD (kg/m3)
1	Con fibra THS	1917
3	Sin fibra	1851

**Nota:** Fuente: Autor

### 6.3.3.2. Capilaridad (coeficiente de absorción de agua)

El siguiente ensayo tiene como fin encontrar el coeficiente de absorción de agua por método de capilaridad en morteros de albañilería en estado endurecido, éste método va dirigido directamente a morteros que contienen conglomerantes áridos o ligeros. El ensayo inicia con la elaboración de 3 probetas de flexión (40 mm x 40 mm x 160 mm) usando un procedimiento de amasado especificado en la tabla 7 del presente documento de investigación, se haya el flujo según NTE INEN 2518, se coloca papel filtro en la parte inferior y la parte superior del molde como se indica en la ilustración 37 y se finaliza con un proceso de elaboración de probetas siguiendo el procedimiento indicado en el ítem 4,2 del presente documento. A partir de este punto se toma como referencia la norma UNE - EN 1015-18 (Asociación Española de

Normalización y Certificación, 2003) el cual indica el siguiente procedimiento de preparación para las muestras antes del proceso operatorio.

1. **Curado de las probetas:** en este ítem se define qué tipo de mortero se utiliza para el ensayo para seguir las condiciones de curado especificadas en la UNE-EN 1015-18. Para ésta investigación se usará un mortero elaborado con cemento y otros morteros de cal aérea/cemento

Tipo de mortero	Tiempo de curado a una temperatura de 20 °C ± 2 °C, en días		
	95% ± 5% de humedad relativa (HR)		65% ± 5% de HR
	En el molde <sup>a)</sup>	Con el molde retirado	Con el molde retirado
Morteros de cal aérea	5	2	21
Morteros de cal aérea/cemento en los que la cantidad de cal aérea es superior al 50% de la masa total de conglomerante	5	2	21
Cemento y otros morteros de cal aérea/cemento	2	5	21
Morteros con otros conglomerantes hidráulicos	2	5	21
Morteros retardados	5	2	21

<sup>a)</sup> En determinados casos, puede ser necesario un tiempo mayor de almacenamiento en el molde.

### Ilustración 37 Curado de probetas

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2003)

2. **Secado:** Una vez finalizado el proceso de curado indicado en la ilustración 37 para el tipo de mortero de estudio, se coloca las probetas a un horno de ventilación bajo una temperatura de 60°C±5°C hasta conseguir masa constante, esta condición se cumple cuando en 2 pesadas consecutivas efectuadas en intervalos de 24 h, la pérdida de masa es menor al 0,2% de la masa total.
3. **Rotura de muestras:** Se realiza la rotura de las muestras con un golpe seco en la mitad de las barras de manera que la cara de rotura sea lo más perpendicular posible a la longitud de la muestra.

- 4. Aplicación del material de sellante:** Se procede a colocar el material sellante en las 4 caras mayores de la probeta evitando en lo posible que la cara de rotura se vea afectada por el material.



Ilustración 38 Procedimiento para ensayo de coeficiente de absorción de agua (Capilaridad)

Fuente: Autor

Al culminar el proceso de preparación y curado se realiza el proceso operatorio del ensayo el cual consiste en colocar las muestras sobre soportes donde la cara de rotura se encuentre sumergida aproximadamente a 10 mm con agua potable durante un periodo de 10 min, posteriormente se seca superficialmente la cara sumergida y se toman medidas de masa. Luego se procede a colocar nuevamente las probetas, pero esta vez por un lapso de 90 min, de igual manera se toman medidas de masa para poder usar la siguiente ecuación:

$$C = 0,1(M2 - M1) \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$$

### Ecuación 3 Coeficiente de absorción de agua por capilaridad

Donde:

- Coeficiente de absorción de agua de una probeta individual del mortero,  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ , ( $C$ )
- Coeficiente medio de absorción de agua por capilaridad de una probeta individual de mortero,  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ , ( $Cm$ )
- Masa de la probeta luego de una inmersión durante un lapso de 10 min, en gramos,  $g$ , ( $M1$ )
- masa de la probeta luego de una inmersión durante un lapso de 90 min, en gramos,  $g$ , ( $M2$ )

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 32 Resultados coeficiente de absorción por capilaridad en mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	M1	M2	C	Cprobeta	Cm
1 - 1	324,78	330,82	0,6	0,6	0,55
1 - 2	251,36	257,01	0,55		
2 - 1	272,44	277,29	0,50	0,50	
2 - 2	301,67	306,65	0,50		
3 - 1	271,07	276,16	0,50	0,50	
3 - 2	298,02	303,22	0,50		

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 33 Resultados coeficiente de absorción por capilaridad en mortero sin fibra (MSF)

Muestra	M1	M2	C	Cprobeta	Cm
1 - 1	274,20	280,71	0,65	0,70	0.70
1 - 2	281,99	289,19	0,70		
2 - 1	265,36	271,84	0,65	0,70	
2 - 2	306,60	313,53	0,70		
3 - 1	275,83	282,32	0,65	0,65	
3 - 2	299,54	306,14	0,65		

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 34 Resultados globales de coeficiente de absorción de agua

Muestra	Estado	Cm
1	Mortero con fibra THS	0,55
2	Mortero sin fibra	0,70

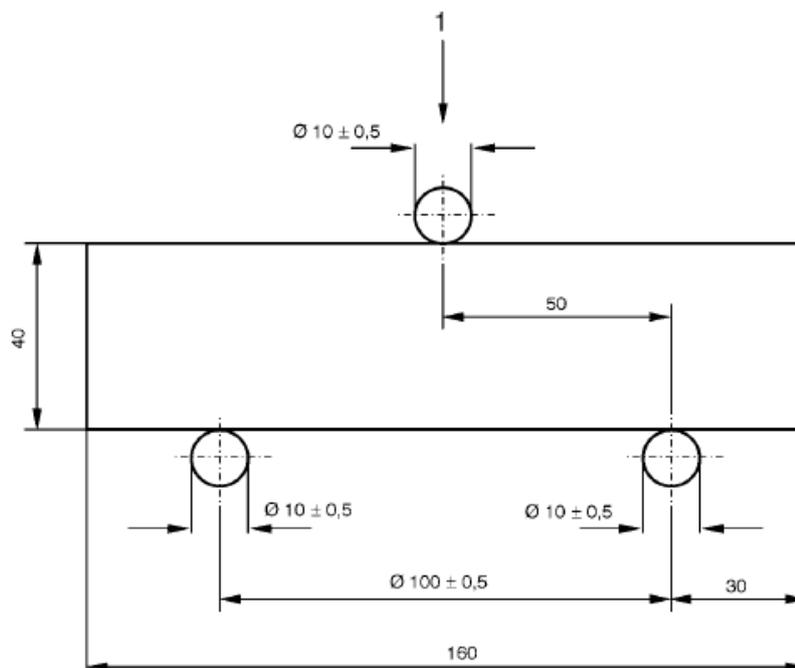
**Nota:** Fuente: Autor

### 6.3.3.3. Flexión

Determinar la resistencia a flexión del mortero de estudio es fundamental para este proyecto de investigación, porque es una propiedad que definirá en su mayor porcentaje, que tan buen desempeño podría obtenerse en referencia a estos resultados. Se utilizó como referencia la norma UNE - EN 1015-11 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000b) que dicta especificaciones para determinar la resistencia a flexión del mortero para albañilería la cual se define aplicando una carga en tres puntos de las probetas de mortero endurecido previamente moldeadas como se especifica en el ítem 4,2 del presente proyecto de investigación.

La máquina de ensayo utilizada para realizar este ensayo debe contar con las especificaciones de la tabla 38, además, debe ser capaz de aplicar una velocidad de carga uniforme entre 10 N/s y 50 N/s de tal modo que la rotura se produzca en un lapso de tiempo entre 30 s y 90 s. El equipo debe poseer dos rodillos de acero con una longitud de 45 mm - 50 mm y un diámetro de 10 mm  $\pm$  0,5 mm, estos deben encontrarse separados entre sí a 100,0 mm  $\pm$  0,5 mm y un tercer rodillo colocado centralmente con respecto a los rodillos de apoyo con dimensiones ya especificadas para su longitud y diámetro como se observa a continuación:

Medidas en milímetros



1 Carga

Ilustración 39 Equipo para ensayo de resistencia a flexión

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000b)

Las probetas utilizadas para este ensayo deben poseer las dimensiones prescritas para una muestra de flexión, es decir, con dimensiones de 40mm x 40mm x 160mm para su base, altura y longitud respectivamente. Luego de ensayarlas se aplica la siguiente ecuación para determinar la resistencia a flexión del mortero para albañilería:

$$f = 1,5 \frac{F l}{b d^2}$$

#### Ecuación 4 Resistencia a flexión del mortero de albañilería

Donde:

- Carga máxima de la probeta, en Newton ( $N$ ), ( $F$ )
- Distancia entre los ejes de los rodillos de apoyo, en milímetros ( $mm$ ), ( $l$ )
- Ancho de la probeta, en milímetros, ( $mm$ ), ( $b$ )
- Grosor de la probeta, en milímetros, ( $mm$ ), ( $d$ )
- Resistencia a flexión, en Megapascales, ( $MPa$ ), ( $f$ )

El reporte de los resultados se lo realiza para cada probeta al 0,05 N/mm<sup>2</sup> más próximo y para el valor medio de las 3 probetas se lo reporta al 0,1 N/mm<sup>2</sup> más cercano



Ilustración 40 Procedimiento de ensayo a flexión

Fuente: Autor

Tabla 35 Resultados de flexión para mortero sin fibra de abacá (MSF) - 28 días

Muestra	Masa	Carga (KN)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)
1	554,3	2,90	6,8	
2	550,3	2,77	6,5	6,7
3	553,55	2,90	6,8	

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 36 Resultados de flexión para mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días

Muestra	Masa	Carga (KN)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)
1	556,76	3,58	8,4	
2	554,63	3,37	7,9	8,2
3	563	3,54	8,3	

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 37 Resultados globales de resistencia a flexión

Muestra	Estado	Resistencia (MPa)
1	Mortero con fibra THS	8,2
2	Mortero sin fibra	6,7

**Nota:** Fuente: Autor

#### 6.3.3.4. Compresión

Este ensayo indica la resistencia a la compresión que se obtiene del mortero de albañilería bajo la norma UNE - EN 1015-11 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000b) la cual especifica que se debe realizar posteriormente al de flexión indicado previamente, dónde las probetas divididas se deben ensayar a compresión de manera que se aplique una velocidad de carga progresiva entre 50 N/s y 500 N/s de modo que la rotura se produzca en un rango de 30 s – 90 s. Se añadieron placas metálicas auxiliares de 7 mm x 50 mm x 50 mm porque el acople está diseñado para ensayar cubos de 50 mm x 50 mm x 50 mm y las probetas divididas tiene un espesor de 40 mm.



Ilustración 41 Procedimiento de ensayo a compresión

Fuente: autor

Posteriormente realizados los ensayos se obtiene la carga de falla para las probetas, se las reporta con una precisión del 0,05 MPa para resultados de probetas individuales y 0,1 MPa para el resultado promedio. Se aplica la siguiente ecuación para determinar la resistencia a compresión del mortero

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

**Ecuación 5 Resistencia a la compresión del mortero**

Donde:

- Carga máxima de la probeta, en Newton ( $N$ ), ( $F$ )
- Sección transversal de la probeta, en milímetros, ( $mm$ ), ( $A$ )
- Resistencia a compresión, en Megapascales, ( $MPa$ ), ( $C$ )

A continuación, se muestran resultados obtenidos:

Tabla 38 Resultados a compresión para mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días

Muestra	Carga (KN)	Área transversal (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)
1-1	67,4	1600	42,1	
1-2	62,4	1600	39,0	
2-1	65,0	1600	40,6	43,0
2-2	67,8	1600	42,4	
3-1	77,0	1600	48,1	
3-2	73,2	1600	45,8	

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 39 Resultados a compresión para mortero sin fibra (MSF) - 28 días

Muestra	Carga (KN)	Área transversal (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)
1-1	62,0	1600	38,8	
1-2	59,9	1600	37,4	
2-1	65,2	1600	40,8	39,4
2-2	63,5	1600	39,7	
3-1	66,3	1600	41,4	
3-2	61,2	1600	38,3	

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 40 Comparación de ensayos resistencia a compresión

<b>Muestra</b>	<b>Estado</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
1	Mortero con fibra THS	43,0
2	Mortero sin fibra	39,4

**Nota:** Fuente: Autor

### **6.3.3.5. Cambio de longitud**

El ensayo de cambio de longitud sirve para medir la expansión o retracción que se presenta en el mortero que se ve afectado por fuerzas que se aplican externamente, cambios de temperatura y condiciones climáticas. La norma NTE INEN 2504 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009) indica el procedimiento que se debe seguir para morteros elaborados en laboratorio la cual indica la importancia de las condiciones controladas tanto para temperatura como humedad. El amasado se lo realiza con el procedimiento indicado previamente en la tabla 7, las probetas tienen dimensiones de cambio de longitud (25 mm x 25 mm x 285 mm). Se realizaron 3 probetas de mortero sin fibra y 3 probetas de mortero con fibra THS, para ambos casos se colocó 1 probeta a curado en ambiente laboratorio ( $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) durante los 7 días iniciales del desmolde y luego se las expuso a la intemperie, para las 2 probetas restantes se las colocó desde el primer día del desmolde durante todo el proceso del ensayo, esto con el fin de realizar una comparativa entre ambas situaciones es decir probetas curadas y sin curar.



Ilustración 42 Procedimiento de lecturas para cambio de longitud

Fuente: autor

Se realizan mediciones para obtener una gráfica donde se presenta la deformación de la probeta con respecto al tiempo en días transcurrido durante el ensayo. Una vez obtenida las lecturas se aplica la siguiente ecuación:

$$\Delta Lx = \frac{CRD - CRD \text{ inicial}}{G} \times 100$$

#### **Ecuación 6 Determinación del cambio de longitud**

Donde:

- Cambio de longitud del espécimen a cualquier edad, en porcentaje (%), ( $\Delta Lx$ )
- Diferencia entre la lectura del comparador del espécimen y la barra de referencia a cualquier edad, ( $CRD$ )
- Longitud de medición, 25 mm, ( $G$ )

A continuación, se muestran lecturas y resultados obtenidos:

❖ **Mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - con 7 días de curado inicial**

Tabla 41 Lecturas de cambio de longitud - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	24 días	26 días	27 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	6,384	6,384	6,382
MFTHS - AG	6,568	6,562	6,640	6,624	6,580	6,564

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 42 Resultados de cambio de longitud (MFTHS) - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	24 días	26 días	27 días
MFTHS - AG Promedio	0,000	0,0008	0,0064	-0,0360	-0,0536	0,0592

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - sin curado inicial**

Tabla 43 Lecturas de cambio de longitud - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	5 días	20 días	26 días	27 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	6,364	6,384	6,382
MFTHS - A1	6,480	6,824	6,860	6,846	6,858	6,850
MFTHS - A2	4,868	4,848	4,884	4,874	4,867	4,860

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 44 Resultados de cambio de longitud - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) - 28 días

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	5 días	20 días	26 días	27 días
MFTHS - A1	0,000	-0,0032	-0,0144	-0,0480	-0,0512	-0,0536
MFTHS - A2	0,000	-0,0048	-0,0160	-0,0480	-0,0552	-0,0608
MFTHS - A Promedio	0,000	-0,0040	-0,0152	-0,0480	-0,0532	-0,0572

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Mortero sin fibra (MSF) - 7 días de curado inicial**

Tabla 45 Lecturas de cambio de longitud - mortero sin fibra (MSF) - 28 días

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	3 días	7 días	20 días	27 días	28 días
Patrón	5,510	5,460	5,478	5,496	5,476	5,442
MSF - AG	4,052	4,038	4,028	3,948	3,924	3,852

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 46 Resultados de cambio de longitud - mortero sin fibra (MSF) - 28 días

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	3 días	7 días	20 días	27 días	28 días
MSF – AG Promedio	0,0000	0,0144	0,0032	-0,0360	-0,0376	-0,0528

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Mortero sin fibra (MSF) - sin curado inicial**

Tabla 47 Lecturas de cambio de longitud - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	3 días	7 días	20 días	27 días	28 días
Patrón	5,510	5,460	5,478	5,496	5,476	5,442
MSF - A1	4,660	4,544	4,510	4,504	4,484	4,446
MSF - A2	2,434	2,330	2,328	2,308	2,282	2,246

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 48 Resultados de cambio de longitud - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	3 días	7 días	20 días	27 días	28 días
MSF - A1	0,000	-0,0032	-0,0144	-0,0480	-0,0512	-0,0536
MSF - A2	0,000	-0,0048	-0,0160	-0,0480	-0,0552	-0,0608
MSF- A Promedio	0,000	-0,0240	-0,0384	-0,0508	-0,0520	-0,0532

**Nota:** Fuente: Autor

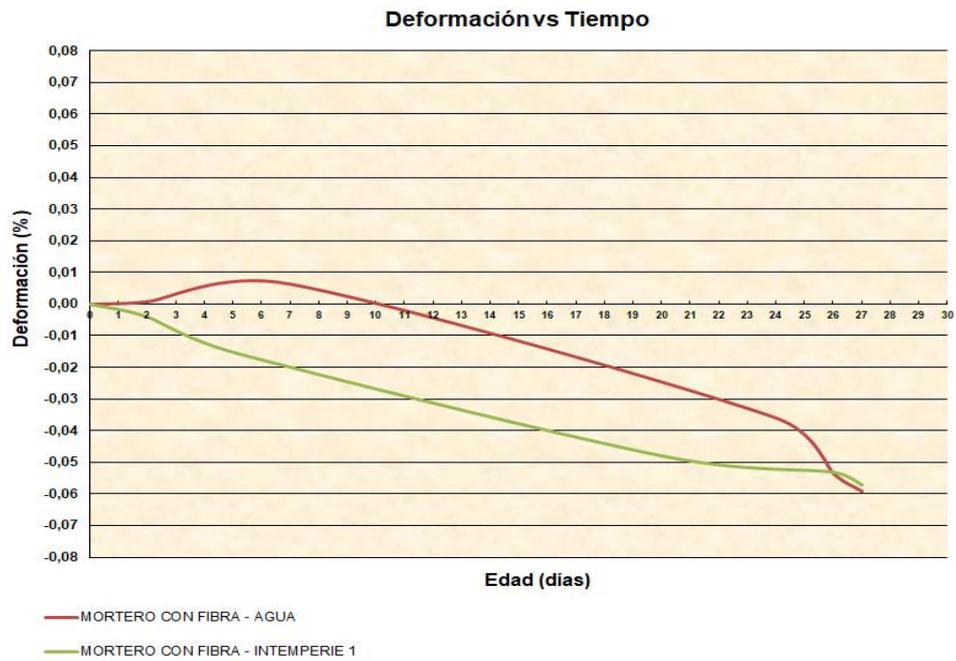


Ilustración 43 Gráfica deformación vs. tiempo – Mortero con fibra THS (MFTHS)

Fuente: Autor

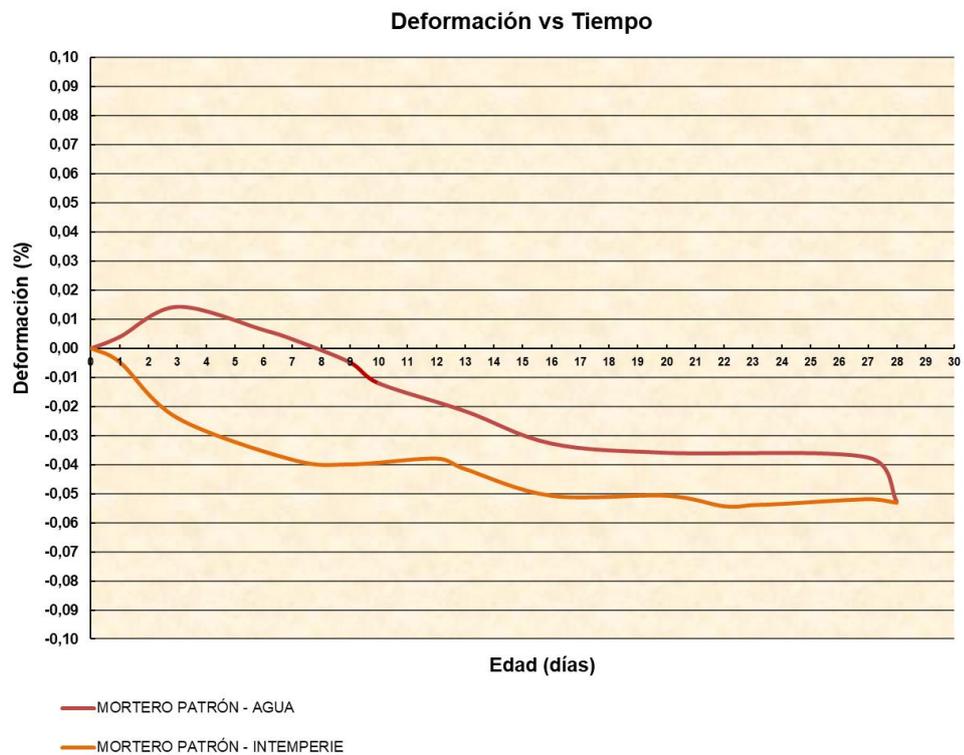


Ilustración 44 Gráfica deformación vs. tiempo – Mortero sin fibra THS (MSF)

Fuente: Autor

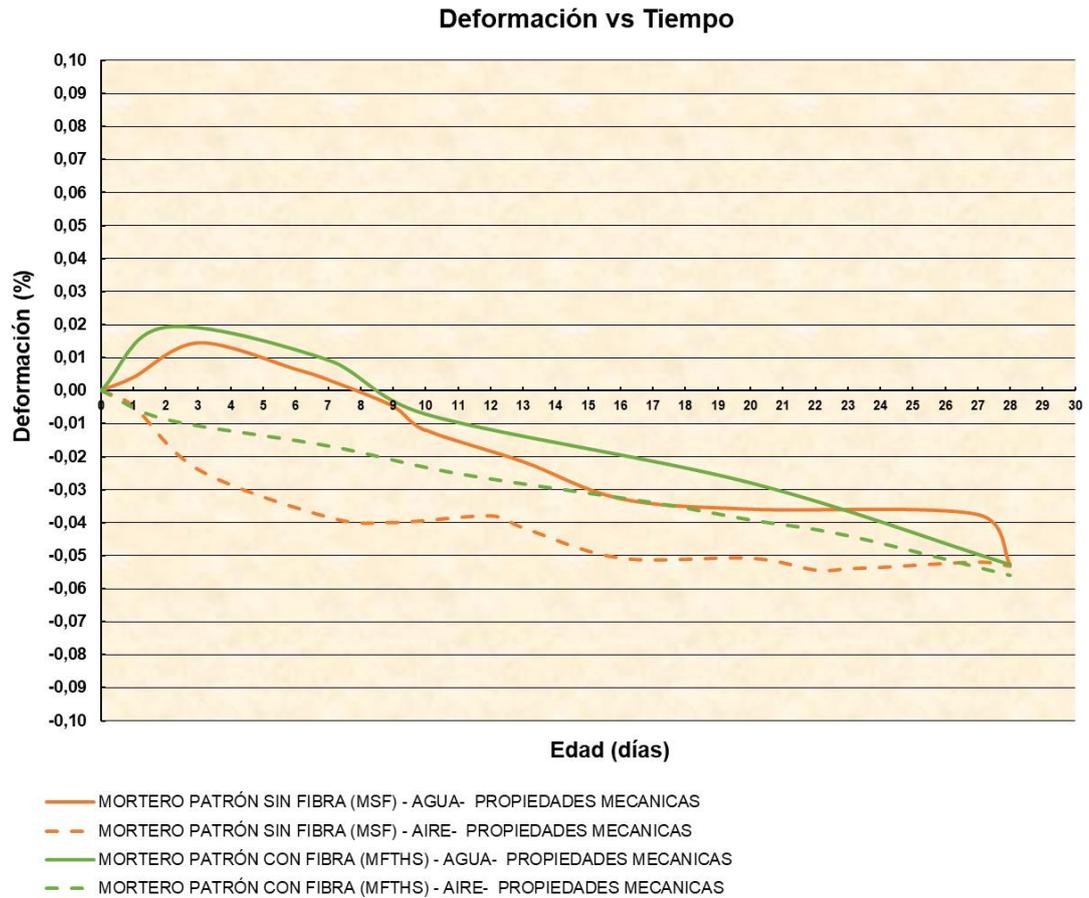


Ilustración 45 Gráfica deformación vs. tiempo global - MFS y MFTHS

Fuente: Autor

#### 6.4. Fase II: Envejecimiento

Durante la aplicación de los envejecimientos se usaron la misma cantidad de muestras para todos los procesos de la siguiente manera: 6 probetas de mortero con fibra de abacá THS (MFTHS) y 6 probetas de mortero sin fibra (MSF), dividiéndose de la siguiente manera: 3 para ensayos de flexión, densidad y 3 para realizar un seguimiento en el cambio de longitud para cada tipo de mortero.

### 6.4.1. Envejecimiento natural

#### 6.4.1.1. Envejecimiento en ambiente laboratorio

Los ensayos se realizaron para muestras que hayan cumplido la siguiente condición: 28 días de curado inicial, 28 días y 4 meses expuestas a envejecimiento con ambiente laboratorio, es decir, se depositaron en un cuarto donde la temperatura se mantenía en un rango de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  con una humedad estable.



Ilustración 46 Serie de ensayos para envejecimiento en ambiente laboratorio

Fuente: Autor

- **Densidad en mortero endurecido**

❖ **Densidad a los 28 días sin Fibra (MSF)**

Tabla 49 Mortero sin fibra (MSF) - Masa seca (Ms, sec) 28 días Ambiente laboratorio

<b>Muestra</b>	<b>Masa 1 (gr)</b>	<b>Masa 2 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	523,26	522,26	0,19%	cumple
D2	533	531,94	0,20%	cumple
D3	524,2	523,25	0,18%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 50 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días Ambiente laboratorio

<b>Muestra</b>	<b>Masa 3 (gr)</b>	<b>Masa 4 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	548,86	549,87	0,18%	cumple
D2	556,4	557,51	0,20%	cumple
D3	549,6	550,69	0,20%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 51 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días Ambiente laboratorio

<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>
D1	275
D2	279
D3	275

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 52 Resultados de densidad del mortero sin fibra (MSF) - 28 días  
Ambiente laboratorio

Muestra	Ms, sat (gr)	Ms, i(gr)	Vs (m3)	Ms, sec (gr)	Dseco (kg/m3)	promedio (kg/m3)
D1	549,87	275	274,87	522,26	1900	
D2	557,51	279	278,51	531,94	1910	1903
D3	550,69	275	275,69	523,25	1898	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Densidad a los 28 días con Fibra (MFTHS)**

Tabla 53 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 28 días  
Ambiente laboratorio

Muestra	Masa 3 (gr)	Masa 4 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	504.9	504.05	0.17%	cumple
D2	509.4	508.57	0.16%	cumple
D3	517.1	516.3	0.15%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 54 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días  
Ambiente laboratorio

Muestra	Masa 1(gr)	Masa 2 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	556.87	556.76	0.02%	cumple
D2	554.62	554.65	0.01%	cumple
D3	563	563.5	0.09%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 55 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días Ambiente laboratorio

Muestra	Masa (gr)
D1	300
D2	283
D3	294

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 56 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 28 días Ambiente laboratorio

Muestra	Ms, sat (gr)	Ms, i (gr)	Vs (m3)	Ms, sec (gr)	Dseco (kg/m3)	promedio (kg/m3)
D1	556.76	300	256.76	504.05	1963	
D2	554.65	283	271.65	508.57	1872	1917
D3	563.5	294	269.5	516.3	1916	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Densidad a los 4 meses con fibra (MFTHS)**

Tabla 57 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 4 meses Ambiente laboratorio

Muestra	Masa 1 (gr)	Masa 2 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	527	525.97	0.20%	cumple
D2	535.32	534.36	0.18%	cumple
D3	525.79	525.37	0.08%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 58 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 4 meses  
Ambiente laboratorio

<b>Muestra</b>	<b>Masa 3 (gr)</b>	<b>Masa 4 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	536.4	537.34	0.18%	Cumple
D2	545.51	546.58	0.20%	Cumple
D3	543.46	544.16	0.13%	Cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 59 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 4 meses  
Ambiente laboratorio

<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>
D1	269
D2	272
D3	263

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 60 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) 4  
meses Ambiente laboratorio

<b>Muestra</b>	<b>Ms, sat (gr)</b>	<b>Ms, i(gr)</b>	<b>Vs (m3)</b>	<b>Ms, sec (gr)</b>	<b>Dseco (kg/m3)</b>	<b>promedio (kg/m3)</b>
D1	537.34	269	268.34	525.97	1960	
D2	546.58	272	274.58	534.36	1946	1925
D3	544.16	263	281.16	525.37	1869	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Resultados globales de densidad en mortero endurecido con envejecimiento en ambiente laboratorio**

Tabla 61 Comparación entre densidades de MSF y MFTHS ambiente laboratorio

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>
1	Con fibra THS	28 días	1917
2	Con fibra THS	4 meses	1925
3	Sin fibra	28 días	1903

**Nota:** Fuente: Autor

• **Flexión en mortero endurecido**

❖ **28 días envejecido en ambiente laboratorio – Mortero sin fibra (MSF)**

Tabla 62 Resistencia a flexión – 28 días mortero sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MSF - 1	537,8	3.57	8.37	
MSF - 2	543,7	3.66	8.58	8.41
MSF - 3	537,3	3.53	8.28	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días envejecido en ambiente laboratorio - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 63 Resistencia a flexión – 28 días mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS - 1	556,76	3,82	8,95	
MFTHS - 2	554,63	4,02	9,42	9.16
MFTHS - 3	563	3,89	9,12	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses envejecido en ambiente laboratorio - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 64 Resistencia a flexión – 4 meses mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS - 1	555,6	3,92	9,19	
MFTHS - 2	553,23	4,02	9,42	9,41
MFTHS - 3	553,00	4,10	9,61	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Resultados globales de resistencia a flexión**

Tabla 65 Resultados de resistencia a flexión - envejecimiento ambiente laboratorio

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
1	Sin fibra	28 días	8,41
2	Con fibra THS	28 días	9,16
3	Con fibra THS	4 meses	8,41

**Nota:** Fuente: Autor

- **Compresión en mortero endurecido**

- ❖ **28 días envejecido en ambiente laboratorio - Mortero sin fibra (MSF)**

Tabla 66 Resultados a compresión - 28 días mortero sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MSF 1-1	233,7	54,7	1600	34,2	
MSF 1-2	303,6	56,4	1600	35,3	
MSF 2-1	246,7	63,9	1600	39,9	35
MSF 2-2	296,2	50,6	1600	31,6	
MSF 3-1	256,1	57,9	1600	36,2	
MSF 3-2	280,5	52,7	1600	32,9	

**Nota:** Fuente: Autor

- ❖ **28 días envejecido en ambiente laboratorio - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 67 Resultados a compresión - 28 días mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS 1-1	264,62	68,0	1600	42,5	
MFTHS 1-2	258,10	64,2	1600	40,1	
MFTHS 2-1	280,82	65,4	1600	40,9	40,5
MFTHS 2-2	242,51	67,1	1600	41,9	
MFTHS 3-1	261,12	63,8	1600	39,9	
MFTHS 3-2	263,87	60,4	1600	37,8	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses envejecido en ambiente laboratorio - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 68 Resultados a compresión - 4 meses mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS 1-1	262,62	71,5	1600	44,7	
MFTHS 1-2	263,10	68,2	1600	42,6	
MFTHS 2-1	283,82	70,6	1600	44,1	42,8
MFTHS 2-2	239,51	70,1	1600	43,8	
MFTHS 3-1	266,12	65,8	1600	41,1	
MFTHS 3-2	263,87	65,0	1600	40,6	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Resultados globales de resistencia a compresión**

Tabla 69 Resultados globales de resistencia a compresión - envejecimiento ambiente laboratorio

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
1	Sin fibra	28 días	35
2	Con fibra THS	28 días	40,5
3	Con fibra THS	4 meses	42,8

**Nota:** Fuente: Autor

- **Cambio de longitud**

❖ **28 días envejecido en ambiente laboratorio - Mortero sin fibra (MSF) - 7 días curado inicial**

Tabla 70 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	3 días	7 días	20 días	27 días	28 días
Patrón	5,510	5,460	5,478	5,496	5,476	5,442
MSF - AG	4,052	4,038	4,028	3,948	3,924	3,852

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 71 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	3 días	7 días	20 días	27 días	28 días
MSF – AG Promedio	0,0000	0,0144	0,0032	-0,0360	-0,0376	-0,0528

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días envejecido en ambiente laboratorio - Mortero sin fibra (MSF) - sin curado inicial**

Tabla 72 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	3 días	7 días	20 días	27 días	28 días
Patrón	5,510	5,460	5,478	5,496	5,476	5,442
MSF - A1	4,660	4,544	4,510	4,504	4,484	4,446
MSF - A2	2,434	2,330	2,328	2,308	2,282	2,246

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 73 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	3 días	7 días	20 días	27 días	28 días
MSF - A1	0,000	-0,0032	-0,0144	-0,0480	-0,0512	-0,0536
MSF - A2	0,000	-0,0048	-0,0160	-0,0480	-0,0552	-0,0608
MSF – A Promedio	0,000	-0,0240	-0,0384	-0,0508	-0,0520	-0,0532

**Nota:** Fuente: Autor

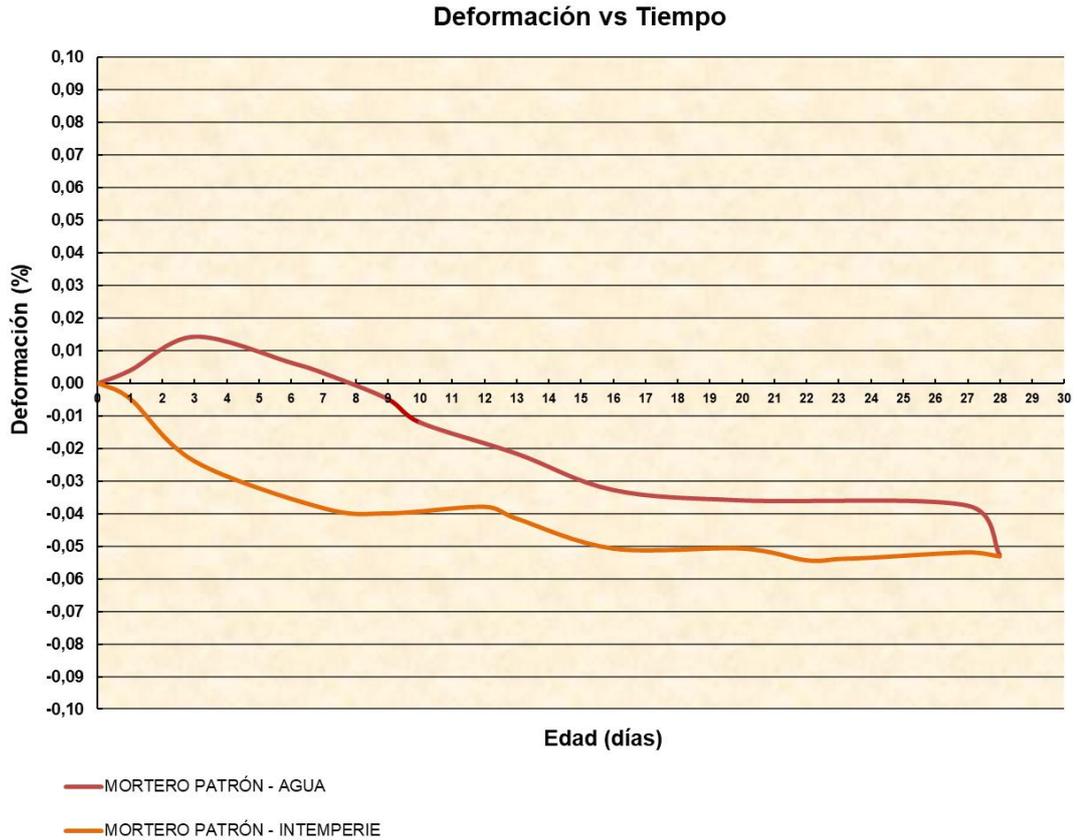


Ilustración 47 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente laboratorio 28 días - MSF

Fuente: Autor

❖ **28 días envejecido en ambiente laboratorio - Mortero con fibra THS (MFTHS) - 7 días curado inicial**

Tabla 74 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	5 días	7 días	20 días	28 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	6,294	6,380	6,380
MTHS - AG	6,750	6,790	6,834	6,829	6,822	6,760

Nota: Fuente: Autor

Tabla 75 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	5 días	7 días	20 días	28 días
MFTHS – AG Promedio	0,000 0	0,0192	0,0112	0,0092	-0,0280	-0,0528

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días envejecido en ambiente laboratorio - Mortero con fibra THS (MFTHS) - sin curado inicial**

Tabla 76 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	20 días	23 días	28 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	6,380	6,382	6,380
MFTHS - A1	7,272	7,250	6,850	7,320	7,294	7,250
MFTHS - A2	4,410	4,372	4,860	4,450	4,456	4,436

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 77 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	20 días	23 días	28 días
MFTHS - A1	0,0000	-0,0056	-0,1912	-0,0376	-0,0488	-0,0656
MFTHS - A2	0,0000	-0,0120	0,1576	-0,0408	-0,0392	-0,0464
MFTHS – A Promedio	0,0000	-0,0088	-0,0168	-0,0392	-0,0440	-0,0560

**Nota:** Fuente: Autor

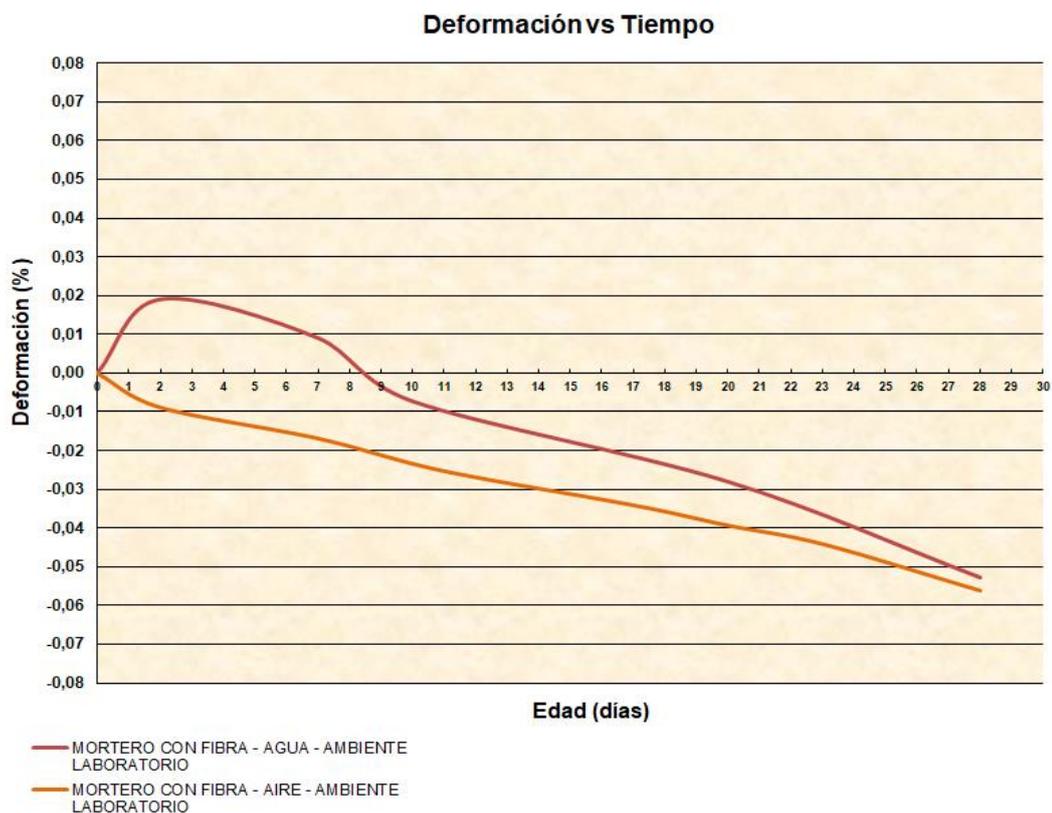


Ilustración 48 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente laboratorio 28 días - MFTHS

