

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE: INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA: CARACTERIZACIÓN DEL USO DE FIBRAS DE PALMA AFRICANA COMO COMPONENTE EN LA
DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

Autores:

Romero Arévalo Roosevelt Fernando

Guilcatoma Macias Marcelo

QUITO, Junio 2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios porque me ha dado salud, vida y amor para llegar a este momento tan importante en mi vida, agradecer por que me ha permitido compartir con mi familia y amigos con los que he compartido durante toda la carrea y especialmente en momentos difíciles, ha sido mi guía para mantener los valores en mi vida. Agradecer porque ha brindado salud y vida a mi familia.

Quiero agradecer a mis padres Mario Romero y Elsa Arévalo por todo su amor incondicional ya que me han apoyado en mi decisión con respecto a la carrera que elegí para estudiar y que en muchos momentos de dificultad nunca me abandonaron y me dieron lecciones de vida que aprendí gracias a ellos. Por los valores que inculcaron en mi y trato de aplicarlos en mi vida y los seguiré aplicando. Gracias a mis padres por enseñarme que a la familia no se abandona.

Quiero agradecer a mi hermano mayor Alejandro Romero el cual fue una fuente de inspiración y de ejemplo a seguir tanto deportiva, académica y personalmente, por sus consejos y apoyo a lo largo de mi vida.

Agradecer a Mercedes Añamise la cual fue una persona que me supo dar apoyo en diferentes momentos en mi carrera, la misma que me acompañó en varios eventos que realizaba y me permitían mantener una beca en la universidad. Agradecer porque gracias a ella tengo la mayor inspiración que es mi hija Emili Romero la misma que me da fuerza y me motiva a luchar día a día para ser mejor.

Agradecer a Marcelo Guilcatoma amigo y compañero durante la carrera y en la elaboración del presente trabajo de disertación, amigo que considero hermano con el que he compartido buenos y malos momentos en los cuales nos sabemos apoyar incondicionalmente. Por la confianza entregada y consejos impartidos.

A los docentes de la facultad, por sus enseñanzas, por su exigencia, por los consejos de profesión para hacer la diferencia de en el mundo laboral y por su compromiso con el estudiante en ayudar al aprendizaje, en especial agradecer al Ing. Jorge Albuja que nos dio la confianza de realizar el presente trabajo de disertación y su ayuda en la misma.

Agradecer a mis amigos de la carrera y compañeros de la selección de futbol con los que compartí buenos momentos y a G.V por su apoyo incondicional.

Roosevelt Fernando Romero Arévalo

DEDICATORIA

A mis padres, Mario Romero y Elsa Arévalo por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida con lo que me han permitido llegar lejos y hasta este momento importante en mi vida, gracias a su paciencia y compañía.

A mi hija Emili Romero la cual se convirtió en el motor y motivación en mi vida por la cual lucharé cada día para ser mejor ya que ella me llena de energía y me inspira para seguir consiguiendo logros en mi vida.

Roosevelt Fernando Romero Arévalo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por haber permitido alcanzar esta meta tan deseada, por darme padres sabios y correctos que jamás me dejaron solo en momentos difíciles.

A mi amada madre, Carlota Macias, por ser la amiga infalible en mi vida, por darme siempre ese apoyo moral, psicológico a cada momento, por ser ese ejemplo de lucha, entrega, disciplina, amor que me enseña cada día a ser mejor persona.

A mi amado padre Marcelo Guilcatoma, por jamás dejar solo a su hijo, por los consejos, los llamados de atención, los abrazos, por impartir su sabiduría de la vida conmigo, por ser ese profesor de la vida y ser ejemplo de perseverancia, entrega, bondad, servicialidad. Por enseñarme a ser un hombre de valores.

A mis hermanas María José Guilcatoma y Romina Guilcatoma, por creer siempre en mí, por ser mis segundos padres, por su amor y apoyo infinito, por jamás dejar caer a su hermano en momentos difíciles, por ser esa guía desde inicio a fin en este camino de la universidad, por su generosidad conmigo.

A mi abuelito Rafael Guilcatoma, por ser la inspiración de lucha, unión, por ser ese significado de amor por la familia, por ser la motivación desde el día uno en mi carrera universitaria, por ser el mejor abuelo.

A mi amigo Roosevelt Romero por compartir buenos y difíciles momentos durante la vida de la universidad, por confiar y entregarme su amistad en todo momento.

A los docentes de la facultad, por su gran labor pedagógica, enseñanza, por su exigencia con los alumnos, por los consejos de profesión para hacer la diferencia de en el mundo laboral.

Marcelo Guilcatoma Macías

DEDICATORIA

A mis padres, Marcelo Guilcatoma y Carlota Macias, por su infinito apoyo, paciencia, amor y compañía que permitieron alcanzar mi sueño y enseñarme a que siempre se puede llegar mas lejos de donde estamos.

Marcelo Guilcatoma Macías

ÍNDICE

1. CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.4. HIPÓTESIS.....	5
1.5. VARIABLES	6
1.6. INDICADORES	6
1.7. ALCANCE.....	6
1.8. OBJETIVOS	7
1.8.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.8.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	8
2.1. ANTECEDENTES	8
2.2. EL USO DEL HORMIGÓN EN LA HISTORIA.....	8
2.3. MATERIALES QUE CONFORMAN EL HORMIGÓN.....	10
2.3.1. CEMENTO PORTLAND	10
2.3.2. AGUA	11
2.3.3. AGREGADOS	11
2.4. CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN.....	12
2.4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	12
2.4.2. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	15
2.5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.....	16
2.5.1. Información del agregado fino, grueso y cemento.....	16
2.5.2. Determinación de la resistencia requerida	20
2.5.3. Selección del asentamiento	20
2.5.4. Selección de tamaño máximo nominal	21
2.5.5. Selección de cantidad de agua	21
2.5.6. Fijación de la relación agua cemento	22
2.5.7. Estimación de la cantidad de agregado grueso	23
2.6. EL HORMIGÓN Y SUS PROPIEDADES.....	24
2.7. HORMIGÓN CON FIBRAS	25

2.8.	FIBRAS DE PALMA AFRICANA DE ACEITE	27
2.8.1.	Características generales de la Palma Africana de aceite	28
2.9.	TRATAMIENTOS QUÍMICOS	28
2.9.1.	Hidróxido de sodio.....	29
2.9.2.	Agua hervida.....	30
2.9.3.	RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS 31	
2.9.4.	Cálculo	32
2.10.	MÓDULO DE ROTURA	33
2.10.1.	Módulo de rotura teórico.....	34
3.	CAPITULO III: DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES, ENSAYOS	35
3.1.	AGREGADOS	35
3.1.1.	Ensayos de Agregado Fino	35
3.1.2.	Ensayos de Agregado Grueso	39
3.2.	MUESTREO	46
3.3.	CEMENTO	46
3.3.1.	Densidad real del cemento	47
3.3.2.	Consistencia normal del cemento.....	48
3.3.3.	Resultados de la caracterización del cemento	49
3.4.	FIBRAS DEL RAQUIS DE LA PALMA AFRICANA	50
3.4.1.	Procedencia.....	50
3.4.2.	Obtención y proceso de deshilachar fibras.....	50
3.4.3.	Ensayos a las fibras naturales.....	51
3.4.4.	Longitud de la fibra.....	59
3.5.	TRATAMIENTOS QUÍMICOS	59
3.5.1.	Mercerización (Hidróxido de Sodio)	60
3.5.2.	Agua Hervida	62
3.5.3.	Características Físicas de la Fibra de Raquis de Palma Africana	62
3.6.	ENSAYO DE FIBRAS A TRACCIÓN PURA	63
3.6.1.	Preparación: Muestra de fibra sin tratamiento	63
3.6.2.	Preparación: Muestra tratada con hidróxido de sodio.....	64
3.6.3.	Preparación: Muestra tratada con agua caliente.....	64
3.6.4.	Ensayo: Tracción de la fibra	65
3.6.5.	Resumen: Características mecánicas de la fibra de raquis de palma africana.....	66

4.	CAPITULO IV: DOSIFICACIÓN Y ENSAYOS	67
4.1.	DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1 m ³	68
4.1.1.	Dosificación preliminar.....	68
4.1.2.	Dosificación definitiva.....	75
4.1.3.	Dosificaciones empleadas en la mezcla	76
4.2.	FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE Y CON FIBRA DE PALMA AFRICANA	79
4.2.1.	Volumen de hormigón requerido	79
4.2.2.	Encofrado.....	80
4.2.3.	Cálculo de la cantidad mínima de viguetas a ensayar	81
4.2.4.	Preparación de la mezcla de hormigón	84
4.2.5.	Ensayos de hormigón fresco	86
4.2.6.	Desencofrado y curado de viguetas.....	89
4.3.	ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO	90
4.3.1.	Resistencia residual de las viguetas	90
4.3.2.	Equipo de ensayo	90
4.3.3.	Resistencia a la flexión	92
4.3.4.	Densidad del hormigón fraguado	101
5.	CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	104
5.1.	RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO	104
5.1.1.	Cálculo de la resistencia promedio	104
5.1.2.	Análisis de resultados.....	148
5.2.	MÓDULO DE ROTURA	150
5.2.1.	Módulo de rotura teórico.....	150
5.2.2.	Módulo de rotura viguetas	150
5.3.	Análisis de resultados	163
6.	CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	165
6.1.	CONCLUSIONES	165
6.2.	RECOMENDACIONES.....	169
	BIBLIOGRAFÍA	171
	ANEXOS	172

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2. 1 Grados de consistencia y aplicaciones</i>	12
<i>Tabla 2. 2 Peso unitario de hormigones</i>	14
<i>Tabla 2. 3 Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso</i>	17
<i>Tabla 2. 4 Clasificación por su forma</i>	18
<i>Tabla 2. 5 Clasificación de cementos puros INEN 152</i>	19
<i>Tabla 2. 6 Clasificación de cementos compuestos INEN 152</i>	19
<i>Tabla 2. 7 Resistencia requerida promedio a la comprensión cuando los datos no son disponibles para establecer una muestra de desviación estándar.</i>	20
<i>Tabla 2. 8 Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción.</i>	20
<i>Tabla 2. 9 Tamaño máximo de agregado sugerido en función del tipo de obra</i>	21
<i>Tabla 2. 10 Cantidades de agua en obra</i>	21
<i>Tabla 2. 11 Cantidades de agua de mezclado</i>	22
<i>Tabla 2. 12 Relación agua/cemento</i>	23
<i>Tabla 2. 13 Volumen aparente del agregado grueso por unidad de volumen</i>	23
<i>Tabla 2. 14 Tratamiento químico</i>	29
<i>Tabla 3. 1 Tamices para el agregado fino</i>	35
<i>Tabla 3. 2 Escala de Gardner.</i>	38
<i>Tabla 3. 3 Resultados de ensayos del agregado fino</i>	38
<i>Tabla 3. 4 Gradación agregado fino</i>	39
<i>Tabla 3. 5 Orden de tamices</i>	40
<i>Tabla 3. 6 Tamaño de abertura de tamiz</i>	43
<i>Tabla 3. 7 Especificación de carga para abrasión</i>	44
<i>Tabla 3. 8 Resultados de los ensayos de agregado grueso</i>	45
<i>Tabla 3. 9 Gradación obtenida para el agregado grueso</i>	45
<i>Tabla 3. 10 Tamaño de las muestras de agregados</i>	46
<i>Tabla 3. 11 Resultados de los ensayos del cemento</i>	49
<i>Tabla 3. 12 Características físicas de la fibra no tratada</i>	63
<i>Tabla 3. 13 Características físicas de la fibra con Hidróxido de sodio (NaOH)</i>	63
<i>Tabla 3. 14 Características físicas de la fibra con Hidróxido de sodio (NaOH)</i>	63
<i>Tabla 3. 15 Características mecánica de la fibra sin tratamiento</i>	66
<i>Tabla 3. 16 Características mecánicas de la fibra tratada con hidróxido de sodio (NaOH)</i>	66
<i>Tabla 3. 17 Características mecánica de la fibra tratada en agua hervida</i>	67
<i>Tabla 4. 1 Resistencia a la compresión requerida</i>	68
<i>Tabla 4. 2 Dosificación en peso para 1 m³ de hormigón de 210 kgf/cm²</i>	69
<i>Tabla 4. 3 Dosificación corrección por humedad de los agregados 210 kgf/cm².</i>	70
<i>Tabla 4. 4 Dosificación en peso para un saco de cemento 210 kgf/cm².</i>	71
<i>Tabla 4. 5 Resultados del hormigón simple 210 kgf/cm² cilindros patrones.</i>	72
<i>Tabla 4. 6 Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 240 kgf/cm².</i>	73
<i>Tabla 4. 7 Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kgf/cm².</i>	74
<i>Tabla 4. 8 Dosificación en peso para un saco de cemento 240 kgf/cm².</i>	74
<i>Tabla 4. 9 Resultados del hormigón simple 240 kgf/cm² cilindros patrones.</i>	75
<i>Tabla 4. 10 Dosificación Final en peso para 1m³ de hormigón 210 kgf/cm².</i>	75
<i>Tabla 4. 11 Dosificación Final en peso para 1 saco de cemento de hormigón 210 kgf/cm².</i>	75