Fuente: Autor

❖ **4 meses envejecido en ambiente laboratorio - Mortero con fibra THS (MFTHS) - 7 días curado inicial**

Tabla 78 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	55 días	85 días	88 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	5,510	5,466	5,478
MFTHS - AG1	6,750	6,790	6,829	5,882	5,844	5,824

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 79 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	55 días	85 días	88 días
MFTHS – AG Promedio	0,0000	0,0192	0,0092	-0,0576	-0,0536	-0,0664

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses envejecido en ambiente laboratorio - Mortero con fibra THS (MFTHS) - sin curado inicial**

Tabla 80 Lecturas de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	55 días	76 días	88 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	5,488	5,466	5,478
MFTHS - A1	7,272	7,250	6,850	6,376	6,344	6.364
MFTHS - A2	4,410	4,372	4,860	3,540	3,520	3,502

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 81 Resultados de cambio de longitud - ambiente laboratorio - mortero con fibra (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	55 días	76 días	88 días
MFTHS - A1	0,0000	-0,0056	-0,1912	-0,0584	-0,0624	-0,0592
MFTHS - A2	0,0000	-0,0120	0,1576	-0,0480	-0,0472	-0,0592
MFTHS – A Promedio	0,0000	-0,0088	-0,0168	-0,0532	-0,0548	-0,0592

**Nota:** Fuente: Autor

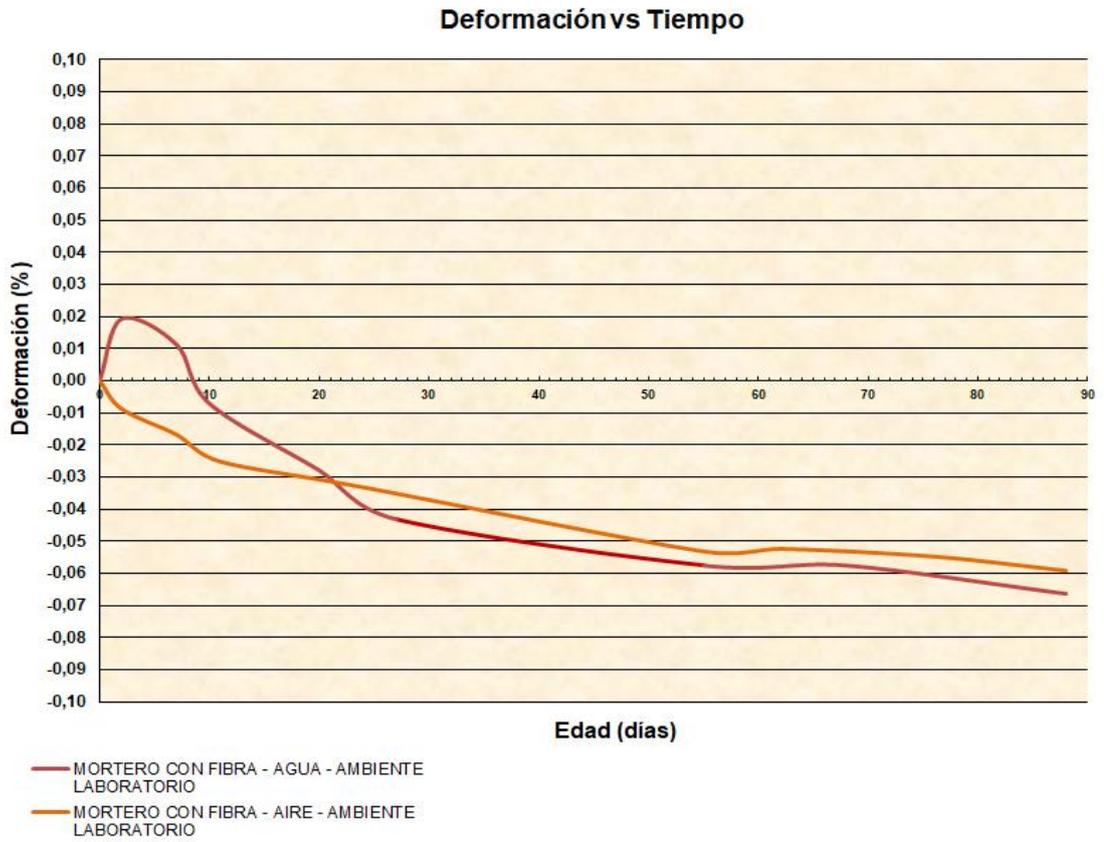


Ilustración 49 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente laboratorio 4 meses - MFTHS

Fuente: Autor

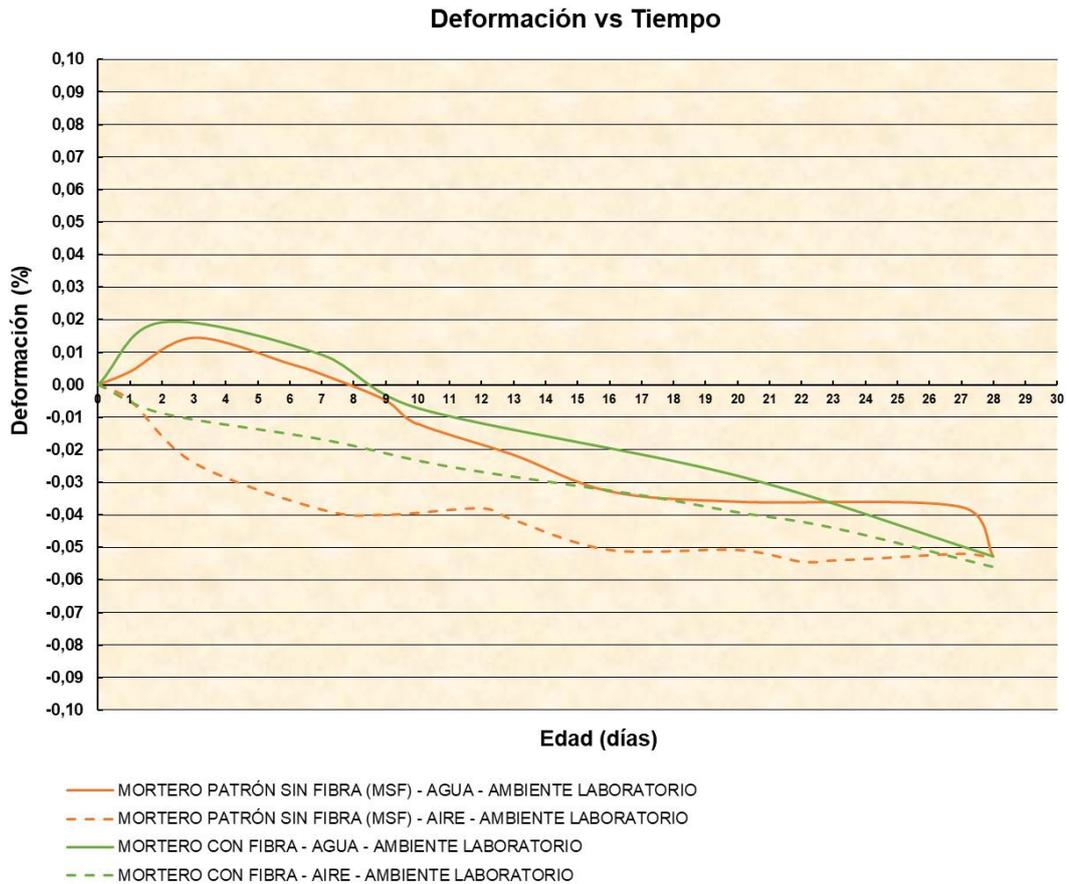


Ilustración 50 Gráfica deformación vs. tiempo para envejecimiento en ambiente laboratorio - 28 días envejecido - MSF y MFTHS

Fuente: Autor

#### 6.4.1.2. Envejecimiento ambiente intemperie

Las probetas que se usadas durante este proceso de envejecimiento cumplen lo siguiente: curado inicial de 28 días, colocación en ambiente intemperie durante 28 días y 4 meses, es decir, se colocaron las muestras a los cambios climáticos ocurridos durante todo el periodo del presente trabajo de investigación. Durante este proceso se presentó variación en la temperatura y humedad donde fueron expuestas las probetas.



Ilustración 51 Serie de ensayos para envejecimiento ambiente intemperie

Fuente: Autor

- **Densidad en mortero endurecido**

- ❖ **Densidad a los 28 días sin Fibra (MSF)**

Tabla 82 Mortero sin fibra (MSF) - Masa seca (Ms, sec) 28 días Intemperie

Muestra	Masa 1 (gr)	Masa 2 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	568,86	567,8	0,19%	cumple
D2	551,73	550,74	0,18%	cumple
D3	551,59	550,51	0,20%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 83 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días Intemperie

Muestra	Masa 3 (gr)	Masa 4 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	593,26	594,33	0,18%	cumple
D2	577,61	578,71	0,19%	cumple
D3	576,53	577,48	0,16%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 84 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días Intemperie

Muestra	Masa (gr)
D1	280
D2	277
D3	286

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 85 Resultados de densidad del mortero sin fibra (MSF) - 28 días Intemperie

Muestra	Ms, sat (gr)	Ms, i(gr)	Vs (m3)	Ms, sec (gr)	Dseco (kg/m3)	promedio (kg/m3)
D1	594,33	280	314,33	567,8	1806	
D2	578,71	277	301,71	550,74	1825	1840
D3	577,48	286	291,48	550,51	1889	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Densidad a los 28 días con Fibra (MFTHS)**

Tabla 86 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 28 días Intemperie

<b>Muestra</b>	<b>Masa 1(gr)</b>	<b>Masa 2 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	510,51	509,5	0,20%	cumple
D2	511,61	510,61	0,20%	cumple
D3	504,36	503,36	0,20%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 87 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días Intemperie

<b>Muestra</b>	<b>Masa 1(gr)</b>	<b>Masa 2 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	547,94	549,01	0,20%	cumple
D2	550,79	551,8	0,18%	cumple
D3	545,04	546,1	0,19%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 88 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días Intemperie

<b>Muestra</b>	<b>Masa 1(gr)</b>
D1	284
D2	281
D3	290

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 89 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 28 días Intemperie

Muestra	Ms, sat (gr)	Ms, i(gr)	Vs (m3)	Ms, sec (gr)	Dseco (kg/m3)	promedio (kg/m3)
D1	549,01	284	265,01	509,5	1923	
D2	551,8	281	270,8	510,61	1886	1925
D3	546,1	290	256,1	503,36	1965	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Densidad a los 4 meses mortero con Fibra (MFTHS)**

Tabla 90 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 4 meses Intemperie

Muestra	Masa 1 (gr)	Masa 2 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	523,3	522,3	0,19%	cumple
D2	513,4	512,41	0,19%	cumple
D3	518,1	517,25	0,16%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 91 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 4 meses Intemperie

Muestra	Masa 5(gr)	Masa 6 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	562,99	564,1	0,20%	cumple
D2	549,3	550,24	0,17%	cumple
D3	573,43	574,39	0,17%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 92 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 4 mese Intemperie

Muestra	Masa (gr)
D1	293
D2	300
D3	290

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 93 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 4 meses Intemperie

Muestra	Ms, sat (gr)	Ms, i(gr)	Vs (m3)	Ms, sec (gr)	Dseco (kg/m3)	promedio (kg/m3)
D1	564,1	293	271,1	522,3	1927	
D2	550,24	300	250,24	512,41	2048	1931
D3	574,39	290	284,39	517,25	1819	

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 94 Comparación entre densidades de MSF y MFTHS Intemperie

Muestra	Tipo de mortero	Tiempo de envejecimiento	DENSIDAD (kg/m3)
1	Con fibra THS	28 días	1925
2	Con fibra THS	4 meses	1931
3	Sin fibra	28 días	1840

**Nota:** Fuente: Autor

- **Flexión en mortero endurecido**

- ❖ **28 días envejecido en ambiente intemperie - Mortero sin fibra (MSF)**

Tabla 95 Resistencia a flexión - ambiente intemperie – sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Masa</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MSF - 1	576,1	3,12	7,31	
MSF - 2	560,4	2,78	6,52	6,53
MSF - 3	563	2,46	5,77	

**Nota:** Fuente: Autor

- ❖ **28 días envejecido en ambiente intemperie - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 96 Resistencia a flexión - ambiente intemperie - con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MSF - 1	532,53	2,78	6,52	
MSF - 2	534,46	3,29	7,71	7,25
MSF - 3	530,26	3,21	7,52	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses envejecido en ambiente intemperie - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 97 Resistencia a flexión - ambiente intemperie - con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
1	555,10	2,98	6,98	
2	548,15	3,12	7,31	7,81
3	556,32	3,90	9,14	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Resultados globales de resistencia a flexión**

Tabla 98 Resultados de resistencia a flexión - envejecimiento intemperie

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
1	Sin fibra	28 días	6,53
2	Con fibra THS	28 días	7,25
3	Con fibra THS	4 meses	7,81

**Nota:** Fuente: Autor

- **Compresión en mortero endurecido**

- ❖ **28 días envejecido en ambiente intemperie - Mortero sin fibra (MSF)**

Tabla 99 Resultados a compresión - ambiente intemperie – sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MSF 1-1	314,9	67,6	1600	42,3	
MSF 1-2	260,6	65,3	1600	40,8	
MSF 2-1	276,5	69,3	1600	43,3	40,7
MSF 2-2	283	61,2	1600	38,3	
MSF 3-1	280,6	62,0	1600	38,8	
MSF 3-2	281,5	64,9	1600	40,6	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días envejecido en ambiente intemperie - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 100 Resultados a compresión - ambiente intemperie - con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS 1-1	261,46	73,2	1600	45,8	
MFTHS 1-2	234,18	74,1	1600	46,3	
MFTHS 2-1	301,10	69,5	1600	43,4	44,4
MFTHS 2-2	223,41	66,2	1600	41,4	
MFTHS 3-1	311,16	75,3	1600	47,1	
MFTHS 3-2	245,56	68,1	1600	42,6	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses envejecido en ambiente intemperie - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 101 Resultados a compresión - ambiente intemperie - con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS 1-1	264,46	72,1	1600	45,1	
MFTHS 1-2	257,38	73,2	1600	45,8	
MFTHS 2-1	303,95	70,9	1600	44,3	45
MFTHS 2-2	205,35	69,7	1600	43,6	
MFTHS 3-1	315,08	75,3	1600	47,1	
MFTHS 3-2	214,56	70,8	1600	44,3	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Resultados globales de resistencia a compresión**

Tabla 102 Resultados de resistencia a compresión - envejecimiento ambiente intemperie

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
1	Sin fibra	28 días	40,7
2	Con fibra THS	28 días	44,4
3	Con fibra THS	4 meses	45

**Nota:** Fuente: Autor

- **Cambio de longitud**

- ❖ **28 días envejecido en ambiente intemperie - Mortero sin fibra (MSF) - 7 días curado inicial**

Tabla 103 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	22 días	25 días	28 días
Patrón	5,504	5,514	5,470	5,494	5,472	5,476
MSF - AG	5,444	5,476	5,422	5,356	5,334	5,344

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 104 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	22 días	25 días	28 días
MSF – AG Promedio	0,000 0	0,0088	0,0048	-0,0312	-0,0312	-0,0288

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días envejecido en ambiente intemperie - Mortero sin fibra (MSF) - sin curado inicial**

Tabla 105 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	7 días	11 días	16 días	17 días	28 días
Patrón	5,504	5,470	5,476	5,478	5,468	5,476
MSF - A1	5,980	5,862	5,830	5,798	5,976	5,796
MSF - A2	2,848	2,584	2,714	2,692	3,698	2,682

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 106 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	7 días	11 días	16 días	17 días	28 días
MSF - A1	0,000 0	-0,0336	-0,0488	-0,0624	0,0128	-0,0624
MSF - A2	0,000 0	-0,0920	-0,0424	-0,0520	0,3544	-0,0552
MSF - A Promedio	0,000 0	-0,0628	-0,0456	-0,0572	0,1836	-0,0588

**Nota:** Fuente: Autor

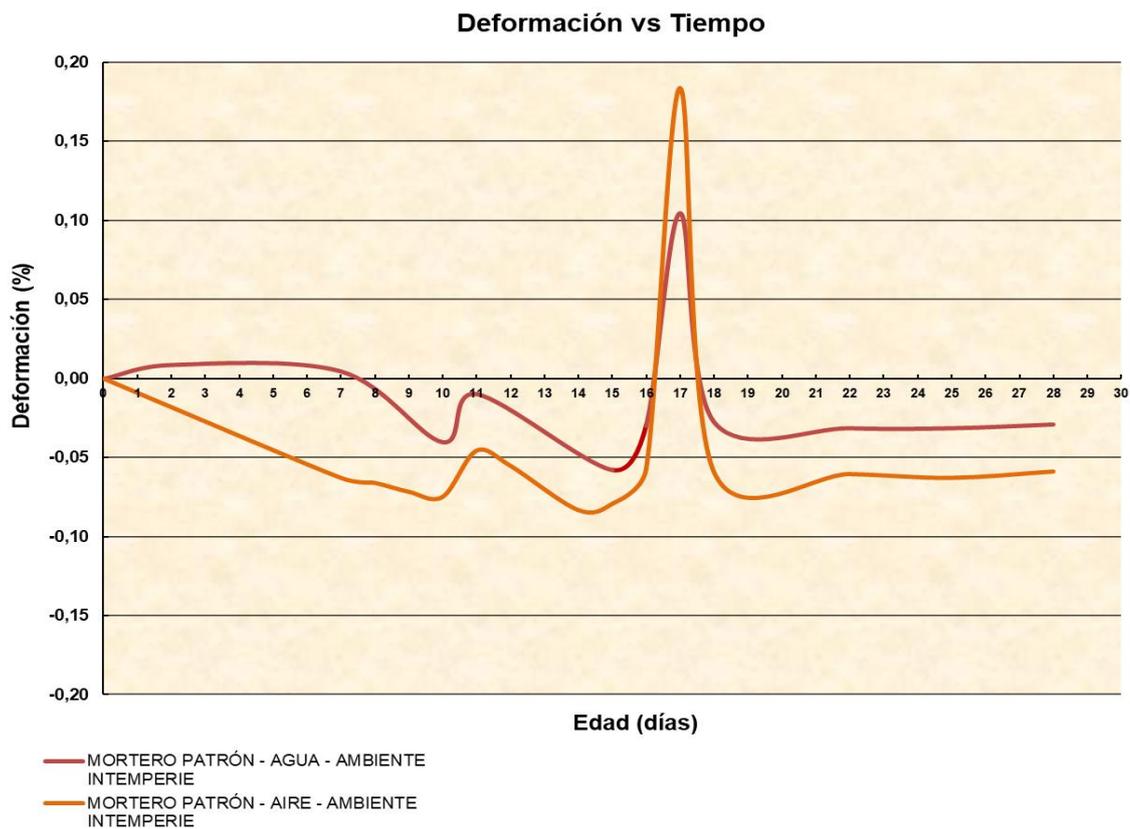


Ilustración 52 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente intemperie 28 días – MSF  
Fuente: Autor

❖ **28 días envejecido en ambiente intemperie - Mortero con fibra THS (MFTHS) - 7 días curado inicial**

Tabla 107 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	17 días	26 días	28 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	6,532	6,580	6,564
MFTHS - AG	6,750	6,790	6,628	6,316	6,384	6,382

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 108 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	17 días	26 días	28 días
MFTHS – AG Promedio	0,0000	0,0008	0,0016	-0,0456	-0,0536	-0,0592

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días envejecido en ambiente intemperie - Mortero con fibra THS (MFTHS) - sin curado inicial**

Tabla 109 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	17 días	26 días	28 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	6,316	6,384	6,382
MFTHS - A1	6,840	6,824	6,830	6,788	6,858	6,850
MFTHS - A2	4,868	4,848	4,860	4,822	4,876	4,860

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 110 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	17 días	26 días	28 días
MFTHS - A1	0,0000	-0,0032	-0,0264	-0,0520	-0,0512	-0,0536
MFTHS - A2	0,0000	-0,0048	-0,0256	-0,0496	-0,0552	-0,0608
MFTHS - A Promedio	0,0000	-0,0040	-0,0260	-0,0508	-0,0532	-0,0572

**Nota:** Fuente: Autor

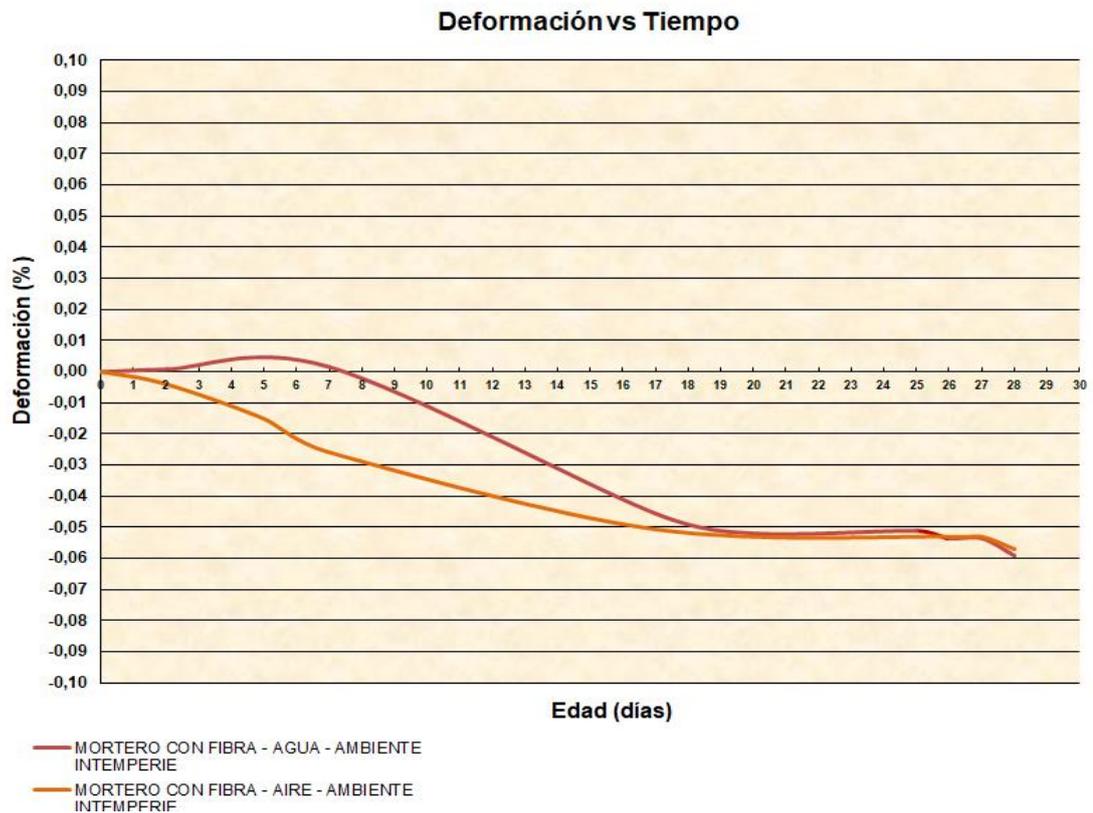


Ilustración 53 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente intemperie 28 días – MFTHS  
Fuente: Autor

❖ **4 meses envejecido en ambiente intemperie - Mortero con fibra THS (MFTHS) - 7 días curado inicial**

Tabla 111 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	68 días	82 días	88 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	5,500	5,482	5,472
MFTHS - AG1	6,568	6,562	6,628	5,696	5,670	5,664

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 112 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	68 días	82 días	88 días
MFTHS – AG Promedio	0,0000	0,0008	0,0016	-0,0536	-0,0568	-0,0552

**Nota:** Fuente: Autor

❖ 4 meses envejecido en ambiente intemperie - Mortero con fibra  
THS (MFTHS) - sin curado inicial

Tabla 113 Lecturas de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	68 días	82 días	88 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	5,500	5,482	5,472
MFTHS - A1	6,840	6,824	6,830	6,008	5,988	5,970
MFTHS - A2	4,868	4,848	4,860	4,024	3,990	3,984

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 114 Resultados de cambio de longitud - ambiente intemperie - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	68 días	82 días	88 días
MFTHS - A1	0,0000	-0,0032	-0,0264	-0,0376	-0,0384	-0,0416
MFTHS - A2	0,0000	-0,0048	-0,0256	-0,0424	-0,0488	-0,0472
MFTHS - A Promedio	0,0000	-0,0040	-0,0260	-0,0400	-0,0436	-0,0444

**Nota:** Fuente: Autor

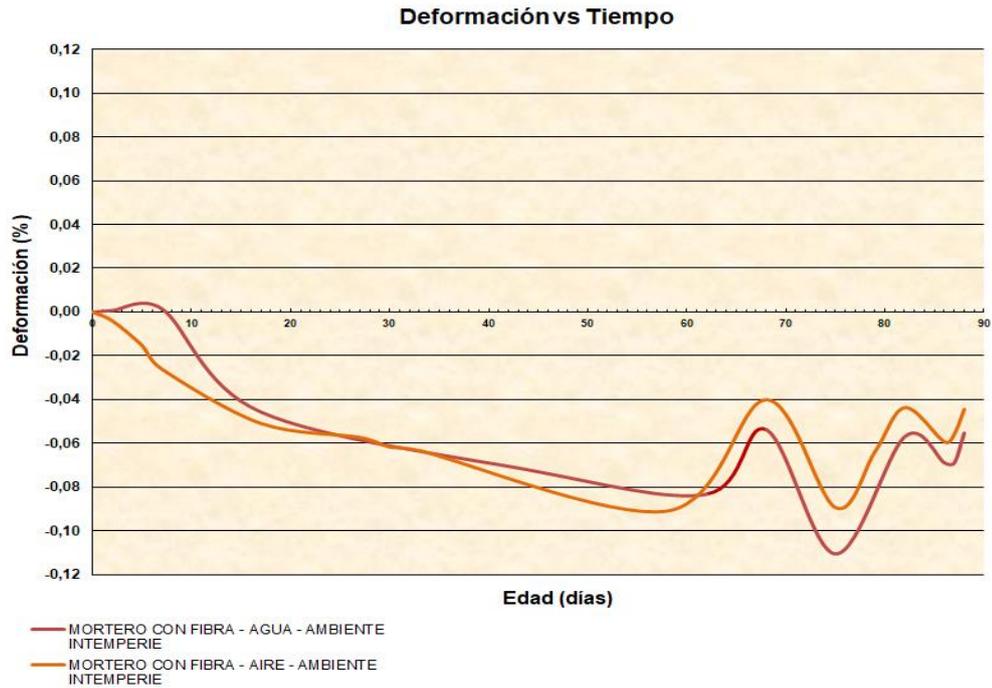


Ilustración 54 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento ambiente intemperie 4 meses - MFTHS  
Fuente: Autor

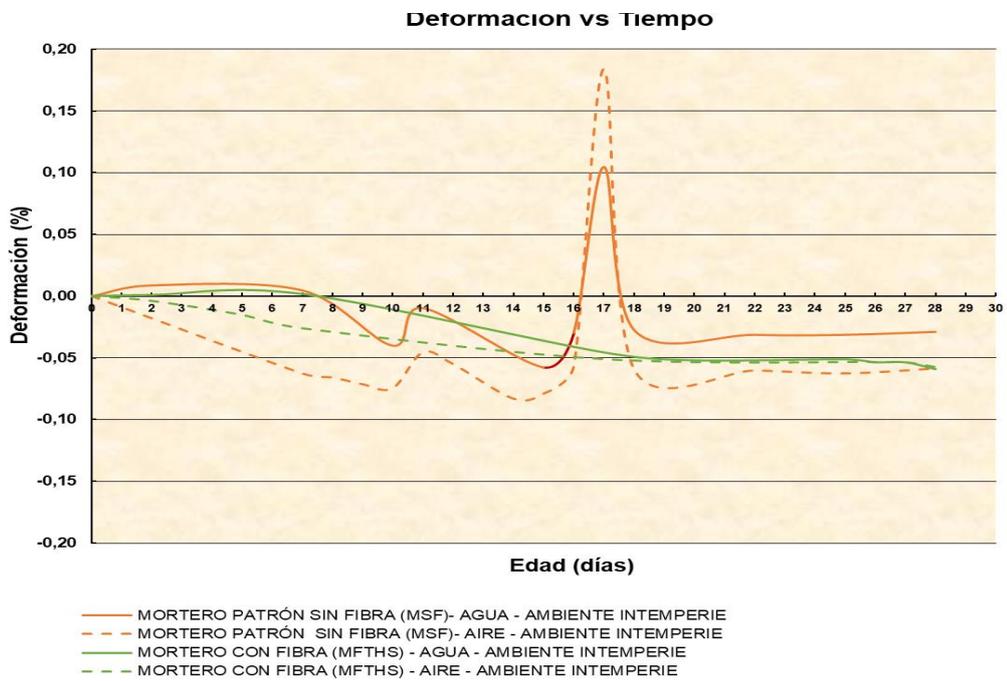


Ilustración 55 Gráfica deformación vs. tiempo para envejecimiento ambiente intemperie - 28 días envejecido - MSF y MFTHS  
Fuente: Autor

## 6.4.2. Envejecimiento acelerado

### 6.4.2.1. Envejecimiento con ciclos Wet - Dry según (Neves et al., 2019) – W-D (1)

Los ensayos se realizaron para muestras que hayan cumplido la siguiente condición: 28 días de curado inicial, 28 días y 4 meses curadas en ambiente laboratorio, es decir, se depositaron en un cuarto donde la temperatura se mantenía en un rango de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  con una humedad estable y adicionalmente la aplicación de 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) con el proceso indicado en el capítulo V del presente trabajo de investigación



Ilustración 56 Serie de ensayos para envejecimiento W-D(1)

Fuente: Autor

- **Densidad en mortero endurecido**

- **❖ Densidad a los 28 días + 6 ciclos sin Fibra (MSF)**

Tabla 115 Mortero sin fibra (MSF) - Masa seca (Ms, sec) 28 días + 6 ciclos W-D (1)

Muestra	Masa 1 (gr)	Masa 2 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	519,1	518,11	0,19%	cumple
D2	522,6	521,59	0,19%	cumple
D3	524,57	523,72	0,16%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 116 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días + 6 ciclos W-D (1)

Muestra	Masa 3 (gr)	Masa 4 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	543,44	543,93	0,09%	cumple
D2	546,28	547,11	0,15%	cumple
D3	549,35	550,43	0,20%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 117 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días + 6 ciclos W-D (1)

Muestra	Masa (gr)
D1	266
D2	272
D3	266

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 118 Resultados de densidad del mortero sin fibra MSF - 28 días + 6 ciclos W-D (1)

Muestra	Ms, sat (gr)	Ms, i(gr)	Vs (m3)	Ms, sec (gr)	Dseco (kg/m3)	promedio (kg/m3)
D1	543,93	266	277,93	518,11	1864	
D2	547,11	272	275,11	521,59	1896	1867
D3	550,43	266	284,43	523,72	1841	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Densidad a los 28 días + 6 ciclos con Fibra (MFTHS)**

Tabla 119 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 28 días + 6 ciclos W-D (1)

<b>Muestra</b>	<b>Masa 1 (gr)</b>	<b>Masa 2 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	557.55	557.22	0.06%	cumple
D2	550.27	550.2	0.01%	cumple
D3	531.03	530.67	0.07%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 120 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días + 6 ciclos W-D (1)

<b>Muestra</b>	<b>Masa 3 (gr)</b>	<b>Masa 4 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	568.7	568.97	0.05%	cumple
D2	562.21	562.54	0.06%	cumple
D3	544.64	545.55	0.17%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 121 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días + 6 ciclos W-D (1)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>
D1	290
D2	286
D3	275

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 122 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 28 días + 6 ciclos W-D (1)

<b>Muestra</b>	<b>Ms, sat (gr)</b>	<b>Ms, i(gr)</b>	<b>Vs (m3)</b>	<b>Ms, sec (gr)</b>	<b>Dseco (kg/m3)</b>	<b>promedio (kg/m3)</b>
D1	568.97	290	278.97	557.22	1997	1983
D2	562.54	286	276.54	550.2	1990	
D3	545.55	275	270.55	530.67	1961	

Nota: Fuente: Autor

❖ **Densidad a los 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS)**

Tabla 123 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 4 meses + 6 ciclos W-D (1)

<b>Muestra</b>	<b>Masa 1 (gr)</b>	<b>Masa 2 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	526.5	525.78	0.14%	cumple
D2	515.9	515.19	0.14%	cumple
D3	537.8	536.81	0.18%	cumple

Nota: Fuente: Autor

Tabla 124 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 4 meses + 6 ciclos W-D (1)

<b>Muestra</b>	<b>Masa 5(gr)</b>	<b>Masa 6 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	560.81	561.67	0.15%	cumple
D2	544.2	545.18	0.18%	cumple
D3	566.33	567.39	0.19%	cumple

Nota: Fuente: Autor

Tabla 125 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 4 meses + 6 ciclos W-D (1)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>
D1	299
D2	289
D3	300

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 126 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 4 meses + 6 ciclos W-D (1)

<b>Muestra</b>	<b>Ms, sat (gr)</b>	<b>Ms, i (gr)</b>	<b>Vs (m3)</b>	<b>Ms, sec (gr)</b>	<b>Dseco (kg/m3)</b>	<b>promedio (kg/m3)</b>
D1	561.67	299	262.67	525.78	2002	2007
D2	545.18	289	256.18	515.19	2011	
D3	567.39	300	267.39	536.81	2008	

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 127 Comparación entre densidades de MSF y MFTHS - 4 meses + 6 ciclos W-D (1)

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>
1	Con fibra THS	28 días	1983
2	Con fibra THS	4 meses	2007
3	Sin fibra	28 días	1867

**Nota:** Fuente: Autor

- **Flexión en estado endurecido**

- ❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W - D (1) - Mortero sin fibra (MSF)**

Tabla 128 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D (1) - mortero sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Masa</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MSF - 1	525,8	3,12	7,31	
MSF - 2	535,3	3,11	7,29	7,13
MSF - 3	530,4	2,89	6,77	

**Nota:** Fuente: Autor

- ❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 129 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D (1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS - 1	558,24	3,46	8,11	
MFTHS - 2	551,61	3,21	7,52	7,81
MFTHS - 3	533,63	3,33	7,80	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses con 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 130 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D (1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS - 1	562,2	2,89	6,76	
MFTHS - 2	547,5	2,66	6,24	6,57
MFTHS - 3	568,3	2,86	6,70	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Resultados globales de resistencia a flexión**

Tabla 131 Resultados de resistencia a flexión - envejecimiento W-D(1)

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
1	Sin fibra	28 días + 6 ciclos W-D(1)	7,13
2	Con fibra THS	28 días + 6 ciclos W-D(1)	7,81
3	Con fibra THS	4 meses + 6 ciclos W-D(1)	6,57

**Nota:** Fuente: Autor

- **Compresión en estado endurecido**

- ❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W - D (1) - Mortero sin fibra (MSF)**

Tabla 132 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MSF 1-1	253,8	43,2	1600	27,0	
MSF 1-2	264,7	44,7	1600	27,9	
MSF 2-1	262,4	46,2	1600	28,9	26,6
MSF 2-2	272,4	39,2	1600	24,5	
MSF 3-1	256,3	40,9	1600	25,6	
MSF 3-2	273,7	41,2	1600	25,8	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W - D (1) - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 133 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS 1-1	263,26	46,2	1600	28,9	
MFTHS 1-2	291,63	49,8	1600	31,1	
MFTHS 2-1	267,46	48,4	1600	30,3	30,5
MFTHS 2-2	281,05	51,5	1600	32,2	
MFTHS 3-1	266,86	50,5	1600	31,6	
MFTHS 3-2	264,49	46,7	1600	29,2	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses con 6 ciclos de envejecimiento W - D (1) - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 134 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS 1-1	289	39,8	1600	24,9	
MFTHS 1-2	269,7	40,8	1600	25,5	
MFTHS 2-1	252	36,2	1600	22,6	24,2
MFTHS 2-2	292,1	35,5	1600	22,2	
MFTHS 3-1	265,5	40,5	1600	25,3	
MFTHS 3-2	298,3	39,6	1600	24,7	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Resultados globales de resistencia a compresión**

Tabla 135 Resultados de resistencia a compresión - envejecimiento W-D(1)

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
1	Sin fibra	28 días + 6 ciclos W-D(1)	26,6
2	Con fibra THS	28 días + 6 ciclos W-D(1)	30,5
3	Con fibra THS	4 meses + 6 ciclos W-D(1)	24,2

**Nota:** Fuente: Autor

- **Cambio de longitud**

- ❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - Mortero sin fibra (MSF) - 7 días curado inicial**

Tabla 136 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Lecturas relativas (mm)</b>					
	<b>0 días</b>	<b>5 días</b>	<b>7 días</b>	<b>22 días</b>	<b>27 días</b>	<b>28 días</b>
Patrón	5,510	5,520	5,482	5,480	5,480	5,480
MSF - AG	5,590	5,610	5,552	5,452	5,429	5,421

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 137 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1)  
– mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	31 días ciclo 1	32 días ciclo 2	35 días ciclo 3	38 días ciclo 4	41 días ciclo 5	44 días ciclo 6
Patrón	5,510	5,494	5,470	5,454	5,454	5,462	5,472
MSF – AG	5,590	5,506	5,450	5,434	5,444	5,444	5,458

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 138 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	5 días	7 días	22 días	27 días	28 días
MSF – AG Promedio	0,0000	0,0040	-0,0040	-0,0432	-0,0524	-0,0556

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 139 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1)  
– mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	0 días	31 días ciclo 1	32 días ciclo 2	35 días ciclo 3	38 días ciclo 4	41 días ciclo 5	44 días ciclo 6
MSF – AG Promedio	0,0000	-0,0272	-	-	-	-0,0392	-0,0376

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - Mortero sin fibra (MSF) - sin curado inicial**

Tabla 140 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	4 días	11 días	22 días	27 días	28 días
Patrón	5,510	5,510	5,470	5,480	5,480	5,480
MSF - A	3,844	3,816	3,720	3,683	3,657	3,650

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 141 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	31 días ciclo 1	32 días ciclo 2	35 días ciclo 3	38 días ciclo 4	41 días ciclo 5	44 días ciclo 6
Patrón	5,510	5,494	5,470	5,454	5,454	5,462	5,472
MSF - A	3,844	3,754	3,698	3,674	3,676	3,667	3,660

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 142 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	4 días	11 días	22 días	27 días	28 días
MSF - A	0,000 0	-0,0336	-0,0192	-0,0524	-0,0628	-0,0656
MSF – A Promedio	0,000 0	-0,0336	-0,0192	-0,0524	-0,0628	-0,0656

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 143 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	0 días	31 días ciclo 1	32 días ciclo 2	35 días ciclo 3	38 días ciclo 4	41 días ciclo 5	44 días ciclo 6
MSF - A	0,0000	-0,0296	-0,0424	-0,0456	-0,0448	-0,0516	-0,0584
MSF – A Promedio	0,0000	-0,0296	-0,0424	-0,0456	-0,0448	-0,0516	-0,0584

**Nota:** Fuente: Autor

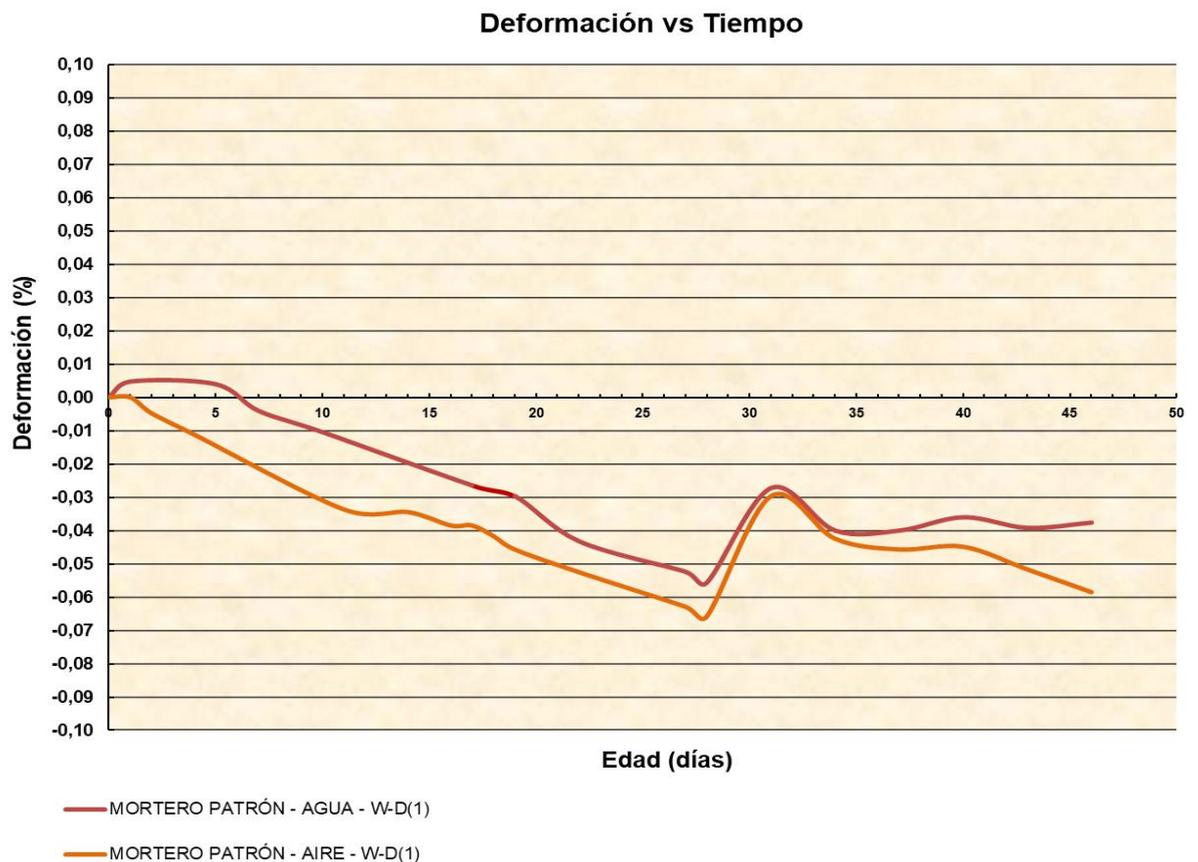


Ilustración 57 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (1) a 28 días + 6 ciclos - MSF

Fuente: Autor

❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - Mortero con fibra THS (MFTHS) - 7 días curado inicial**

Tabla 144 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	19 días	23 días	28 días
Patrón	5,552	5,564	5,618	5,554	5,576	5,560
MFTHS - AG	6,238	6,230	6,294	6,308	6,372	6,380

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 145 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	31 días ciclo 1	32 días ciclo 2	35 días ciclo 3	38 días ciclo 4	41 días ciclo 5	44 días ciclo 6
Patrón	5,552	5,656	5,628	4,764	4,786	4,746	4,820
MFTHS – AG	6,238	6,388	6,376	5,516	5,514	5,508	5,518

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 146 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	19 días	23 días	28 días
MFTHS – AG Promedio	0,0000	0,0080	0,0040	-0,0272	-0,0440	-0,0536

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 147 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	0 días	31 días ciclo 1	32 días ciclo 2	35 días ciclo 3	38 días ciclo 4	41 días ciclo 5	44 días ciclo 6
MFTHS – AG	0,0000	-0,0184	-	-	-	-	-0,0048
Promedio	0		0,0248	0,0264	0,0168	0,0304	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - Mortero con fibra THS (MFTHS) - sin curado inicial**

Tabla 148 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	2 días	7 días	10 días	17 días	28 días
Patrón	6,238	6,230	6,294	6,332	6,324	6,380
MFTHS - A1	6,872	6,846	6,880	6,902	6,884	6,870
MFTHS - A2	5,312	5,278	5,306	5,338	5,312	5,300

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 149 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra de abacá THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	31 días ciclo 1	32 días ciclo 2	35 días ciclo 3	38 días ciclo 4	41 días ciclo 5	44 días ciclo 6
Patrón	6,238	6,388	6,376	5,516	5,514	5,508	5,518
MFTHS - A1	6,872	7,002	6,928	6,036	6,074	6,018	6,098
MFTHS - A2	5,312	5,420	5,338	4,450	4,464	4,450	4,526

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 150 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	2 días	7 días	10 días	17 días	28 días
MFTHS - A1	0,000 0	-0,0072	-0,0192	-0,0256	-0,0296	-0,0576
MFTHS - A2	0,000 0	-0,0104	-0,0248	-0,0272	-0,0344	-0,0616
MFTHS - A Promedio	0,000 0	-0,0088	-0,0220	-0,0264	-0,0320	-0,0596

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 151 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(1)  
- mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	0 días	31 días ciclo 1	32 días ciclo 2	35 días ciclo 3	38 días ciclo 4	41 días ciclo 5	44 días ciclo 6
MFTHS - A1	0,0000	-0,0080	-0,0328	-0,0456	-0,0296	-0,0496	-0,0216
MFTHS - A2	0,0000	-0,0168	-0,0448	-0,0560	-0,0496	-0,0528	-0,0264
MFTHS - A	0,0000	-0,0124	-0,0388	-0,0508	-0,0396	-0,0512	-0,0240
Promedio							

**Nota:** Fuente: Autor

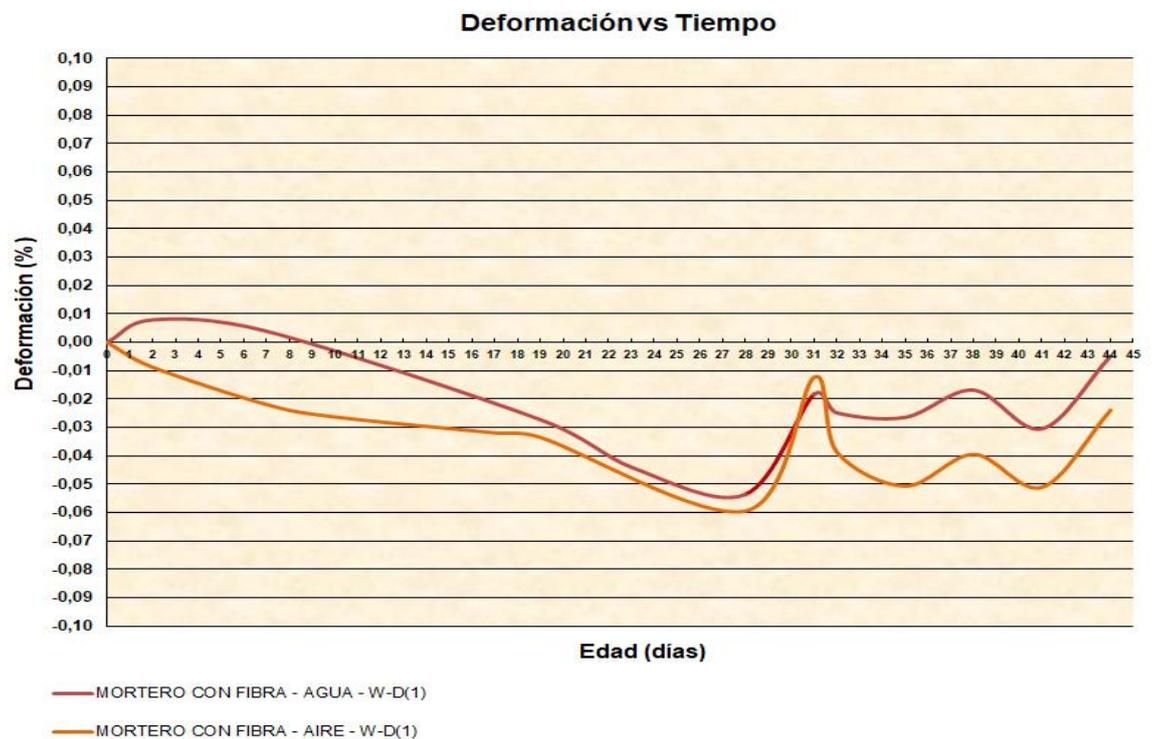


Ilustración 58 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (1) a 28 días + 6 ciclos - MFTHS

Fuente: Autor

❖ 4 meses con 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - Mortero con fibra THS (MFTHS) - 7 días curado inicial

Tabla 152 Lecturas de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	7 días	28 días	44 días	70 días	80 días	95 días
Patrón	6,238	6,294	6,380	5,518	5,468	5,468	5,468
MFTHS - AG	5,552	5,618	5,560	4,820	4,694	4,690	4,650

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 153 Resultados de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	0 días	7 días	28 días	44 días	70 días	80 días	95 días
MFTHS – AG Promedio	0,0000	0,0040	- 0,0536	- 0,0048	- 0,0352	-0,0368	-0,0528

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses con 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - Mortero con fibra THS (MFTHS) - sin curado inicial**

Tabla 154 Lecturas de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	7 días	28 días	44 días	70 días	80 días	95 días
Patrón	6,238	6,294	6,380	5,518	5,458	5,458	5,458
MFTHS - A1	6,872	6,880	6,870	6,098	5,999	5,993	5,981
MFTHS - A2	5,312	5,306	5,300	4,526	4,408	4,400	4,388

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 155 Resultados de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	0 días	7 días	28 días	44 días	70 días	80 días	95 días
MFTHS - A1	0,0000	-0,0192	-	-	-	-0,0396	-0,0444
			0,0576	0,0216	0,0372		
MFTHS - A2	0,0000	-0,0248	-	-	-	-0,0528	-0,0576
			0,0616	0,0264	0,0496		
MFTHS - A	0,0000	-0,0220	-	-	-	-0,0462	-0,0510
Promedio			0,0596	0,0240	0,0434		

**Nota:** Fuente: Autor

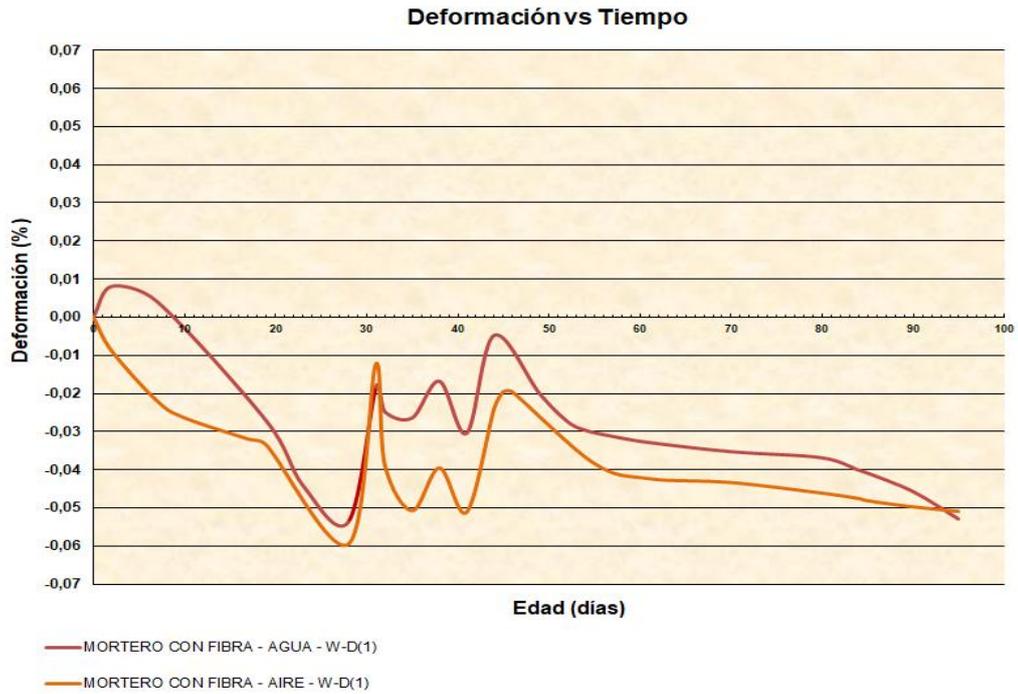


Ilustración 59 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (1) a 4 meses + 6 ciclos - MFTHS  
Fuente: Autor

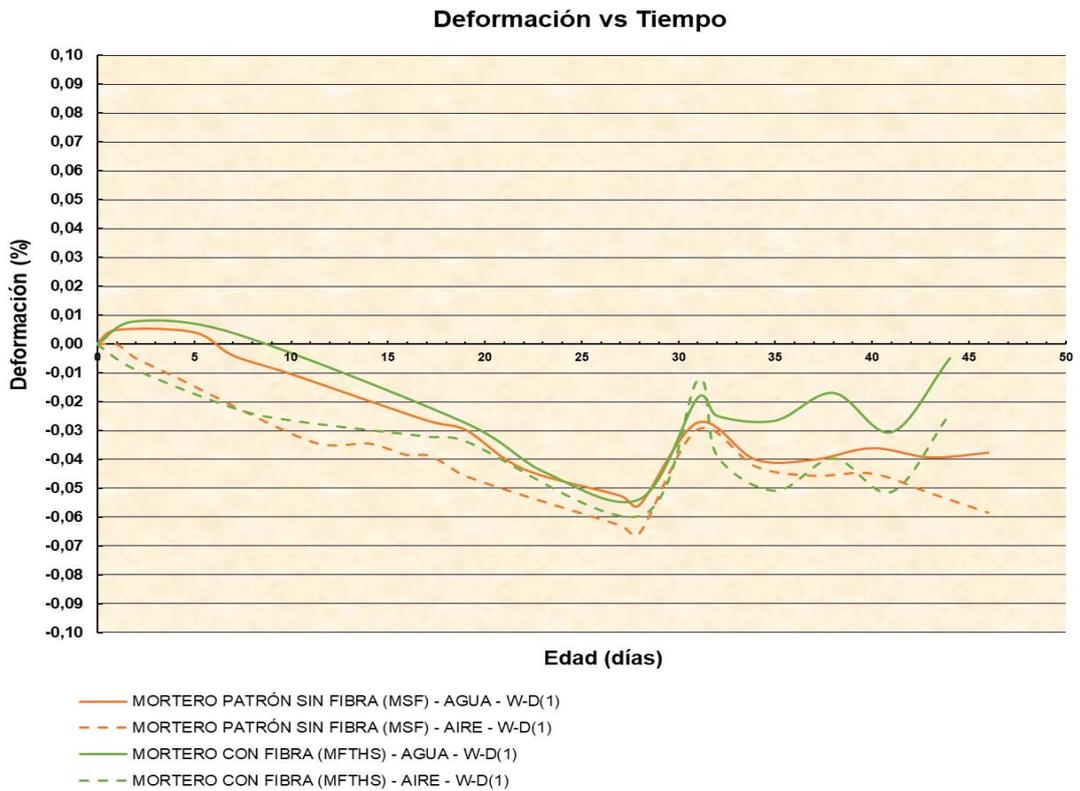


Ilustración 60 Gráfica deformación vs. tiempo para envejecimiento W-D (1) - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) - MSF y MFTHS  
Fuente: Autor

- **Gráfica de incremento y pérdida de masa**

Los datos obtenidos para la realización de las siguientes graficas se las obtuvo por medio de la aplicación de método de envejecimiento W-D (1) descrito en el capítulo V.

A continuación, se ilustrarán el comportamiento gráfico de las probetas de retracción y flexotracción sometidas tanto a húmedo como en seco y a diferentes tiempos de envejecimiento (28 días y 4 meses) con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF), Además de una comparativa de las mismas.

- ❖ **Gráficas de 28 días + 6 ciclos con fibra (MFTHS)**

Tabla 156 Datos promedio en ciclos - probeta de Retracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS)

<b>DATOS PROMEDIO EN CICLOS RETRACCION GANANCIA DE MASA</b>	
<b>ESTADO HUMEDO 28 días + 6 CICLO CON FIBRA (MFTHS)</b>	
ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	6,40%
Ciclo 2	6,54%
Ciclo 3	11,39%
Ciclo 4	16,42%
Ciclo 5	20,54%
Ciclo 6	25,21%

**Nota:** Fuente: Autor

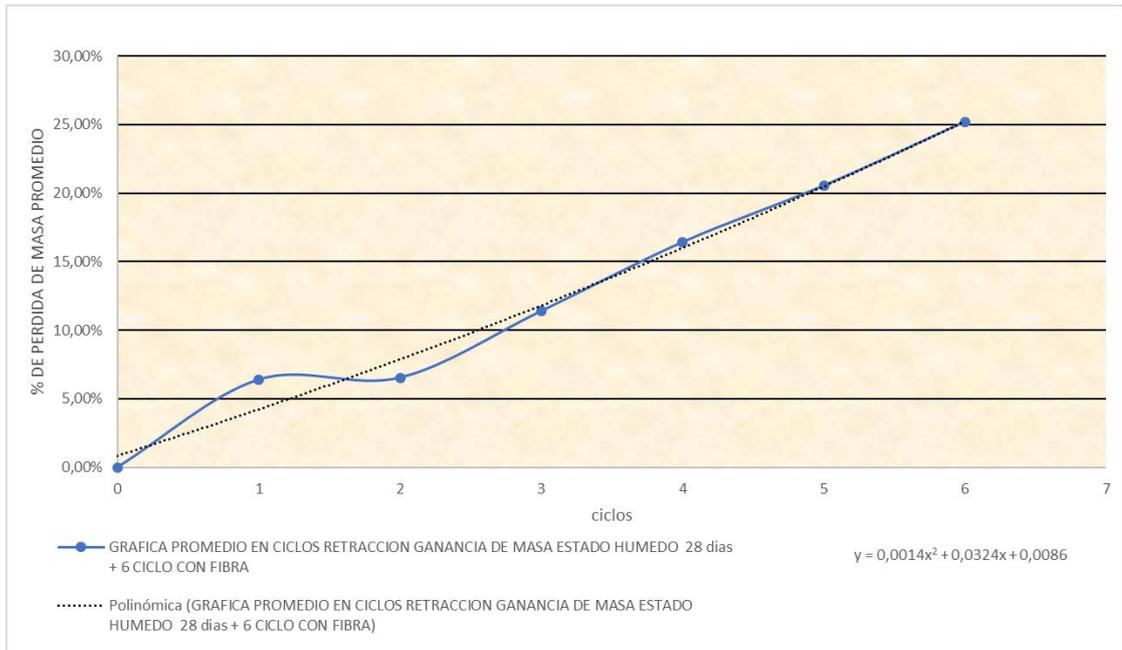


Ilustración 61 Gráfica promedio en ciclos - probeta de Retracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS)

Fuente: Autor

Tabla 157 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS)

<b>DATOS PROMEDIO EN CICLOS FLEXOTRACCIÓN GANANCIA DE MASA ESTADO HUMEDO 28 días + 6 CICLO CON FIBRA (MFTHS)</b>	
ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	5,88%
Ciclo 2	6,07%
Ciclo 3	9,16%
Ciclo 4	12,51%
Ciclo 5	15,24%
Ciclo 6	17,96%

**Nota:** Fuente: Autor

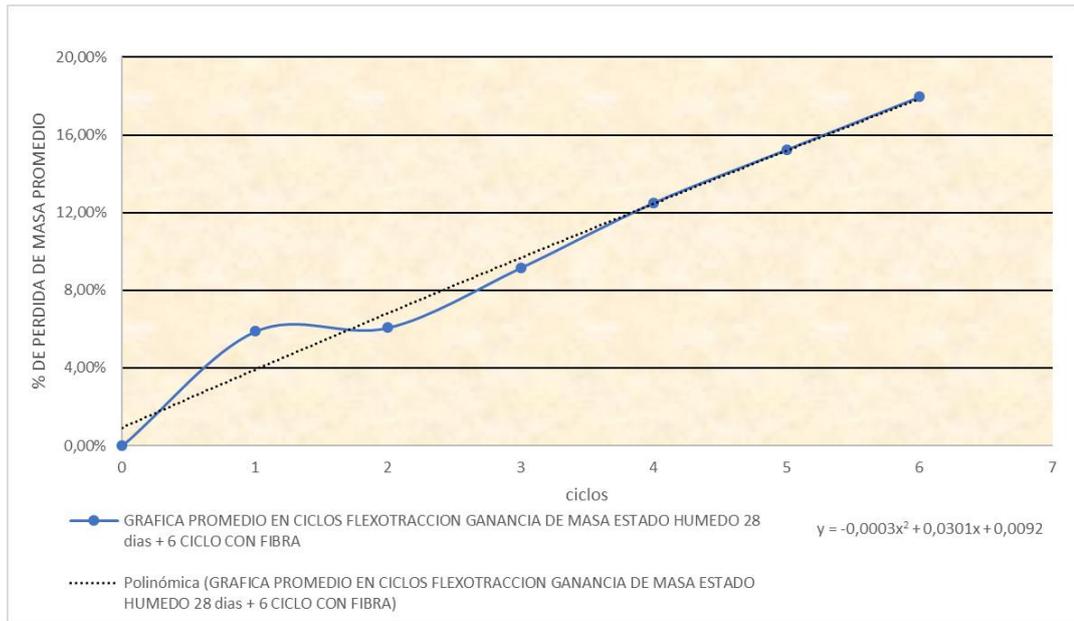


Ilustración 62 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS)

Fuente: Autor

Tabla 158 Datos promedio en ciclos - probeta de retracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS)

<b>DATOS PROMEDIO EN CICLOS RETRACCION PERDIDA DE MASA ESTADO SECO 28 días + 6 CICLO CON FIBRA (MFTHS)</b>	
ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	2,81%
Ciclo 2	4,65%
Ciclo 3	7,17%
Ciclo 4	9,44%
Ciclo 5	11,69%
Ciclo 6	13,21%

**Nota:** Fuente: Autor

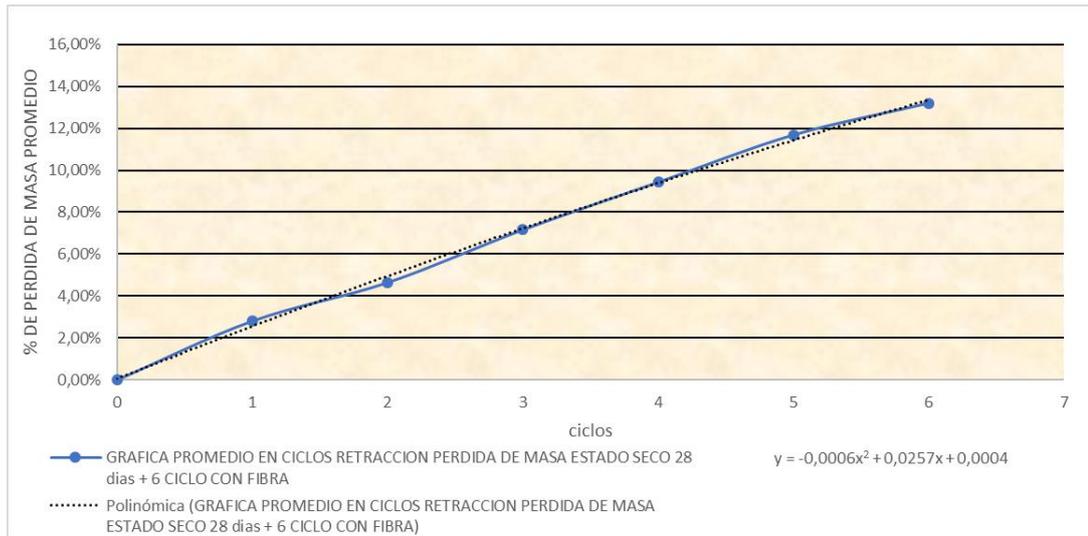


Ilustración 63 Graficas promedio en ciclos - probeta de retracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS)

Fuente: Autor

Tabla 159 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS)

<b>DATOS PROMEDIO EN CICLOS FLEXOTRACCION PERDIDA DE MASA ESTADO SECO 28 días + 6 CICLO CON FIBRA (MFTHS)</b>	
ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	2,54%
Ciclo 2	3,99%
Ciclo 3	5,24%
Ciclo 4	6,76%
Ciclo 5	8,01%
Ciclo 6	8,74%

**Nota:** Fuente: Autor

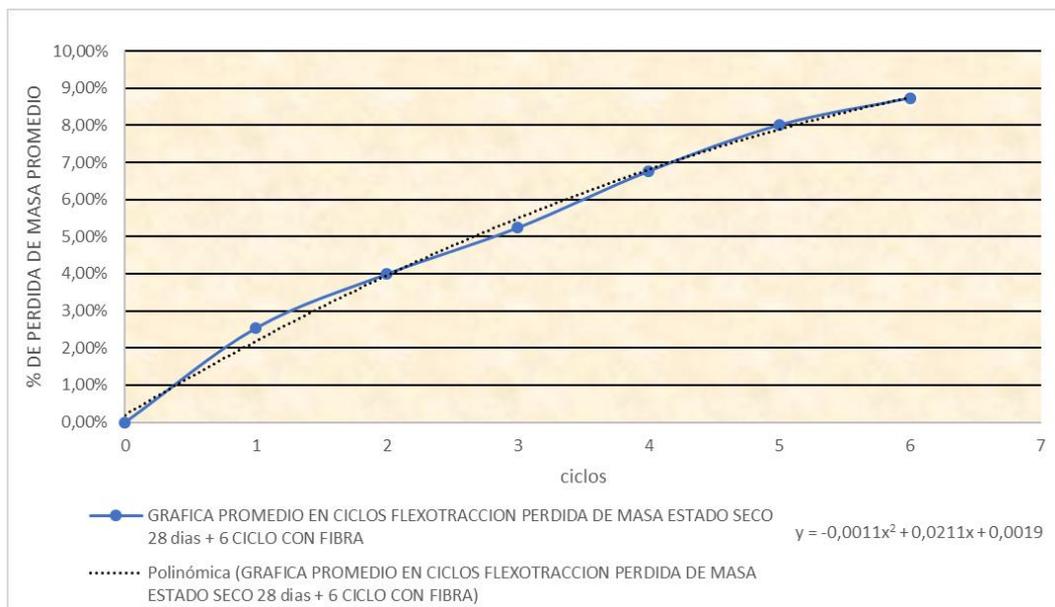


Ilustración 64 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo con fibra (MFTHS)

Fuente: Autor

❖ **Graficas de 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF)**

Tabla 160 Datos promedio en ciclos - probeta de retracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF)

<b>DATOS PROMEDIO EN CICLOS RETRACCION GANANCIA DE MASA ESTADO HUMEDO 28 días + 6 CICLO SIN FIBRA (MSF)</b>	
ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	3,98%
Ciclo 2	7,78%
Ciclo 3	11,42%
Ciclo 4	15,48%
Ciclo 5	19,14%
Ciclo 6	22,87%

**Nota:** Fuente: Autor

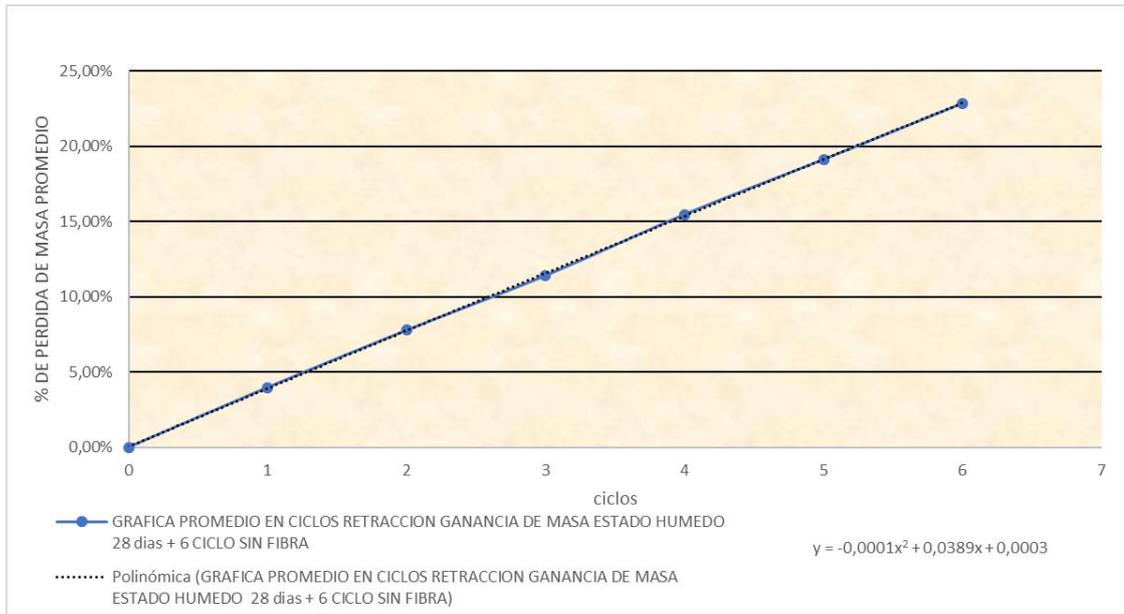


Ilustración 65 Grafica promedio en ciclos - probeta de retracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF)

Fuente: Autor

Tabla 161 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF)

<b>DATOS PROMEDIO EN CICLOS FLEXOTRACCION GANANCIA DE MASA ESTADO HUMEDO 28 días + 6 CICLO SIN FIBRA (MSF)</b>	
ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	0,03%
Ciclo 2	0,36%
Ciclo 3	2,42%
Ciclo 4	5,38%
Ciclo 5	7,22%
Ciclo 6	9,30%

**Nota:** Fuente: Autor

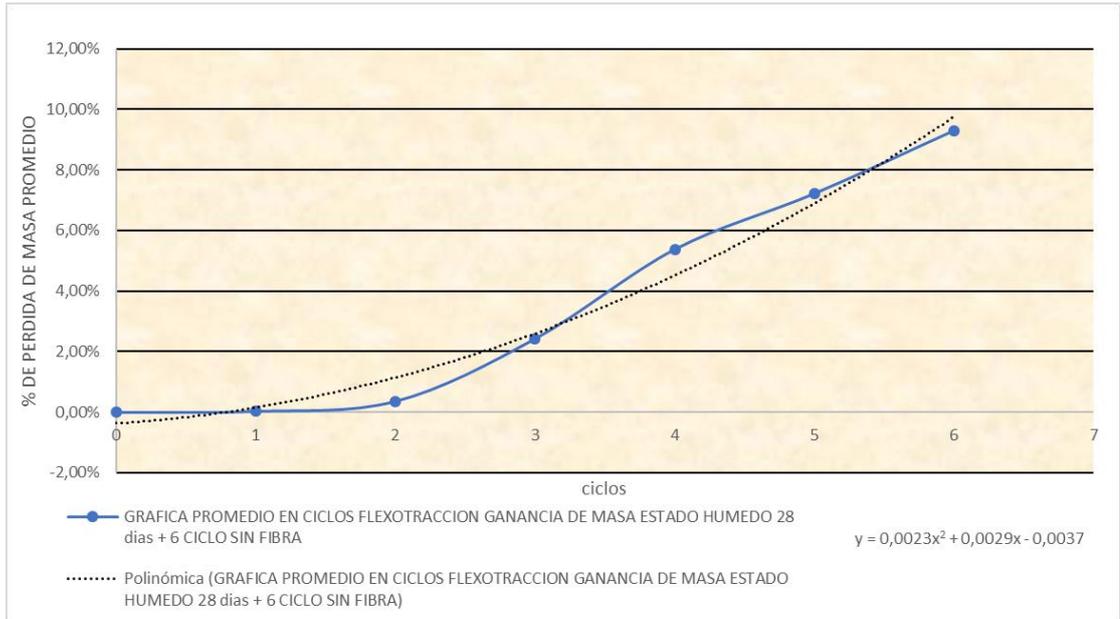


Ilustración 66 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF)

Fuente: Autor

Tabla 162 Datos promedio en ciclos - probeta de retracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF)

<b>DATOS PROMEDIO EN CICLOS RETRACCION PERDIDA DE MASA ESTADO SECO 28 días + 6 CICLO SIN FIBRA (MSF)</b>	
ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	1,66%
Ciclo 2	3,78%
Ciclo 3	5,82%
Ciclo 4	7,76%
Ciclo 5	9,65%
Ciclo 6	12,03%

**Nota:** Fuente: Autor

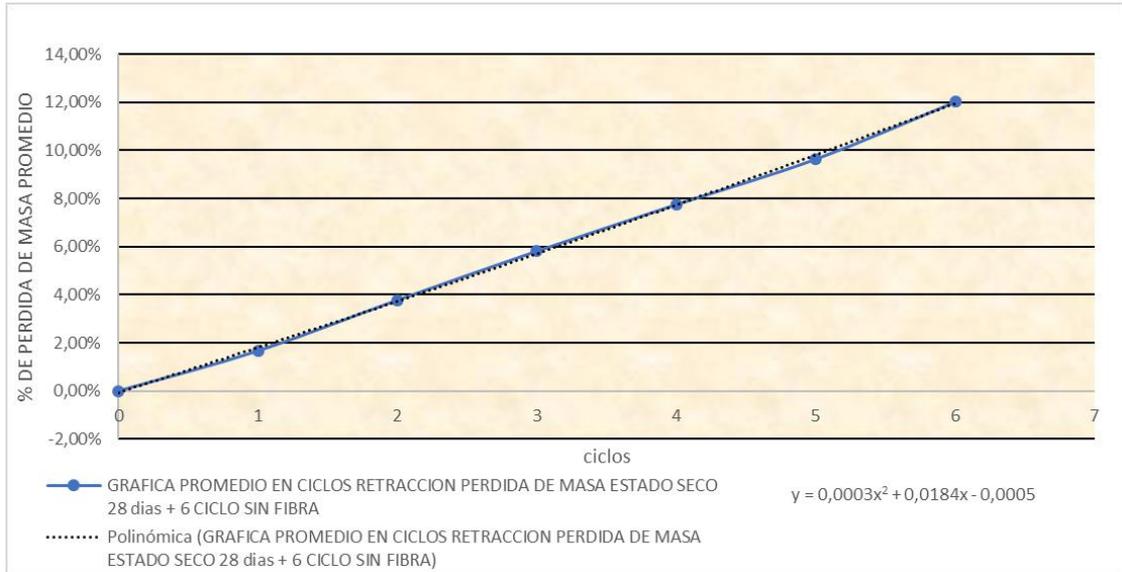


Ilustración 67 Grafica promedio en ciclos - probeta de retracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF)

Fuente: Autor

Tabla 163 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF)

<b>DATOS PROMEDIO EN CICLOS FLEXOTRACCION PERDIDA DE MASA ESTADO SECO 28 días + 6 CICLO SIN FIBRA (MSF)</b>	
ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	1,11%
Ciclo 2	1,49%
Ciclo 3	2,92%
Ciclo 4	4,18%
Ciclo 5	5,36%
Ciclo 6	6,78%

**Nota:** Fuente: Auto

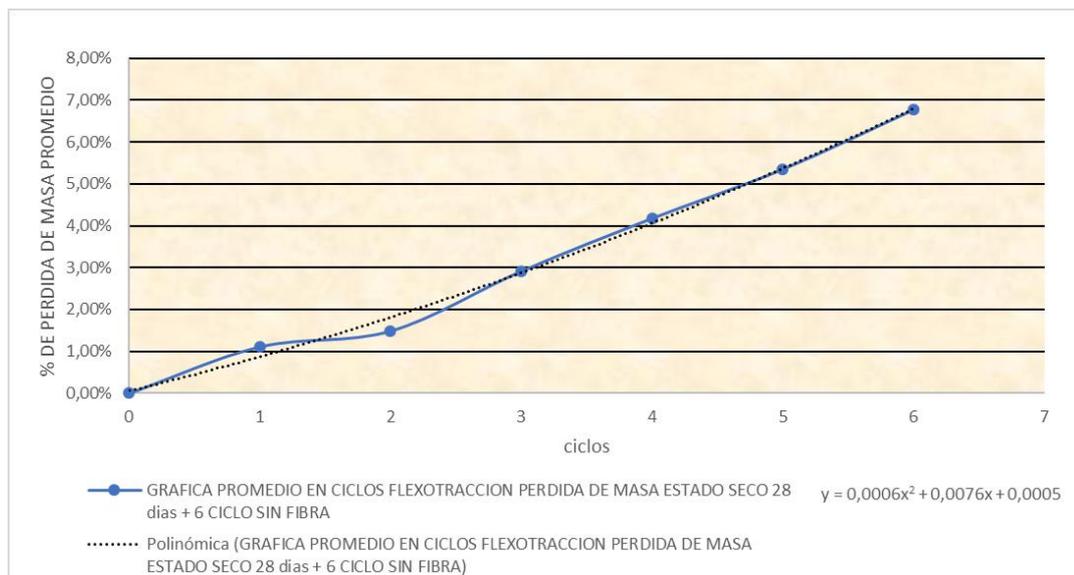


Ilustración 68 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 28 días + 6 ciclo sin fibra (MSF)

Fuente: Autor

❖ **Graficas de 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS)**

Tabla 164 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS)

<b>DATOS PROMEDIO EN CICLOS FLEXOTRACCION GANANCIA DE MASA ESTADO HUMEDO 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS)</b>	
ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	5,54%
Ciclo 2	9,71%
Ciclo 3	15,08%
Ciclo 4	22,52%
Ciclo 5	29,75%
Ciclo 6	34,32%