<i>Tabla 4. 12 Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kgf/cm².</i>	76
<i>Tabla 4. 13 Dosificación en peso para un saco de cemento 240 kgf/cm².</i>	76
<i>Tabla 4. 14 Dosificación Final de hormigón sin fibra 210 kgf/cm².</i>	76
<i>Tabla 4. 15 Dosificación Final de hormigón sin fibra 240 kgf/cm².</i>	77
<i>Tabla 4. 16 Dosificación Final de hormigón con fibra al 0.5% 210 kgf/cm² NaOH.</i>	77
<i>Tabla 4. 17 Dosificación Final de hormigón con fibra al 1% 210 kgf/cm² NaOH.</i>	77
<i>Tabla 4. 18 Dosificación Final de hormigón con fibra al 0.5% 240 kgf/cm² NaOH.</i>	78
<i>Tabla 4. 19 Dosificación Final de hormigón con fibra al 1% 240 kgf/cm² NaOH.</i>	78
<i>Tabla 4. 20 Dosificación Final de hormigón con fibra al 0.5% 210 kgf/cm² Agua Hervida.</i>	78
<i>Tabla 4. 21 Dosificación Final de hormigón con fibra al 1% 210 kgf/cm² Agua Hervida..</i>	79
<i>Tabla 4. 22 Dosificación Final de hormigón con fibra al 0.5% 240 kgf/cm² Agua Hervida.</i>	79
<i>Tabla 4. 23 Dosificación Final de hormigón con fibra al 1% 240 kgf/cm² Agua Hervida.</i>	79
<i>Tabla 4. 24 Volumen general requerido para la fabricación de las 210 viguetas</i>	80
<i>Tabla 4. 25 Volumen general requerido para la fabricación de las 21 viguetas</i>	80
<i>Tabla 4. 26 Regla empírica de Melikamp</i>	82
<i>Tabla 4. 27 Muestreo de viguetas a ensayar</i>	83
<i>Tabla 4. 28 Resultados de ensayos hormigón fresco</i>	89
<i>Tabla 4. 29 Descripción de la nomenclatura para cada espécimen según sus características</i>	93
<i>Tabla 4. 30 Descripción de las viguetas, dimensiones, pesos, áreas, volumen y peso específico.</i>	94
<i>Tabla 4. 31 Densidad de Viguetas sin fibra</i>	101
<i>Tabla 4. 32 Densidad de Viguetas con fibra de palma africana NaOH.</i>	102
<i>Tabla 4. 33 Densidad de Viguetas con fibra de palma africana Agua Hervida.</i>	103
<i>Tabla 5. 1 Carga de fracturación de viguetas sin fibra con f'c 210 kg/cm²</i>	104
<i>Tabla 5. 2 Resistencia a la flexión de viguetas sin fibra con f'c 210 kg/cm²</i>	104
<i>Tabla 5. 3 Carga de fracturación de viguetas sin fibra con f'c 240 kg/cm²</i>	105
<i>Tabla 5. 4 Resistencia a la flexión de viguetas sin fibra con f'c 240 kg/cm²</i>	105
<i>Tabla 5. 5 Carga de fracturación de viguetas con fibra 0.5% aplicado el hidróxido de sodio con f'c 210 kg/cm²</i>	105
<i>Tabla 5. 6 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 0.5% aplicado el hidróxido de sodio con f'c 210 kg/cm²</i>	106
<i>Tabla 5. 7 Carga de fracturación de viguetas con fibra 1% aplicado el hidróxido de sodio con f'c 210 kg/cm²</i>	106
<i>Tabla 5. 8 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 1% aplicado el hidróxido de sodio con f'c 210 kg/cm²</i>	107
<i>Tabla 5. 9 Carga de fracturación de viguetas con fibra 0.5% aplicado el hidróxido de sodio con f'c 240 kg/cm²</i>	107
<i>Tabla 5. 10 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 0.5% aplicado el hidróxido de sodio con f'c 240 kg/cm²</i>	108
<i>Tabla 5. 11 Carga de fracturación de viguetas con fibra 1% aplicado el hidróxido de sodio con f'c 240 kg/cm²</i>	108
<i>Tabla 5. 12 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 1% aplicado el hidróxido de sodio con f'c 240 kg/cm²</i>	108
<i>Tabla 5. 13 Carga de fracturación de viguetas con fibra 0.5% aplicado Agua Hervida con f'c 210 kg/cm²</i>	109
<i>Tabla 5. 14 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 0.5% aplicado el agua hervida con f'c 210 kg/cm²</i>	109
<i>Tabla 5. 15 Carga de fracturación de viguetas con fibra 1% aplicado Agua Hervida con f'c 210 kg/cm²</i>	110
<i>Tabla 5. 16 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 1% aplicado el agua hervida con f'c 210 kg/cm²</i>	110
<i>Tabla 5. 17 Carga de fracturación de viguetas con fibra 0.5% aplicado Agua Hervida con f'c 240 kg/cm²</i>	111
<i>Tabla 5. 18 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 0.5% aplicado el agua hervida con f'c 240 kg/cm²</i>	111
<i>Tabla 5. 19 Carga de fracturación de viguetas con fibra 1% aplicado Agua Hervida con f'c 240 kg/cm²</i>	111
<i>Tabla 5. 20 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 1% aplicado el agua hervida con f'c 240 kg/cm²</i>	112
<i>Tabla 5. 21 Resumen de la resistencia residual promedio de las viguetas a los 56 días</i>	149
<i>Tabla 5. 22 Módulo de rotura de viguetas con f'c 210 kg/cm² sin fibra</i>	151
<i>Tabla 5. 23 Módulo de rotura de viguetas con f'c 240 kg/cm² sin fibra</i>	152

<i>Tabla 5. 24 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 210 kg/cm² con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el tratamiento 1</i>	153
<i>Tabla 5. 25 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 210 kg/cm² con fibra de palama africana al 1% aplicado el tratamiento 1</i>	154
<i>Tabla 5. 26 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 240 kg/cm² con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el tratamiento 1</i>	155
<i>Tabla 5. 27 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 240 kg/cm² con fibra de palama africana al 1% aplicado el tratamiento 1</i>	157
<i>Tabla 5. 28 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 210 kg/cm² con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el tratamiento 2</i>	158
<i>Tabla 5. 29 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 210 kg/cm² con fibra de palama africana al 1% aplicado el tratamiento 2</i>	159
<i>Tabla 5. 30 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 240 kg/cm² con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el tratamiento 2</i>	160
<i>Tabla 5. 31 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 240 kg/cm² con fibra de palama africana al 1% aplicado el tratamiento 2</i>	162
<i>Tabla 5. 32 Módulos de rotura a los 56 días de curado</i>	163
<i>Tabla 5. 33 Módulo de rotura teórico</i>	164

ÍNDICE DE IMAGENES

<i>Imagen 2. 1 Exudación</i> _____	14
<i>Imagen 2. 2 Línea del tiempo</i> _____	25
<i>Imagen 2. 3 Resistencia a la tracción del OPBF sometido al tratamiento de NaOH con diferentes concentraciones y duraciones.</i> _____	30
<i>Imagen 2. 4 Resistencia a la tracción del OPBF sometido a tratamiento de agua caliente durante diferentes tiempos.</i> _____	31
<i>Imagen 2. 5 Curva Carga – Deflexión</i> _____	33
<i>Imagen 3. 1 lavado de fibra</i> _____	52
<i>Imagen 3. 2 Secado de fibra</i> _____	52
<i>Imagen 3. 3 Fibra limpia y seca</i> _____	52
<i>Imagen 3. 4 Fibra seca</i> _____	53
<i>Imagen 3. 5 Absorción de la palma africana</i> _____	55
<i>Imagen 3. 6 Proceso de ensayo de la densidad en la fibra</i> _____	57
<i>Imagen 3. 7 Proceso de ensayo de la densidad en la fibra.</i> _____	58
<i>Imagen 3. 8 Fibras para determinar propiedades mecánicas</i> _____	64
<i>Imagen 3. 9 Fibras Con hidróxido de sodio para determinar propiedades mecánicas</i> _____	64
<i>Imagen 3. 10 Fibras con agua hervida para determinar propiedades mecánicas</i> _____	65
<i>Imagen 3. 11 Máquina universal de ensayos Instrom, modelo 3345</i> _____	66
<i>Imagen 3. 12 Fibras ubicada en la máquina de ensayo</i> _____	66
<i>Imagen 4. 1 Prueba de asentamiento del hormigón</i> _____	71
<i>Imagen 4. 2 Prueba de asentamiento</i> _____	74
<i>Imagen 4. 3 Encofrado</i> _____	81
<i>Imagen 4. 4 Ensayo de temperatura</i> _____	86
<i>Imagen 4. 5 Densidad y contenido de aire</i> _____	88
<i>Imagen 4. 6 Equipo de ensayo</i> _____	90
<i>Imagen 4. 7 Placa de ensayo</i> _____	91

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Grafica 5. 1 Comparación de flexión a los 14 días sin fibra y tratamiento</i>	113
<i>Grafica 5. 2 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 1</i>	114
<i>Grafica 5. 3 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 1</i>	115
<i>Grafica 5. 4 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 1</i>	116
<i>Grafica 5. 5 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 1</i>	117
<i>Grafica 5. 6 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 1</i>	118
<i>Grafica 5. 7 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 2</i>	119
<i>Grafica 5. 8 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 2</i>	120
<i>Grafica 5. 9 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 2</i>	121
<i>Grafica 5. 10 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 2</i>	122
<i>Grafica 5. 11 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 2</i>	123
<i>Grafica 5. 12 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 2</i>	124
<i>Grafica 5. 13 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 1</i>	125
<i>Grafica 5. 14 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 1</i>	126
<i>Grafica 5. 15 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 1</i>	127
<i>Grafica 5. 16 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 1</i>	128
<i>Grafica 5. 17 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 1</i>	129
<i>Grafica 5. 18 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 1</i>	130
<i>Grafica 5. 19 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 2</i>	131
<i>Grafica 5. 20 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 2</i>	132
<i>Grafica 5. 21 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 2</i>	133
<i>Grafica 5. 22 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 2</i>	134
<i>Grafica 5. 23 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 2</i>	135
<i>Grafica 5. 24 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 2</i>	136
<i>Grafica 5. 25 Comparación de deflexión a los 14 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	137
<i>Grafica 5. 26 Comparación de deflexión a los 28 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	138
<i>Grafica 5. 27 Comparación de deflexión a los 56 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	139
<i>Grafica 5. 28 Comparación de deflexión a los 14 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	140
<i>Grafica 5. 29 Comparación de deflexión a los 28 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	141
<i>Grafica 5. 30 Comparación de deflexión a los 56 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	142
<i>Grafica 5. 31 Comparación de deflexión a los 14 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	143
<i>Grafica 5. 32 Comparación de deflexión a los 28 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	144
<i>Grafica 5. 33 Comparación de deflexión a los 56 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	145
<i>Grafica 5. 34 Comparación de deflexión a los 14 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	146
<i>Grafica 5. 35 Comparación de deflexión a los 28 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	147
<i>Grafica 5. 36 Comparación de deflexión a los 56 días tratamiento 1 y tratamiento 2</i>	148