Nota: Fuente: Autor

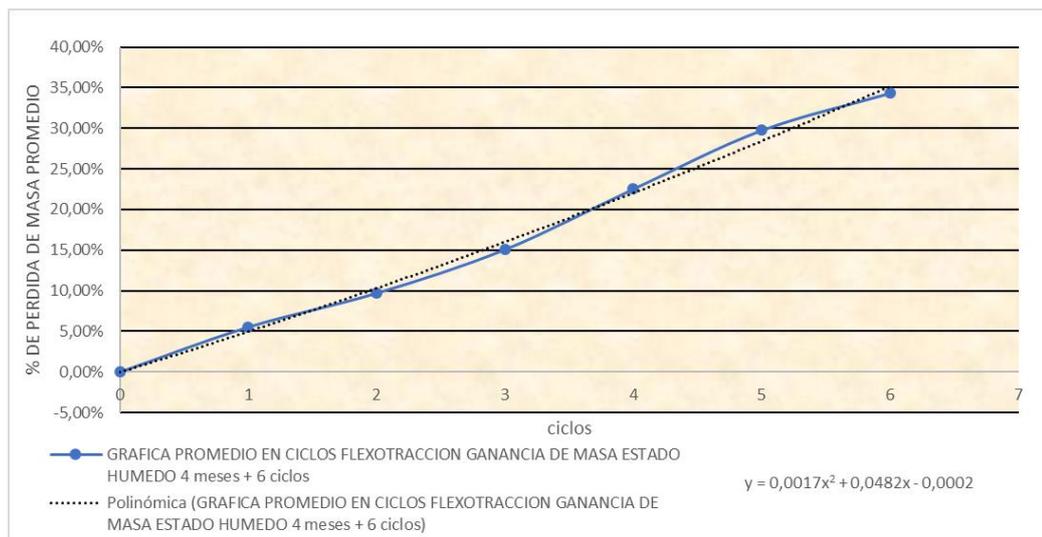


Ilustración 69 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - ganancia de masa en estado húmedo 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS)

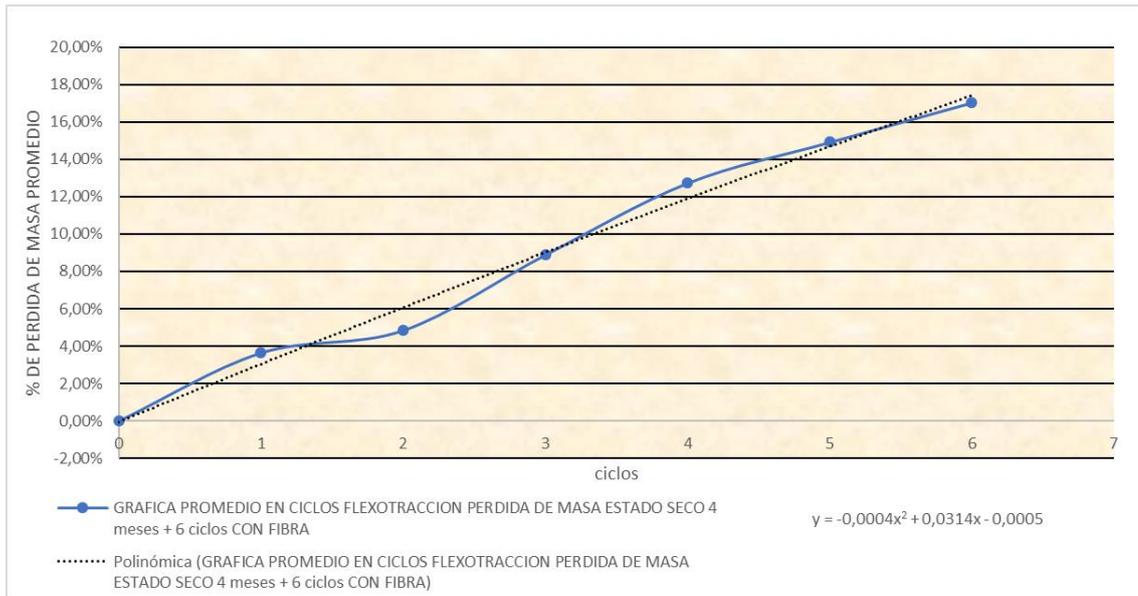
Fuente: Autor

Tabla 165 Datos promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS)

**GRAFICA PROMEDIO EN CICLOS FLEXOTRACCION PERDIDA DE MASA ESTADO SECO 4 meses + 6 ciclos CON FIBRA (MFTHS)**

ciclo 0	0,00%
Ciclo 1	3,65%
Ciclo 2	4,85%
Ciclo 3	8,89%
Ciclo 4	12,73%
Ciclo 5	14,92%
Ciclo 6	17,03%

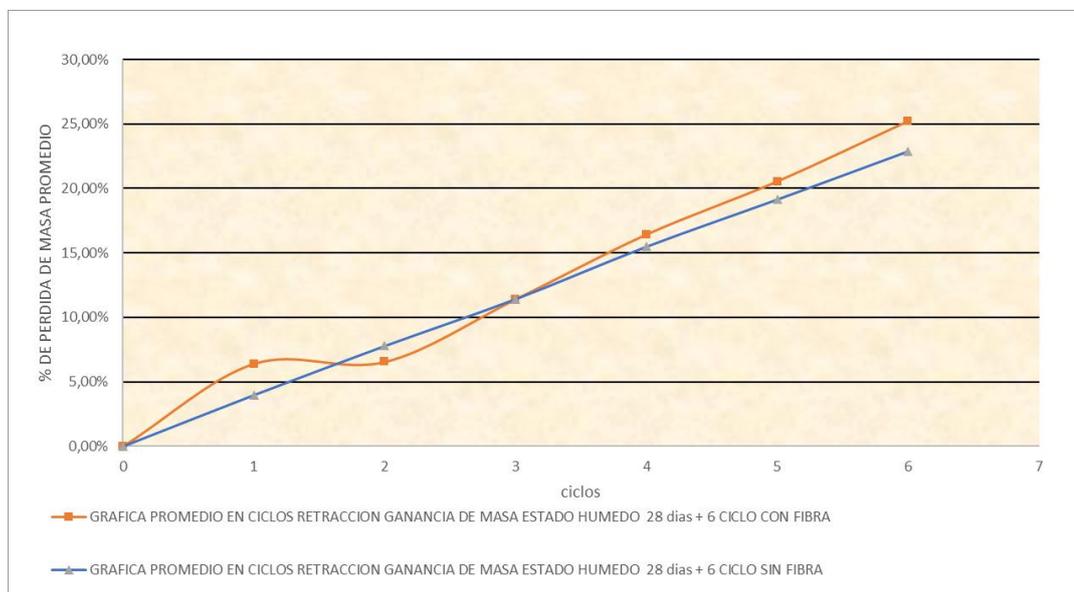
**Nota:** Fuente: Autor



**Ilustración 70 Grafica promedio en ciclos - probeta de Flexotracción - pérdida de masa en estado seco 4 meses + 6 ciclos con fibra (MFTHS)**

Fuente: Autor

**❖ Gráficas comparativas con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos**



**Ilustración 71 Graficas comparativas promedio de retracción estado húmedo con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos**

Fuente: Autor

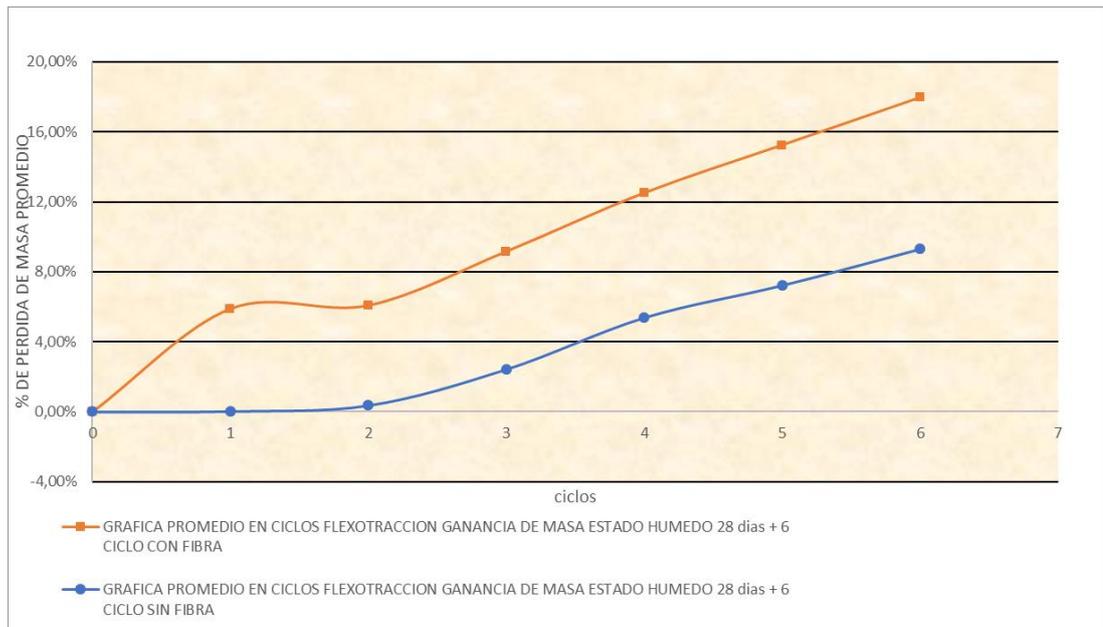


Ilustración 72 Graficas comparativas promedio de flexotracción estado húmedo con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos

Fuente: Autor

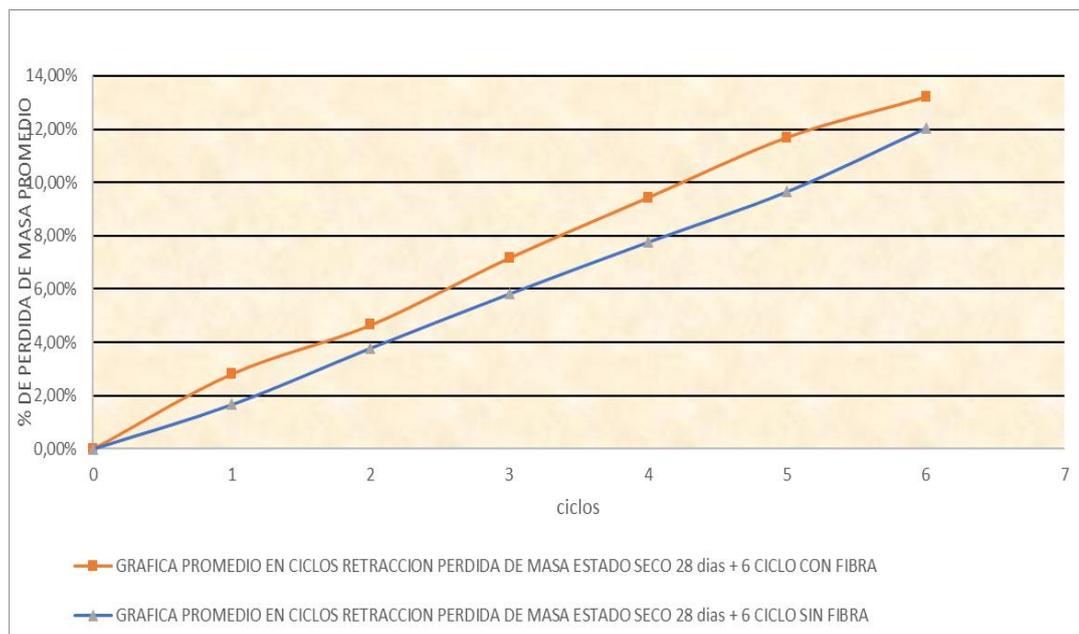


Ilustración 73 Graficas comparativas promedio de retracción estado seco con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos

Fuente: Autor

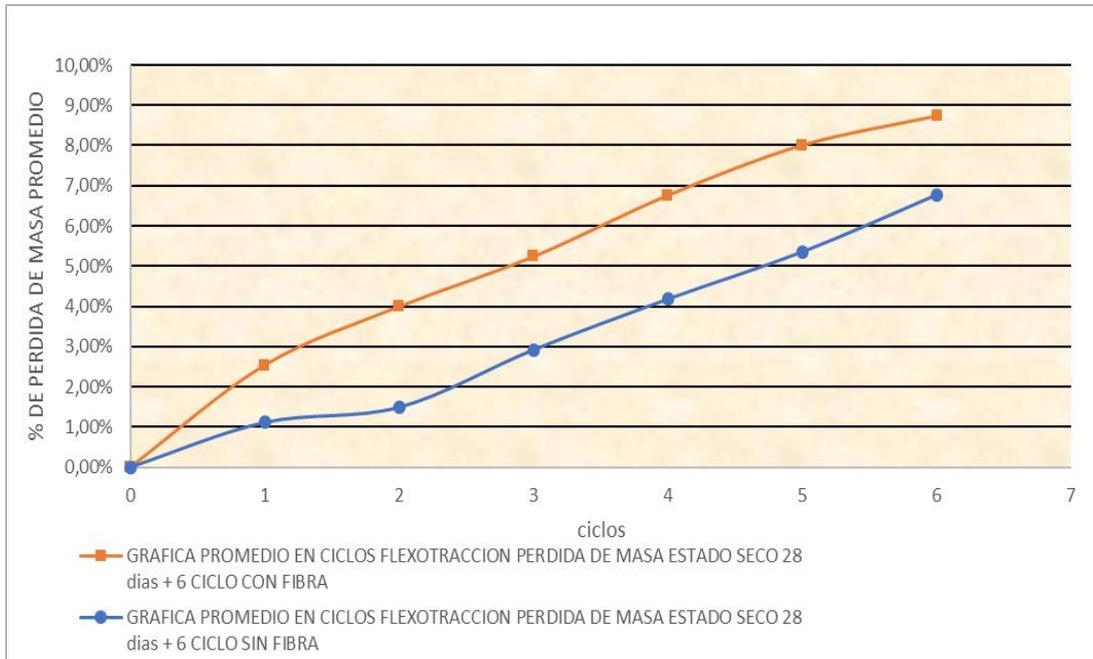


Ilustración 74 Graficas comparativas promedio de flexotracción estado seco con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos

Fuente: Autor

❖ **Graficas comparativas con fibra de 28 días + 6 ciclos de envejeciendo y 4 meses + 6 ciclos de envejeciendo con fibra (MFTHS)**

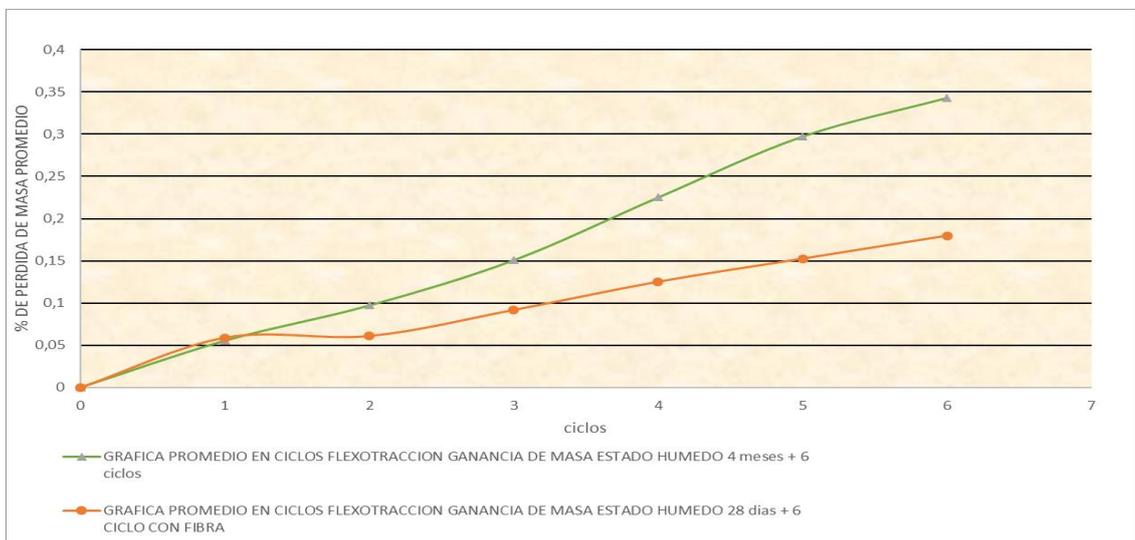


Ilustración 75 Graficas comparativas con fibra de 28 días + 6 ciclos de envejecimiento y 4 meses + 6 ciclos de envejeciendo estado húmedo con fibra (MFTHS)

Fuente: Autor

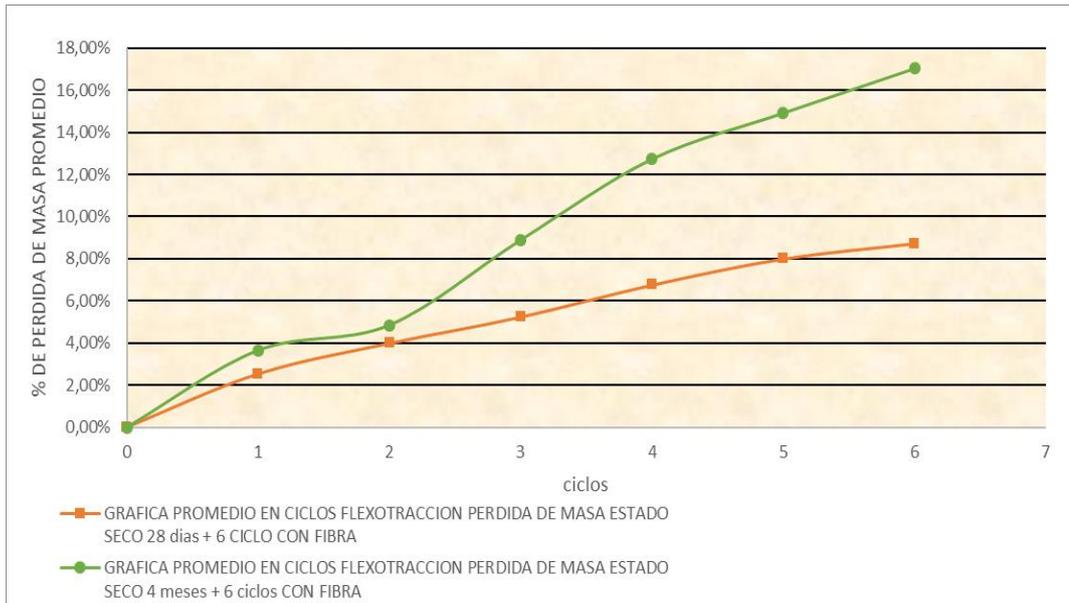


Ilustración 76 Graficas comparativas con fibra de 28 días + 6 ciclos de envejeciendo y 4 meses + 6 ciclos de envejeciendo estado seco con fibra (MFTHS)

Fuente: Autor

#### 6.4.2.2. Envejecimiento con ciclos Wet - Dry según (Wei et al., 2016) – W-D (2)

Los ensayos se realizaron para muestras que hayan cumplido la siguiente condición: 28 días de curado inicial, 28 días y 4 meses curadas en ambiente laboratorio, es decir, se depositaron en un cuarto donde la temperatura se mantenía en un rango de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  con una humedad estable y adicionalmente la aplicación de 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) con el proceso indicado en el capítulo V del presente trabajo de investigación



Ilustración 77 Serie de ensayos realizados para envejecimiento W-D (2)

Fuente: Autor

- **Densidad en estado endurecido**
- ❖ **Densidad a los 28 días + 6 ciclos sin Fibra (MSF)**

Tabla 166 Mortero sin fibra (MSF) - Masa seca (Ms, sec) 28 días + 6 ciclos W-D (2)

<b>Muestra</b>	<b>Masa 1 (gr)</b>	<b>Masa 2 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>Verificación</b>
D1	524.86	523.82	0.20%	cumple
D2	530.15	529.22	0.18%	cumple
D3	513.36	512.87	0.10%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 167 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días + 6 ciclos W-D (2)

<b>Muestra</b>	<b>Masa 3 (gr)</b>	<b>Masa 4 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>verificación</b>
D1	540.4	541.48	0.20%	cumple
D2	550.49	551.51	0.19%	cumple
D3	543.77	544.6	0.15%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 168 Mortero sin fibra (MSF) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días + 6 ciclos W-D (2)

Muestra	Masa (gr)
D1	271
D2	276
D3	270

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 169 Resultados de densidad del mortero sin fibra (MSF) - 28 días + 6 ciclos W-D (2)

Muestra	Ms, sat (gr)	Ms, i (gr)	Vs (m3)	Ms, sec (gr)	Dseco (kg/m3)	promedio (kg/m3)
D1	541.48	271	270.48	523.82	1937	1909
D2	551.51	276	275.51	529.22	1921	
D3	544.6	270	274.6	512.87	1868	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Densidad a los 28 días + 6 ciclos con Fibra (MFTHS)**

Tabla 170 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 28 días + 6 ciclos W-D (2)

Muestra	Masa 1 (gr)	Masa 2 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	539,92	538,9	0,19%	cumple
D2	542,43	541,36	0,20%	cumple
D3	543,82	542,89	0,17%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 171 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 28 días + 6 ciclos W-D (2)

Muestra	Masa 3 (gr)	Masa 4 (gr)	Variación 0.2%	Verificación
D1	569,01	569,96	0,17%	cumple
D2	570,07	570,98	0,16%	cumple
D3	577,07	578	0,16%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 172 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 28 días + 6 ciclos W-D (2)

Muestra	Masa (gr)
D1	300
D2	299
D3	304

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 173 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 28 días + 6 ciclos W-D (2)

Muestra	Ms, sat (gr)	Ms, i(gr)	Vs (m3)	Ms, sec (gr)	Dseco (kg/m3)	promedio (kg/m3)
D1	569,96	300	269,96	538,9	1996	
D2	570,98	299	271,98	541,36	1990	1989
D3	578	304	274	542,89	1981	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Densidad a los 4 meses + 6 ciclos con Fibra (MFTHS)**

Tabla 174 Mortero con fibra THS (MFTHS) - Masa seca (Ms, sec) 4 meses + 6 ciclos W-D (2)

<b>Muestra</b>	<b>Masa 1 (gr)</b>	<b>Masa 2 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>verificación</b>
D1	526.03	525.03	0.19%	cumple
D2	526.78	525.99	0.15%	cumple
D3	522.09	521.05	0.20%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 175 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Saturada (Ms, sat) 4 meses + 6 ciclos W-D (2)

<b>Muestra</b>	<b>Masa 3 (gr)</b>	<b>Masa 4 (gr)</b>	<b>Variación 0.2%</b>	<b>verificación</b>
D1	539.03	540.04	0.19%	cumple
D2	539.3	540.36	0.20%	cumple
D3	537.33	538.36	0.19%	cumple

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 176 Mortero con fibra (MFTHS) - Masa Sumergida (Ms, i) 4 meses + 6 ciclos W-D (2)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>
D1	285
D2	283
D3	283

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 177 Resultados de densidad del mortero con fibra THS (MFTHS) - 4 meses + 6 ciclos W-D (2)

<b>Muestra</b>	<b>Ms, sat (gr)</b>	<b>Ms, i(gr)</b>	<b>Vs (m3)</b>	<b>Ms, sec (gr)</b>	<b>Dseco (kg/m3)</b>	<b>promedio (kg/m3)</b>
D1	540.04	285	255.04	525.03	2059	2048
D2	540.36	283	257.36	525.99	2044	
D3	538.36	283	255.36	521.05	2040	

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 178 Comparación entre densidades de MSF y MFTHS - 4 meses + 6 ciclos W-D (2)

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>
1	Con fibra THS	28 días	1989
2	Con fibra THS	4 meses	2048
3	Sin fibra	28 días	1909

**Nota:** Fuente: Autor

- **Flexión en mortero endurecido**

- ❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero sin fibra (MSF)**

Tabla 179 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D(2) – mortero sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MSF - 1	569,3	3,74	8,77	
MSF - 2	568,7	3,80	8,91	8,24
MSF - 3	575,3	3,01	7,04	

**Nota:** Fuente: Autor

- ❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 180 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS - 1	527,39	3,9	9,14	
MFTHS - 2	533,6	3,6	8,44	8,91
MFTHS - 3	522,1	3,9	9,14	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 181 Resistencia a flexión - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

<b>Muestra</b>	<b>Masa</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MFTHS - 1	539,5	3,05	7,15	
MFTHS - 2	539,6	3,03	7,09	7,05
MFTHS - 3	537,6	2,95	6,90	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Resultados globales de resistencia a flexión**

Tabla 182 Resultados globales de resistencia a flexión - envejecimiento W-D(2)

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
1	Sin fibra	28 días + 6 ciclos W-D(2)	8,24
2	Con fibra THS	28 días + 6 ciclos W-D(2)	8,91
3	Con fibra THS	4 meses + 6 ciclos W-D(2)	7,05

**Nota:** Fuente: Autor

- **Compresión en estado endurecido**

- ❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero sin fibra (MSF)**

Tabla 183 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(2) - mortero sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Área transversal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
MSF 1-1	297,7	53,2	1600	33,3	
MSF 1-2	270,9	55,8	1600	34,9	
MSF 2-1	290,7	57,7	1600	36,1	35,1
MSF 2-2	277,3	59,5	1600	37,2	
MSF 3-1	284,9	55,7	1600	34,8	
MSF 3-2	289,8	55,0	1600	34,4	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 184 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Masa (g)	Carga (KN)	Área transversal (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)
MFTHS 1-1	275,35	60,7	1600	37,9	
MFTHS 1-2	244,59	58,2	1600	36,4	
MFTHS 2-1	251	62,1	1600	38,8	37,6
MFTHS 2-2	277,4	64,2	1600	40,1	
MFTHS 3-1	296,4	58,9	1600	36,8	
MFTHS 3-2	222,71	57,2	1600	35,8	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **4 meses con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 185 Resultados a compresión - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Masa (g)	Carga (KN)	Área transversal (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)
MFTHS 1-1	263,8	44,0	1600	27,5	
MFTHS 1-2	274	45,5	1600	28,4	
MFTHS 2-1	265,3	43,6	1600	27,2	27,9
MFTHS 2-2	270,4	46,3	1600	29,0	
MFTHS 3-1	240,9	45,2	1600	28,3	
MFTHS 3-2	296,5	43,0	1600	26,8	

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **Resultados globales de resistencia a compresión**

Tabla 186 Resultados globales de resistencia a compresión - envejecimiento W-D(2)

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo de envejecimiento</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
1	Sin fibra	28 días + 6 ciclos W-D(2)	35,1
2	Con fibra THS	28 días + 6 ciclos W-D(2)	37,6
3	Con fibra THS	4 meses + 6 ciclos W-D(2)	27,9

Nota: Fuente: Autor

- **Cambio de longitud**

- ❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero sin fibra (MSF) - 7 días curado inicial**

Tabla 187 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF)

<b>Muestra</b>	<b>Lecturas relativas (mm)</b>					
	<b>0 días</b>	<b>7 días</b>	<b>18 días</b>	<b>22 días</b>	<b>27 días</b>	<b>28 días</b>
Patrón	5,506	5,476	5,480	5,480	5,480	5,480
MSF - AG	4,452	4,416	4,338	4,325	4,307	4,302

Nota: Fuente: Autor

Tabla 188 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D (2)  
- mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	31 días ciclo 1	34 días ciclo 2	37 días ciclo 3	40 días ciclo 4	43 días ciclo 5	46 días ciclo 6
Patrón	5,506	5,478	5,468	5,460	5,476	5,462	5,476
MSF - AG	4,452	4,474	4,438	4,488	4,474	4,462	4,408

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 189 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	7 días	18 días	22 días	27 días	28 días
MSF – AG Promedio	0,0000	-0,0024	-0,0352	-0,0404	-0,0476	-0,0496

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 190 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D (2)  
- mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	0 días	31 días ciclo 1	34 días ciclo 2	37 días ciclo 3	40 días ciclo 4	43 días ciclo 5	46 días ciclo 6
MSF – AG Promedio	0,0000	0,0200	0,0096	0,0328	0,0208	0,0216	-0,0056

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero sin fibra (MSF) - sin curado inicial**

Tabla 191 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	7 días	19 días	22 días	27 días	28 días
Patrón	5,506	5,476	5,480	5,480	5,480	5,480
MSF - A	4,160	4,020	4,000	3,990	3,984	3,980

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 192 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	31 días ciclo 1	34 días ciclo 2	37 días ciclo 3	40 días ciclo 4	43 días ciclo 5	46 días ciclo 6
Patrón	5,506	5,478	5,468	5,460	5,476	5,462	5,476
MSF - A	4,160	4,152	4,094	4,152	4,136	4,124	4,022

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 193 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	7 días	19 días	22 días	27 días	28 días
MSF – A Promedio	0,0000	-0,0440	-0,0536	-0,0576	-0,0600	-0,0616

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 194 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D (2) - mortero sin fibra (MSF)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	0 días	31 días ciclo 1	34 días ciclo 2	37 días ciclo 3	40 días ciclo 4	43 días ciclo 5	46 días ciclo 6
MSF – A Promedio	0,0000	0,0080	-0,0112	0,0152	0,0024	0,0032	-0,0432

**Nota:** Fuente: Autor

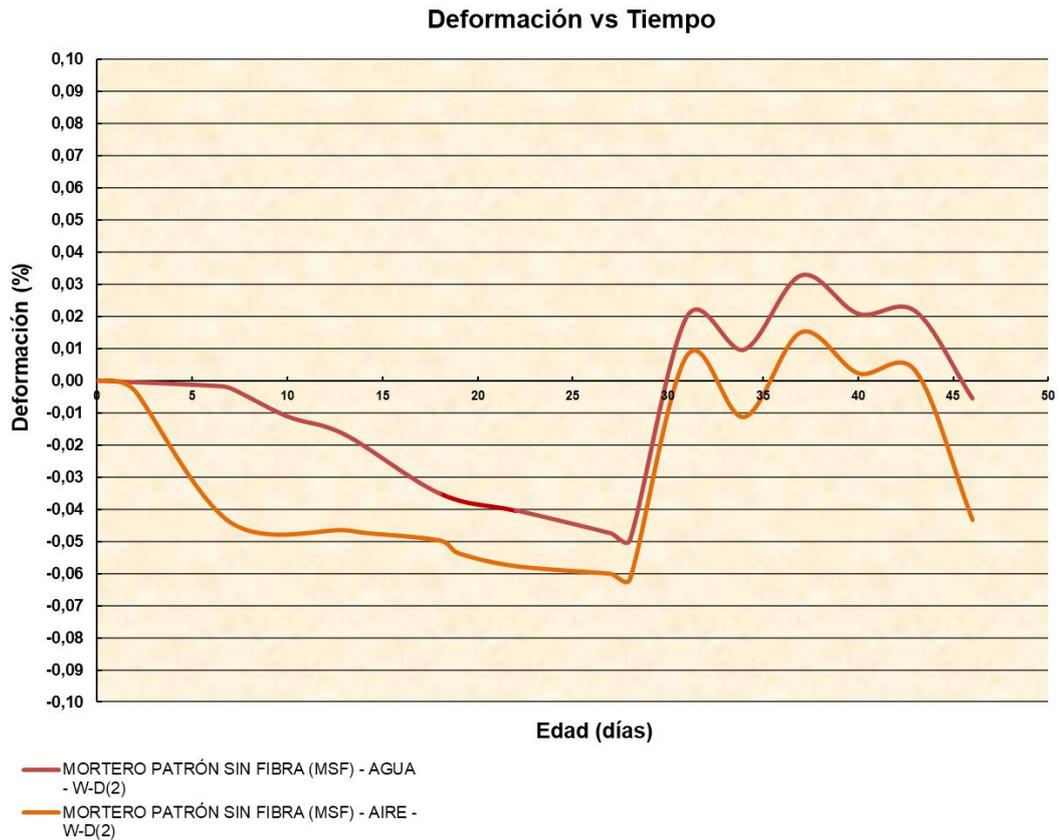


Ilustración 78 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (2) a 28 días + 6 ciclos – MSF  
Fuente: Autor

**❖ 28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero con fibra THS (MFTHS) - 7 días curado inicial**

Tabla 195 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	7 días	12 días	20 días	26 días	28 días
Patrón	6,308	6,356	6,356	6,356	6,356	6,356
MFTHS - AG	7,720	7,770	7,750	7,722	7,686	7,670

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 196 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	31 días ciclo 1	34 días ciclo 2	37 días ciclo 3	40 días ciclo 4	43 días ciclo 5	46 días ciclo 6
Patrón	6,308	6,384	6,380	6,308	6,308	6,308	6,308
MFTHS - AG	7,720	7,568	7,576	7,616	7,520	7,765	7,698

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 197 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	7 días	12 días	20 días	26 días	28 días
MFTHS – AG Promedio	0,0000	0,0008	-0,0072	-0,0184	-0,0328	-0,0392

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 198 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	0 días	31 días ciclo 1	34 días ciclo 2	37 días ciclo 3	40 días ciclo 4	43 días ciclo 5	46 días ciclo 6
MFTHS – AG Promedio	0,0000	-0,0912	-0,0864	-0,0416	-0,0800	0,0180	-0,0088

**Nota:** Fuente: Autor

❖ **28 días con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero con fibra THS (MFTHS) - sin curado inicial**

Tabla 199 Lecturas de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)					
	0 días	7 días	12 días	20 días	26 días	28 días
Patrón	6,308	6,356	6,356	6,356	6,356	6,356
MFTHS - A	7,708	7,680	7,675	7,648	7,633	7,629

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 200 Lecturas de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	31 días ciclo 1	34 días ciclo 2	37 días ciclo 3	40 días ciclo 4	43 días ciclo 5	46 días ciclo 6
Patrón	6,308	6,384	6,380	6,308	5,544	5,526	5,510
MFTHS - A	7,708	7,566	7,564	7,570	6,694	6,934	6,874

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 201 Resultados de cambio de longitud a 28 días - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)					
	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	0 días	7 días	12 días	20 días	26 días	28 días
MFTHS - A Promedio	0,0000	-0,0304	-0,0324	-0,0432	-0,0492	-0,0508

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 202 Resultados de cambio de longitud a 6 ciclos - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	0 días	31 días ciclo 1	34 días ciclo 2	37 días ciclo 3	40 días ciclo 4	43 días ciclo 5	46 días ciclo 6
MFTHS – A	0,0000	-0,0872	-	-	-	0,0032	-0,0144
Promedio			0,0864	0,0552	0,1000		

**Nota:** Fuente: Autor

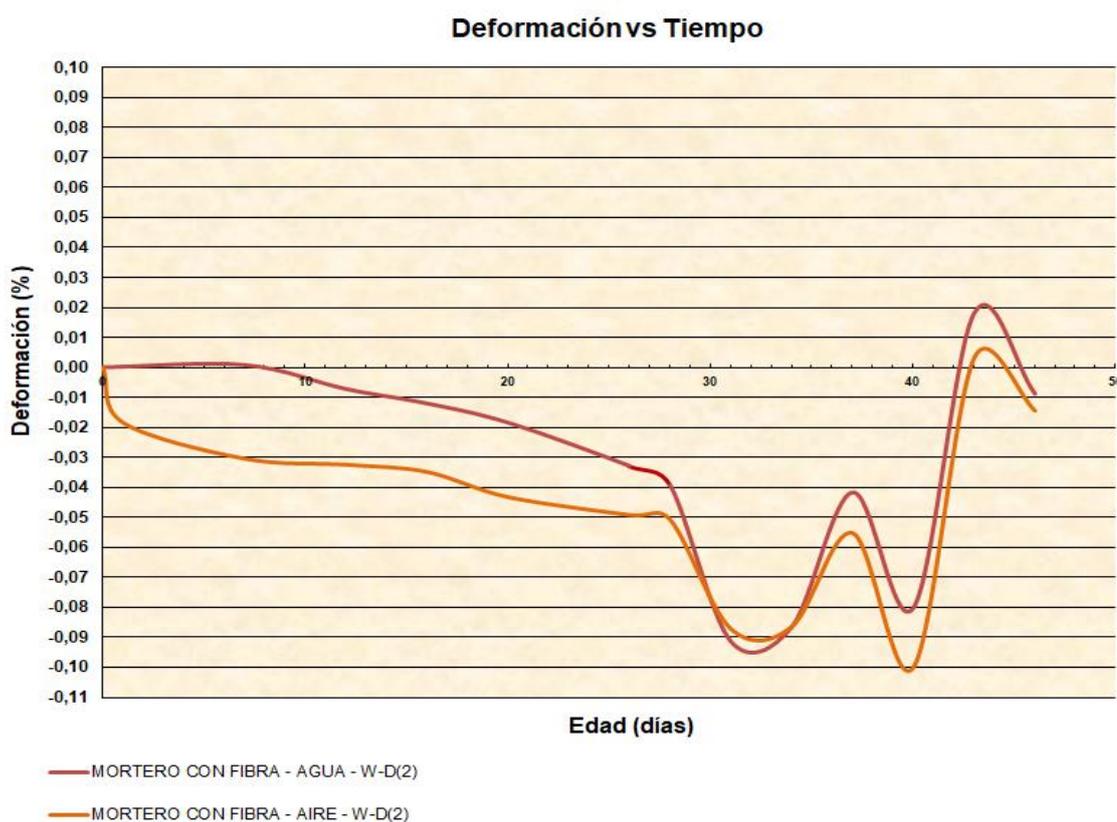


Ilustración 79 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (2) a 28 días + 6 ciclos - MFTHS  
Fuente: Autor

❖ 4 meses con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero con fibra THS (MFTHS) - 7 días curado inicial

Tabla 203 Lecturas de cambio de longitud - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	7 días	28 días	46 días	70 días	80 días	95 días
Patrón	6,308	6,356	6,356	6,308	6,308	6,308	6,308
MFTHS - AG	7,720	7,770	7,670	7,698	7,639	7,621	7,581

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 204 Resultados de cambio de longitud - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	0 días	7 días	28 días	46 días	70 días	80 días	95 días
MFTHS – AG	0,0000	0,0008	-0,0392	-0,0088	-0,0324	-0,0396	-0,0556
Promedio							

**Nota:** Fuente: Autor

❖ 4 meses con 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - Mortero con fibra THS (MFTHS) - sin curado inicial

Tabla 205 Lecturas de cambio de longitud - envejecimiento W-D(2) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Lecturas relativas (mm)						
	0 días	7 días	28 días	46 días	70 días	80 días	95 días
Patrón	6,308	7,680	6,356	5,510	5,482	5,482	5,482
MFTHS - A	7,708	7,770	7,629	6,874	6,760	6,721	6,693

**Nota:** Fuente: Autor

Tabla 206 Resultados de cambio de longitud - envejecimiento W-D(1) - mortero con fibra THS (MFTHS)

Muestra	Deformación (%)						
	L0	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	0 días	7 días	28 días	46 días	70 días	80 días	95 días
MFTHS – A Promedio	0,0000	-0,0304	-0,0508	-0,0144	-0,0488	-0,0644	-0,0756

Nota: Fuente: Autor

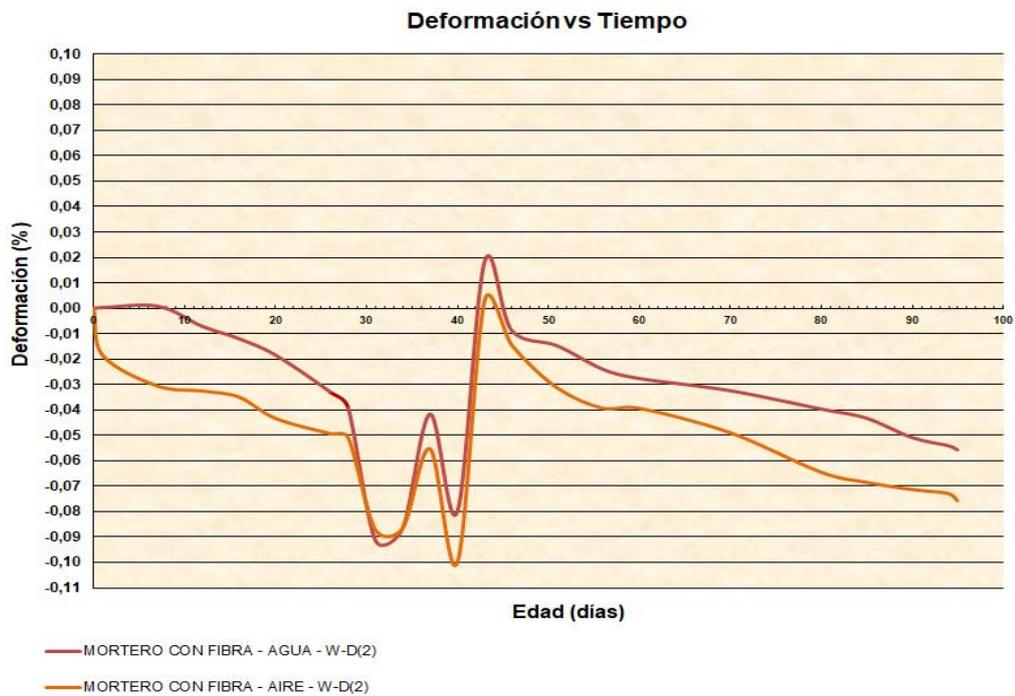


Ilustración 80 Gráfica deformación vs. tiempo - envejecimiento W-D (2) a 4 meses + 6 ciclos - MFTHS

Fuente: Autor

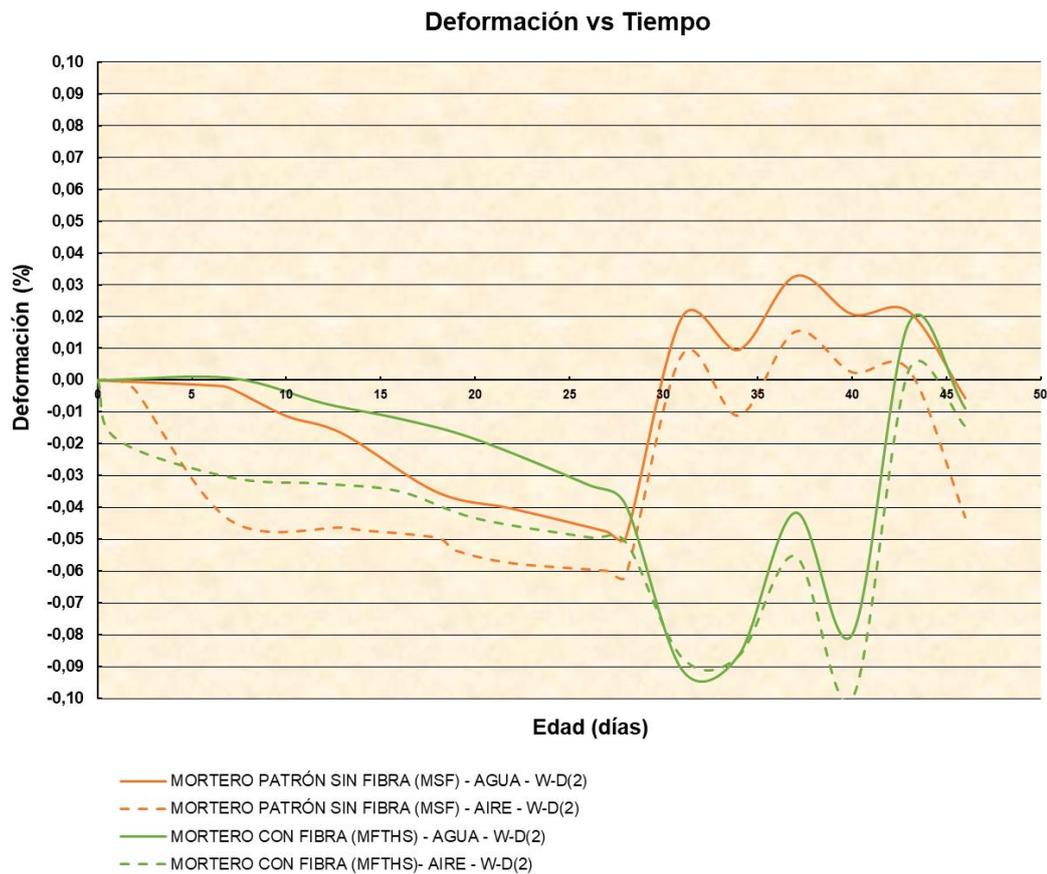


Ilustración 81 Gráfica deformación vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) - MSF y MFTHS  
Fuente: Autor

- **Gráfica de incremento y pérdida de masa**

Los datos obtenidos para la realización de las siguientes graficas se las obtuvo por medio de la aplicación de método de envejecimiento W-D (2) descrito en el capítulo V.

A continuación, se ilustrarán el comportamiento gráfico de las probetas de retracción y flexotracción sometidas tanto a húmedo como en seco y a diferentes tiempos de envejecimiento (28 días y 4 meses) con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF), Además de una comparativa de las mismas.

❖ **Graficas de 28 días + 6 ciclos con fibra (MFTHS)**

Tabla 207 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo  
– mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de retracción

No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)
1	0,02	0,00%	28	4,50	25,87%	55	24,00	38,92%
2	0,03	4,87%	29	4,67	27,08%	56	25,00	39,79%
3	0,05	5,01%	30	4,83	28,44%	57	26,00	39,93%
4	0,07	4,99%	31	5,00	29,10%	58	27,00	40,03%
5	0,08	4,70%	32	5,17	33,29%	59	28,00	40,13%
6	0,10	4,76%	33	5,33	33,85%	60	29,00	40,24%
7	0,12	4,77%	34	5,50	33,85%	61	30,00	40,15%
8	0,13	12,23%	35	5,67	33,89%	62	31,00	40,95%
9	0,15	12,85%	36	5,83	34,08%	63	32,00	40,98%
10	0,17	12,83%	37	6,00	33,92%	64	33,00	40,91%
11	0,18	12,94%	38	7,00	35,04%	65	34,00	40,97%
12	0,20	12,87%	39	8,00	35,05%	66	35,00	40,80%
13	0,22	12,84%	40	9,00	34,81%	67	36,00	40,73%
14	0,23	17,58%	41	10,00	35,37%	68	37,00	42,13%
15	0,25	18,92%	42	11,00	35,82%	69	38,00	42,18%
16	0,27	19,04%	43	12,00	36,66%	70	39,00	42,22%
17	0,28	19,10%	44	13,00	37,74%	71	40,00	42,20%
18	0,30	19,03%	45	14,00	37,94%	72	41,00	42,26%
19	0,32	19,10%	46	15,00	38,23%	73	42,00	42,33%
20	0,33	20,00%	47	16,00	38,59%	74	45,00	47,56%
21	0,35	21,19%	48	17,00	38,10%	75	48,00	49,47%
22	0,37	21,51%	49	18,00	38,29%	76	51,00	51,17%
23	0,38	21,61%	50	19,00	38,91%	77	54,00	52,23%
24	0,40	21,59%	51	20,00	39,36%	78	57,00	52,80%
25	0,42	21,59%	52	21,00	38,93%	79	60,00	53,21%
26	0,43	23,47%	53	22,00	38,97%			
27	4,33	24,95%	54	23,00	38,95%			

**Nota:** Fuente: Autor

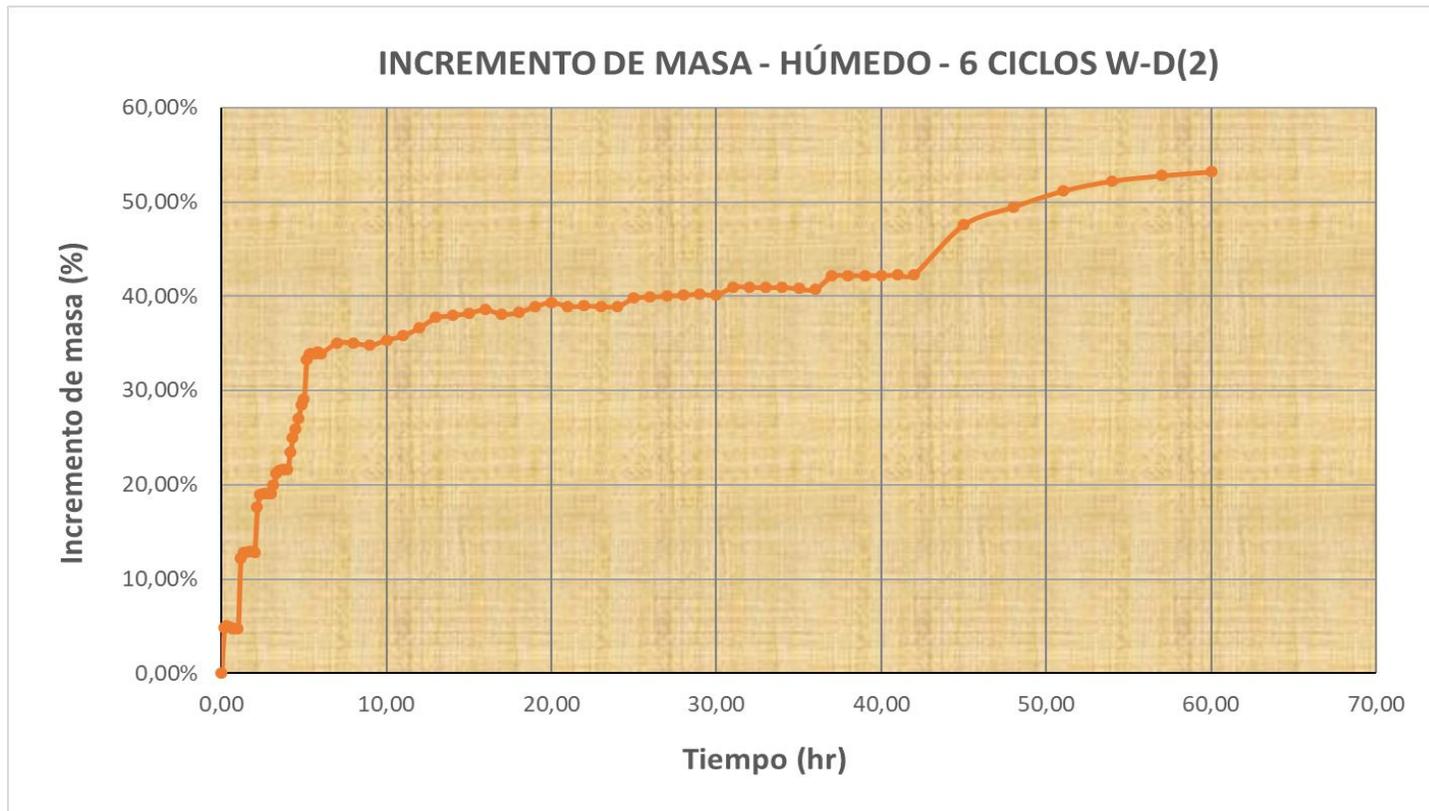


Ilustración 82 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de retracción – MFTHS – 28 días más 6 ciclos  
 Fuente: Autor

Tabla 208 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo  
– mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de flexión

No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)
1	0,00	0,00%	28	4,50	22,48%	55	24,00	37,90%
2	0,17	1,08%	29	4,67	23,45%	56	25,00	39,96%
3	0,33	1,24%	30	4,83	24,41%	57	26,00	40,23%
4	0,50	1,45%	31	5,00	25,34%	58	27,00	40,38%
5	0,67	1,52%	32	5,17	27,16%	59	28,00	40,42%
6	0,83	1,61%	33	5,33	27,94%	60	29,00	40,46%
7	1,00	2,33%	34	5,50	28,47%	61	30,00	40,51%
8	1,17	5,62%	35	5,67	28,79%	62	31,00	41,75%
9	1,33	6,79%	36	5,83	29,15%	63	32,00	41,73%
10	1,50	8,10%	37	6,00	29,33%	64	33,00	41,76%
11	1,67	8,57%	38	7,00	30,27%	65	34,00	41,70%
12	1,83	9,27%	39	8,00	30,45%	66	35,00	41,70%
13	2,00	9,95%	40	9,00	30,68%	67	36,00	41,43%
14	2,17	12,49%	41	10,00	31,04%	68	37,00	42,53%
15	2,33	12,95%	42	11,00	31,50%	69	38,00	42,58%
16	2,50	13,62%	43	12,00	31,71%	70	39,00	42,63%
17	2,67	14,11%	44	13,00	34,67%	71	40,00	42,66%
18	2,83	14,51%	45	14,00	34,85%	72	41,00	42,66%
19	3,00	14,80%	46	15,00	35,08%	73	42,00	42,69%
20	3,17	16,08%	47	16,00	35,22%	74	45,00	44,64%
21	3,33	17,00%	48	17,00	35,32%	75	48,00	46,59%
22	3,50	17,82%	49	18,00	35,46%	76	51,00	48,35%
23	3,67	18,90%	50	19,00	37,34%	77	54,00	49,85%
24	3,83	18,95%	51	20,00	37,64%	78	57,00	50,83%
25	4,00	19,41%	52	21,00	37,71%	79	60,00	51,29%
26	4,17	20,42%	53	22,00	37,79%			
27	4,33	21,46%	54	23,00	37,85%			

**Nota:** Fuente: Autor

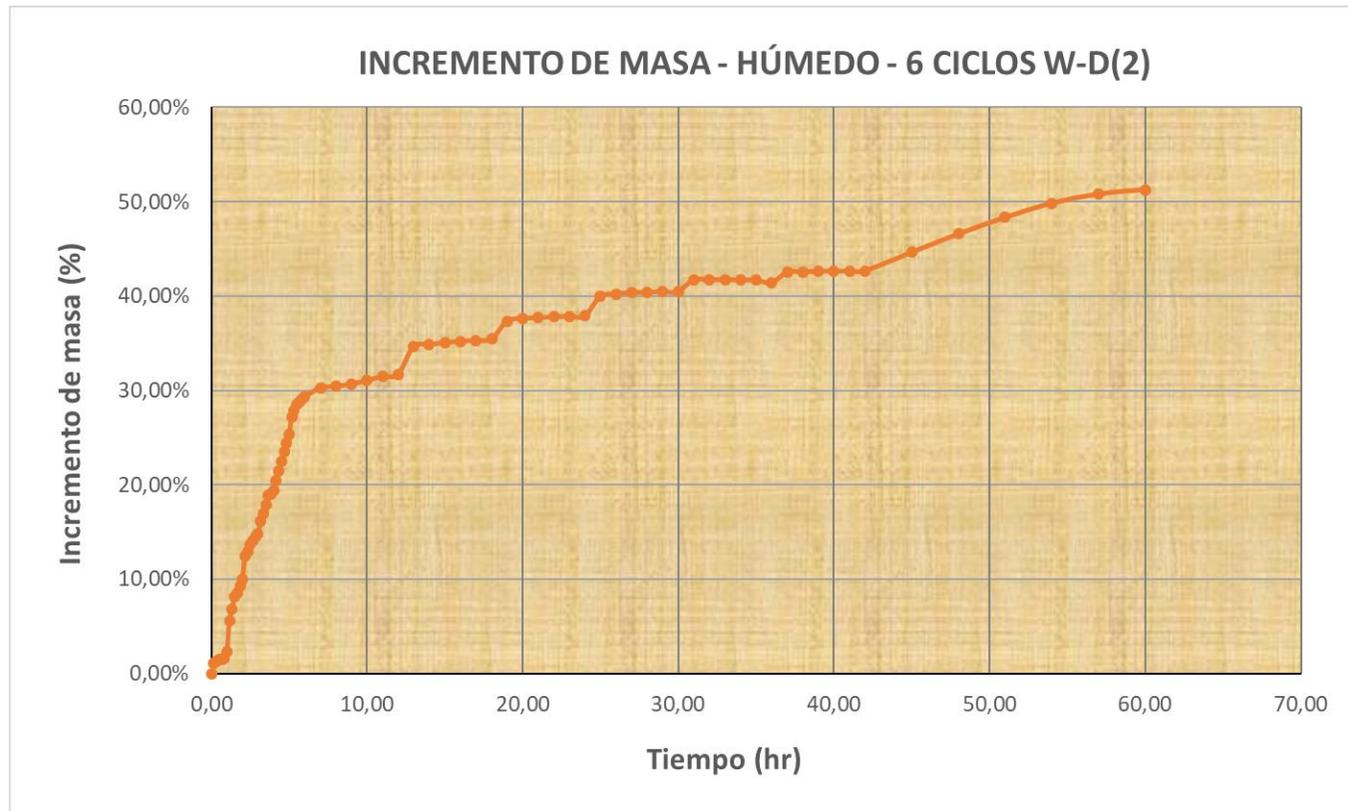


Ilustración 83 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MFTHS – 28 días más 6 ciclos  
 Fuente: Autor

Tabla 209 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de retracción

No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)
1	0,00	0,00%	28	4,50	5,53%	55	24,00	21,52%
2	0,17	0,13%	29	4,67	5,83%	56	25,00	23,08%
3	0,33	0,29%	30	4,83	6,06%	57	26,00	24,18%
4	0,50	0,49%	31	5,00	6,32%	58	27,00	24,61%
5	0,67	0,66%	32	5,17	6,46%	59	28,00	25,16%
6	0,83	0,84%	33	5,33	6,75%	60	29,00	25,54%
7	1,00	1,10%	34	5,50	6,96%	61	30,00	25,70%
8	1,17	1,34%	35	5,67	7,33%	62	31,00	27,09%
9	1,33	1,53%	36	5,83	7,59%	63	32,00	28,01%
10	1,50	1,69%	37	6,00	7,80%	64	33,00	28,74%
11	1,67	1,90%	38	7,00	10,93%	65	34,00	29,19%
12	1,83	2,08%	39	8,00	11,54%	66	35,00	29,52%
13	2,00	2,14%	40	9,00	12,50%	67	36,00	29,83%
14	2,17	2,24%	41	10,00	13,37%	68	37,00	32,13%
15	2,33	2,32%	42	11,00	14,27%	69	38,00	32,41%
16	2,50	2,42%	43	12,00	14,95%	70	39,00	32,99%
17	2,67	2,54%	44	13,00	15,36%	71	40,00	33,48%
18	2,83	2,65%	45	14,00	15,91%	72	41,00	33,66%
19	3,00	2,78%	46	15,00	16,36%	73	42,00	33,97%
20	3,17	2,85%	47	16,00	17,10%	74	46,00	37,94%
21	3,33	3,07%	48	17,00	17,48%	75	50,00	39,60%
22	3,50	3,20%	49	18,00	17,85%	76	54,00	40,75%
23	3,67	3,40%	50	19,00	19,65%	77	58,00	42,62%
24	3,83	4,36%	51	20,00	19,87%	78	62,00	44,13%
25	4,00	4,99%	52	21,00	20,41%	79	66,00	44,87%
26	4,17	5,14%	53	22,00	20,78%			
27	4,33	5,30%	54	23,00	21,15%			

**Nota:** Fuente: Autor

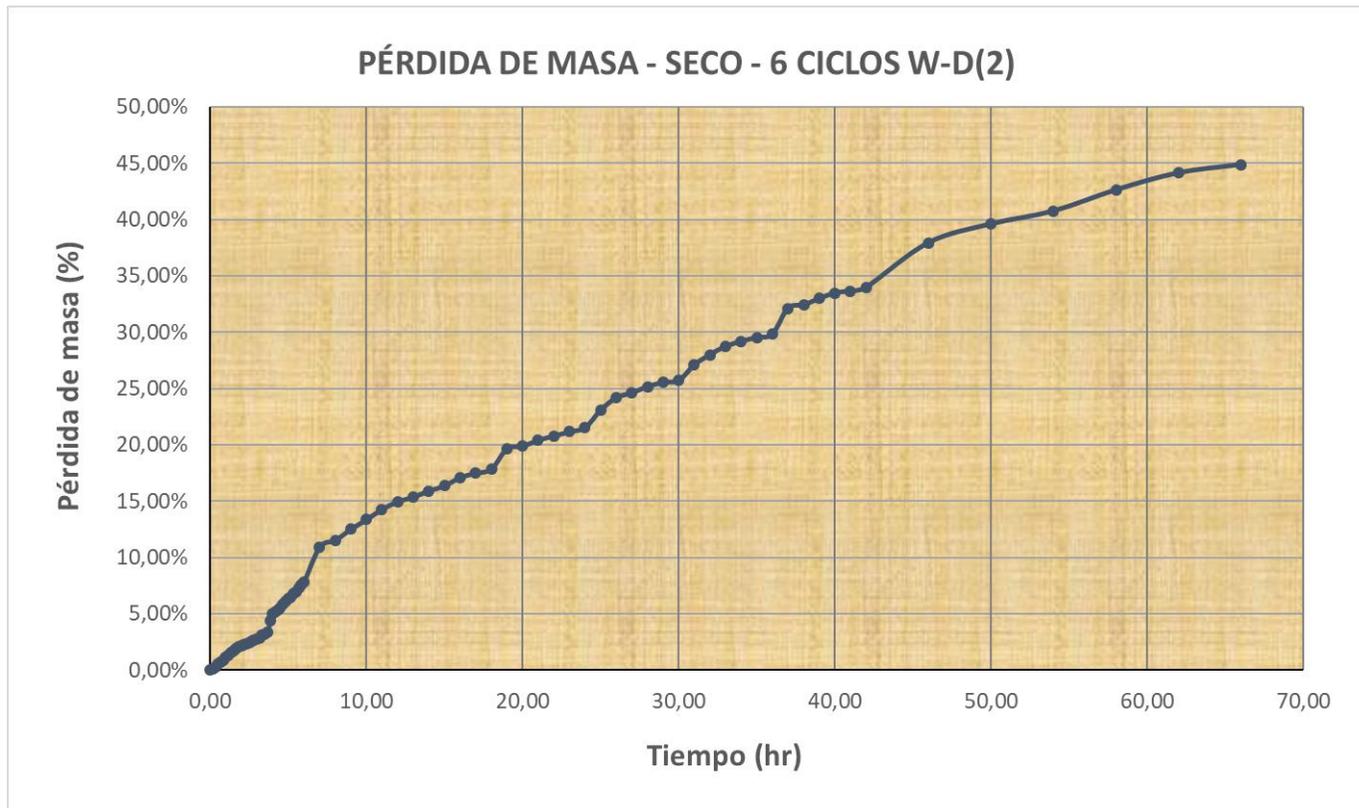


Ilustración 84 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de retracción – MFTHS – 28 días más 6 ciclos  
Fuente: Autor

Tabla 210 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de flexión

No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)
1	0,00	0,00%	28	4,50	22,48%	55	24,00	37,90%
2	0,17	1,08%	29	4,67	23,45%	56	25,00	39,96%
3	0,33	1,24%	30	4,83	24,41%	57	26,00	40,23%
4	0,50	1,45%	31	5,00	25,34%	58	27,00	40,38%
5	0,67	1,52%	32	5,17	27,16%	59	28,00	40,42%
6	0,83	1,61%	33	5,33	27,94%	60	29,00	40,46%
7	1,00	2,33%	34	5,50	28,47%	61	30,00	40,51%
8	1,17	5,62%	35	5,67	28,79%	62	31,00	41,75%
9	1,33	6,79%	36	5,83	29,15%	63	32,00	41,73%
10	1,50	8,10%	37	6,00	29,33%	64	33,00	41,76%
11	1,67	8,57%	38	7,00	30,27%	65	34,00	41,70%
12	1,83	9,27%	39	8,00	30,45%	66	35,00	41,70%
13	2,00	9,95%	40	9,00	30,68%	67	36,00	41,43%
14	2,17	12,49%	41	10,00	31,04%	68	37,00	42,53%
15	2,33	12,95%	42	11,00	31,50%	69	38,00	42,58%
16	2,50	13,62%	43	12,00	31,71%	70	39,00	42,63%
17	2,67	14,11%	44	13,00	34,67%	71	40,00	42,66%
18	2,83	14,51%	45	14,00	34,85%	72	41,00	42,66%
19	3,00	14,80%	46	15,00	35,08%	73	42,00	42,69%
20	3,17	16,08%	47	16,00	35,22%	74	45,00	44,64%
21	3,33	17,00%	48	17,00	35,32%	75	48,00	46,59%
22	3,50	17,82%	49	18,00	35,46%	76	51,00	48,35%
23	3,67	18,90%	50	19,00	37,34%	77	54,00	49,85%
24	3,83	18,95%	51	20,00	37,64%	78	57,00	50,83%
25	4,00	19,41%	52	21,00	37,71%	79	60,00	51,29%
26	4,17	20,42%	53	22,00	37,79%			
27	4,33	21,46%	54	23,00	37,85%			

**Nota:** Fuente: Autor

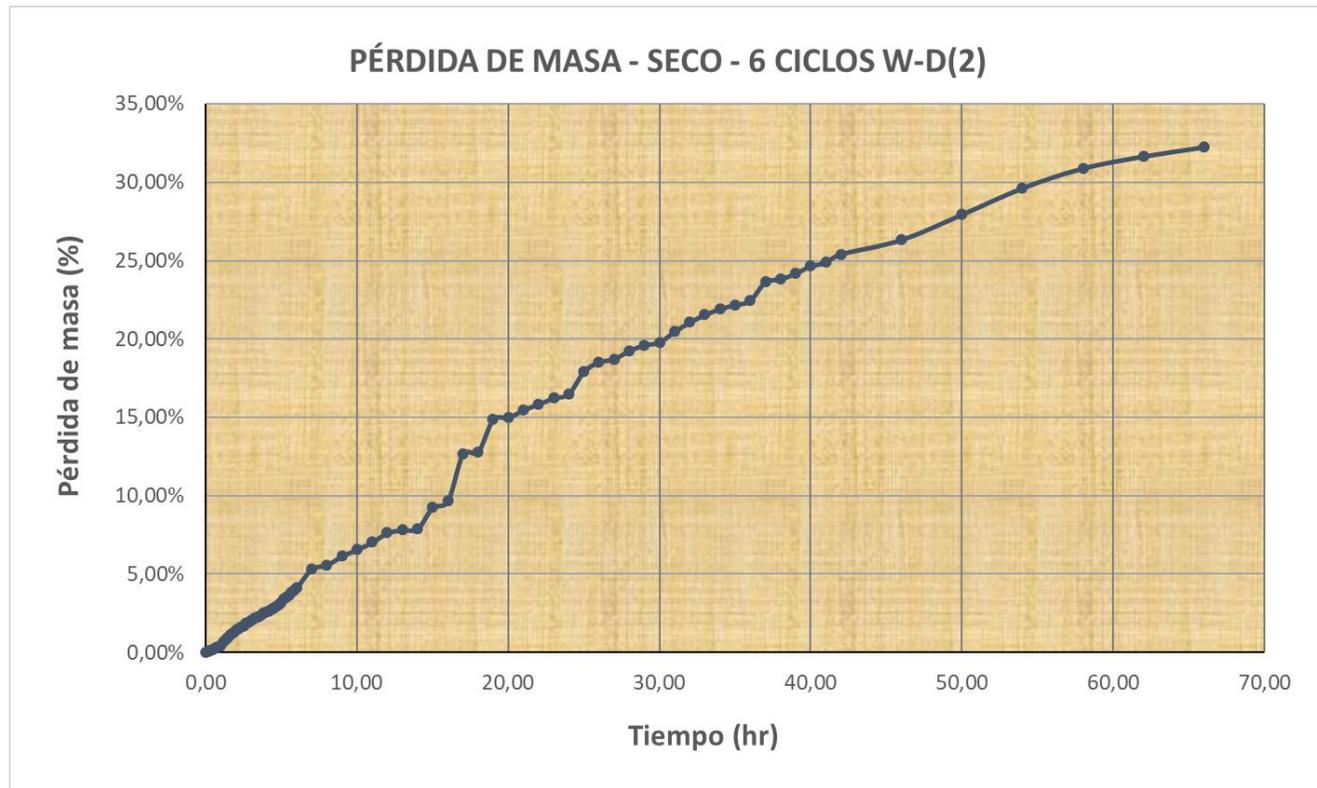


Ilustración 85 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MFTHS – 28 días más 6 ciclos  
Fuente: Autor

❖ **Graficas de 28 días + 6 ciclos sin fibra (MSF)**

Tabla 211 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo  
– mortero sin fibra (MSF) – probetas de retracción

No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)
1	0,00	0,00%	28	4,50	14,64%	55	24,00	22,35%
2	0,17	2,40%	29	4,67	14,79%	56	25,00	24,09%
3	0,33	2,82%	30	4,83	15,02%	57	26,00	24,21%
4	0,50	3,22%	31	5,00	15,34%	58	27,00	24,24%
5	0,67	3,41%	32	5,17	15,84%	59	28,00	24,25%
6	0,83	3,56%	33	5,33	16,06%	60	29,00	24,26%
7	1,00	3,75%	34	5,50	16,14%	61	30,00	24,27%
8	1,17	5,41%	35	5,67	16,20%	62	31,00	26,34%
9	1,33	5,88%	36	5,83	16,25%	63	32,00	26,30%
10	1,50	6,06%	37	6,00	16,27%	64	33,00	26,34%
11	1,67	6,12%	38	7,00	18,18%	65	34,00	26,36%
12	1,83	6,17%	39	8,00	18,28%	66	35,00	26,39%
13	2,00	6,30%	40	9,00	18,29%	67	36,00	26,42%
14	2,17	7,95%	41	10,00	18,29%	68	37,00	28,25%
15	2,33	8,33%	42	11,00	18,30%	69	38,00	28,43%
16	2,50	8,50%	43	12,00	18,31%	70	39,00	28,41%
17	2,67	8,67%	44	13,00	20,16%	71	40,00	28,45%
18	2,83	8,83%	45	14,00	20,17%	72	41,00	28,44%
19	3,00	8,91%	46	15,00	20,29%	73	42,00	28,39%
20	3,17	10,77%	47	16,00	20,35%	74	45,00	30,37%
21	3,33	11,14%	48	17,00	20,35%	75	48,00	32,17%
22	3,50	11,39%	49	18,00	20,54%	76	51,00	33,49%
23	3,67	11,49%	50	19,00	21,97%	77	54,00	34,60%
24	3,83	11,61%	51	20,00	22,10%	78	57,00	35,21%
25	4,00	11,74%	52	21,00	22,24%	79	60,00	35,45%
26	4,17	14,32%	53	22,00	22,35%			
27	4,33	14,45%	54	23,00	22,35%			

**Nota:** Fuente: Autor



Ilustración 86 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de retracción – MSF – 28 días más 6 ciclos  
Fuente: Autor

Tabla 212 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo  
– mortero sin fibra (MSF) – probetas de flexión

No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)
1	0,00	0,00%	28	4,50	3,99%	55	24,00	7,60%
2	0,17	-0,04%	29	4,67	4,08%	56	25,00	8,42%
3	0,33	-0,06%	30	4,83	4,13%	57	26,00	8,58%
4	0,50	-0,06%	31	5,00	4,27%	58	27,00	8,69%
5	0,67	-0,07%	32	5,17	4,36%	59	28,00	8,81%
6	0,83	-0,09%	33	5,33	4,44%	60	29,00	8,88%
7	1,00	-0,07%	34	5,50	4,47%	61	30,00	8,95%
8	1,17	0,30%	35	5,67	4,50%	62	31,00	9,36%
9	1,33	0,38%	36	5,83	4,55%	63	32,00	9,63%
10	1,50	0,57%	37	6,00	4,57%	64	33,00	9,69%
11	1,67	0,59%	38	7,00	4,94%	65	34,00	9,79%
12	1,83	0,65%	39	8,00	4,81%	66	35,00	9,86%
13	2,00	0,70%	40	9,00	4,99%	67	36,00	9,99%
14	2,17	1,16%	41	10,00	5,00%	68	37,00	10,29%
15	2,33	1,34%	42	11,00	5,06%	69	38,00	10,45%
16	2,50	1,45%	43	12,00	5,02%	70	39,00	10,60%
17	2,67	1,59%	44	13,00	5,72%	71	40,00	10,65%
18	2,83	1,67%	45	14,00	5,80%	72	41,00	10,72%
19	3,00	1,74%	46	15,00	5,98%	73	42,00	10,64%
20	3,17	2,73%	47	16,00	6,04%	74	45,00	12,02%
21	3,33	3,02%	48	17,00	6,26%	75	48,00	13,87%
22	3,50	3,18%	49	18,00	6,24%	76	51,00	15,10%
23	3,67	3,30%	50	19,00	6,90%	77	54,00	15,99%
24	3,83	3,46%	51	20,00	7,74%	78	57,00	16,21%
25	4,00	3,63%	52	21,00	7,33%	79	60,00	16,46%
26	4,17	3,89%	53	22,00	7,44%			
27	4,33	3,93%	54	23,00	7,55%			

**Nota:** Fuente: Autor

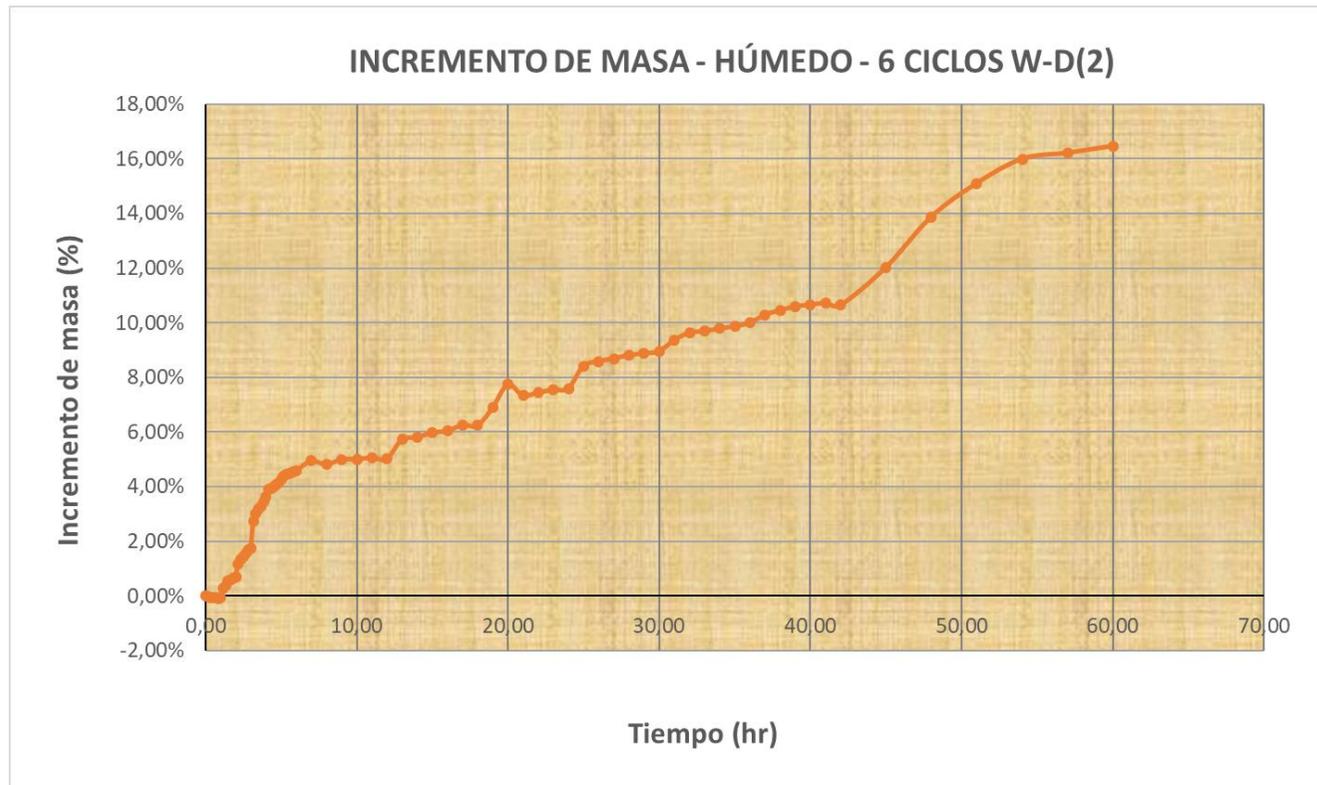


Ilustración 87 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MSF – 28 días más 6 ciclos

Fuente: Autor

Tabla 213 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero sin fibra (MSF) – probetas de retracción

No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)
1	0,00	0,00%	28	4,50	7,97%	55	24,00	22,49%
2	0,17	0,19%	29	4,67	8,32%	56	25,00	23,63%
3	0,33	0,86%	30	4,83	8,51%	57	26,00	24,33%
4	0,50	1,27%	31	5,00	8,71%	58	27,00	24,71%
5	0,67	1,53%	32	5,17	9,33%	59	28,00	25,51%
6	0,83	1,75%	33	5,33	9,59%	60	29,00	26,56%
7	1,00	1,90%	34	5,50	9,81%	61	30,00	27,56%
8	1,17	2,64%	35	5,67	9,96%	62	31,00	29,14%
9	1,33	2,88%	36	5,83	10,44%	63	32,00	29,95%
10	1,50	3,07%	37	6,00	10,70%	64	33,00	30,56%
11	1,67	3,30%	38	7,00	12,52%	65	34,00	31,18%
12	1,83	3,47%	39	8,00	13,10%	66	35,00	31,77%
13	2,00	3,66%	40	9,00	13,59%	67	36,00	33,52%
14	2,17	4,26%	41	10,00	14,36%	68	37,00	35,31%
15	2,33	4,47%	42	11,00	14,73%	69	38,00	35,93%
16	2,50	4,65%	43	12,00	15,32%	70	39,00	36,65%
17	2,67	4,93%	44	13,00	16,70%	71	40,00	37,57%
18	2,83	5,14%	45	14,00	17,24%	72	41,00	38,28%
19	3,00	5,23%	46	15,00	17,71%	73	42,00	38,55%
20	3,17	5,79%	47	16,00	18,12%	74	46,00	40,52%
21	3,33	6,12%	48	17,00	18,47%	75	50,00	42,37%
22	3,50	6,27%	49	18,00	18,84%	76	54,00	43,98%
23	3,67	6,60%	50	19,00	20,63%	77	58,00	45,18%
24	3,83	6,83%	51	20,00	20,94%	78	62,00	46,08%
25	4,00	6,99%	52	21,00	21,43%	79	66,00	46,34%
26	4,17	7,32%	53	22,00	21,77%			
27	4,33	7,74%	54	23,00	22,26%			