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. ENSAYOS EN AGREGADO GRUESO	172
ANEXO 2. ENSAYOS EN AGREGADO FINO	176
ANEXO 3. ENSAYOS EN CEMENTO	180
ANEXO 4. DOSIFICACIÓN PRELIMINAR.....	182
Anexo 5: Tabla de resultados de fibra sin tratamiento.	188
Anexo 6: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de hidróxido de sodio al 4% de concentración.	189
Anexo 7: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de hidróxido de sodio al 4% de concentración.	190
Anexo 8: Tabla de resultados de fibra con tratamiento de hidróxido de sodio.....	191
Anexo 9: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de agua caliente.	192
Anexo 10: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de agua caliente.	193
Anexo 11: Tabla de resultados de fibras con tratamiento de agua caliente.	194
Anexo 12: Certificado de producción del Hidróxido de sodio al 5%.	195
Anexo 13: Muestras para ensayos a las fibras de palma africana.	196

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo realizar un estudio del comportamiento del hormigón simple con una adición al volumen del 0.5% y el 1% de fibras de palma africana tratadas químicamente con dos procesos los mismos que permiten aumentar la durabilidad y optimización de la fibra. Con estos tratamientos se busca dar una mejora a la fibra antes de ser ingresada a la dosificación de este, se elaborarán ejemplares de hormigón que a su vez deberán cumplir con parámetros establecidos por las normas American Society for Testing of Materials (ASTM) del American Concrete Institute (ACI) y del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Las fibras de palma africana se obtuvieron de una palmicultora la cual nos proporciono el raquis de palma africana el cual es el resultado de la extracción del aceite de la fruta de la palma africana, del raquis se obtienen la fibra la misma que por un proceso manual de deshilachado se extrajo y se corto con una longitud de más menos 4 cm. Las fibras de la palma africana se les aplico dos tratamientos químicos diferentes. El primer tratamiento consistía en sumergir a la fibra de palma africana en solución de hidróxido de sodio (NaOH) con una concentración del 4% mientras que el segundo tratamiento consistía en sumergir la fibra en agua hervida durante 30 minutos aproximadamente. Se escogieron 50 muestras de fibra de palma africana en sus estado natural y del mismo modo se tomaron muestras tanto para las fibras con el primer tratamiento como para el segundo, las fibras fueron puestas a pruebas en el Centro Textil Politécnico de la Escuela Politécnica Nacional.

Se realizaron especímenes patrones con el objetivo de adquirir una dosificación de diseño correspondiente a las propiedades y parámetros de los agregados y cemento, utilizados en este trabajo de investigación, de igual manera se consideró la resistencia del hormigón como variable es decir se elaboró muestras para conseguir hormigón con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y 240 kg/cm². Se procedió a realizar una dosificación particular tomando en cuenta una proporción del 0.5% y 1.0% de volumen de fibra de palma africana para ambos tratamientos químicos, reemplazando el volumen del agregado grueso. Se elaboraron viguetas de hormigón simple sin fibra y con las fibras de palma africana las fibras que se utilizaron son las que ya se les aplico el tratamiento químico respectivo, viguetas las cuales se sometieron a ensayos de flexión.

Los resultados arrojaron datos que el mejor tratamiento químico es el hidróxido de sodio con una concentración del 4% y con un 1.0% de fibra de palma africana para la resistencia de 210 kg/cm²

y 240 kg/cm². En general las viguetas con fibras tratadas con hidróxido de sodio superaron en prestaciones a las fibras tratadas con el agua hervida. También se pudo observar que las muestras con fibras tratadas ya sea con el hidróxido de sodio o con el agua hervida presentaron mejores resultados a la resistencia residual que las vigas sin fibra.

SUMMARY

The objective of this degree work is to carry out a study of the mechanical behavior of simple concrete with an addition of 0.5% and 1% of African palm fibers chemically treated with two processes that increase the durability and optimization of the fiber. The purpose of these treatments is to improve the fiber before it is added to the batching process. Concrete specimens will be prepared and must comply with the parameters established by the American Society for Testing of Materials (ASTM), the American Concrete Institute (ACI) and the Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

The African palm fibers were obtained from a palm grower who provides us with the African palm rachis, which is the result of the extraction of oil from the fruit of the African palm, the rachis fiber is obtained from the same that by a manual process of fraying was extracted and cut to a length of plus or minus 4 cm. Two different chemical treatments were applied to the African palm fibers. The first treatment consisted of submerging the African palm fiber in sodium hydroxide (NaOH) solution at a concentration of 4%, while the second treatment consisted of submerging the fiber in boiled water for approximately 30 minutes. Fifty samples of African palm fiber were taken in their natural state and samples were also taken for both the fibers with the first and second treatments, which were tested at the Centro Textil Politécnico de la Escuela Politécnica Nacional (Polytechnic Textile Center of the National Polytechnic School).

Standard samples were made with the objective of obtaining a design dosage corresponding to the properties of the materials such as cement and aggregates used in this research work. Likewise, the strength of the concrete was considered as a variable, samples were made to obtain concrete with a compressive strength of 210 kg/cm² and 240 kg/cm², therefore a particular dosage was made with a proportion of 0.5% and 1.0% by volume of chemical treatments, replacing the volume of coarse aggregate. Simple concrete joists were made without fiber and with African palm fibers, the fibers used were those that had already undergone the respective chemical treatment and the joists were subjected to flexural test. The results indicated that the best chemical treatment is sodium hydroxide with a concentration of 4% and 1% of African palm fiber, the fibers used were those that had already undergone the respective chemical treatment, and the joists were subjected to flexural test. The results indicate that the best chemical treatment is sodium hydroxide with a concentration of 4% and 1% of African palm fiber for resistance of 210 kg/cm² and 240

kg/cm² . In general the joists with fibers treated with sodium hydroxide outperformed the fibers treated with boiled water. It was also observed that the specimens with fibers treated with either sodium hydroxide or boiled water showed better residual strength results than the beams without fiber.

1. CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1.INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales más utilizados para la construcción, se puentes, edificios incluso se lo utiliza en vías y en si en todo el campo de la construcción ya que por su alta resistencia a la compresión conjunto en que su obtención es de cierta forma sencilla lo hace un material rentable para la construcción. Como ya se mencionó el hormigón tiene una alta resistencia a la compresión, pero su resistencia a la tracción conjunto con su ductilidad es bajas por lo que muchas veces esta falta de resistencia se compensa con las barras de refuerzo de acero para que este compense la baja resistencia a la tracción del hormigón. De ahí sale el hormigón armado.

Desde que se obtuvo el hormigón armado en los años posteriores se han realizado numerosas investigaciones para crear un hormigón con alta resistencia a costos relativamente bajos por medio de la adición de materiales extras a partir de los materiales que ya conforman el hormigón como lo son agregado fino, agregado grueso, cemento y agua.

La investigación llevada a cabo por Lara Guillen en su tesis de 2017 “DETERMINACIÓN DE LOS PROCENTAJES ÓPTIMOS DE FIBRAS DE COCO EN HORMIGONES HIDRÁULICOS”, indica la disminución del peso del hormigón al añadir fibras, el porcentaje con mejores resultados de fibras es del 1.5% de fibra en volumen del hormigón con el que se obtiene un mejoramiento al esfuerzo a la compresión y el del módulo de rotura.

La autora Briseño Daniela en su tesis de 2016 “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A LA FLEXIÓN DE VIGAS REFORZADAS CON FIBRAS CUBAYA”, demuestra que la flexión aumenta a los 10, 14 y 60 días con fibras dispersas, de igual manera se evidencia la no falla total del elemento gracias a la cohesión dada por las fibras.

Los autores Caizaguano Paúl y Terán Estefania en su tesis 2020 “CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES DEL RAQUIS DE LA PALMA AFRICANA DE ACEITE Y LA ESTOPA DEL COCO”, indica que para módulos de rotura en el diseño de hormigón con una adición de fibras naturales el parámetro de rotura aumenta en un 21.48%.

La fibra de palma africana será tratada con procesos químicos ya que diferentes estudios realizados por diferentes universidades mencionan que existe una notable mejora del hormigón con fibras

tratadas a hormigones que se han realizado con fibras sin tratamiento alguno, como lo menciona Yawad Ahmad, Ali Majdi, Amin Al Fakih en el año 2022, en su estudio “Desempeño mecánico y durabilidad del concreto reforzado con fibras de coco: una revisión de vanguardia”, indica que las fibras se pueden clasificar en dos grupos, tratadas y sin tratar, se realizan diferentes ensayos tanto a tracción como fatiga para comprobar que las fibras tratadas son superiores a las no tratada, debido a que el tratamiento aumenta la rugosidad dando un mayor coeficiente de fricción entre ellas, lo que produce un incremento en la unión de la matriz y las fibras.

Las fibras naturales que han sido estudiadas y de forma general al uso de las fibras a nivel general se puede citar a César Juárez con su tesis doctoral en 2002 “Concretos a base de cemento Portland reforzados con fibras naturales (agave lechuguilla), como materiales para construcción en México”, se menciona las características físicas, mecánicas (flexibilidad y tracción), dando la opción de su posible refuerzo, se añade un planteamiento que para su viabilidad se debe mejorar las propiedades del hormigón con fibras naturales.

Debido a que las fibras de palma africana tienen una alta resistencia a la tracción y también tienen una buena resistencia a la acción abrasiva, con lo cual estas se las puede considerar como un material de refuerzo para reducir en cierto porcentaje la fragilidad del hormigón en masa. Hay que mencionar que diferentes estudios realizados que la fuerza de la fibra es variable dependiendo de su diámetro nominal, la longitud de la fibra del tratamiento químico utilizado en la fibra de palama africana.

Las fibras de palama africana al ser unas fibras naturales orgánicas tienen cualidades como la baja conductividad térmica, la resistencia y ductilidad, cualidades que permitirán mejorar las características del hormigón como su resistencia a la tracción dándole una mayor ductilidad y capacidad de no presentar una falla frágil al momento de romperse. También permitirá mejorar la capacidad de compresión con cierta posibilidad de que el hormigón reduzca su peso.

Una vez expuesto estos puntos se puede centrar en que el presente trabajo de investigación tendrá como enfoque principal en determinar si las fibras de palma africana son capaces de mejorar la capacidad a flexión del hormigón y determinar la variación que produce en el módulo de rotura de este. La fibra será tratada con dos tratamientos químicos distintos para también determinar cuál tratamiento será el que presenta mejores resultados o si el tratamiento químico no influye de

manera significativa en la resistencia del hormigón. Dando parámetros a futuros investigadores para que puedan tomar la decisión de realizar hormigón con este tipo de fibra.

1.2.JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador siempre se han mantenido los estándares de construcción sin ningún tipo de innovación a lo largo del tiempo, es por ellos que en el campo de las fibras naturales es virgen en investigación con lo que compete a la Ingeniería Civil. Es notable que se ha vuelto común y ambiguo la utilización de los mismos materiales de construcción de hace décadas atrás.

El desarrollo de la investigación procura innovar el hormigón con el uso de la fibra de palma africana como caracterización del incremento de las propiedades mecánicas; en el presente se han exteriorizado varios estudios de la implementación de fibras naturales de abacá y cabuya (1986), bambú (1988 y 2002), sisal (2009), entre otros. Dichos estudios enfatizan la adición de fibras naturales y no esencialmente el aumento de sus capacidades mecánicas, para llegar a dicho aumento se relaciona con dimensionamiento y tratamiento que se le da a la fibra antes de ser añadida al hormigón. (Espinoza, 2015, pag. 14)

Con la presente investigación se busca dar un enfoque sobre el uso de recursos naturales y ecológicos en nuestro país debido a que en la Ingeniería Civil no se ha visto reflejado el uso de estos materiales, por lo que busca brindar información sobre las mejoras de las propiedades mecánicas del hormigón con fibras naturales, propiedades como la resistencia a la flexión, resistencia a la tracción directa, módulo de rotura y a la resistencia de los hormigones con esfuerzo de tensión en hormigón con una resistencia a la compresión de 210 y 240 Kg/cm².

Se ha determinado el porcentaje de fibra a utilizar con relación al volumen. De 0.5% y de 1% debido al estudio realizado por la Construction and Building Material [2019]. “Behaviour of oil palm broom fibre (OPBF) Reinforced concrete” en la cual se concluye que de haber una mejora óptima en las propiedades mecánicas del hormigón cuando los porcentajes de fibra se encuentran en un rango de entre el 0.5% y el 1%.

El establecer las características físicas y mecánicas del hormigón con fibra de palma africana están fundamentados en los procedimientos establecidos en las Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y las normas de American Society for Testing of Material (ASTM), para los 14, 28 y 56 días. Con lo que se realizará una comparativa entre los resultados del hormigón simple y el hormigón simple con fibra de palma africana.