**Nota:** Fuente: Autor

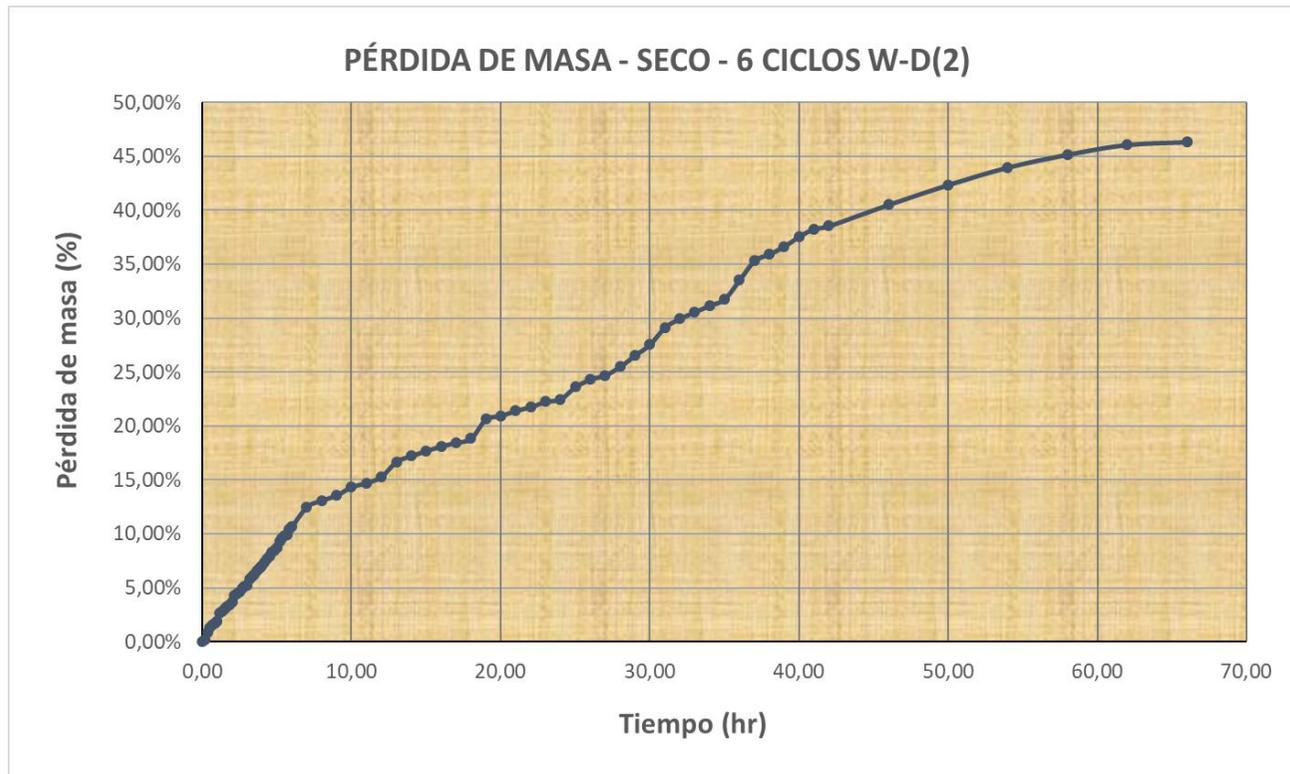


Ilustración 88 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de retracción – MSF – 28 días más 6 ciclos

Fuente: Autor

Tabla 214 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero sin fibra (MSF) – probetas de flexión

No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)
1	0,00	0,00%	28	4,50	2,99%	55	24,00	9,77%
2	0,17	0,14%	29	4,67	3,06%	56	25,00	10,32%
3	0,33	0,30%	30	4,83	3,08%	57	26,00	10,80%
4	0,50	0,43%	31	5,00	3,11%	58	27,00	11,01%
5	0,67	0,55%	32	5,17	3,24%	59	28,00	11,19%
6	0,83	0,68%	33	5,33	3,30%	60	29,00	11,40%
7	1,00	0,76%	34	5,50	3,33%	61	30,00	11,58%
8	1,17	0,97%	35	5,67	3,37%	62	31,00	11,93%
9	1,33	1,05%	36	5,83	3,46%	63	32,00	12,19%
10	1,50	1,12%	37	6,00	3,48%	64	33,00	12,42%
11	1,67	1,21%	38	7,00	4,05%	65	34,00	12,59%
12	1,83	1,29%	39	8,00	4,27%	66	35,00	12,75%
13	2,00	1,38%	40	9,00	4,56%	67	36,00	13,47%
14	2,17	1,54%	41	10,00	4,81%	68	37,00	13,99%
15	2,33	1,60%	42	11,00	4,99%	69	38,00	14,21%
16	2,50	1,66%	43	12,00	5,33%	70	39,00	14,41%
17	2,67	1,78%	44	13,00	5,87%	71	40,00	14,69%
18	2,83	1,85%	45	14,00	6,22%	72	41,00	14,89%
19	3,00	1,95%	46	15,00	6,59%	73	42,00	15,03%
20	3,17	2,16%	47	16,00	6,85%	74	46,00	16,23%
21	3,33	2,32%	48	17,00	7,12%	75	50,00	17,85%
22	3,50	2,40%	49	18,00	7,45%	76	54,00	18,91%
23	3,67	2,57%	50	19,00	8,35%	77	58,00	19,74%
24	3,83	2,68%	51	20,00	8,54%	78	62,00	19,93%
25	4,00	2,77%	52	21,00	8,95%	79	66,00	20,19%
26	4,17	2,89%	53	22,00	9,33%			
27	4,33	2,94%	54	23,00	9,58%			

**Nota:** Fuente: Autor

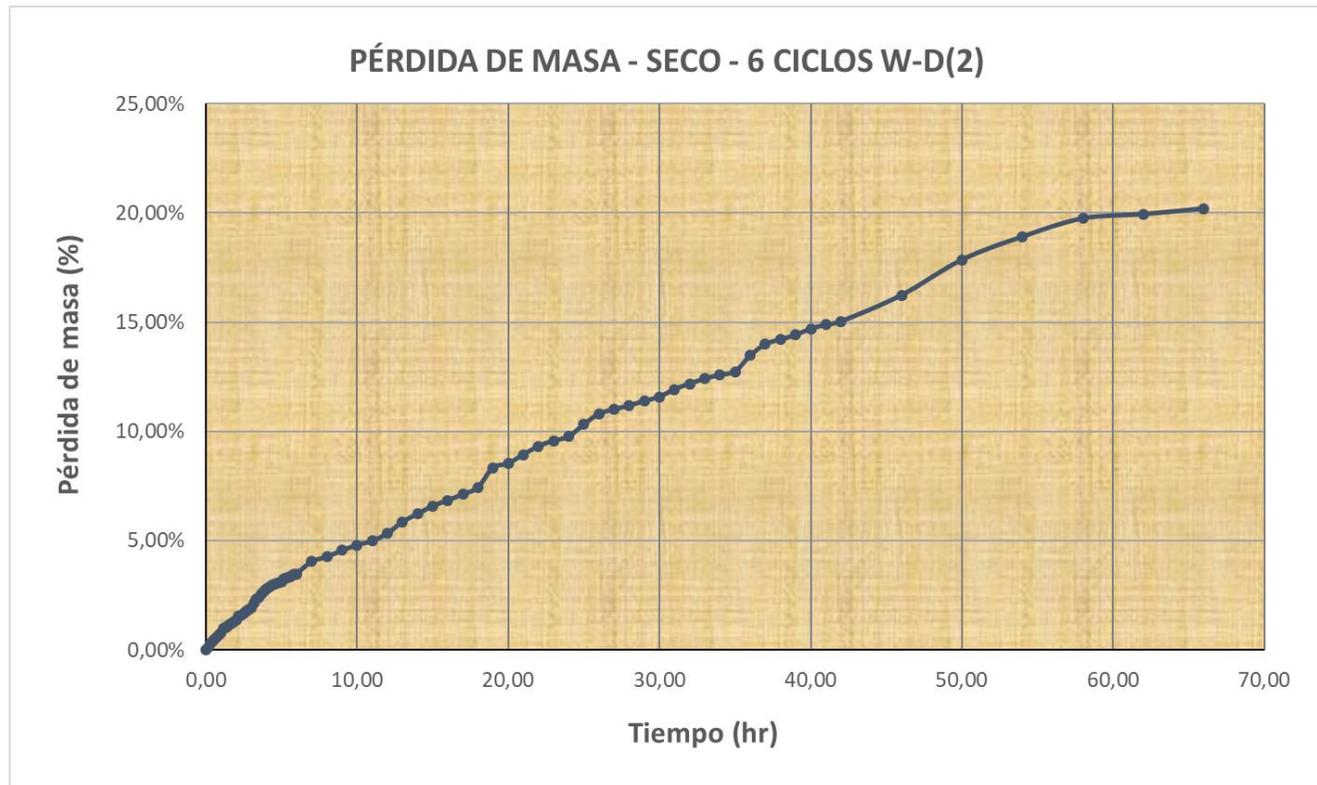


Ilustración 89 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MSF – 28 días más 6 ciclos

Fuente: Autor

❖ **Gráficas de 4 meses + 6 ciclos con fibra THS (MFTHS)**

Tabla 215 Incremento de masa para envejecimiento W-D (2) – estado húmedo – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de flexión

No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Incremento de masa (%)
1	0,00	0,00%	28	4,50	8,46%	55	24,00	15,40%
2	0,17	1,30%	29	4,67	8,58%	56	25,00	16,02%
3	0,33	1,71%	30	4,83	8,68%	57	26,00	16,15%
4	0,50	2,06%	31	5,00	8,76%	58	27,00	16,11%
5	0,67	2,31%	32	5,17	9,60%	59	28,00	16,20%
6	0,83	2,52%	33	5,33	9,93%	60	29,00	16,21%
7	1,00	2,81%	34	5,50	10,12%	61	30,00	16,22%
8	1,17	3,90%	35	5,67	10,21%	62	31,00	16,90%
9	1,33	4,19%	36	5,83	10,29%	63	32,00	17,26%
10	1,50	4,36%	37	6,00	10,36%	64	33,00	17,28%
11	1,67	4,48%	38	7,00	12,05%	65	34,00	17,36%
12	1,83	4,60%	39	8,00	12,45%	66	35,00	17,34%
13	2,00	4,77%	40	9,00	12,64%	67	36,00	17,32%
14	2,17	5,49%	41	10,00	12,77%	68	37,00	18,39%
15	2,33	5,72%	42	11,00	12,98%	69	38,00	18,59%
16	2,50	5,93%	43	12,00	13,22%	70	39,00	18,65%
17	2,67	6,03%	44	13,00	14,19%	71	40,00	18,65%
18	2,83	6,15%	45	14,00	14,30%	72	41,00	18,71%
19	3,00	6,23%	46	15,00	14,32%	73	42,00	18,76%
20	3,17	7,00%	47	16,00	14,21%	74	45,00	21,72%
21	3,33	7,22%	48	17,00	14,24%	75	48,00	21,98%
22	3,50	7,37%	49	18,00	14,28%	76	51,00	23,78%
23	3,67	7,44%	50	19,00	15,22%	77	54,00	24,81%
24	3,83	7,52%	51	20,00	15,31%	78	57,00	25,31%
25	4,00	7,59%	52	21,00	15,33%	79	60,00	25,53%
26	4,17	8,15%	53	22,00	15,35%			
27	4,33	8,33%	54	23,00	15,37%			

**Nota:** Fuente: Autor



Ilustración 90 Gráfica de incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MFTHS – 4 meses más 6 ciclos  
Fuente: Autor

Tabla 216 Pérdida de masa para envejecimiento W-D (2) – estado seco – mortero con fibra THS (MFTHS) – probetas de flexión

No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)	No.	Tiempo (hr)	Pérdida de masa (%)
1	0,00	0,00%	28	4,50	3,93%	55	24,00	13,96%
2	0,17	0,30%	29	4,67	4,03%	56	25,00	14,72%
3	0,33	0,51%	30	4,83	4,09%	57	26,00	15,05%
4	0,50	0,66%	31	5,00	4,15%	58	27,00	15,42%
5	0,67	0,79%	32	5,17	4,39%	59	28,00	15,67%
6	0,83	0,95%	33	5,33	4,55%	60	29,00	15,97%
7	1,00	1,00%	34	5,50	4,76%	61	30,00	16,09%
8	1,17	1,34%	35	5,67	4,89%	62	31,00	16,85%
9	1,33	1,50%	36	5,83	5,03%	63	32,00	17,21%
10	1,50	1,61%	37	6,00	5,28%	64	33,00	17,47%
11	1,67	1,71%	38	7,00	6,74%	65	34,00	17,76%
12	1,83	1,80%	39	8,00	7,72%	66	35,00	17,98%
13	2,00	1,88%	40	9,00	7,76%	67	36,00	18,23%
14	2,17	2,18%	41	10,00	7,98%	68	37,00	19,76%
15	2,33	2,28%	42	11,00	8,22%	69	38,00	20,18%
16	2,50	2,38%	43	12,00	8,50%	70	39,00	20,48%
17	2,67	2,48%	44	13,00	9,39%	71	40,00	20,77%
18	2,83	2,63%	45	14,00	9,82%	72	41,00	20,91%
19	3,00	2,66%	46	15,00	10,10%	73	42,00	21,16%
20	3,17	2,78%	47	16,00	10,33%	74	46,00	23,41%
21	3,33	2,93%	48	17,00	10,66%	75	50,00	24,68%
22	3,50	3,05%	49	18,00	11,79%	76	54,00	25,85%
23	3,67	3,17%	50	19,00	12,38%	77	58,00	26,03%
24	3,83	3,24%	51	20,00	12,88%	78	62,00	26,34%
25	4,00	3,32%	52	21,00	13,21%	79	66,00	27,46%
26	4,17	3,63%	53	22,00	13,50%			
27	4,33	3,79%	54	23,00	13,69%			

**Nota:** Fuente: Autor

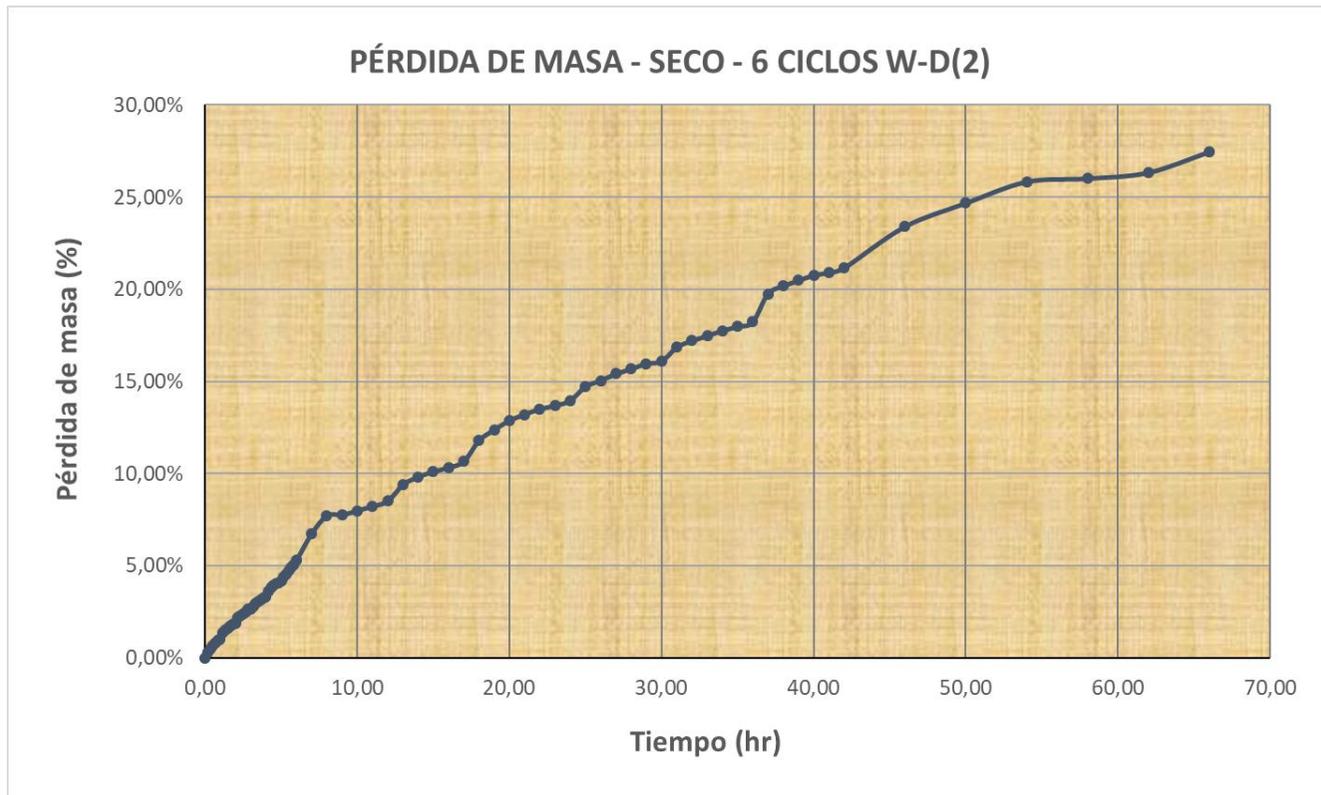


Ilustración 91 Gráfica de pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) - probetas de flexión – MFTHS – 4 meses más 6 ciclos

Fuente: Autor

❖ **Gráficas comparativas con fibra (MFTHS) y sin fibra (MSF) a 28 días + 6 ciclos**

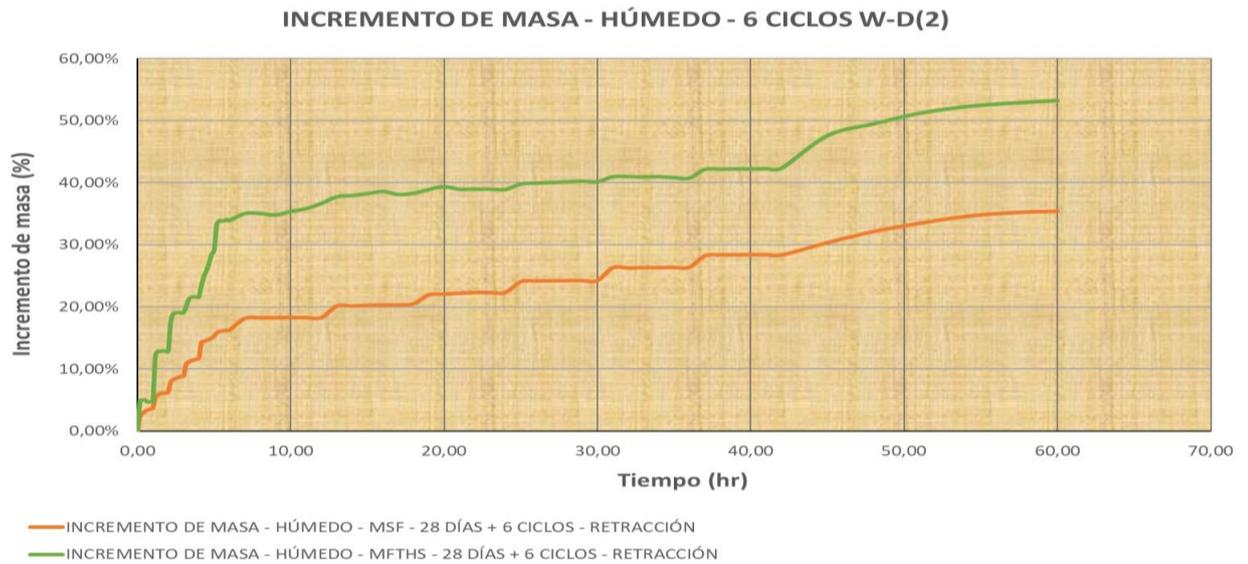


Ilustración 92 Gráfica incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de retracción - estado húmedo - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento - MSF y MFTHS

Fuente: Autor

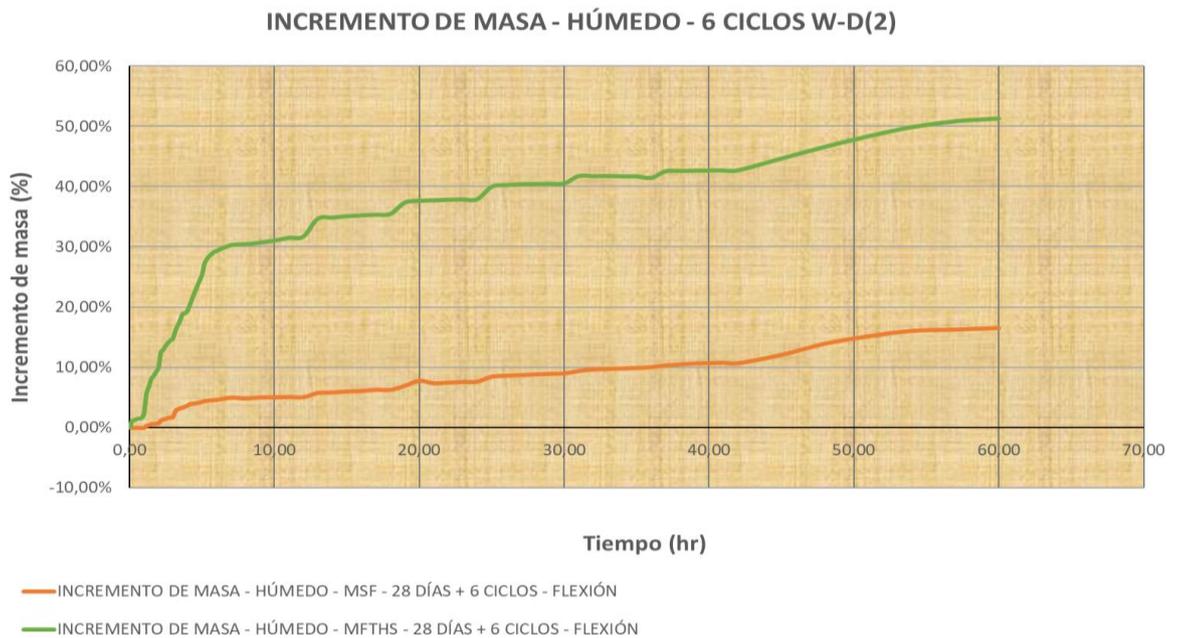
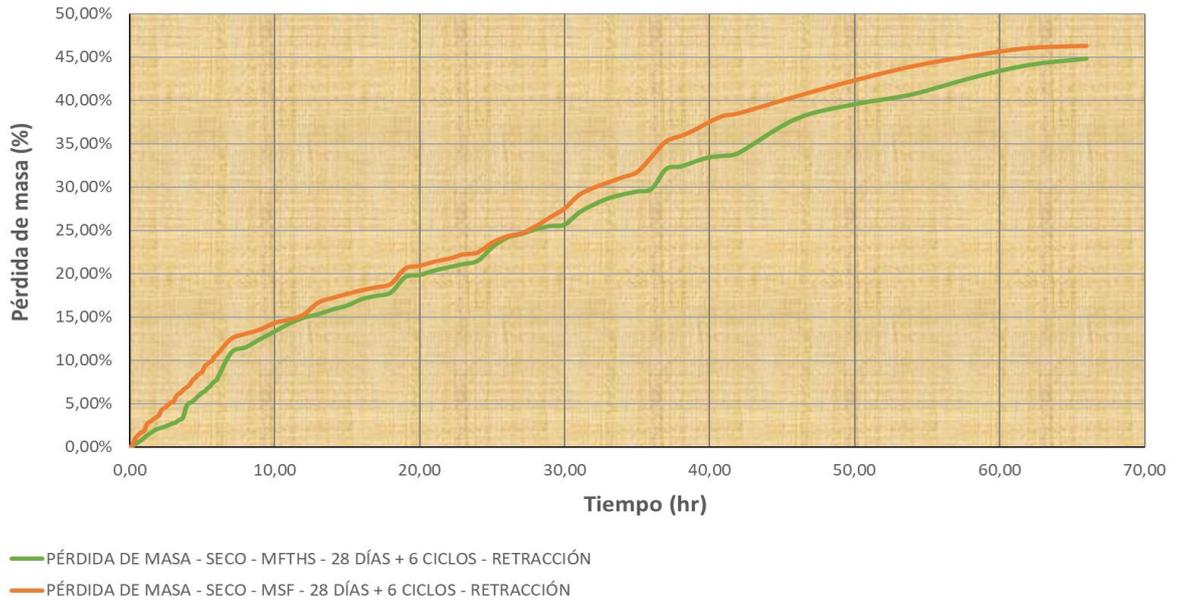


Ilustración 93 Gráfica incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de flexión - estado húmedo - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento - MSF y MFTHS

Fuente: Autor

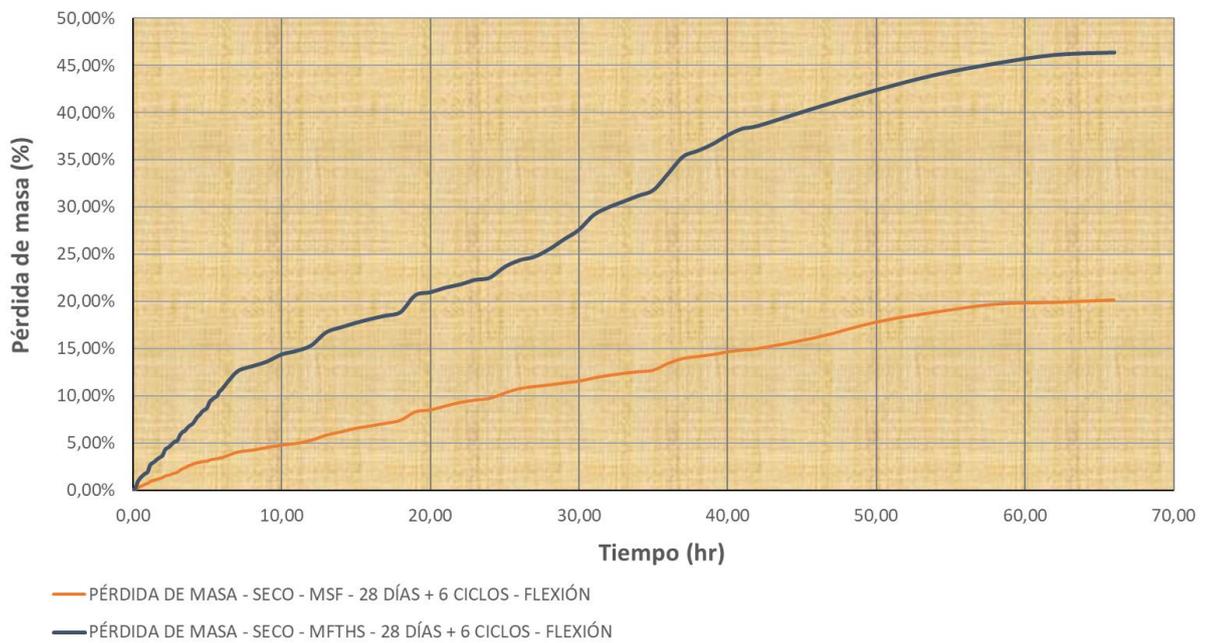
**PÉRDIDA DE MASA - SECO - 6 CICLOS W-D(2)**



**Ilustración 94** Gráfica pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de retracción - estado seco - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento - MSF y MFTHS

Fuente: Autor

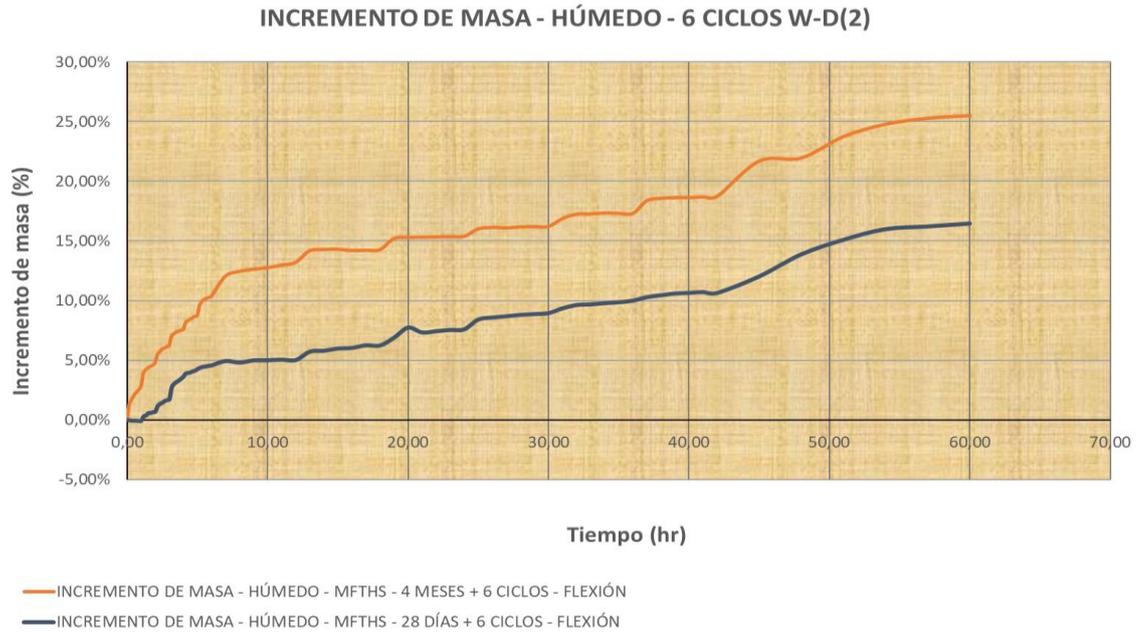
**PÉRDIDA DE MASA - SECO - 6 CICLOS W-D(2)**



**Ilustración 95** Gráfica pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de flexión - estado seco - 28 días + 6 ciclos de envejecimiento - MSF y MFTHS

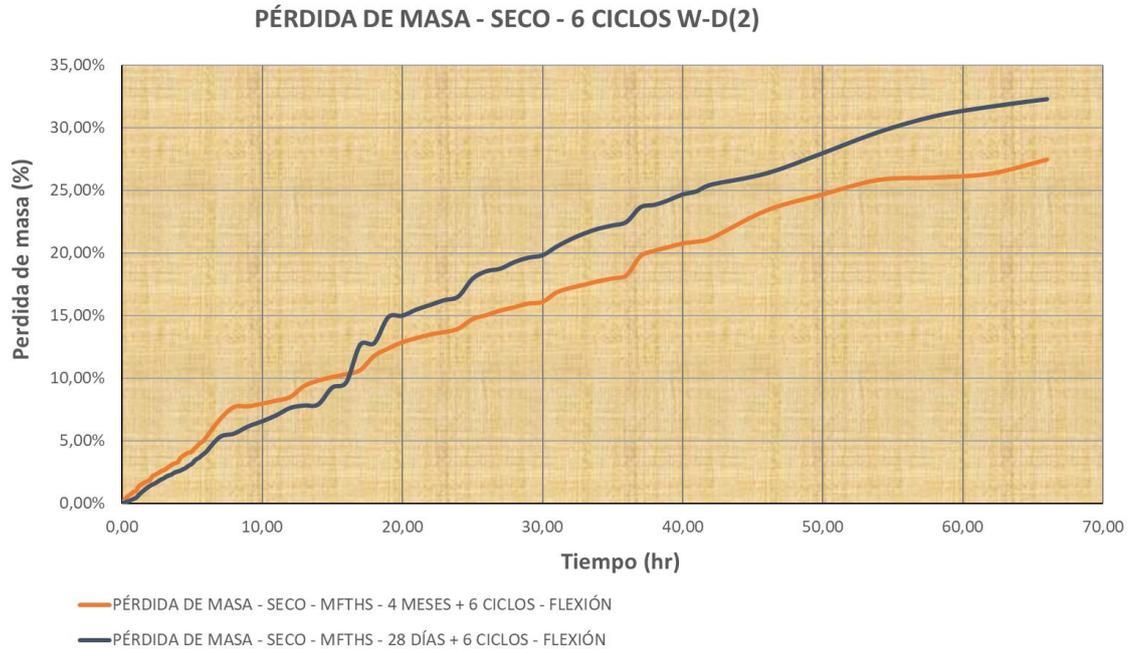
Fuente: Autor

❖ **Gráficas comparativas con fibra (MFTHS) a 28 días y 4 meses + 6 ciclos**



**Ilustración 96** Gráfica incremento de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de flexión - estado húmedo - 28 días y 4 meses + 6 ciclos de envejecimiento – MFTHS

Fuente: Autor



**Ilustración 97** Gráfica pérdida de masa vs. tiempo para envejecimiento W-D (2) en probetas de flexión - estado seco - 28 días y 4 meses + 6 ciclos de envejecimiento - MFTHS

Fuente: Autor

## 6.5. Análisis de resultados

El análisis de resultados se lo colocara en este ítem y se lo va dividir por fases, explicando cada resultado para los diferentes tipos de mortero MSF y MFTHS.

### 6.5.1. Fase 0: caracterización de la fibra

#### 6.5.1.1. Tracción

Se observa que se existe una mayor resistencia en la fibra tratada (NaOH 3 %) y un incremento en la resistencia es un aproximado de 59% en comparación con la fibra en estado natural sin tratar.

---

Muestra	Esfuerzo (MPa) Fibra natural	Esfuerzo (MPa) Fibra con THS	VARIACIÓN
1	48.9	128.3	59%
2	56.8	130.6	

---

**Nota:** Fuente: Autor

#### 6.5.1.2. Absorción de agua

Según (Calle, 2019), se define que el tratamiento no elimina que el tratamiento (NaOH 3 %), no elimina en su totalidad la capacidad de absorción de agua en referencia a la fibra de estado natural, sin embargo, se presenta una disminución en la misma.

---

Muestra	Estado	% Humedad	VARIACIÓN
1	Natural	70,74	5.3%
2	THS	74,71	

---

**Nota:** Fuente: Autor

### 6.5.1.3. TGA

Luego del análisis que se realizó por medio del ensayo termogravimétrico gracias la empresa Holcim Ecuador S.A. el cual consiste en la descomposición de compuestos que forman un elemento, se puede observar 3 picos en la ilustración 98 la cual representa la eliminación de elementos que pueden generar degradación en la fibra en su estado natural, sin embargo se debe realizar un análisis considerando los elementos que forman la fibra de estudio (abacá) y la temperatura a la cual estos se descomponen. En la ilustración 99 se puede observar claramente como estos elementos se eliminaron gracias al tratamiento alcalino (NaOH 3%) que se definió de estudios anteriores (Freire, 2019), de esta manera los elementos que pueden generar degradación en la fibra como la hemicelulosa ya no forman parte de la composición de la fibra de abacá y dando como resultado un mejor comportamiento físico y mecánico de la misma

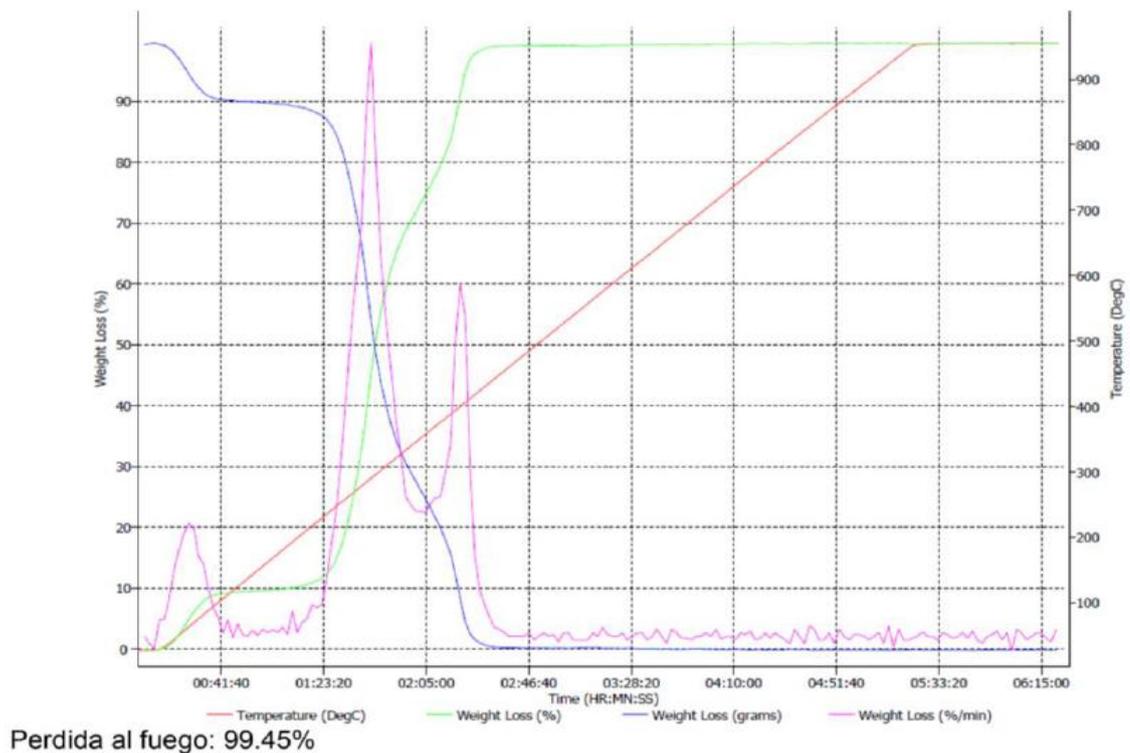
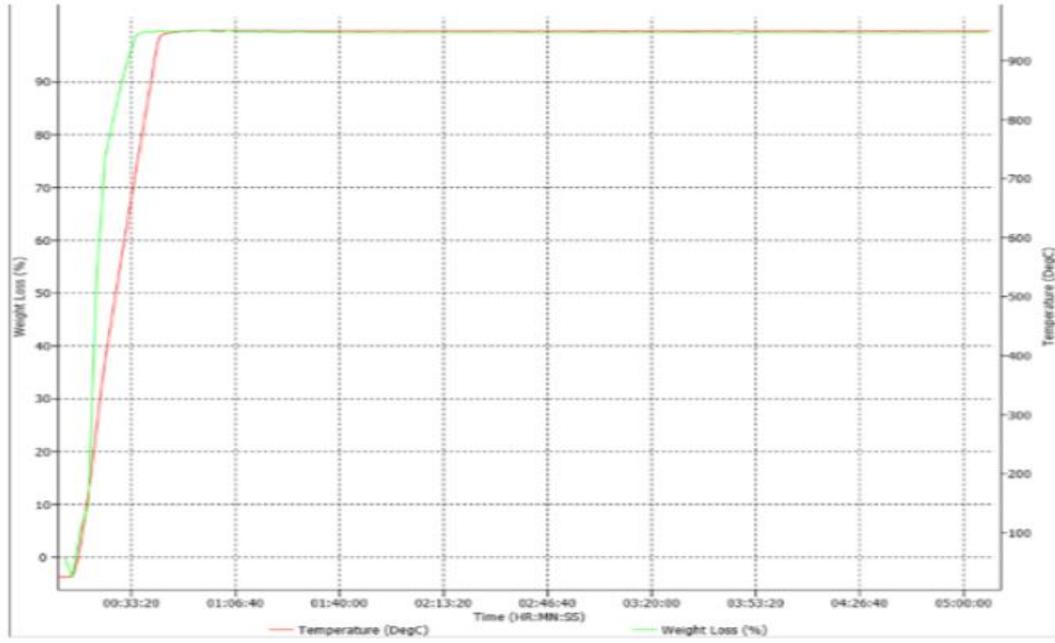


Ilustración 98 Muestra de fibra en estado natural  
Fuente: Autor



Perdida por Calcinación 950°C: 99.27%

Ceniza: 0.73%

Ilustración 99 Muestra de fibra con Tratamiento de hidróxido de sodio (NaOH 3%)

Fuente: Autor

## 6.5.2. Fase 1 Caracterización del mortero de estudio

### 6.5.2.1. Densidad en estado fresco

Según los datos obtenidos del ensayo se determina que el mortero con fibra es menos denso en su estado fresco que el mortero sin fibra, esto se debe a que la fibra es menos densa lo que aligera el mortero en relación con el mortero sin fibra, la variación de densidades es entre ambas muestras es de un aproximado del 2,5%.