El proceso de extracción se obtiene dos subproductos: Cuesco y Raquis; por lo general el raquis es desperdicio de extracción por lo que su único uso es como mejora de características del suelo para la corola de las plantas; de la misma el cuesco se utiliza de manera artesanal y experimental para la estabilización de suelo arcilloso en zonas rurales del país. Como tal el Ecuador no está industrializado sobre el proceso post extracción de la palma africana para la utilización de subproductos; No existe una fomentación de economía circular dentro del sistema de extracción de aceite de palma africana.

Por lo mencionado previamente la presente investigación no solo aportará con nueva idea para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón debido a que se utiliza un material que muchas veces es tratado y botado como basura hablando del raquis de la palma africana de donde se obtiene la fibra. Permitirá que las personas que se dedican a los cultivos presenten un nuevo ingreso y ayudando con ideas para generar en cierta medida a una menor contaminación ambiental generando así innovación en los procesos del sector constructivos que brindará nuevas plazas de trabajo ya que la obtención de la fibra para ser utilizada en el hormigón se necesitara de mano de obra.

1.3.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dado que en el país el estudio con fibras naturales y efectos que éstas puedan causar en el hormigón simple no son muy comunes, se tiene una base poco solida sobre el efecto de las fibras en el mismo. Hay investigaciones en las que se puede identificar que las fibras pueden absorber un porcentaje de los esfuerzos que el hormigón recibe produciendo que el hormigón resista más.

Los aspectos que considerar son la recopilación de información de la dosificación para hormigón simple existentes, análisis de las propiedades, determinación y comparación de las propiedades mecánicas del hormigón con presencia de fibras y sin fibras y determinar si las fibras logran aumentar la resistencia a la flexión en el hormigón puesto que si este resultado es positivo sería un gran resultado, cumpliendo así la mejora con fibras de la resistencia.

En Ecuador la palma africana a tenido un crecimiento bastante representativo a partir del 2016 al ser una planta de clima cálido está es sembrada en las zonas costeras del Ecuador

principalmente, siendo Esmeraldas y la Santo Domingo las provincias con gran presencia de plantíos de palma en el país.

Debido al incremento en las plantaciones de palma africana principalmente para la producción de aceite genera bastante lo que se llama raquis de palma africana el cual es como queda la fruta y planta después de ser procesada para la extracción del aceite. El raquis se suele utilizar como abono para sembríos, pero en la mayoría de la ocasiones este es quemado como desecho industrial lo cual produce alta contaminación ambiental. Se tiene como una guía ambiental que el desperdicio industria se encuentra entre el 17.7% y el 26.1% de un racimo fresco mientras que la cantidad restante pertenece al fruto. Con esto se puede tener idea del residuo que queda generalmente después de procesar la palma africana.

La fibra de palma africana es multicelular para la cual estos componentes son importantes para las propiedades mecánicas como la rigidez y la dureza. Los componentes que posee la fibra son la celulosa y la hemicelulosa estos componentes químicos son claves para darle las propiedades mecánicas a la fibra siendo que cuando se realiza un proceso químico para extender su duración se buscará procesos que no afecten a estos componentes de la fibra.

Con lo anteriormente mencionado y los beneficios que teóricamente la fibra de palma africana puede traer grandes beneficios no solo al hormigón si no que también ambientales ya que se evita combustión de los residuos del raquis de la palma.

1.4.HIPÓTESIS

El presente proyecto de investigación está encaminado en demostrar que al añadir al hormigón simple una cantidad de fibra (en este caso fibra de palma africana) determinada puede mejorar las características mecánicas del mismo, principalmente mejorar la resistencia a la flexión es decir que la fibra absorba estos esfuerzos permitiendo al hormigón tener una mayor deformación y mejorar la relación esfuerzo deformación. Siendo un hormigón que en presencia de fuerzas de tensión presente una falla más dúctil que la del hormigón sin fibra. Por lo que se espera que la estructura interna y a su vez el comportamiento del módulo de Young del hormigón con fibra mejore con respecto al del hormigón simple sin fibras.

1.5.VARIABLES

- Relación agua/cemento: Variable importante que define $F'c$ del hormigón; la diferenciación de esta variable cambiará el comportamiento de la resistencia del hormigón significativamente, dependerá mucho en el aumento y disminución de sus capacidades mecánicas.
- Porcentajes de fibras en la dosificación: Se modificará con dos distintos porcentajes de fibra de palama africana en la conglomeración del hormigón como tal; analizando de la misma manera el influente que realiza este al mejoramiento de la capacidad de resistir flexión a las vigas.
- Tratamientos a la fibra: Tratamientos químicos que busca la impermeabilización y protección de la fibra en el aglutinamiento con el hormigón; la temperatura interna del hormigón, reacción química de la mezcla del agua con el cemento, entre otros parámetros, son factores que amenazan a la fibra si se llegara aplicar de manera directa y natural.

1.6.INDICADORES

- $F'c$: Resistencia característica del hormigón a la compresión
- *Resistencia flexional*: Esfuerzo de ruptura generado bajo cargas que buscan el fallo flexional.
- *Límite de Fluencia*: Tensión existente en la vigueta de hormigón sometida al ensayo de tracción o compresión en el momento en el que la probeta comienza la deformación plástica.

1.7.ALCANCE

Se realizarán 210 viguetas las cuales se subdividirá en 3 grupos. Para el hormigón sin fibra se fabricarán 42 viguetas, mientras que para la fibra con el primer tratamiento se realizará 84 viguetas al igual que para el segundo tratamiento completando así el muestreo de 210 viguetas las mismas que serán ensayadas. Este número se estableció para tener un 90% de confianza en los resultados y tomando en cuenta el margen de error que se pueda dar en los ensayos, haciendo una muestra representativa y resultados más confiables. En la siguiente tabla se presenta detalladamente el número de muestras y ensayos que se realizará.

El primer tratamiento consiste en sumergir la fibra en Hidróxido de sodio con una concentración al 4% durante 24 horas. La fibra se procederá a lavar después de cumplido el tiempo de sumersión, el primer enjuague se lo realizará con agua destilada y posteriormente con agua normal midiendo que después del lavado la fibra se encuentre con un pH neutro. Se la seca en el horno a una temperatura de 60 °C más menos 10 para evitar que se queme.

El segundo tratamiento consiste en colocar la fibra en agua hirviendo durante 30 minutos y posteriormente lavada una vez cumplido el tiempo del tratamiento. Se la seca en el horno a una temperatura de 60 °C más menos 10 para evitar que se queme.

1.8.OBJETIVOS

1.8.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer las propiedades mecánicas, como la resistencia residual promedio a la flexión y el módulo de rotura del hormigón con fibras naturales de la palma africana, comparándolas con las correspondientes a hormigones simples con resistencia a la compresión ($f'c$) de 210 y 240 kg/cm² sin fibra.

1.8.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las propiedades mecánicas y características de la fibra de palma africana para realizar una dosificación más efectiva, cumpliendo lo recomendado según la norma ACI 544 Fiber Reinforced Concrete.
- Determinar la resistencia a la flexión de las diferentes dosificaciones de hormigón simple con y sin fibras naturales comparando resultados entre las dosificaciones.
- Determinar el módulo de elasticidad estático tanto del hormigón simple como del hormigón simple con fibras naturales.
- Comparar los resultados obtenidos de las diferentes dosificaciones a los 14, 28 y 52 días, para demostrar si el añadir la fibra de palma africana fue beneficiosa o no para mejorar las propiedades del hormigón simple.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1.ANTECEDENTES

La palma africana que es un material orgánico oriundo de la región costera del país durante años ha sido objeto de estudio, teniendo varios propósitos de uso y beneficios. El de mayor interés para el presente tema investigativo es la caracterización de propiedades mecánicas del nervio del raquis de palma africana para la aplicación en hormigones.

(Daniel & Lara, n.d., n. 2016 Palma africana) explica en su investigación la sustitución parcial del cemento con cenizas del raquis de palma africana, sin uso de ningún tipo de tratamiento químico. “Teniendo valores negativos en resistencia y asentamientos, debido a que la materia orgánica se consumió en la acción térmica química interna que se desarrolla durante la mezcla y fraguado del hormigón”.

(En et al., 2019 Caizaguano y Terán). En su tema de disertación previo a la obtención del título de ingenieros civiles “CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES DEL RAQUIS DE LA PALMA AFRICANA DE ACEITE Y LA ESTOPA DE COCO” realizaron ensayos con las fibras de palma africana y estopa de coco, usando proporciones de volumen del 2% y 4%.(D. R. De et al., 2020) . Cabe mencionar que las fibras mencionadas fueron sometidas a tratamiento químico de carbonato de calcio para reducir la degradación. Obteniendo resultados positivos en el comportamiento a compresión y flexión de parte de las dos fibras.

Mencionadas investigaciones su principal objetivo e interés es la caracterización de la fibra de palma africana observación su comportamiento física y mecánica, el último tema investigativo es de útil información para tener en consideración para el presente tema de investigación.

2.2.EL USO DEL HORMIGÓN EN LA HISTORIA

La construcción es una de las primeras actividades realizadas por el humano en su historia, basado en sus inicios en prueba y error la construcción se ha ido desarrollando con el pasar de las década y siglos. El hormigón como tal tiene sus inicios tiempo atrás del imperio romano, los romanos siempre fueron innovadores, lo cual en sus inicios buscaban materiales minerales que complementaran y aportaran mayores beneficios a sus construcciones. En el

mediterráneo se han hallado evidencias de uso de arenas de origen volcánico que al ser mezclado con cal funcionaria como un tipo de mortero.

Avanzando en la práctica de uso de materiales minerales en la construcción de parte de los romanos, no fue hasta el siglo XIX que lograron obtener un mortero a base de arenas cementantes donde al ser mezclado con grandes rocas este se desempeñaba de manera aceptable.

Romea menciona que “Con el ocaso del Imperio Romano, el hormigón antes descrito cayó en desuso. No fue hasta la edad Moderna, donde el ingeniero inglés John Smeaton recreara las técnicas romanas de elaboración de hormigón durante la construcción del faro de Eddystone (Inglaterra), el cual fue terminado en 1759. Posteriormente, el científico francés Louis Vicat sistematizó la elaboración de la cal hidráulica, la cual obtenía mediante la cocción de mezclas de cal apagada y arcilla”. (Romea, 2014)

En cambio Perles indica que “en 1824 Joseph Aspdin patentó el “Cemento Portland”, un cemento artificial confeccionado con una mezcla de piedra caliza y arcilla. La innovación importante es el uso de la piedra caliza o creta y arcillas de diferentes canteras. En ese tiempo aparecía una piedra caliza de grano fino en la isla de Portland, que paso a ser la más usada en Londres por su gran durabilidad. Por ello es por lo que los cementos artificiales hechos con piedra caliza y arcilla son aún hoy denominados cemento Portland en todas las lenguas, siendo inaugurada la primera fábrica de cemento en los estados unidos en el año 1871”. (Perles, 2009)

Ferré indica que “En Puerto Rico, los morteros hidráulicos han sido utilizados para construir desde el siglo XVI, cuando, como colonia española, se heredaron las tradiciones edilicias ibéricas. Fue posible erigir estructuras militares, religiosas y civiles permanentes con el uso de cal y aditivos hidráulicos como ladrillo o teja molida. Estos edificios de albañilería probaron ser resistentes a las tormentas tropicales y al clima marítimo de la zona. Esta investigación presenta la evolución de los morteros hidráulicos traídos por los españoles al Nuevo Mundo. Durante el siglo XIX y principios del siglo XX, las tradiciones constructivas en la Isla evolucionaron grandemente con el uso del polvo de ladrillo o cemento artificial, materiales necesarios para preparar mezclas hidráulicas. El cemento

Portland genuino fue importado a la Isla desde de la década del 1850 procedente de Bélgica, Alemania y Dinamarca”. (Ferré, 1949)

Holcim menciona que “En el Ecuador, se constituye la primera fábrica de cemento Portland por parte de la empresa Industrias y Construcciones Compañía Limitada en el año 1921, bajo la iniciativa del Sr. José Rodríguez; esta fábrica se encontraba ubicada en la ciudad de Guayaquil a orillas del Estero Salado. Poco a poco, el hormigón fue suplantando el uso de materiales tradicionales que hasta el momento predominaba el uso de la madera y caña, con ello el desarrollo se fue evidenciando en la ciudad de guayaquil y en el resto del país”. (Ecuador & Holcim, n.d.)

2.3.MATERIALES QUE CONFORMAN EL HORMIGÓN

2.3.1. CEMENTO PORTLAND

Según Oscar Caizaguano y Gabriela Terán “El cemento portland es un cemento hidráulico que está compuesto principalmente por silicatos hidráulicos. Y es un material que tiene la facultad de adherir sus partículas minerales, formando un material de construcción compacto y resistente. Siendo el resultado de un proceso industrial que requiere en cada fase un adecuado control de calidad y mantener sus propiedades se debe tener en cuenta, el tiempo y condiciones ambientales donde va a ser almacenado para evitar retardos en el tiempo de fraguado e incluso una reducción en las resistencias mecánicas sobre todo en compresión simple a cortas edades”. (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

La clasificación de los elementos Portland es la siguiente:

Los cementos Portland puros (ASTM C150) / (NTE INEN, 2012)

- TIPO I : Cemento común
- TIPO II : Cemento modificado
- TIPO III : Cemento de alta resistencia inicial
- TIPO IV : Cemento de bajo calor de hidratación

- TIPO V : Cemento resistente a los sulfatos
- TIPO IA, IIA, IIIA : Cementos con inclusión de aire

Los cementos con adiciones puzolánicas (ASTM C595) / (NTE INEN, 2011)

- TIPO IS: Con escoria de alto horno
- TIPO IP: Con adición de puzolana
- TIPO I (SM): Con escoria modificado
- TIPO I (PM): Con adición de puzolana modificado
- TIPO S: Con escoria
- TIPO P: Con adición de puzolana (no requiere resistencia inicial)

Los cementos con desempeño en hormigones hidráulicos (ASTMC115) / (NTE INEN, (2011)

- TIPO GU: Para uso de construcciones en general
- TIPO MH: Para moderado calor de hidratación
- TIPO HE: Para hormigón de alta resistencia inicial
- TIPO HS: Para alta resistencia a los sulfatos
- TIPO MS: Para moderada resistencia a los sulfatos
- TIPO LH: Para bajo calor de hidratación

2.3.2. AGUA

Guzmán enfatiza que “La razón de que los cementos sean hidráulicos es que estos tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ella, de tal manera que el agua como material dentro del concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y estas hacen que desarrolle sus propiedades aglutinantes”. (Guzmán D. S.)

2.3.3. AGREGADOS

Holcim menciona que “Se conoce como agregados a los materiales granulares rocosos que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos (bases y subbases granulares, bases estabilizadas, etc.), al balastro de las vías de ferrocarril, también conocida como balasto, y a la escollera como elemento de

protección frente a la erosión hidráulica, tales como muelles o puertos marítimos.”
(Holcim, 2020)

2.4. CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN

El hormigón es un aglomerante de materiales minerales y un cementante (cemento Portland) que posee características que las definen.

2.4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

- Consistencia

La firmeza es la propiedad que caracteriza el asentamiento de la mezcla y a su vez define la humedad del hormigón. Su medición es mediante el cono de Abrams (NTE INEN 1578, 2010)

Tabla 2. 1 Grados de consistencia y aplicaciones

Consistencia	Asentamiento (cm)	Observaciones
Muy seca	0.0 a 2.0	Prefabricados de alta resistencia traviesas, postes, pretensados, etc
Seca	2.5 a 3.5	Pavimentos con terminadora vibratoria
Semi seca	3.5 a 5.0	Pavimentos y cimentaciones en concreto simple
Media	5.0 a 10.0	Pavimentos, losas, muros, vigas, etc.
Húmeda	10.0 a 15.0	Elementos esbeltos – Concretos bombeados
Muy húmeda	>15	Elementos muy esbeltos – Concreto tremie

Fuente: (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

- Trabajabilidad

Oscar Caizaguano junto con Gabriela Terán indican que “La trabajabilidad está relacionada con la facilidad que tiene el hormigón fresco en el proceso de mezclado, transporte, colocación, compactación y acabado. Y está representada por el grado de compacidad, cohesividad, plasticidad y la movilidad o consistencia de la masa. Compacidad, es la facilidad del hormigón al momento de ser compactar para reducir el volumen de vacíos. Cohesividad la capacidad de un material compuesto para mantenerse homogéneo, estable y sin segregación. La plasticidad se define como la capacidad de deformarse sin romperse y la consolidación es la habilidad de fluir, adquirir cualquier forma y llenar vacíos.” (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

La relación agua-cemento influye en la trabajabilidad del hormigón y está en función de la cantidad y finura del cemento utilizado, buscando el equilibrio entre los áridos gruesos y finos (cantidad, textura y forma de los áridos). Esta propiedad no debe ser mayor que la necesaria para así garantizar el avance de la obra sin necesidad de agregarle agua a la mezcla o evitar la exudación del hormigón. (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

- Segregación

Es la descomposición mecánica del hormigón fresco en sus componentes sustitutivos; se evidencia que los áridos gruesos se separan del mortero, generando hormigones débiles con menor duración y acabado superficial muy pobre por la presencia de coqueras o ratoneras. (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

- Sangrado o Exudación

Se presenta una lámina de agua en la superficie del concreto que ha sido colocado en un encofrado, provocando una sedimentación (asentamiento) de las

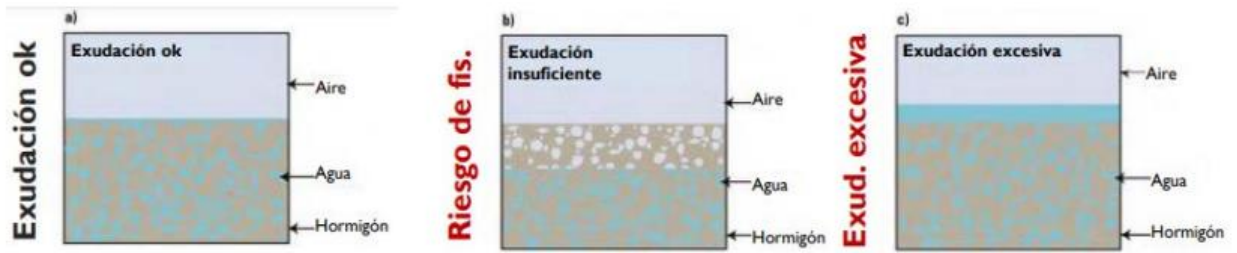


Imagen 2. 1 Exudación

partículas sólidas como son el cemento y los agregados. Los factores que pueden causarla es el agregado fino (la gradación o angulosidad) y el exceso de agua, se evidencia con un cambio volumétrico no deseado o una superficie muy débil en el hormigón endurecido. (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

- **Peso unitario**

Se busca determinar el volumen de hormigón que se puede fabricar con un determinado peso de materiales, dando una idea de la calidad del hormigón con referencia a la calidad de los agregados. Y este valor puede variar por la presencia de aire en la mezcla provocando que el peso unitario disminuya, según (NTE INEN 1579, 2013) establece las fórmulas de cálculo del rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire en el concreto fresco que servirá para determinar la densidad del hormigón en estado fresco. (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

El peso unitario permite clasificar a los hormigones, de la siguiente manera:

Tabla 2. 2 Peso unitario de hormigones

Tipo de hormigón	Peso Unitario (kg/m ³)	
	Liviano	480
Normal	2300	2500
Pesado	3000	5200

Fuente: (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

- Uniformidad

La uniformidad de una mezcla de concreto puede verse alterada por presencia de la segregación, porque eso causa una separación de los componentes de la mezcla. Existen dos tipos. (Bladimir, 2017)

Segregación interna: la fuerza de gravedad es mayor a la suma de la fuerza de adhesión y fuerza de fricción. (Bladimir, 2017)

Segregación externa: presenta baja cohesión y deformación plástica. (Bladimir, 2017)

2.4.2. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

- Resistencia a la compresión ($f'c$)

Según CEMEX “La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada ($f'c$) para una estructura determinada.” (CEMEX, 2019)

- Resistencia compresión

Esta propiedad del hormigón es la más trascendental para medir el desempeño del hormigón y es el parámetro bajo el cual se realiza el diseño de la mezcla; los hormigones se nombran de acuerdo con la resistencia diseñada que es la resistencia a la compresión máxima obtenida a los 28 días de edad, en un espécimen de 150mm x 300mm o de 100mm x 200mm cargado de manera axial

(Ruano Sandoval, 2013, pág. 14), como lo instituye la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1576.

- Resistencia a flexión

Rengifo y Maria Cristina indican que “Para la determinación de esta propiedad se realiza por medio de vigas; en el ensayo a flexión el hormigón está sometido a compresión, así como también a tensión, de esta manera se establece el módulo de rotura (MR), que se usa en control de calidad y diseño de pisos y pavimentos. Para la determinación de la resistencia a la flexión se sigue el procedimiento bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2454.” (Rengifo Cuenca, María Cristina, 2013)

- Durabilidad

La durabilidad según Conrado y María Belén “es el complemento de la resistencia, un hormigón no solo debe ser resistente sino durable, en el mercado existen cementos especiales que ayudan a los hormigones a que los diferentes medios agresivos no afecten su durabilidad. El agua y la presencia de fisuras, que puede colar gas, agua y otros agentes disueltos son factores que influyen directamente sobre esta propiedad.” (Conrado Díaz, María Belén, 2012)

2.5.DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

2.5.1. Información del agregado fino, grueso y cemento

Categorización por tamaño: Según Neville¹ al volumen de sus aserrines se divide en:

- **Agregado fino**

El agregado fino generalmente se basa en arena natural extraída de río o piedra triturada, la cual contiene impurezas y por tanto debe ser lavada. Este árido es el que tiene mayor influencia y constituye uno de los mayores porcentajes en peso del hormigón por tal razón es importante asegurar la calidad para su incorporación en la mezcla de concreto. (Méndez, 2012) El material que atraviesa el tamiz ASTM No. 4 es conocido como agregado fino, son partículas de menor tamaño a 4.75mm

y es retenido por el tamiz ASTM No. 200, con abertura de 0.075mm. La arena debe estar constituida por fragmentos de roca limpios, de perfil angular, duro, compactado y resistente, además debe ser exento de sedimentos como polvo, sales o materiales orgánicos que pueden ser perjudiciales para el hormigón, y deberán satisfacer los requerimientos normados en la ASTM C 33. (Alvarado, 2002)

- **Agregado grueso**

Teresa Hidalgo y Diego Espinoza menciona que “Todo material con un tamaño mayor a 4.75mm, provienen de la extracción de rocas de cantera, procesados o triturados, canto rodado o piedra bola. Para elegir el valor del tamaño máximo del agregado se considera como referencia un valor que no supere al menor de las siguientes referencias.” (Teresa Hidalgo, Diego Espinoza, 2019)

- Un quinto de la cara mayor del elemento a fundirse
- Tres cuartos de la longitud libre entre aceros
- Dos tercios de la longitud total de la fibra a añadirse Agua
- Tabla 1. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso

Tabla 2. 3Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso

Tamaño nominal máximo, aberturas cuadradas, en mm (pulgadas)	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (Kg)
9.5	1
12.5	2
19.0	5
25.0	10
37.5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: (INEN, 2011)

Tabla 2. 4 Clasificación por su forma

Clasificación	descripción	Ejemplo
Redondeadas	Totalmente desgastadas por el gua o completamente formadas por fricción	Gravas de ríos o playas, arenas del desierto
Irregular	Irregulares por naturaleza parcialmente formadas por fricción o con bordes redondeados	Otras gravas: pizarra de superficie o subterránea
Escamosa	Materiales cuyo espesor es pequeño en comparación con sus otras dos dimensiones	Roca laminada
Angular	Con bordes bien definidos formados en las intersecciones de cara aproximadamente planas	Rocas trituradas de todo tipo y escoria triturada.
Alargada	Material que suele ser angular, cuya longitud es bastante mayor que las otras dos dimensiones	Se encuentran en algunos depósitos naturales en formas de lajas.
Escamosa y alargada	Material cuya longitud es bastante mayor que el ancho y el ancho bastante mayor que el espesor	Agregados de rocas meteorizadas.