---

Muestra	Estado	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	VARIACIÓN
1	Mortero con fibra THS	2108	2.5%
2	Mortero sin fibra	2163	

---

**Nota:** Fuente: Autor

### 6.5.2.2. Contenido de aire

En relación con el contenido de aire entre las muestras del mortero con fibra THS y el Mortero sin fibra, no existen variación, por lo cual el añadir fibra THS al mortero convencional no influye al incremento de este porcentaje.

---

Muestra	Estado	% aire	VARIACIÓN
1	Mortero con fibra THS	5,5	0.0%
2	Mortero sin fibra	5,5	

---

**Nota:** Fuente: Autor

### 6.5.2.3. Densidad en estado endurecido

Para en motero en estado endurecido el mortero con fibra THS es más denso que el mortero sin fibra, lo cual es beneficioso para las resistencias en su comportamiento mecánico, la variación de los resultados es del 3,6% a favor del mortero con fibra THS

Muestra	Tipo de mortero	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	VARIACIÓN
1	Con fibra THS	1917	3.6%
3	Sin fibra	1851	

**Nota:** Fuente: Autor

### 6.5.2.4. Capilaridad

De los resultados Obtenidos el mortero con fibra THS tiene un coeficiente de absorción de 0,55 en comparación del mortero sin fibra que es 0,7. Lo cual indica que el mortero de estudio al colocar la fibra disminuye la capacidad de absorción por capilaridad en comparación del mortero convencional, la disminución de la capacidad de absorción de agua es de un 21,4% en relación con el mortero sin fibra.

Muestra	Estado	Cm	VARIACIÓN
1	Mortero con fibra THS	0,55	21.4%
2	Mortero sin fibra	0,70	

**Nota:** Fuente: Autor

#### 6.5.2.5. Flexión

En flexión se puede observar que el mortero con fibra THS presenta una mayor resistencia la cual de 8,2 MPA en comparación al mortero sin fibra que es de 6,7. El incremento de la resistencia al añadir fibra THS al mortero es del 22,4%.

Muestra	Estado	Resistencia (MPa)	VARIACIÓN
1	Mortero con fibra THS	8,2	22.4%
2	Mortero sin fibra	6,7	

. **Nota:** Fuente: Autor

#### 6.5.2.6. Compresión

En compresión se puede observar que el mortero con fibra THS presenta una mayor resistencia la cual de 43 MPA en comparación al mortero sin fibra que es de 39,4. El incremento de la resistencia al añadir fibra THS al mortero es del 9,1%. Es importante recalcar que estas resistencias están en función de la sección transversal de la probeta previamente ensayadas a flexión.

Muestra	Estado	Resistencia (MPa)	VARIACIÓN
1	Mortero con fibra THS	43,0	9.1%
2	Mortero sin fibra	39,4	

**Nota:** Fuente: Autor

### 6.5.2.7. Cambios de longitud

Se puede observar que el mortero sin fibra MSF, con 7 días de curado inicial tiene una contracción mayor al MFTHS, además, la retracción del MFTHS tiene un comportamiento lineal y controlado, esto se debe a que al añadir fibra se contrae de manera uniforme.

El MSF sin curado inicial tiene una mayor contracción en los días iniciales en comparación al MFTHS como se observa en la ilustración #. Sin embargo, para todos los casos se llega a una deformación de aproximadamente de – 0,05 %

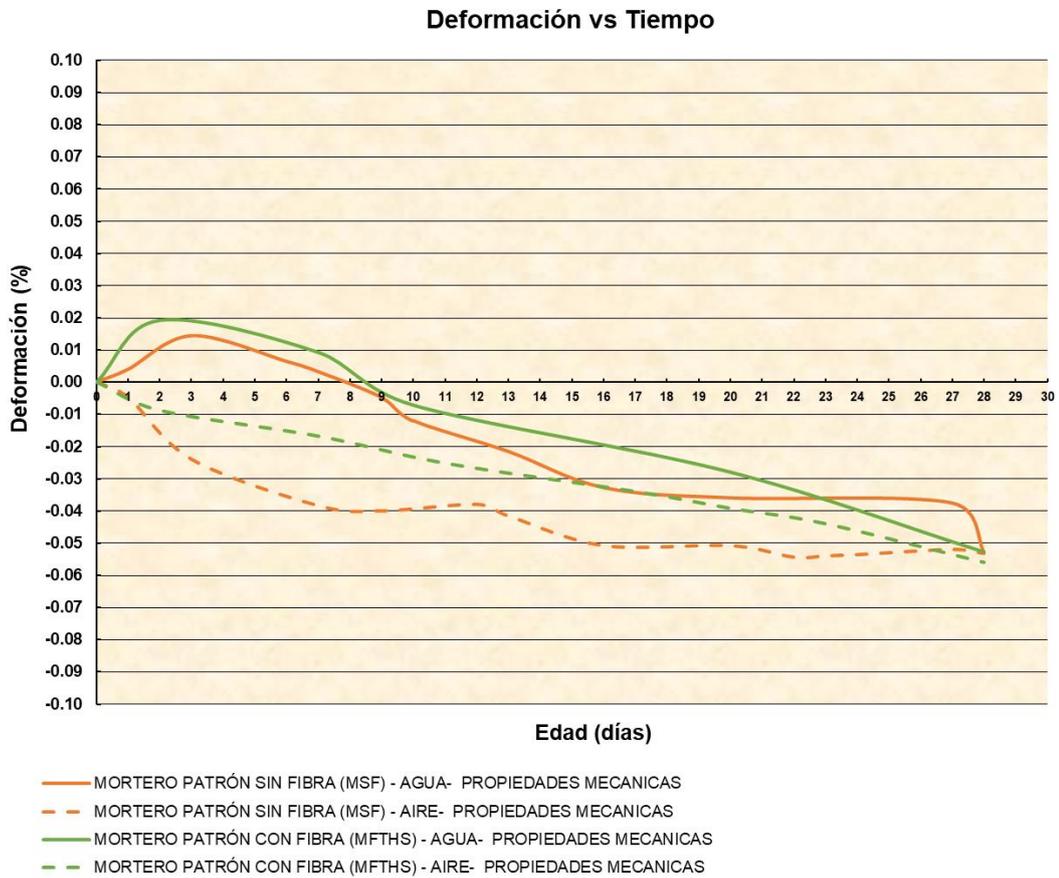


Ilustración 100 Gráfica comparativa entre MSF y MFTHS para propiedades mecánicas  
Fuente: Autor

### **6.5.3. Fase 2 envejecimiento**

#### **6.5.3.1. Densidad en estado endurecido**

Se puede observar que en todos los casos el MSF es menos denso a comparación del MFTHS lo cual genera un beneficio. En el caso de envejecimiento en ambiente laboratorio se observa que el mortero MSF a 28 días con MFTHS a 28 días tiene un aumento de 0,7% a favor del MFTHS, además, comparando el MFTHS a 28 días y 4 meses se tiene un incremento en su densidad del 0,4% para ambos casos se hace referencia al mortero con fibra THS. En ambiente intemperie se observa un incremento en las densidades más notorio, considerando el caso de MSF y MFTHS a 28 días se obtiene un incremento del 4,7% a favor del MFTHS y en MFTHS a 28 días y 4 meses se obtiene aumento del 0,3%.

Analizando envejecimientos acelerados se puede observar que de igual manera existe un incremento en las densidades en MSF y MFTHS a 28 días más 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) con un incremento de 6,2% a favor del MFTHS, para el análisis de envejecimiento con método W-D (1) se observa un aumento de 1,2% para MFTHS a 4 meses más 6 ciclos de envejecimiento en comparación con MFTHS a 28 días. Para la metodología W-D (2) se puede observar un incremento de densidades en MSF y MFTHS a 28 días más 6 ciclos de envejecimiento del 4,2% a favor del MFTHS, además, el incremento en densidades del MFTHS a 4 meses más 6 ciclos de W-D (2) en comparación con MFTHS a 28 días más 6 ciclos es de 3%.

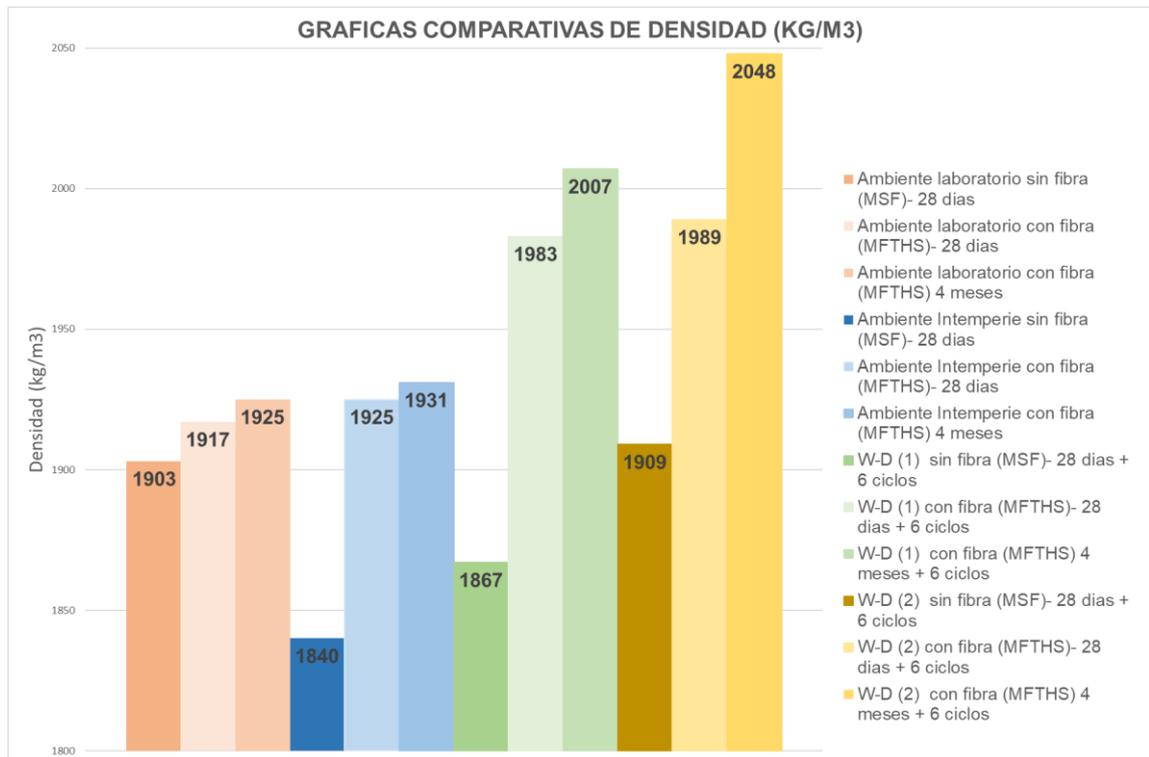


Ilustración 101 Gráfica comparativa de densidades con resultados globales  
Fuente: Autor

### 6.5.3.2. Flexión

Para el caso de envejecimiento natural de ambiente laboratorio se puede observar un incremento en la resistencia a flexión ligeramente proporcional en todas las situaciones que son: MFS a 28 días en ambiente laboratorio, MFTHS a 28 días en ambiente laboratorio y MFTHS 4 meses en ambiente laboratorio teniendo como un promedio de incremento del aproximadamente 5,4%, es importante recalcar que el MFTHS y MSF a 28 días envejecido en ambiente laboratorio tiene un incremento del 8,9% a favor el MFTHS.

En el envejecimiento natural de ambiente intemperie, se observa de igual manera un incremento ligeramente proporcional dando como resultado un promedio de 9,4% para las situaciones planteadas anteriormente, de igual manera es importante recalcar el incremento de resistencia a flexión del MFTHS y MSF a 28 días de 11% a favor del mortero con fibra THS

En la situación de envejecimiento acelerado W-D (1) se observa de igual manera un aumento en la resistencia a flexión del MFTHS y MSF a 28 días más 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) de 9,5% a favor del MFTHS, sin embargo, existe una reducción en la resistencia a flexión del MFTHS para 28 días y 4 meses más 6 ciclos de envejecimiento del 18,9%

Para la situación de envejecimiento acelerado W-D (2) se observa de igual manera un aumento en la resistencia a flexión del MFTHS y MSF a 28 días más 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) de 8,1% a favor del MFTHS, sin embargo, existe una reducción en la resistencia a flexión del MFTHS para 28 días y 4 meses más 6 ciclos de envejecimiento del 26,4%

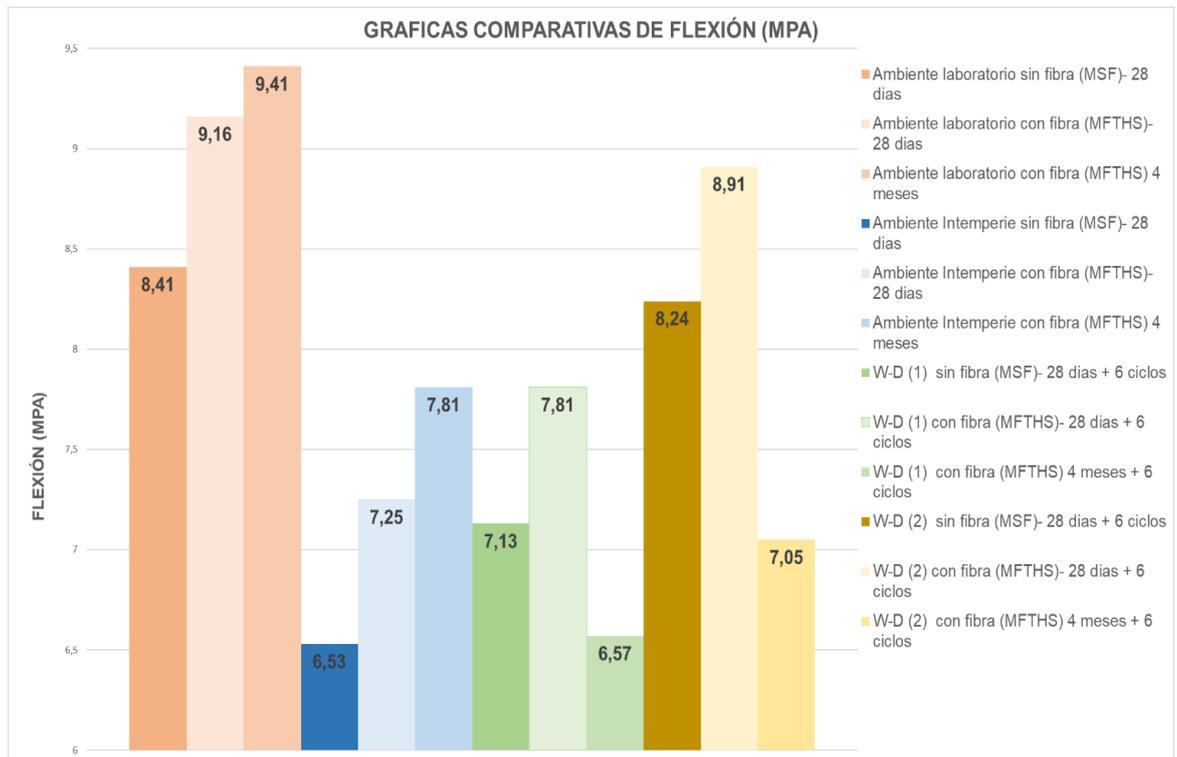


Ilustración 102 Gráfica comparativa de resistencias a flexión con resultados globales  
Fuente: Autor

### **6.5.3.3. Compresión**

Para el caso de envejecimiento natural de ambiente laboratorio se puede observar un incremento en la resistencia a compresión ligeramente proporcional en todas las situaciones que son: MFS a 28 días en ambiente laboratorio, MFTHS a 28 días en ambiente laboratorio y MFTHS 4 meses en ambiente laboratorio teniendo como un promedio un incremento del 10.7%, es importante recalcar que el MFTHS y MSF a 28 días envejecido en ambiente laboratorio tiene un incremento del 15,7% a favor el MFTHS.

En el envejecimiento natural en ambiente intemperie, se observa de igual manera un incremento de ligeramente proporcional dando como resultado un promedio de 5,2% para las situaciones planteadas anteriormente, de igual manera es importante recalcar el incremento de resistencia a compresión del MFTHS y MSF a 28 días de 9,1% a favor del mortero con fibra THS

En la situación de envejecimiento acelerado W-D (1) se observa de igual manera un aumento en la resistencia a compresión del MFTHS y MSF a 28 días más 6 ciclos de envejecimiento W-D (1) de 14.7% a favor del MFTHS, sin embargo, existe una reducción en la resistencia a flexión del MFTHS para 28 días y 4 meses más 6 ciclos de envejecimiento del aproximadamente 20.7%

Para la situación de envejecimiento acelerado W-D (2) se observa de igual manera un aumento en la resistencia a flexión del MFTHS y MSF a 28 días más 6 ciclos de envejecimiento W-D (2) de 7.1% a favor del MFTHS, sin embargo, existe una reducción en la resistencia a flexión del MFTHS para 28 días y 4 meses más 6 ciclos de envejecimiento del 25.8%

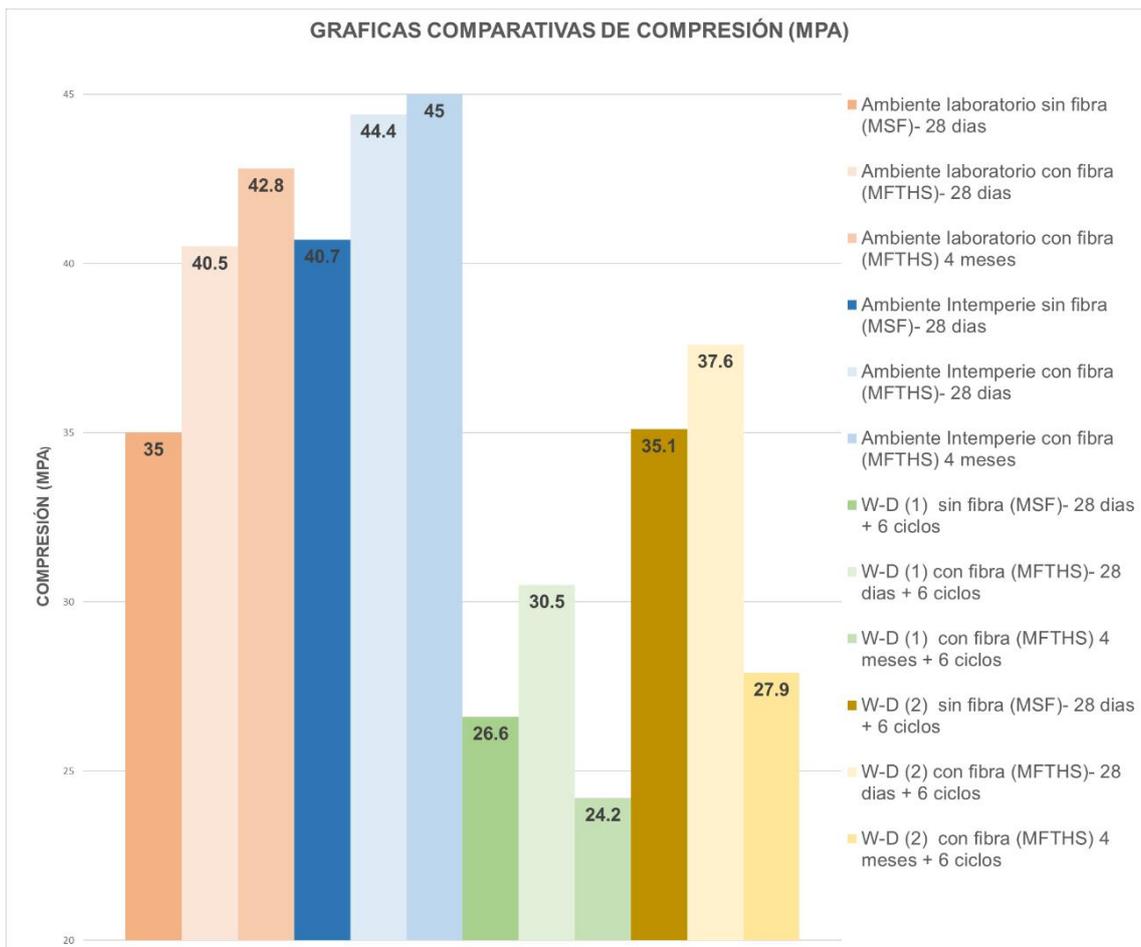


Ilustración 103 Gráfica comparativa de resistencias a compresión con resultados globales  
Fuente: Autor

#### 6.5.3.4. Cambio de longitud

Para la comparación entre el caso de MSF y MFTHS a 28 días envejecido en ambiente laboratorio, se observa un comportamiento similar entre las muestras, pero con un mejor comportamiento con respecto a la retracción del MFTHS. En ambiente intemperie se puede observar que esta propiedad de expansión o retracción depende de las condiciones climáticas del ambiente que se verá expuesta, como se observa el MSF se expandió en los días 16 – 18, esto se produjo porque hubo una lluvia intensa durante esta temporada.

Para las comparaciones en envejecimientos acelerados W-D (1) y W-D (2) se puede observar un comportamiento similar durante la aplicación de los ciclos

en el caso de W-D (1) tanto para MSF y MFTHS de igual manera dando un mejor comportamiento en el MFTHS. La metodología W-D (2) presenta un comportamiento diferente en el MFTHS ya que se genera una mayor contracción durante la aplicación de los ciclos lo cual es más representativo en comparación al MSF, sin embargo, existe una tendencia en este comportamiento de llevar el MFTHS a su estado inicial, es decir, variación de volumen igual a 0.

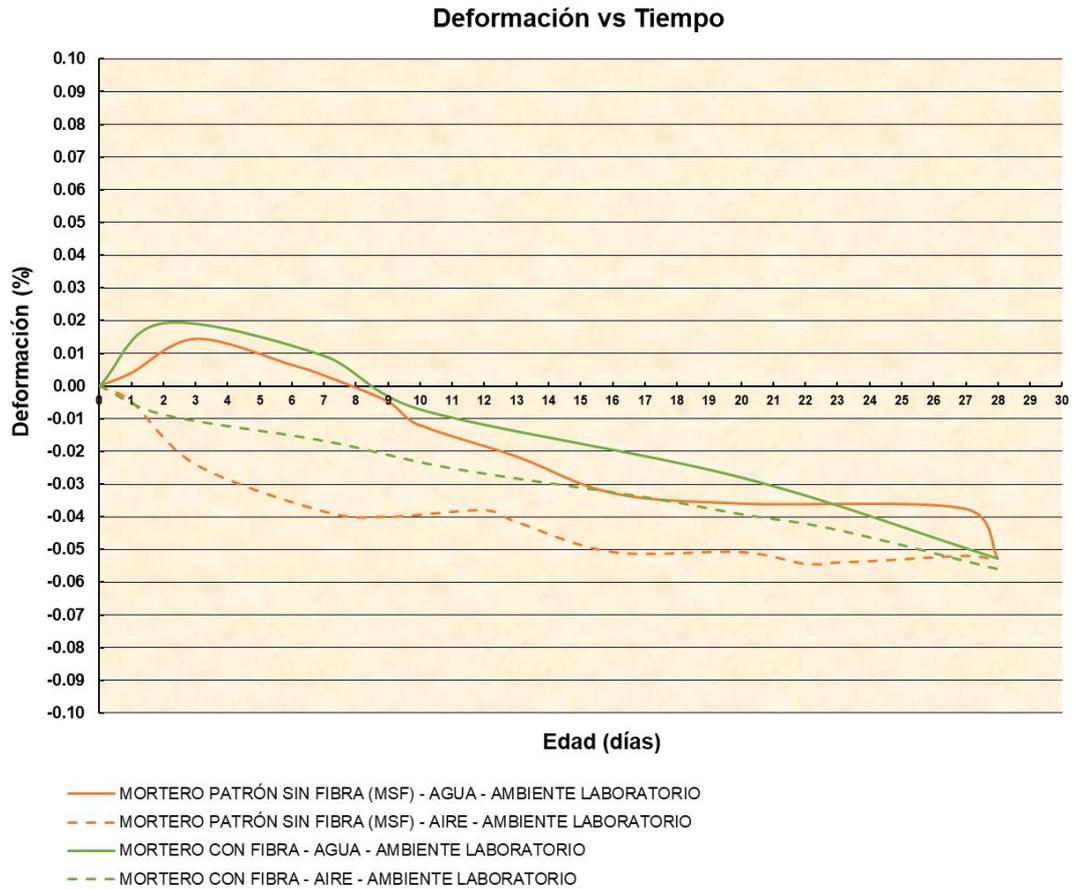


Ilustración 104 Gráfica comparativa entre envejecimiento ambiente laboratorio para MSF y MFTHS  
Fuente: Autor

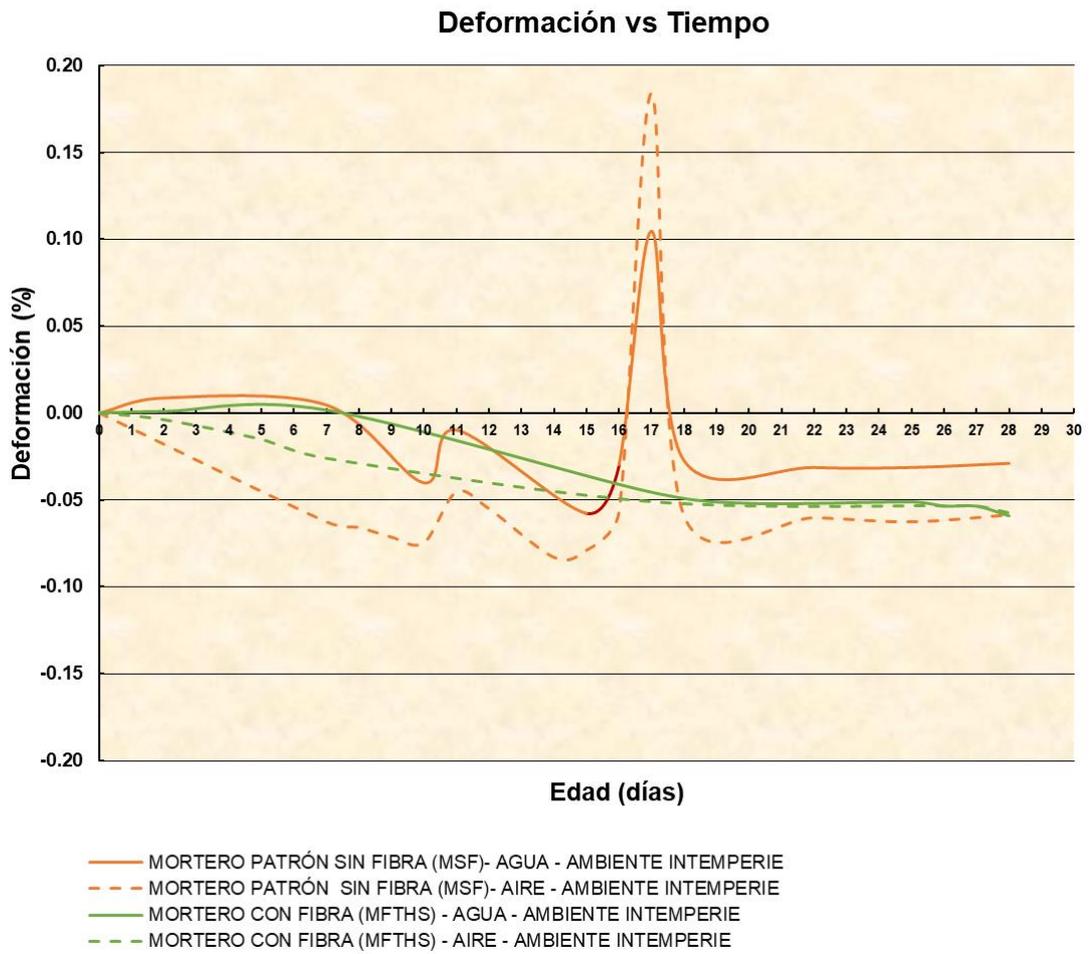


Ilustración 105 Gráfica comparativa entre envejecimiento intemperie laboratorio para MSF y MFTHS  
Fuente: Autor

### Deformación vs Tiempo

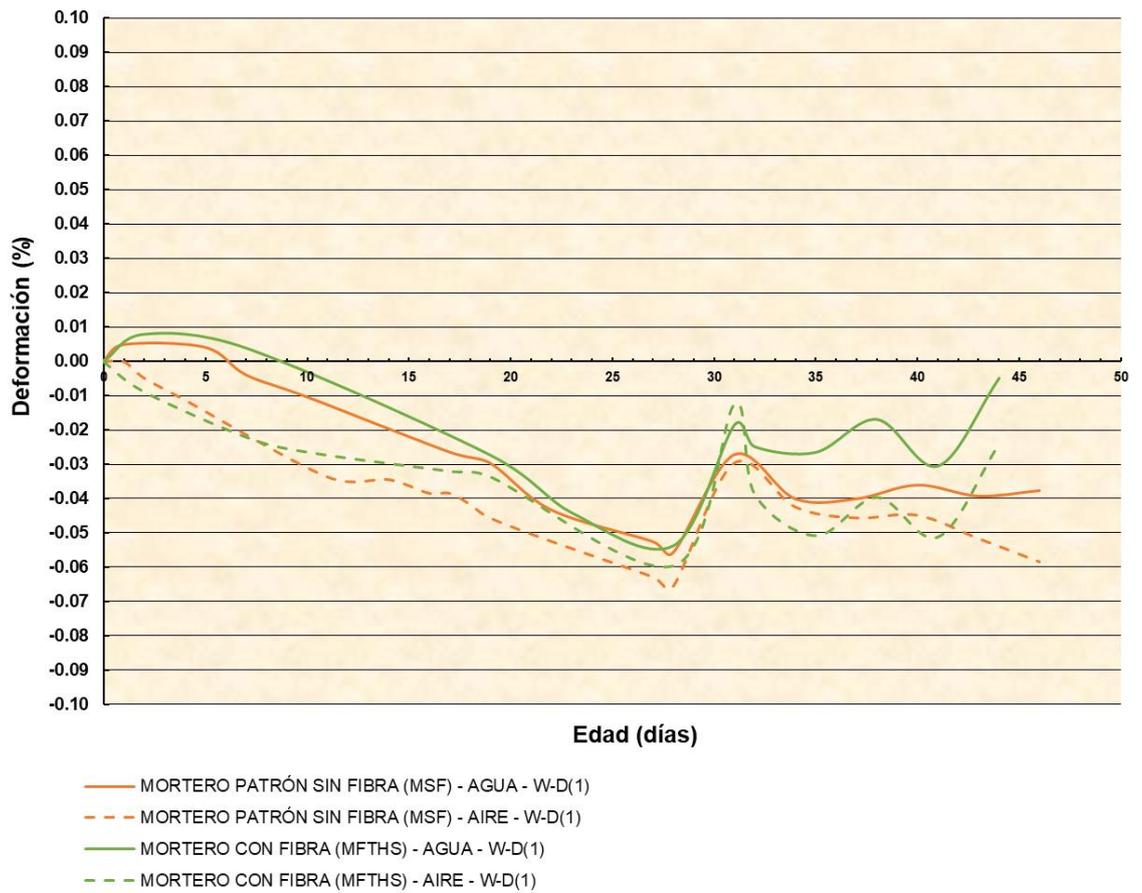


Ilustración 106 Gráfica comparativa entre envejecimiento W-D (1) laboratorio para MSF y MFTHS  
Fuente: Autor

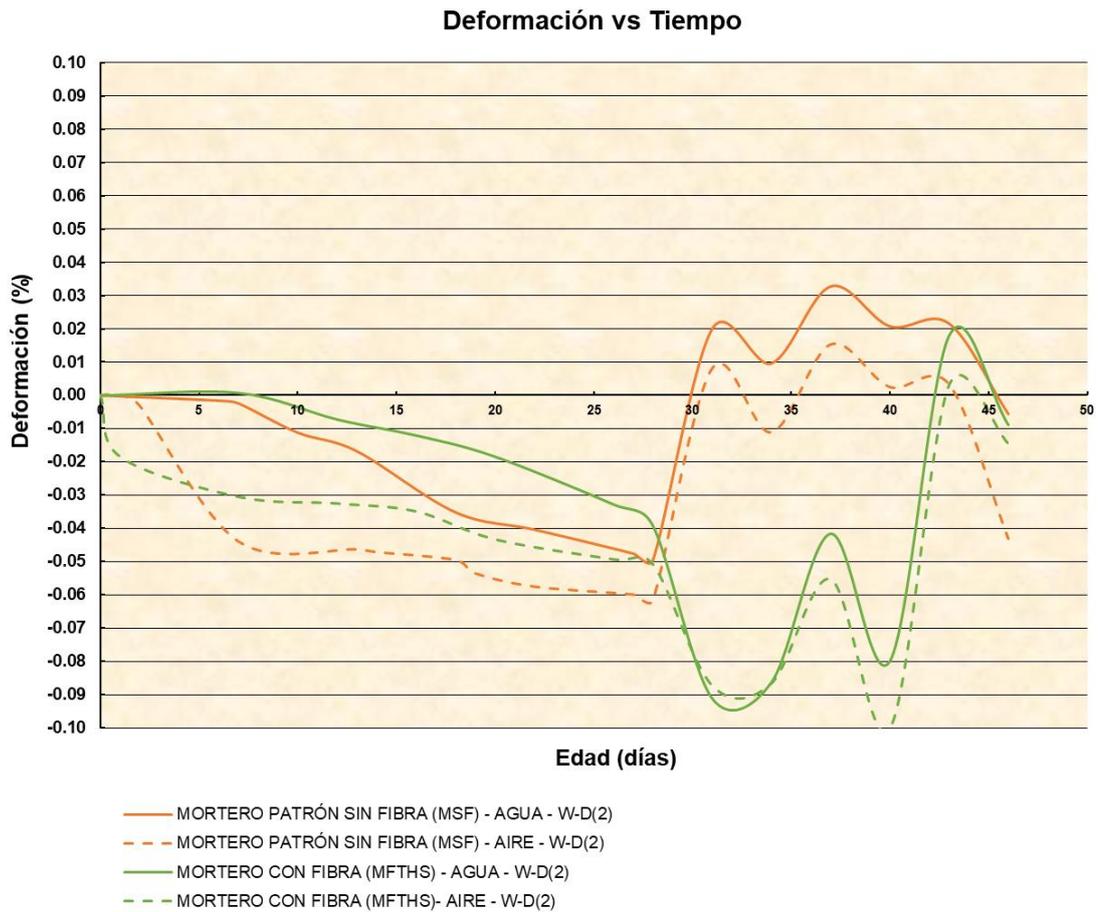


Ilustración 107 Gráfica comparativa entre envejecimiento W-D (2) laboratorio para MSF y MFTHS  
Fuente: Autor

### 6.5.3.5. Variación de masa

En la comparativo con respecto a la variación de masa se analizó para las probetas de flexión ya que fueron las que se ensayaron para poder determinar la propiedad mecánica para los diferentes envejecimientos. Se puede observar como para el envejecimiento W-D (1) existe una tendencia de incremento y pérdida de masa por lo cual existe se proyecta a que a mayor cantidad de ciclos continuara este comportamiento de manera casi lineal. Para el envejecimiento W-D (2) existe una variación con respecto al comportamiento, este tiene una tendencia de crecimiento hasta llegar a un punto en el cual la ganancia o pérdida de masa se vuelve constante esto ocurre en ambas situaciones tanto MSF y MFTHS.