Fuente: (INEN, 2011)

- **Cemento**

Los cementos se clasifican en:

- **Cementos puros:** Están clasificados según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 152 Cemento Portland, Requisitos o la Norma ASTM C 150 Standard Specification for Portland Cement.
- **Cementos compuestos:** Están clasificados según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 490 Cementos hidráulicos Compuestos, Requisitos o la Norma ASTM C 595 Standard Specification for Blended Hydraulic Cement.

Tabla 2. 5 Clasificación de cementos puros INEN 152

CLASIFICACIÓN	CARACTERISTICAS
Tipo I	Para usarse no requiere las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo
Tipo IA	Cemento con incorporador de aire para los mismos usos de Tipo I, donde se desea la incorporación de aire.
Tipo II	Para uso general, especialmente cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación, suelen usar en obras civiles que están expuestas a una moderada exposición a los sulfatos.
Tipo IIA	Cemento con introducción de aire para el mismo uso del Tipo II, donde se desea incorporación de aire
Tipo III	Para usarse cuando se desea alta resistencia inicial o temprana, se suelen usar para disminuir el tiempo de construcción de edificaciones grandes, ya que se puede desencofrar antes los elementos de hormigón.
Tipo IIIA	Cemento con inducción de aire para el mismo uso que el Tipo III, donde se desea incorporación de aire.
Tipo IV	Para usarse cuando se desea bajo calor de hidratación. Suelen usarse en lugares donde el ambiente presenta temperaturas altas
Tipo V	Para ser usado cuando se necesite alta resistencia a la acción de los sulfatos, normalmente utilizadas en zonas costeras donde los elementos de hormigón están bastante expuestos a los sulfatos.

Fuente: (Barros Fierro, Verónica Paulina, Ramirez Cueva, Hugo César, 2012)

Tabla 2. 6 Clasificación de cementos compuestos INEN 152

CLASIFICACIÓN	CARACTERISTICAS
Tipo IS	Cemento portland compuesto con escoria de altos hornos.
Tipo IP	Cemento Portland al cual se le agrega material puzolánico.
Tipo IT	Cemento Portland ternario.
Tipo P	Cemento Portland mezclado con material puzolánico, pero no se requieren resistencias altas a edades tempranas.
Tipo I (PM)	Cemento Portland con material puzolánico según las características que se necesiten en obra.
Tipo I (SM)	Cemento Portland con material de escoria de horno según las características que se necesiten en obra.
Tipo S	Cemento específicamente hecho de escoria.

Fuente: (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

2.5.2. Determinación de la resistencia requerida

Al no referir con un historial de ensayos se procede a calcular la resistencia requerida la cual es mayor al $f'c$. Se calcula de la siguiente manera.

Tabla 2. 7 Resistencia requerida promedio a la compresión cuando los datos no son disponibles para establecer una muestra de desviación estándar.

Resistencia a la compresión $f'c$ (MPa)	Resistencia a la compresión requerida $f'cr$ (MPa)
$F'c < 21$	$F'cr = f'c + 7.0$
$21 \leq F'c \leq 35$	$F'cr = f'c + 8.3$
$F'c \geq 35$	$F'cr = 1.10f'c + 5.0$

Fuente: (INEN_1855, 2015)

2.5.3. Selección del asentamiento

La selección del asentamiento se realiza en función al trabajo que se realice y este a su vez que exigencias posea, puesto que el asentamiento define la trabajabilidad de este.

Tabla 2. 8 Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción.

Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción		
Tipos de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Fundaciones: paredes, zapatas reforzadas	12.7	5.0
Zapatas simples, caissons y muros de subestructura	10.0	2.5
Losas, vigas y paredes reforzadas	15.0	7.6
Columnas de edificaciones	15.0	7.6
Pavimentos y veredas	7.6	5.0
Construcción	7.6	2.5

Fuente: (ACI_211.1, 1991)

2.5.4. Selección de tamaño máximo nominal

Para determinar el tamaño máximo o nominal se toma en cuenta el análisis granulométrico del agregado grueso y se define a base de las secciones y dimensiones del elemento.

Tabla 2. 9 Tamaño máximo de agregado sugerido en función del tipo de obra

Tamaño máximo del agregado recomendado para varias obras				
Dimensión mínima de la sección, cm (pulg)	Tipos de construcción			
	Paredes, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas fuertemente armadas	Losas ligeramente armadas o sin refuerzo
6.4 a 12.7 (2.5 a 5)	12.7 a 1.9 (1/2 a ¾)	1.9 (¾)	1.9 a 2.5 (¾ a 1)	1.9 a 3.8 (¾ a ½)
15.2 a 28 (6 a 11)	1.9 a 3.8 (¾ a 1 ½)	3.8 (1 ½)	3.8	3.8 a 7.6 (1 ½ a 3)
30.5 a 73.7 (12 a 29)	3.8 a 7.6 (1 ½ a 3)	7.6 (3)	3.8 a 7.6 (1 ½ a 3)	7.6 (3)
76.2 o mas (30 o más)	3.8 a 7.6 (1 ½ a 3)	15.2 (6)	3.8 a 7.6 (1 ½ a 3)	7.6 a 15.2 (3 a 6)

Fuente: (ACI_211.1, 1991)

2.5.5. Selección de cantidad de agua

La selección se realiza para un volumen de 1 m³ de hormigón, lo cual depende del tamaño del agregado grueso.

El método del ACI para la dosificación, Es un método empírico por lo cual, si los materiales obtenidos requieren de más agua, esto quiere decir que tiene una degradación más desfavorable, pero al aumentar agua incrementa la relación agua cemento, en caso de q los agregados no necesitan tanta agua, se recomienda mantener la cantidad de cemento.

Otro factor por tomar en cuenta al momento de elegir la cantidad de agua requerida es el porcentaje de aire en la masa. (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020).

Tabla 2. 10 Cantidades de agua en obra

Cantidad de agua de mezclado, litros/ m³de hormigón, requerida en función del tamaño máximo del agregado utilizado en la obra, para diferentes asentamientos								
Tamaño máximo del agregado grueso								
Asentamiento, cm (pulg)	0.95 (3/8)	1.27 (1/2)	1.9 (3/4)	2.54 (1)	3.81 (1 ½)	5.08 (2)	7.62 (3)	15.24 (6)
Hormigón sin inclusión de aire								
2.5 a 5.1 (1 a 2)	208	198	183	178	163	153	144	124
7.6 a 10.2 (3 a 4)	228	218	203	193	178	168	158	139
15.2 a 17.8 (6 a 7)	243	228	213	203	188	178	168	149
Porcentaje de aire atrapado, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Fuente: (ACI_211.1, 1991)

Tabla 2. 11 Cantidades de agua de mezclado

Cantidad de agua de mezclado, litros/ m³de hormigón, requerida en función del tamaño máximo del agregado utilizado en la obra, para diferentes asentamientos								
Tamaño máximo del agregado grueso								
Asentamiento, cm (pulg)	0.95 (3/8)	1.27 (1/2)	1.9 (3/4)	2.54 (1)	3.81 (1 ½)	5.08 (2)	7.62 (3)	15.24 (6)
Hormigón sin inclusión de aire								
2.5 a 5.1 (1 a 2)	183	178	163	153	144	134	124	109
7.6 a 10.2 (3 a 4)	203	193	178	168	158	149	139	117
15.2 a 17.8 (6 a 7)	213	203	188	178	168	158	158	129
Porcentaje de aire atrapado, %	8.0	7.0	6.0	5.0	4.5	4.0	4.0	3.00

Fuente: (ACI_211.1, 1991)

2.5.6. Fijación de la relación agua cemento

Este parámetro está relacionado directamente con el esfuerzo a la resistencia a la compresión del hormigón.

Tabla 2. 12 Relación agua/cemento

Relación agua/cemento (a/c) recomendada en, litro/kg de cemento, para diferentes resistencias a compresión, con o sin inclusión de aire			
Relación agua cemento, (a/c) (litros/ kg cemento)	Litros de agua por cada saco de 50 kg de cemento	Resistencia a la compresión probable a los 28 días (kg/cm²)	
		Hormigón sin inclusión de aire	Hormigón con inclusión de aire
0.265	15.0	425.0	325.0
0.353	19.0	350.0	280.0
0.445	22.5	280.0	210.0
0.53	26.5	210.0	180.0
0.623	30.0	180.0	140.0
0.705	34.0	140.0	11000

Fuente: (ACI_211.1, 1991)

2.5.7. Estimación de la cantidad de agregado grueso

La estimación corresponde a un volumen de agregado grueso compactado, cual este seco a temperatura ambiente por unidad de volumen.

Tabla 2. 13 Volumen aparente del agregado grueso por unidad de volumen

Volumen aparente de agregado grueso, en un m³, por unidad de volumen de hormigón									
Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen, en m³, de agregado grueso seco y compactado por un m³ de hormigón								
	Módulo de finura del agregado grueso								
cm	Pulg	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.0
1	3/8	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40
1.25	½	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
1.9	¾	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59
2.54	1	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64
3.87	1 ½	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70
5.08	2	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73

7.62	3	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
15.24	6	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84

Fuente: (ACI_211.1, 1991)

2.6.EL HORMIGÓN Y SUS PROPIEDADES

En términos generales el hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland hidráulico), un material relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (Guzmán)

La calidad del hormigón es directamente proporcional a la calidad de sus componentes, el hormigón en su primera fase se denomina hormigo fresco ya que se encuentra en un estado pastoso semi líquido, esta fase se caracteriza por el pasaje paulatino a estado de solido aparente. (Moral, F. (1942). Hormigón Armado. España: Dossat.)

Propiedades:

- Resistencia a la acción del fuego.

El hormigón es altamente resistente a la acción del fuego, el calor penetra lentamente en su interior y es un mal conductor de este, en distintos ensayos como el de Woolson, donde se sometió placas de hormigón a 800°C y a los 5cm se tenía temperaturas de solo 16°C. lo que quiere decir que solo se necesita un mínimo de 2 cm para proteger la armadura metálica colocada en su interior (Moral,F., 1996).

- Resistencia a los agentes atmosféricos.

Solo viéndose debilitado por las heladas frecuentes y repetidas que producen en él, efecto de disgregación, por efectos de un gran descenso de temperatura, produce la rotura de la superficie exterior en pequeñísimos fragmentos (Moral,F., 1996)

- Resistencia a la acción del tiempo.

El hormigón con el transcurso del tiempo continúa endureciéndose, pero al pasar los años este endurecimiento es apenas perceptible (Moral,F., 1996)

- Facilidad de moldeo.

Permite adoptar toda clase de formas, con gran ventaja sobre el hierro y demás materiales de construcción (Moral,F., 1996)

- Impermeabilidad.

Esta impermeabilidad no es a causa por falta de poros en el hormigón, es debido al momento en que el agua se filtra por los finísimos poros del hormigón, este se va depositando poco a poco en pequeñas cantidades de sales cálcicas, los cuales van llenando casi en su totalidad (Moral,F., 1996)

- Resistencia.

El hormigón deberá tener siempre suficiente fuerza y resistencia interna ante los varios tipos de falla.(Edward G. Nawy, n.d.)

- Compacidad

Tiene una estrecha relación con la densidad, al igual que con el método de compactación. De la compactación depende que no queden huecos sin rellenar con la pasta de cemento, de la misma manera que haya una mayor introducción de agregados en el volumen dado y que se elimine las burbujas de aire (Daniel & Lara, n.d.)

- Resistencia a la flexión

Para la determinación de esta propiedad se realiza por medio de vigas, en el ensayo a flexión el hormigón está sometido a compresión, así como también a tensión, de esta manera se establece el módulo de rotura (MR), que se usa en control de calidad y diseño de pisos y pavimentos (Verónica & Cushicondor, n.d.)

Para la determinación de la resistencia a la flexión se sigue el procedimiento bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2454 Hormigón de cemento hidráulico Determinación de la resistencia a la flexión (Utilizando una viga simple con carga en los tercios) o la Norma ASTM C 78 Standard Test Method for Flexural Strenght of Concrete Compressive Strenght of Cylindrical Concrete Specimens. (O. De et al., n.d.)

2.7.HORMIGÓN CON FIBRAS

Desde la antigüedad las fibras han formado parte de materiales utilizados con fines de construcción estructural ejemplo de ello se tiene el adobe, tapial y morteros de cal. El uso

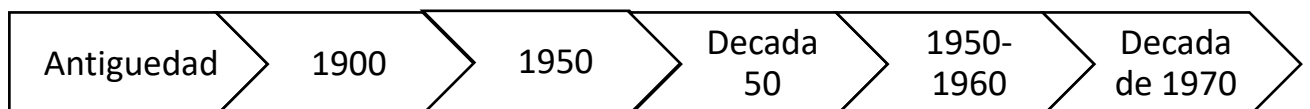


Imagen 2. 2 Línea del tiempo

de las fibras de origen vegetal en el tapial y el adobe eleva la resistencia a los esfuerzos de tensión y reduce la fisuración de los elementos.

- Paja, pelos de caballo
- Fibras de abesto
- Materiales compuestos
- Fibras de vidrio
- Fibras de acero y polipropileno
- NRFC, GFRC, SRFC, PPFRC

Fuente: (Vidaud, 2015)

Se define como fibra natural aquella fibra que es de origen biológico, vegetal o animal. Las fibras de origen vegetal son filamentos o microfibrillas que forman parte de las diferentes estructuras de las plantas que cumplen funciones determinadas como brindar soporte, dar dureza y rigidez a la planta (Dávila, y otros, 2011, pág. 79). Las fibras naturales están compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Proaño, 2015, pág. 9).

Las características principales de estos componentes son (ESIN Consultora S.A., 2014, pág. 9):

- Celulosa: constituye el esqueleto de las paredes de la célula, es insoluble y con alta resistencia ante la hidrólisis alcalina
- Hemicelulosa: poca resistencia ante la hidrólisis y suelen tener algunos residuos de azúcar, permite la biodegradación³⁷
- Lignina: es un aglutinante de las fibras de celulosa y altamente insoluble, incluso al ácido sulfúrico, encargada del transporte de soluciones acuosas y brinda rigidez a la pared celular. La mayoría de las fibras naturales tienen un bajo costo de producción, se puede utilizar mano de obra local disponible y conocimientos técnicos básicos para su extracción. Una característica de las fibras naturales es su difícil corte debido a su estructura y composición (Estrella, 2016, pág. 18).

La clasificación de las fibras naturales por su origen es (Juarez, 2002, págs. 7-8):

- Fibras blandas: se obtiene del tallo como el yute, bambú, lino, caña de azúcar, palma africana de aceite, su textura es suave, son flexibles, elásticas y finas

- Fibras duras: provienen de la hoja como la cabuya, el abacá, el plátano son de mayor grosor, aspereza y rigidez.
- Fibras que provienen de la cáscara o corteza como el coco. La capacidad de transmitir los esfuerzos desde la matriz depende del grado de refuerzo de la fibra, esta capacidad depende de las características propias de cada fibra (Dávila, y otros, 2011, pág. 84).

2.8.FIBRAS DE PALMA AFRICANA DE ACEITE

Mingorance menciona que “La palma africana o de aceite es una planta monocotiledónea de la familia Palmácea, la misma que es capaz de producir la mayor cantidad de aceite por unidad de superficie. Su origen se dio en países africanos, siendo exportada a distintos lugares del mundo. La palma africana requiere condiciones climáticas específicas (edafo-climáticas), que se refiere a zonas tropicales”. (Mingorance et al., n.d.)

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) tiene abundante fibra vegetal y se encuentra repartida en 42 países del mundo repartidos por Asia, África y Sudamérica y es uno de los principales cultivos alimentarios. Obteniendo como residuos la cáscara de palma aceitera, fibras de racimos de frutas (EFBF), fibras de mesocarpio de palma aceitera (OPMF), fibras de tronco (OPTF), fibras de fronda (OPFF) y fibras de escoba (OPBF). (Mestanza Guamancuri, José Luis, 2018)

Las fibras de palma africana normalmente su degradación no es muy fácil, pero se debe tener en cuenta que sus propiedades físicas y mecánicas pueden cambiar drásticamente.

Mestanza Guamancuri indica que “Para contrarrestar efectos secundarios de la durabilidad se usará tratamientos químicos (NaOH y agua caliente), mientras que la hidrofilia hace referencia a la absorción de la humedad en donde se busca que las fibras aumenten de tamaño creando tensiones internas en la matriz (ideal), pero en condiciones de sequedad las fibras se reducen de tamaño lo que impide la adherencia con la matriz dando como resultado una disminución en la resistencia.” (Mestanza Guamancuri, José Luis, 2018)

2.8.1. Características generales de la Palma Africana de aceite

La palma africana es una fibra celular proveniente de la palma de Rakis africana, típico cultivo de las costas del país, muy rica en minerales puesto que el aceite de palma está constituido en un 37% aproximadamente de ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico, sobre todo), un 48 % por ácidos grasos saturados (principalmente el palmítico), y el 10% compuesto de ácidos grasos poliinsaturados.

La fibra se caracteriza por poseer alto grado de absorción de líquidos, su volumen y peso incrementa en una gran proporción. Por ser materia orgánica posee gran capacidad de descomposición al ambiente. La fibra de palma africana es muy rígida en volumen y muy débil en mínimas cantidades, por ser materia prima de zona costera es una fibra muy caliente de temperatura interna.

Dentro del avance de los años la fibra de palma africana se ha venido reutilizando para actividades constructiles y artesanales, pues su capacidad a resistir esfuerzos axiales es muy favorable para utilizar como refuerzo. De la misma manera de un rakis de palma africana puede salir desde un peso de 3 a 7 kilogramos de fibra.

2.9. TRATAMIENTOS QUÍMICOS

La modificación química ayuda a la adherencia entre la matriz de cemento y la fibra mediante reacciones químicas.

La fibra tiene una naturaleza hidrofílica de las fibras naturales y la hidrofobia de las matrices se consideran dos fases diferentes; dando lugar a la unión débil de la interfaz de los compuestos. (Mestanza Guamancuri, José Luis, 2018)

Los métodos de tratamiento químico incluyen: alcalinos, silanos, acetilación, benzoilación peróxido, agentes de acoplamiento maleados, clorito sódico, acrilación e injerto de crilonitrilo, isocianato, ácido esteárico, permanganato, triazina, cloruro de oleóilo y tratamientos fúngicos. (Mestanza Guamancuri, José Luis, 2018)

Tabla 2. 14 Tratamiento químico

Tratamiento	Reactivo Químico
Alcalino	NaOH
Silano	Silano
Acetilación	Acido acético + anhídrido acético
Benzoilacion	Cloruro de benzoilo
Peróxido	Peroxidos reaccionan con los grupos OH
Agente de acoplamiento aleado	
Clorito de sodio	NaClO ₂
Acrilacion e injerto de clironitrilo	CH ₂ =CHCOOH
Isocianato	
Acido esteárico	
Cloruro de oleóleo	Cloruro de oleoilo
Permanganato	KMnO ₄
Triazina	C ₃ H ₃ N ₃
Fúngicos	Enzimas (tratamiento biológico)

Fuente: (Mestanza Guamancuri, José Luis, 2018)

2.9.1. Hidróxido de sodio

Es un método sencillo, práctico y eficaz para aumentar las propiedades de adhesión de las fibras a la matriz (al reducir el diámetro de la fibra). Se modifica la estructura celulósica con hidróxido de sodio (NaOH) y se logra subir la velocidad de fragmentación y disgregación de las fibras.

La orientación del orden de la celulosa cristalina altamente empaquetada se modifica creando regiones amorfas en las micromoléculas (se agrandan los espacios y se llenan con moléculas de agua)(Ali Gholampour & Togay Ozbakkaloglu, n.d.)

Con este tratamiento se logra disminuir los grupos OH hidrófilos, aumenta la resistencia a la humedad, se extrae cierta cantidad de hemicelulosa, lignina, pectina, cera y aceite; dando una fibra más limpia y uniforme, lo que permite, optimizar la transferencia de tensiones

entre las células. Para lograr un resultado adecuado se debe buscar la concentración óptima del NaOH (Ali Gholampour & Togay Ozbakkaloglu, n.d.)

En Ecuador la disponibilidad de químico es muy reservadas, por seguridad laboral y social. Para el desarrollo de la investigación se utilizó hidróxido de sodio con una concentración de 5%

En la siguiente figura se puede observar que la resistencia a la tracción aumenta cuando el tratamiento de NaOH es mejor a las 24 horas o 48 horas con una concentración de 4% y 6% respectivamente. Pero en cuestión de tiempo de tratamiento y concentración lo más adecuado es trabajar a 24 horas y con una concentración del 4% (Momoh, n.d.)

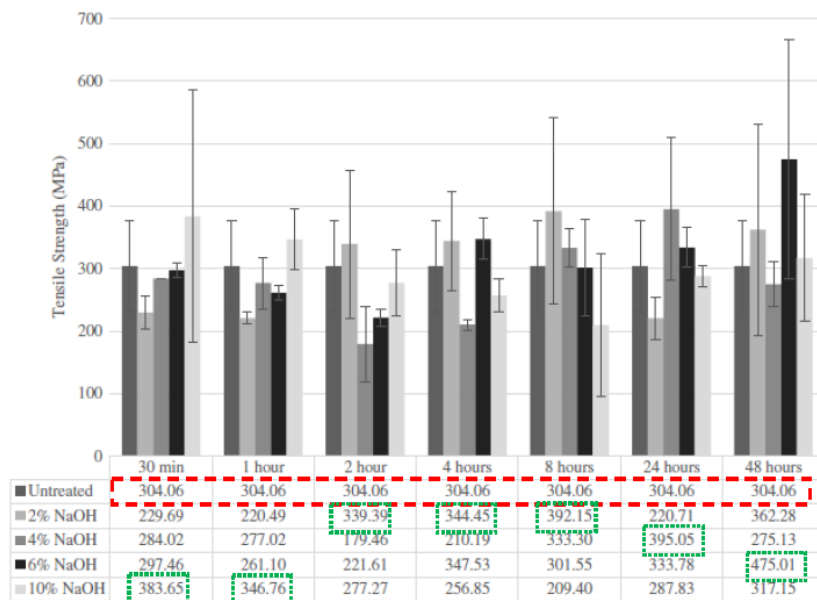


Imagen 2. 3 Resistencia a la tracción del OPBF sometido al tratamiento de NaOH con diferentes concentraciones y duraciones.

Fuente: (Mestanza Guamancuri, José Luis, 2018)

2.9.2. Agua hervida

El tratamiento térmico, está influenciado directamente en un cambio de temperatura y tiene como finalidad mejorar la estructura cristalina, propiedades físicas y mecánicas de la fibra. Este tipo de tratamientos suelen ser eficaces en temperaturas que están entre

los 100°C a 200°C y pese a ellos al colocar la fibra a 100°C se tuvieron efectos significativos en las propiedades de adherencia. (Soxo, 2021)

En la siguiente figura se observa que tratamiento de agua caliente da mejores resultados después de un lapso de 30min.

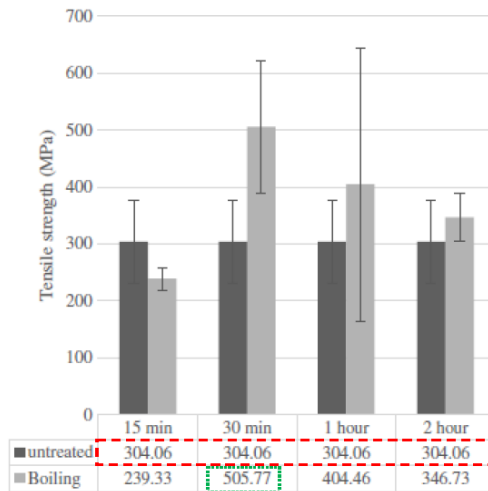


Imagen 2. 4 Resistencia a la tracción del OPBF sometido a tratamiento de agua caliente durante diferentes tiempos.

Fuente (Mestanza Guamancuri, José Luis, 2018)

2.9.3. RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

En la obtención de la resistencia residual promedio del hormigón reforzado con fibra se utilizará el método descrito en la norma (ASTM C1399/C1399M, 2007).

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia residual de una viga de ensayo de hormigón reforzado con fibras. La resistencia residual promedio se calcula utilizando deflexiones de viga especificadas que se obtienen de una viga que se ha agrietado de manera estándar. La prueba proporciona los datos necesarios para obtener la porción de la curva de carga-deflexión más allá de la cual ha ocurrido una cantidad significativa de daño por agrietamiento y proporciona una medida de la resistencia posterior al agrietamiento, ya que dicha resistencia se ve afectada por el uso de refuerzo de fibra. (ASTM C1399/C1399M, 2007).