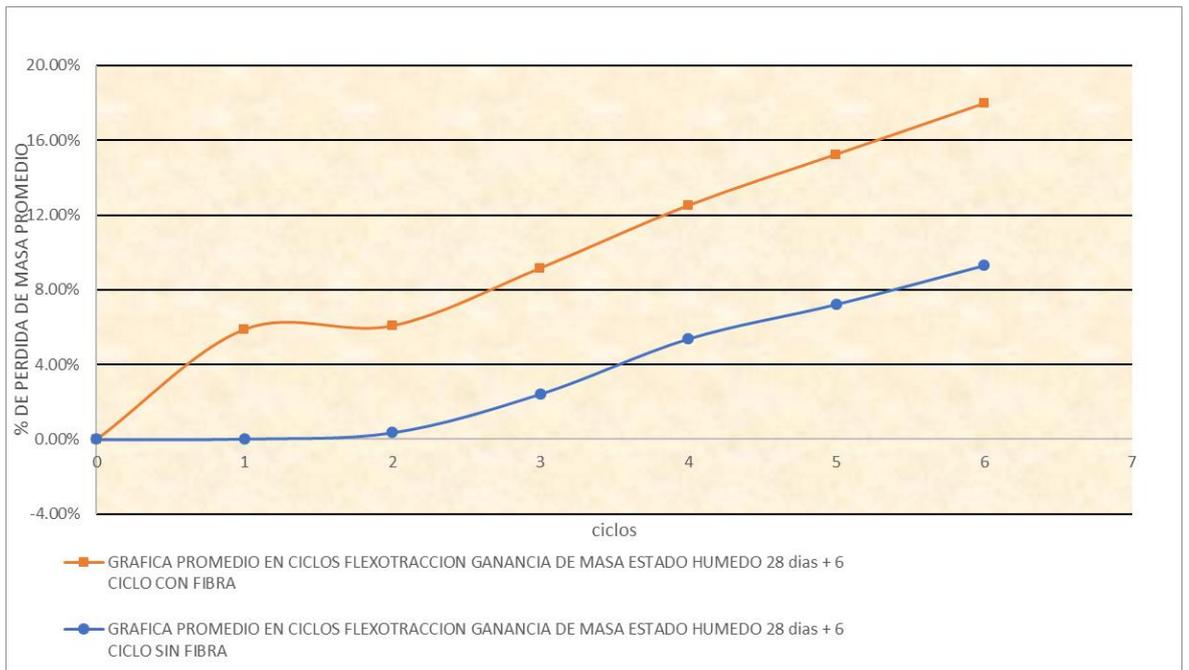


Ilustración 108 Incremento de masas 28 días + 6 ciclos W-D (1)  
Fuente: Autor

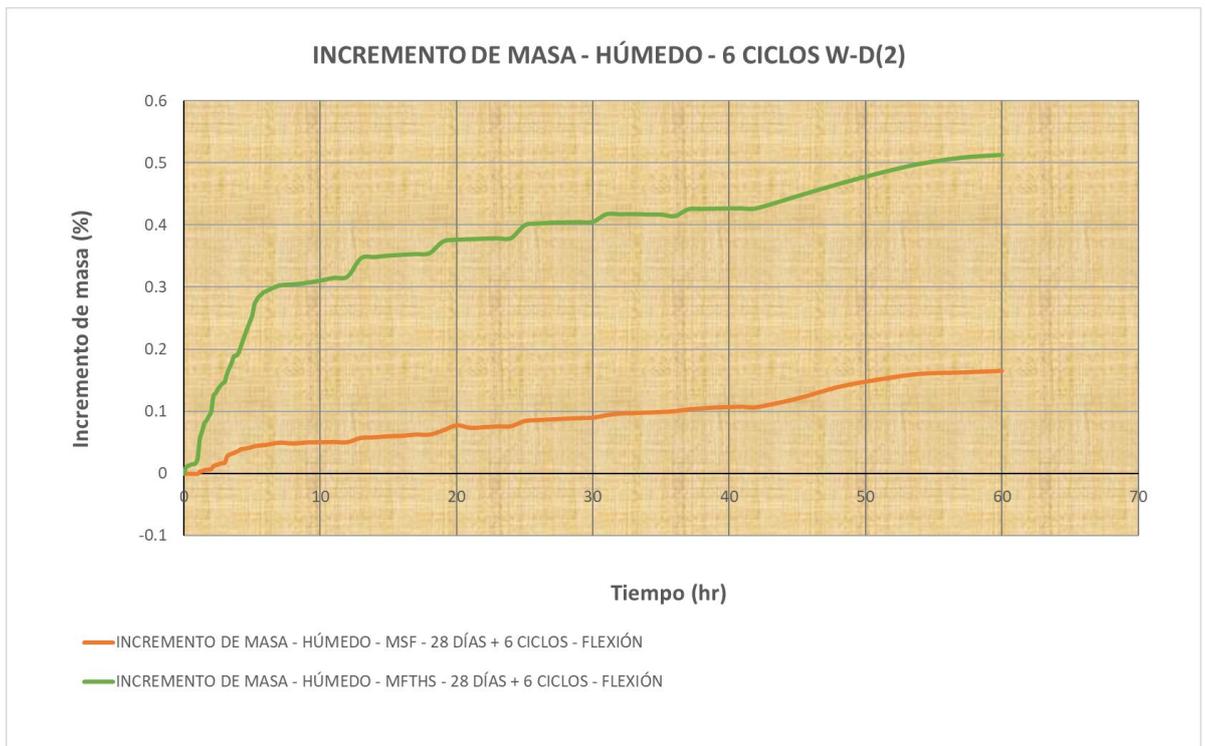


Ilustración 109 Incremento de masas 28 días + 6 ciclos W-D (2)  
Fuente: Autor

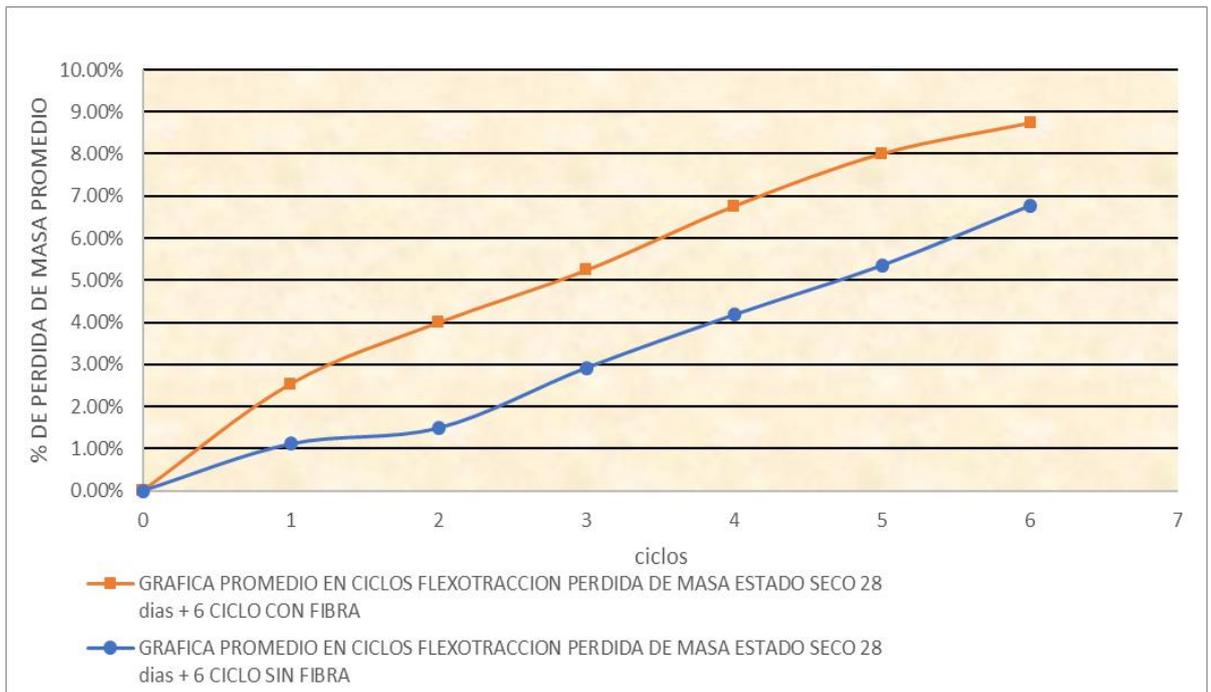


Ilustración 110 Pérdidas de masas 28 días + 6 ciclos W-D (1)  
Fuente: Autor

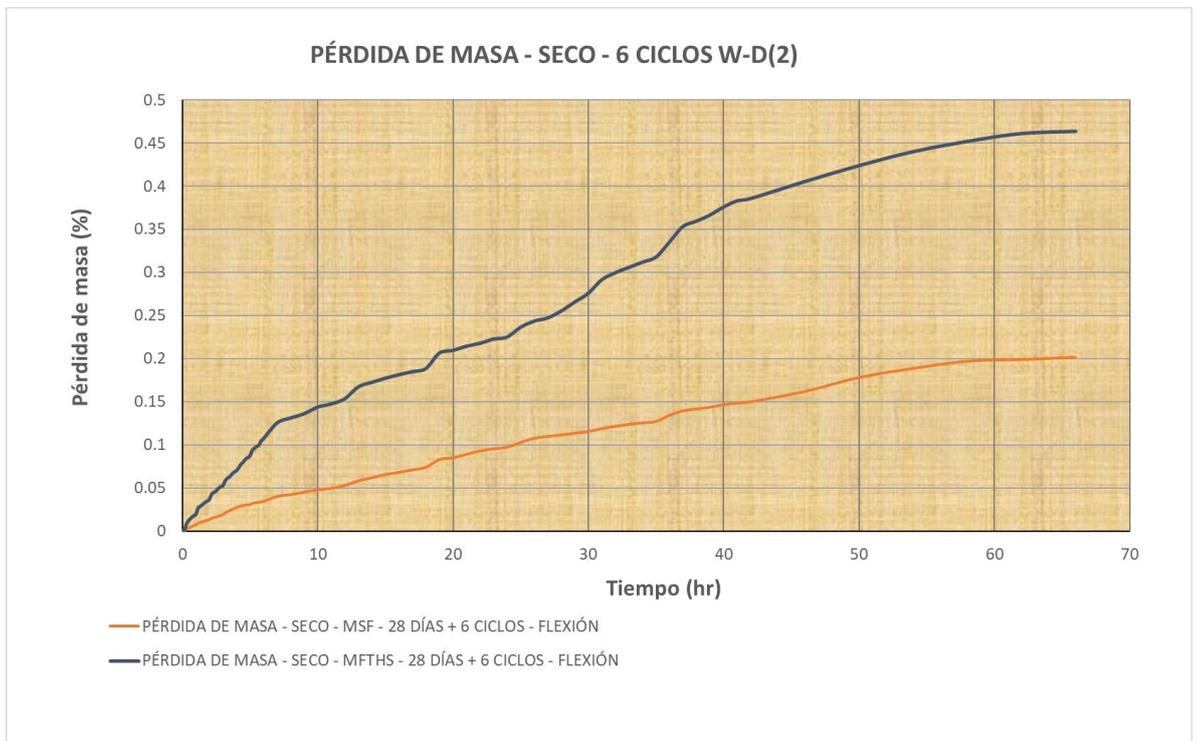


Ilustración 111 Pérdidas de masas 28 días + 6 ciclos W-D (2)  
Fuente: Autor

# **CAPÍTULO VII**

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1. Conclusiones**

Esta investigación se centró en análisis del comportamiento físico y mecánico del mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratada con hidróxido de sodio cuando es sometido a procesos de envejecimientos natural y acelerado, para lo cual se empleó ensayos de flexotracción, densidad, porosidad, retracción. Las propiedades mecánicas el mortero de estudio y mortero patrón, MFTHS y MSF respectivamente, determinó que el mortero con fibra de abacá mejora las características físicas del mortero. Dichos ensayos permitieron determinar la efectividad de los métodos de envejecimiento acelerado con respecto al desempeño del mortero y comparar las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibra de abacá expuesto a diferentes tipos de envejecimiento tanto naturales como acelerados.

Fase 0: la caracterización que se realizó a la fibra de abacá con y sin tratamiento presento incremento en sus propiedades mecánicas como en la resistencia a la tracción donde el incremento de la fibra con THS fue 59% mayor la fibra sin tratar. El TGA fue un ensayo muy importante para determinar la mejora que se presenta entre los 2 tipos de fibra, al presentar una eliminación de compuestos como la hemicelulosa se puede concluir que la composición de la fibra se altera de una manera positiva y se disminuye la capacidad de degradación en la fibra natural. La capacidad de absorción de agua se disminuye en la fibra con THS a comparación con la fibra en estado natural, aunque no se presenta de manera considerable, pero se mejora en cierto porcentaje esta característica que puede influir en la relación agua – cemento para la determinación del flujo en el mortero según NTE INEN 2502

Fase 1: en lo que respecta a densidad en estado fresco y endurecido existió una disminución en el MFTHS lo cual influye en un mortero más ligero al convencional, características como densidades en estado endurecido y propiedades mecánicas de flexión y compresión existió un incremento con

relación al mortero convencional, además, el incorporar fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio (NaOH 3%) genera una ductilidad al momento de la falla en la misma tanto en flexión como compresión. El contenido de aire no presenta variación alguna por añadir fibra THS lo cual es beneficioso ya que no afecta en dicha propiedad que es importante al momento de determinar resistencias mecánicas. El comportamiento para cambio de longitud del MSF y MFTHS presentó una retracción más controlada en el mortero con fibra generando retracciones uniformes con relación al mortero MSF, sin embargo, en ambas situaciones se llega a una retracción similar tanto en las probetas con curado inicial y las colocadas al aire luego de su fundición, por lo que no altera la retracción, pero con el MFTHS se lo puede controlar de manera proporcional. El coeficiente de absorción de agua por capilaridad, presenta una mejora considerable al añadir la fibra THS en el mortero, disminuyendo este valor en un 21,4% para el MFTHS lo que indica que al añadir la fibra THS se puede mejorar esta propiedad evitando que haya absorción de agua por los poros del mortero que al añadir fibra THS se los puede sellar presentando un mortero más impermeable.

Fase 2: durante el desarrollo de esta fase se realizaron varios ensayos para mortero en estado endurecido y analizando los resultados en las propiedades mecánicas para distintos tipos de envejecimientos naturales y acelerados a las que fueron expuestas las probetas, además, mediante un análisis de estas características determinar qué tipo de envejecimiento puede proyectar de mejor manera el comportamiento en tiempo futuro del mortero con y sin fibra THS. En lo que corresponde a las densidades del mortero en estado endurecido se puede observar que el MFTHS es más denso en todas las situaciones de envejecimiento lo cual es positivo ya que esto indica una mayor resistencia para las propiedades mecánicas, comparando los tipos de envejecimientos acelerados W-D (1) y W-D (2) se puede observar que existe un mayor aumento en el método W-D (2), con esto se podría concluir que efectivamente el mortero gana densidad con respecto al tiempo y cálculo inicial que se realizó, además, esto beneficia al momento de realizar un

análisis inicial para tener una proyección más real de dicha característica. El comportamiento mecánico a flexión del MFTHS y MSF fue creciendo de manera ligeramente proporcional para los envejecimientos naturales en ambiente laboratorio e intemperie, lo cual puede ocurrir ya que los cristales que se generan en el cemento se siguen formando con el pasar del tiempo pero no existe un decaimiento en sus resistencias para estos caso, para los envejecimientos acelerados si existió un decaimiento en la resistencia de los MFTHS de 4 meses más los ciclos de envejecimiento en relación al de 28 días con los ciclos, comparando estos resultados se presenta una mayor reducción en la resistencia a flexión en el envejecimiento con la metodología W-D (2) que es del 26,4% lo que permite concluir que este tipo de envejecimiento acelerado es más agresivo que el W-D (1), generando la situación más crítica con respecto a la resistencia a flexión del MFTHS. La resistencia a compresión genero un comportamiento similar a la flexión con respecto a envejecimientos naturales en ambiente laboratorio e intemperie, sin embargo, se observa de igual manera una reducción de resistencia en los casos acelerados, y a igual que en caso de flexión existe una mayor reducción para la metodología W-D (2) aplicado en el MFTHS a 28 días y 4 meses en comparación al W-D (1), concluyendo de esta manera que para este comportamiento el envejecimiento acelerado W-D(2) es el más agresivo. El cambio de longitud es una propiedad que sirve para medir la variación del volumen de un mortero en estado endurecido, para envejecimiento en ambiente laboratorio se tiene un comportamiento similar entre MSF y MFTHS pero con una deformación más controlada en el MFTHS, para el caso de ambiente intemperie este análisis es más dependiente del clima al cual serán expuestas las probetas, sin embargo de igual manera existe una menor deformación para el MFTHS teniendo una similitud la deformación final que tiende a ser la misma para ambos caso, es decir, con curado inicial y expuestas al aire. En lo que respecta a los envejecimientos acelerados se tiene un comportamiento diferente durante los ciclos de envejecimiento, esto ocurre ya que al exponerlos al condiciones de seco y húmedo se va generar una expansión y contracción de las probetas para ambos casos, para el

método W-D (1) las muestras MSF y MFTHS se comportan de manera similar durante la aplicación de los ciclos, pero generando un menor porcentaje de retracción en el MFTHS, por otro lado, la metodología W-D (2) induce una mayor retracción al MFTHS y luego este porcentaje tiene a 0, en comparación con el MSF la aplicación de los ciclos de envejecimiento generan una expansión inicial hasta llevar de igual manera el porcentaje de retracción a 0, concluyendo que esta metodología es más crítica ya que se proyecta la condición más crítica para la cual el mortero va perder volumen en relación al inicial, además, puede generar una fatiga en términos de expansión y contracción que podría generar una fragilidad en el elemento. Con respecto a la variación de masa se puede analizar que en ambos métodos no existe una relación comparativa ya que para W-D (1) tiene una tendencia de crecimiento por lo cual se deberían generar más ciclos de envejecimiento para tener una proyección en la cual este incremento o disminución se vuelve constante, por otro lado, el envejecimiento W-D (2) tiene una tendencia de estandarizarse la pérdida y ganancia de masa esto puede afectar directamente en los efectos generados por las altas temperaturas que se veían expuestos tanto en húmedo como seco, además, el % independientemente de si es ganancia o pérdida es mayor en la situación húmedo esto también puede deberse a la capacidad de absorber y eliminar agua del mortero.

Es importante mencionar que se generó una situación que pudo afectar en la pérdida de resistencia, al mantener las probetas en agua potable sumergía en ciclos simultáneos y al presentarse las pérdidas de masa del mortero se pudo presenciar por medio de un análisis rápido que la calidad de agua potable vario con respecto al que se usó para los ciclos presentando las siguientes características de variación:

Tabla 217 Características del agua potable y la usada para envejecimientos

Muestra	PH	Conductividad uS/m	Salinidad (‰)	Solidos disueltos (Mg/L)
Agua potable	7,26	163,3	0,07	76,2
Agua para envejecimiento	8,70	1141	0,57	572

**Nota:** Fuente: Autor



Ilustración 112 Determinación del PH para agua potable y agua de envejecimiento  
Fuente: Autor

Según (Puertas, De Gutierrez, Fernández-Jiménez, Delvasto, & Maldonado, 2002) al tener el mortero expuesto a una solución alcalina se puede mencionar que existe un ataque directo en el cemento y por ende generar una pérdida en la resistencia de la misma sin embargo se necesitan realizar análisis más

específicos para poder definir una conclusión más concreta y con resultados sustentables.

## **7.2. Recomendaciones**

Es importante para investigaciones próximas tener en cuenta que para poder realizar comparativas de las propiedades mecánicas es necesario realizar una fundición masiva para que todas las probetas tengan un mismo flujo y no se vean afectadas las resistencias, además es muy importante que cada probeta sea fundida en iguales condiciones.

En cuanto a los envejecimientos acelerados se debe procurar realizar los ciclos seguidos sin lapsos de tiempos vacíos de esa forma se controla las ganancias y pérdidas que se calcularon anteriormente. Adicionalmente se recomienda que en futuras investigaciones se realicen más ciclos de envejecimiento. Sin embargo, en este trabajo se aplicaron 6 ciclos de envejecimiento considerando que la mayoría de las pérdidas en propiedades mecánicas ocurrió dentro de los primeros 5 ciclos de W-D (1) y W-D (2) (Mohr, Nanko, & Kurtis, 2005).

Por último se recomienda realizar los envejecimientos naturales con mayor tiempo de envejecimiento para poder determinar el tiempo en días que provoca un ciclo de envejecimiento W-D (1) y W-D (2)

## REFERENCIAS

AccuWeather. (2020). Guayaquil, Guayas, Ecuador Monthly Weather | AccuWeather. Retrieved February 15, 2020, from <https://www.accuweather.com/es/ec/guayaquil/127947/january-weather/127947?year=2020>

American Society for Testing and Materials. (1974). ASTM C144. Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar. *Annual Book of ASTM Standards*, 70, 4–5. <https://doi.org/10.1520/C0144-11.2>

Asociación Española de Normalización y Certificación. (1999). Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 7: Determinación del contenido en aire en el mortero fresco.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2000a). Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2000b). Métodos de ensayos de los mortero para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y compresión del mortero endurecido.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2003). Método de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2005). Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.

Booya, E., Gorospe, K., Ghaednia, H., & Das, S. (2019). Durability properties of engineered pulp fibre reinforced concretes made with and without supplementary cementitious materials, *172*(May), 376–386.

Calle, G. (2019). INFLUENCIA DEL EFECTO ALCALINO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MORTERO REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ.

Elices, M. (2002). Tiempo y envejecimiento de los materiales.

Freire, M. (2019). Influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de las fibras de abacá en el mortero.

Holcim Ecuador S.A. (2015). Holcim Fuerte. Cemento hidraulico tipo GU para la contrucción en general.

INSHT. (2010). Hidróxido De Sodio. *Fichas Internacionales de Seguridad Química*, 265. Retrieved from <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FI/SQ/Ficheros/301a400/nspn0360.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009a). Norma Ecuatoriana NTE INEN 2502, *2502*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009b). Norma Ecuatoriana NTE INEN 2504, *2504*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009c). NTE INEN 155: Cemento hidráulico. Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica., *0155*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). Norma Ecuatoriana NTE INEN 2518. *Morteros Para Unidades de Mampostería. Requisitos*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). Norma Ecuatoriana NTE INEN 1806. *Cemento Para Mampostería. Requisitos.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). Norma Ecuatoriana NTE INEN 195. *Inen.*

Instituto Oceanográfico de la Armada. (2020). Precipitación en Guayaquil. Retrieved February 15, 2020, from <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/precipitacion-en-guayaquil>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). NTE INEN 2380:2011 Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. *Norma Inen 2380 - 2011 Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1(Primera Edición), 5. Retrieved from <http://181.112.149.203/buzon/normas/2380.pdf>

Mohr, B. J., Nanko, H., & Kurtis, K. E. (2005). Durability of kraft pulp fiber-cement composites to wet/dry cycling. *Cement and Concrete Composites*, 27(4), 435–448. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.07.006>

Nasr, D., Behforouz, B., Rezaei, P., Afzali, S., & Zehtab, B. (2019). Effect of nano-silica on mechanical properties and durability of self-compacting mortar containing natural zeolite: Experimental investigations and artificial neural network modeling. *Construction and Building Materials*, 229, 116888. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116888>

Neves, A., Rocha, S., Dias, R., Filho, T., Moraes, E. De, Fairbairn, R., & Dweck, J. (2019). Effect of early age curing carbonation on the mechanical properties and durability of high initial strength Portland cement and lime-pozolan composites reinforced with long sisal fibers, 163(April 2018), 351–362.

Onuaguluchi, O., & Banthia, N. (2016). Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review. *Cement and Concrete Composites*, 68, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.02.014>

Puertas, F., De Gutierrez, R., Fernández-Jiménez, A., Delvasto, S., & Maldonado, J. (2002). Morteros de cementos alcalinos. Resistencia química al ataque por sulfatos y al agua de mar. *Materiales de Construcción*, 2002(267), 55–71. <https://doi.org/10.3989/mc.2002.v52.i267.326>

Soroushian, P., Won, J., & Hassan, M. (2012). Durability characteristics of CO<sub>2</sub>-cured cellulose fiber reinforced cement composites. *Construction and Building Materials*, 34, 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.016>

Souza, & Almeida. (2014). Tensile, thermal, morphological and structural characteristics of abaca (musa textiles) fibers.

Wei, J., Ma, S., & Thomas, D. S. G. (2016). Correlation between hydration of cement and durability of natural fiber-reinforced cement composites, 106, 1–15.

Zambrano, K. (2013). Morteros para mampostería | ARGOS 360. Retrieved February 24, 2020, from <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/morteros/morteros-para-mamposteria>

Zukowski, B., Rodrigo, E., Gabriela, Y., Andrade, F. De, Dias, R., & Filho, T. (2018). The durability of SHCC with alkali treated curaua fibre exposed to natural weathering. *Cement and Concrete Composites*, 94(April), 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.002>

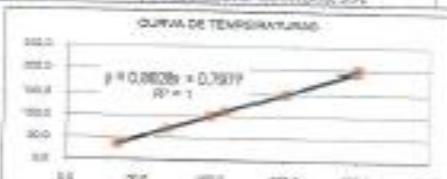
Holcim Ecuador S.A. (2018). Reporte de Análisis TGA.

# **ANEXOS**

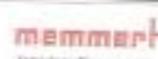
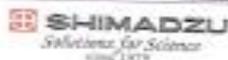
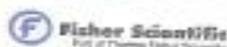
## REPORTE DE CALIBRACIÓN DE TEMPERATURA HOLCIM CIH - HORNO - 2018 - 004

Guayaquil, diciembre del 2018

CLIENTE: HOLCIM ECUADOR S.A. DIRECCION: AV. BARCELONA Y JOSÉ RODRÍGUEZ BONÍN  
 CONTACTO: ING. MARIA DE LOURDES LARA TEL.: 3709600  
 EQUIPO: HORNO DE SECADO  
 MARCA: QUINCY LAB  
 MODELO: 400C  
 SERIE: 2678

CLIENTE: HOLCIM ECUADOR S.A.		FICHA DE CALIBRACION Y MANTENIMIENTO		CODIGO DE INSTRUMENTO:		
DENOMINACION DEL INSTRUMENTO: HORNO DE SECADO		MARCA: QUINCY LAB SERIE: 2678		RANGO: AMBIENTE - 250C		
UBICACION CENTRO DE INNOVACION HOLCIM		MODELO: 400C		CAPACIDAD MAXIMA: 140 LITROS		
RESOLUCION: 3°C		TOLERANCIA DE TRABAJO: (+/- 10°C)		APARIENCIA DEL EQUIPO: BUENA		
RESPONSABLES						
CALIBRADO POR: ING. ANSELMO JONCE		SUPERVISADO POR: ING. MERCEDES JONCE		RESPONSABLE: ING. MARIA DE LOURDES LARA		
FECHA: DICIEMBRE 2018		FECHA: DICIEMBRE 2018		FECHA: DICIEMBRE 2018		
CURVA DE TEMPERATURA						
						
CALIBRACION						
SET (°C)	PATRON (°C)	LECTURA DE EQUIPO (°C)	DESVIACION MAXIMA (°C)	TOLERANCIA DE TRABAJO °C	INCERTIDUMBRE (K=2) en ± °C	OBSERVACION
80	79,5	81	0,5	10	0,5	OK
150	99,3	101	0,7	10	0,8	OK
120	110,5	111	0,5	10	0,5	OK
150	149,5	151	0,4	10	0,5	OK
200	200,8	201	0,2	10	0,3	OK
METODO UTILIZADO: LA CALIBRACION SE REALIZO APLICANDO EL PROCEDIMIENTO DE VERIFICACION QUE DA LA NORMA ISO-15C 17025						
PATRON CERTIFICADO						
TERMOMETRO DIGITAL CON TERMOCUPLA						
MARCA: CONTROL COMPANY	MODELO: 1235D23	SERIE: 181674353	CERTIFICADO No: 4371-9278641			
OBSERVACIONES: Después de realizar la revisión y el Mantenimiento Preventivo del equipo, de acuerdo a las pruebas realizadas y resultados obtenidos, podemos decir que el control se encuentra en buen estado y trabajando dentro de las especificaciones técnicas dadas por el fabricante.						

Barrio del Seguro, Calle Oriente # 1215 entre México y la Habana • Teléfono: 2441001 / 2441220  
 e-mail: disertecnic@ecuacalce.com • Guayaquil - Ecuador





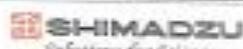
## REPORTE DE CALIBRACIÓN DE TEMPERATURA HOLCIM CIH - HORNO - 2018 - 003

Guayaquil, diciembre del 2018

CLIENTE: HOLCIM ECUADOR S.A. DIRECCIÓN: AV. BARCELONA Y JOSÉ RODRÍGUEZ BONÍN  
 CONTACTO: ING. MARIA DE LOURDES LARA TEL: 3709000  
 EQUIPO: HORNO DE SECADO  
 MARCA: GRIEVE  
 MODELO: MPA-270  
 SERIE: 059159

CLIENTE: HOLCIM ECUADOR S.A.		FICHA DE CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO		CODIGO DE INSTRUMENTO:		
DENOMINACIÓN DEL INSTRUMENTO: HORNO DE SECADO		MARCA: GRIEVE SERIE: 059159		RANGO: AMBIENTE - 250°C		
UBICACIÓN: CENTRO INNOVACION HOLCIM		MODELO: MPA-270		CAPACIDAD MAXIMA: 140 LITROS		
RESOLUCIÓN: 1°C		TOLERANCIA DE TRABAJO: $\pm (+/-) 2\%$		APARENCIA DEL EQUIPO: BUENA		
RESPONSABLES				FECHA:		
CALIBRADO POR: ING. ANGELO PONCE		SUPERVISADO POR: ING. MERCEDES BONCE		RESPONSABLE: ING. MARILINDA LOURDES LARA		
POR DISERTECNIC		POR DISERTECNIC		POR HOLCIM ECUADOR S.A.		
				ACTUAL: DICIEMBRE 2018		
				PRÓXIMA: DICIEMBRE 2019		
CALIBRACION						
SET (°C)	PATRON (°C)	LECTURA DE EQUIPO (°C)	DESVIACION MAXIMA (°C)	TOLERANCIA DE TRABAJO (°C)	INCERTIDUMBRE (K=2) en $\pm 1^\circ\text{C}$	OBSERVACION
57	56,7	56	0,3	2	0,4	OK
70	70,4	71	0,6	2	0,7	OK
100	100,4	101	0,6	2	0,7	OK
110	110,5	111	0,5	2	0,6	OK
150	150,6	151	0,4	2	0,4	OK
200	200,4	201	0,5	2	0,6	OK
MÉTODO UTILIZADO: LA CALIBRACION SE REALIZO APLICANDO EL PROCEDIMIENTO DE VERIFICACION QUE DA LA NORMA ISO/IEC 17025						
PATRON CERTIFICADO TERMOMETRO DIGITAL CON TERMOCUPLA						
MARCA: CONTROL COMPANY		MODELO: 1238D25		SERIE: 181074353		
				CERTIFICADO No: 4371- 9275641		
OBSERVACIONES: Después de realizar la revisión y el Mantenimiento Preventivo del equipo; de acuerdo a los pruebas realizadas y resultados obtenidos, podemos decir que el equipo se encuentra en buen estado y trabajando dentro de las especificaciones técnicas dadas por el fabricante.						

Barrio del Seguro, Calle Oriente # 1215 entre Mexico y la Habana • Teléfono: 2441001 / 2441220  
 e-mail: disertecnic@ecuacalce.com • Guayaquil - Ecuador





<b>Certificado de Producto</b>				Doc ID:	ACB0-H00-RC27
				Revisión:	6
Autor:	Técnico de Control de Calidad	Revisa:	Jefe de Control de Calidad	Aprueba:	Jefe de Control de Calidad



## Cemento hidráulico para uso General Tipo GU

El Cemento Holcim Fuerte Tipo GU es un cemento hidráulico que se fabrica bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2380. Esta norma establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y los clasifica de acuerdo a sus propiedades específicas.

### Especificaciones técnicas

Fecha reporte: 05.11.2019

Fecha de 01.10.2019 a 01.11.2019

### Requisitos Químicos

La composición química para el cemento no está especificada en la NTE INEN 2380, sin embargo los constituyentes individuales molidos y mezclados para producirlo son analizados.

### Requisitos Físicos

	NTE INEN 2380	Valor
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0,80	0,00
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	170
Inicial, no más de, minutos	420	
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	5
Resistencia a la Compresión, mínimo MPa		
1 día	A	7,2
3 días	13	17,0
7 días	20	23,0
28 días	28	28,8
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0,020	0,001



#### NOTAS:

- La información que consta en el certificado corresponde al promedio de los datos obtenidos en el periodo indicado. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim; los despacho individuales pueden variar.
- La resistencia a 28 días corresponde al promedio del mes anterior.
- (A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.
- (ND) Resultado del ensayo no disponible para el periodo de análisis indicado.

#### ALMACENAMIENTO:

Almacenar el cemento en ambientes ventilados, sin humedad y cambios bruscos de temperatura. Para cemento a granel se debe contar en obra con silos de al menos 30 toneladas (capacidad promedio de camiones graneros)

Planta Guayaquil	Via a Salinas km 18.5	Servicio al cliente:	04-370 9000
Dirección	Guayaquil, Ecuador	Extensiones:	361066
Teléfono	593 4 3709000		361067

[www.holcim.com.ec](http://www.holcim.com.ec)



Jefe de Control de Calidad  
Planta Guayaquil  
Holcim Ecuador S.A.

## Certificado de Producto

**Doc ID:** ACB0-H00-RC27

**Revisión:** 6

**Autor:** Técnico de Control de Calidad

**Revisa:** Jefe de Control de Calidad

**Aprueba:**
**Jefe de Control de Calidad**


### Cemento hidráulico para uso General Tipo GU

El Cemento Holcim Fuerte Tipo GU es un cemento hidráulico que se fabrica bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2380. Esta norma establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y los clasifica de acuerdo a sus propiedades específicas.

#### Especificaciones técnicas

**Fecha reporte:** 02.12.2019

**Fecha de:** 01.11.2019 a 01.12.2019

#### Requisitos Químicos

La composición química para el cemento no está especificada en la NTE INEN 2380, sin embargo los constituyentes individuales molidos y mezclados para producirlo son analizados.

#### Requisitos Físicos

	NTE INEN 2380	Valor
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0,80	0,00
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	153
Inicial, no más de, minutos	420	
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	5
Resistencia a la Compresión, mínimo MPa		
1 día	A	8,3
3 días	13	17,6
7 días	20	23,5
28 días	28	29,3
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0,020	0,001



#### NOTAS:

1. La información que consta en el certificado corresponde al promedio de los datos obtenidos en el periodo indicado. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim; los despachos individuales pueden variar.
2. La resistencia a 28 días corresponde al promedio del mes anterior.
3. (A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.
4. (ND) Resultado del ensayo no disponible para el periodo de análisis indicado.

#### ALMACENAMIENTO:

Almacenar el cemento en ambientes ventilados, sin humedad y cambios bruscos de temperatura.

Para cemento a granel se debe contar en obra con silos de al menos 30 toneladas (capacidad promedio de camiones graneleros)

**Planta Guayaquil**

Vía a Salinas km 18.5

**Servicio al cliente:** 04-370 9000

Dirección Guayaquil, Ecuador

**Extensiones:** 361066

Teléfono 593 4 3709000

361067

[www.holcim.com.ec](http://www.holcim.com.ec)


 Jefe de Control de Calidad  
 Planta Guayaquil  
 Holcim Ecuador S.A.

## Certificado de Producto

**Doc ID:** ACB0-H00-RC27

**Revisión:** 6

**Autor:** Técnico de Control de Calidad    **Revisa:** Jefe de Control de Calidad    **Aprueba:** Jefe de Control de Calidad


### Cemento hidráulico para uso General Tipo GU

El Cemento Holcim Fuerte Tipo GU es un cemento hidráulico que se fabrica bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2380. Esta norma establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y los clasifica de acuerdo a sus propiedades específicas.

#### Especificaciones técnicas

**Fecha reporte:** 30.12.2019

**Fecha de:** 01.12.2019 a 30.12.2019

#### Requisitos Químicos

La composición química para el cemento no está especificada en la NTE INEN 2380, sin embargo los constituyentes Individuales molidos y mezclados para producirlo son analizados.

#### Requisitos Físicos

	NTE INEN 2380	Valor
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0,80	0,00
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	152
Inicial, no más de, minutos	420	
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	5
Resistencia a la Compresión, mínimo MPa		
1 día	A	7,7
3 días	13	17,7
7 días	20	22,7
28 días	28	29,5
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0,020	0,001


**NOTAS:**

1. La información que consta en el certificado corresponde al promedio de los datos obtenidos en el periodo indicado. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim; los despacho individuales pueden variar.
2. La resistencia a 28 días corresponde al promedio del mes anterior.
3. (A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.
4. (ND) Resultado del ensayo no disponible para el periodo de análisis indicado.

**ALMACENAMIENTO:**

Almacenar el cemento en ambientes ventilados, sin humedad y cambios bruscos de temperatura.

Para cemento a granel se debe contar en obra con silos de al menos 30 toneladas (capacidad promedio de camiones graneleros)

**Planta Guayaquil**

Vía a Salinas km 18.5

**Servicio al cliente:** 04-370 9000

Dirección Guayaquil, Ecuador

Extensiones: 361066

Teléfono

593 4 3709000

361067

[www.holcim.com.ec](http://www.holcim.com.ec)


 Jefe de Control de Calidad  
 Planta Guayaquil  
 Holcim Ecuador S.A.

## Certificado de Producto

Doc ID: ACB0-H00-RC27

Revisión: 6

Autor: Técnico de Control de Calidad

Revisó:

Jefe de Control de Calidad

Aprobó:

Jefe de Control de Calidad



### Cemento hidráulico para uso General Tipo GU

El Cemento Holcim Fuerte Tipo GU es un cemento hidráulico que se fabrica bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2380. Esta norma establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y los clasifica de acuerdo a sus propiedades específicas.

#### Especificaciones técnicas

Fecha reporte: 05.02.2020

Fecha de 01.01.2020 a 01.02.2020

#### Requisitos Químicos

La composición química para el cemento no está especificada en la NTE INEN 2380, sin embargo los constituyentes individuales molidos y mezclados para producirlo son analizados.

#### Requisitos Físicos

	NTE INEN 2380	Valor
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0,80	0,00
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	138
Inicial, no más de, minutos	420	
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	5
Resistencia a la Compresión, mínimo MPa		
1 día	A	8,8
3 días	13	17,4
7 días	20	22,6
28 días	28	29,2
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0,020	0,001



#### NOTAS:

1. La información que consta en el certificado corresponde al promedio de los datos obtenidos en el periodo indicado. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim; los despachos individuales pueden variar.
2. La resistencia a 28 días corresponde al promedio del mes anterior.
3. (A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.
4. (ND) Resultado del ensayo no disponible para el periodo de análisis indicado.

#### ALMACENAMIENTO:

Almacenar el cemento en ambientes ventilados, sin humedad y cambios bruscos de temperatura.

Para cemento a granel se debe contar en obra con silos de al menos 30 toneladas (capacidad promedio de camiones graneleros)

Planta Guayaquil Vía a Salinas km 18.5  
Dirección Guayaquil, Ecuador  
Teléfono 593 4 3709000

Servicio al cliente: 04-370 9000  
Extensiones: 361066  
361067

[www.holcim.com.ec](http://www.holcim.com.ec)



Jefe de Control de Calidad  
Planta Guayaquil  
Holcim Ecuador S.A.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Cubillo Santana Adriana Lissette y Chasiguasín Nacipucha Luis Fabricio**, con C.C respectivamente: # 0927787911 y # 0930855762 autores del trabajo de titulación: **“PROCESOS DE ENVEJECIMIENTOS NATURAL Y ACELERADO DEL MORTERO REFORZADO CON FIBRA DE ABACÁ PREVIAMENTE TRATADA CON HIDRÓXIDO DE SODIO”** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 6 de marzo del 2020

**EL AUTOR**

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_

f. \_\_\_\_\_

**Chasiguasín Nacipucha Luis Fabricio**

**C.C: 0930855762**

**Cubillo Santana Adriana Lissette**

**C.C: 0927787911**



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>		
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		
<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Procesos de envejecimientos natural y acelerado del mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratada con Hidróxido de Sodio	
<b>AUTOR(ES)</b>	Cubillo Santana, Adriana Lissette ; Chasiguasin Nacipucha, Luis Fabricio	
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Stefany Alcívar Bastidas	
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería	
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil	
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil	
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	06 de marzo de 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b> 269
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	ingeniería sustentable, Construcción y materiales, Materiales Naturales	
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Abacá, envejecimiento, natural, acelerado, propiedades físicas y mecánicas	
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b> Este trabajo tiene el propósito de mostrar el comportamiento del mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratado con hidróxido de sodio (NaOH 3%) en su estado envejecido de dos formas: natural en ambiente laboratorio, ambiente intemperie y envejecimiento acelerado después de 6 ciclos de aplicación por dos métodos de W/D para realizar un comparativo con el mortero convencional sin fibra y determinar la efectividad de la fibra previamente tratada con hidróxido de sodio (NaOH 3%) actuando en un mortero convencional; para lo cual se realizaron ensayos de flexión, compresión, cambio de longitud, densidad endurecido y fresco, contenido de aire y capilaridad dentro de los cuales se ha determinado a través de los diferentes métodos de envejecimiento, en cuanto a la densidad se presenta un aumento del 6,2%, en flexión un aumento del 11% y finalmente compresión se presenta un incremento del 15,7% a favor del mortero con fibra (MFTHS) con respecto al mortero convencional sin fibra (MSF).		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-959155589 <b>Teléfono:</b> +593-987671590	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:luis_fabricioch@hotmail.com">luis_fabricioch@hotmail.com</a> <b>E-mail:</b> <a href="mailto:adricubillo_san@hotmail.com">adricubillo_san@hotmail.com</a>
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Clara Glas Cevallos	
	<b>Teléfono:</b> +593- 4 -2206956	
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		