Este método de ensayo proporciona una medida cuantitativa útil en la evaluación del comportamiento del hormigón reforzado con fibras. Permite el análisis comparativo entre vigas que contienen diferentes tipos de fibra, incluidos materiales, dimensiones y formas, y diferentes contenidos de fibra. Los resultados se pueden utilizar para optimizar las proporciones de las mezclas de concreto reforzado con fibra, para determinar el cumplimiento de las especificaciones de construcción, para evaluar el concreto reforzado con fibra que ha estado en servicio y como una herramienta para la investigación y el desarrollo del concreto reforzado con fibra (ASTM C1399/C1399M, 2007)

2.9.4. Cálculo

Se utiliza las cargas determinadas en las deflexiones de la curva de 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 mm, mediante la siguiente expresión.

$$ARS = \left(\frac{P_A + P_B + P_C + P_D}{4} \right) * K$$

Ecuación 2. 1 Resistencia residual promedio

Donde:

- $K: \frac{L}{bd^2} (mm^{-2})$
- ARS: Resistencia residual promedio (MPa)
- $P_A+P_B+P_C+P_D$: Suma de cargas registradas en el tiempo especificado - deflexiones (N)
- L: Longitud del tramo (mm)
- b: ancho medio de la viga (mm)

- d: canto medio de la viga (mm)

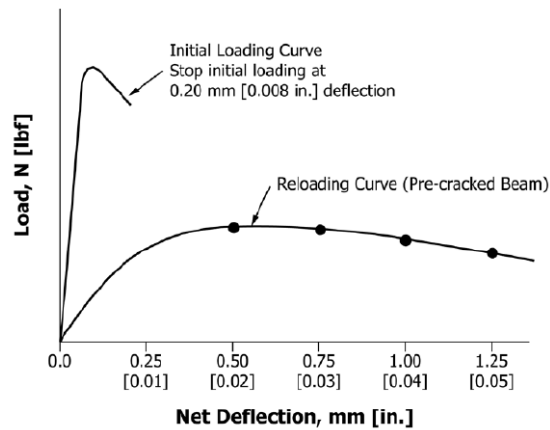


Imagen 2. 5 Curva Carga – Deflexión

Fuente: (ASTM C1399/C1399M, 2007)

2.10. MÓDULO DE ROTURA

La resistencia a la tensión del par en flexión es muy importante al considerar grietas y deflexiones en vigas, Para estas consideraciones se han usado por mucho tiempo las resistencias a tensión obtenidas con el módulo de ruptura. El módulo de ruptura (que se define como la resistencia a la tensión por flexión del concreto) usualmente se mide al cargar una viga rectangular de concreto simple (o sea sin refuerzo) a la falla con cargas concentradas iguales en los tercios del claro, de acuerdo con el método ASTM C78.

La carga se incrementa hasta que ocurre la falla por agrietamiento en la cara de tensión de la viga. (Jack C. Mc. Cormac, Rushell H. Brown , 2017)

El cálculo se obtiene de dos maneras:

1. En donde la fractura se da en el tercio medio de la longitud del espécimen se usa la siguiente expresión.

$$f_r = \frac{PL}{bh^2}$$

Ecuación 2. 2 Módulo de rotura

2. En caso donde la fractura suceda en la tercera mitad de la longitud del tramo y no exceda de 5% de la longitud de este, se usa la siguiente expresión.

$$f_r = \frac{3Pa}{bh^2}$$

Ecuación 2. 3 Modulo de rotura

Donde:

- f_r : Modulo de rotura
- P: Carga aplicada máxima de la máquina.
- L: Longitud
- b: Ancho media de la muestra
- d: Hondura media de la muestra
- a: longitud media entre línea de fractura y el apoyo más cercano.

2.10.1. Módulo de rotura teórico

En base a la norma ACI 318 - 19, literal 19.2.4. se considera el cálculo del módulo de rotura como se muestra a continuación:

$$f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f'_c}$$

Ecuación 2. 4 Módulo de rotura teórico

Donde:

- f_r : Módulo de rotura
- f'_c : Resistencia del hormigón
- λ : Factor de modificación que utiliza las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso livianos como las de concreto de peso normal al igual que la resistencia a la compresión. El valor de λ ha de determinarse en base a las tablas 19.2.4.1 (a) y 19.2.4.1 (b) de la norma ACI 318-19, o como se permita en las secciones 19.2.4.2 y 19.2.4.3.

3. CAPITULO III: DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES, ENSAYOS

3.1.AGREGADOS

Los agregados que fueron empleados para el presente trabajo de disertación se obtuvieron de la empresa HOLCIM de la cantera de Pifo ya que los agregados de la cantera mencionada presentan mejores características dando una mayor eficiencia a los resultados del hormigón.

El agregado grueso utilizado se le denomina piedra 67, este es un material que resulta del proceso de trituración de las rocas que tienen un color gris y como tamaño nominal de 12.5mm.

La empresa HOLCIM ha proporcionado las características del material entregado, dándonos el tamaño nominal, abrasión, etc. y una clasificación de este. A pesar de tener estos datos que son fundamentales para realizar una dosificación correcta del hormigón, en el presente trabajo también se realizaron los respectivos ensayos para verificar y obtener un dato real de las características físicas y mecánicas de los agregados con el fin de elaborar de forma eficiente la dosificación del hormigón.

3.1.1. Ensayos de Agregado Fino

3.1.1.1. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico al agregado fino se lo realizará realizando el procedimiento sugerido por la norma ecuatoriana la cual se detallará en la sección **3.1.2.1 Análisis granulométrico del agregado grueso**. En el cálculo del módulo de finura para el agregado fino se lo realizara con los tamices que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3. 1 Tamices para el agregado fino

Tamiz	Abertura (mm)
#4	4.76
#8	2.36
#16	1.19
#30	0.6
#50	0.3
#100	0.15
Bandeja	

Fuente: Luna, 2014

3.1.1.2.Densidad relativa y absorción

Las medidas para establecer la densidad relativa y absorción se los encuentra descritos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad relativa y absorción de árido fino o en base a la Norma ASTM C 128.

- Hay que tener una muestra de agregado el cual hay que dividirlo para obtener un peso total de 1Kg, y se coloca en agua por 24 ± 4 horas logrando así, obtener el estado de saturación.
- Una vez que ha pasado las 24 horas se vierte el agua evitando la pérdida del agregado fino, luego colocamos la muestra sobre una superficie impermeable y evitar que absorba humedad y en la cual se puede secar el agua superficial para tener el valor adecuado de la masa saturada.
- Se coloca la muestra en una bandeja para secarla en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta tener una masa firme y dejarlo secar a temperatura ambiente (aproximadamente 50°C), hay que cubrir la muestra con agua por inmersión y dejarlo reposar por un periodo de 24 ± 4 horas verificando alcanzar al menos 6% de humedad (NTE INEN 856, 210).
- Se utiliza un molde con forma cónica, la superficie con el radió mayor debe estar en asentada en una superficie lisa no absorbente. Se añade progresivamente el agregado fino cada 1/3 que se llene del recipiente se le debe compactar con 25 golpes distribuidos de forma homogénea, el compactador debe tener una caída libre de una altura no superior a los 5mm y debe caer libremente. Hay que enrazar el molde para quitar el exceso de este, una vez enrazado se procede a retirar el molde de forma suave y de forma vertical. Si el agregado mantiene la forma del molde indica que el agregado aun contiene una humedad superficial mientras que si el agregado se desmorona parcialmente nos indica que ya tenemos el estado superficial seco (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2010)
- Se debe llenar el picnómetro con arena hasta obtener un peso de 500 ± 10 gramos S.S.S, agregamos agua para evitar sobrepasar el cuello del picnómetro con el agua, después se agita para eliminar el contenido de aire en la muestra. Y determinamos la masa de la muestra junto con el picnómetro.
- Después se coloca la muestra en un recipiente hondo para ser ingresada al horno el cual debe estar a una temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, después se espera que se enfríe y se pesa la muestra.

- Se debe pesar el picnómetro vacío y con agua

Para realizar el cálculo de la densidad y absorción del agregado fino con las ecuaciones que se presentan a continuación:

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{997.5 * S}{(B+S-C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ecuación 3. 1 Densidad relativa}$$

$$\text{Absorción} = \frac{(S-A)}{(A)} * 100 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ecuación 3. 2 Absorción}$$

Donde:

- A: Muestra seca al horno, en g
- B: Masa del picnómetro + agua, en g
- C: Masa del picnómetro + agregado + agua, en g
- Masa de la muestra Superficial Saturada Seca (S.S.S.), en g

3.1.1.3. Densidad aparente suelta y compacta

Para los parámetros se van a seguir los procesos detallados por la norma lo cuales serán descritos en la sección **3.1.2.2 densidad relativa y absorción** para los agregados gruesos, ya que para el cálculo de la densidad se utiliza las mismas formulas pero para este agregado se utiliza moldes con menor dimensión.

3.1.1.4. Contenido orgánico

Este ensayo determina las impurezas orgánicas que afectan a la hidratación del cemento retrasando el fraguado, esta interrupción afecta tanto a la resistencia como a la durabilidad del hormigón, además que dificulta a la buena adherencia entre los agregados. (Rengifo Cuenca, María Cristina, 2013)

Para la determinación de los parámetros que se usan en el ensayo se realizará el procedimiento basado en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 855 Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.

Para realizar este ensayo y obtener unos correctos resultados se realiza de la siguiente forma:

- Se procede a colocar el agregado en un recipiente de vidrio que tenga un volumen mínimo de 130 cm³ para que la cantidad de la muestra alcance sin derramarse.

- Se debe agregar el hidróxido de sodio hasta la marca de 130 cm³ y se sigue llenando hasta los 200 cm³.
- Se tapa el recipiente para agitar de forma adecuada y con fuerza suficiente para que el agua con el agregado se mezcle bien, luego dejamos reposar por 24 horas.
- Para saber la cantidad de contenido orgánico en el agregado se utilizará la escala de Gardner la misma que en base al color del agua de la mezcla y en base a vidrios con color normalizado permite observar la cantidad de contenido orgánico basándose en la siguiente tabla:

Tabla 3. 2 Escala de Gardner.

Color Normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el compactador
5	1
8	2
11	3(normalizado de referencia)
14	4
16	5

Fuente: (INEN_855, 2010)

3.1.1.5. Resumen de resultados

La caracterización del agregado se lo presenta en la tabla que se detalla a continuación, datos que se obtuvo por medio de la aplicación de los ensayos previamente descritos aplicando las sugerencias que indican las normas.

Tabla 3. 3 Resultados de ensayos del agregado fino

Propiedad	Unidad	Valor Obtenido	Norma de ensayo	Norma requisito
Densidad Suelta (SH)	gr/cm ³	1.893	NTE INEN 856	
Densidad (SSS)	gr/cm ³	2.35	NTE INEN 856	

Densidad aparente	gr/cm ³	3.57	NTE INEN 856	
Densidad relativa (SH)	gr/cm ³	1.88	NTE INEN 856	
Densidad relativa (SSS)	gr/cm ³	1.84	NTE INEN 856	
Densidad relativa aparente	%	2.357	NTE INEN 856	
Absorción	%	2.07	NTE INEN 856	
Contenido de humedad	%	1.52	NTE INEN 862	
Módulo de finura	%	2.76	NTE INEN 696	NTE INEN 872
Contenido orgánico	Placa Gardner	#0	NTE INEN 855	NTE INEN 872
Arena: Agregado fino, tipo de roca Andesita				

Tabla 3. 4 Gradación agregado fino

Tamaño N°	Tamiz (pulg)	Nro. 4	Nro. 5	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Bandeja
	Tamiz (mm)	4.76	2.36	1.19	0.6	0.3	0.15	
100	Porcentaje (masa) que pasa por el tamiz	100	55	38.56	24.19	15.02	8.9	0
Exigencia de gradación para ripio (Norma de requisito NTE INEN 872)		95 a 100	80 a 100	50 a 85	25 a 60	5 a 30	0 a 10	

3.1.2. Ensayos de Agregado Grueso

3.1.2.1. Análisis granulométrico

Para los análisis granulométricos nos hemos basado en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 696: Análisis granulométricos en áridos finos y gruesos. Con lo que realiza el siguiente procedimiento.

- La norma sugiere que al tamaño de la muestra máximo nominal se debe cuartear hasta obtener el peso mínimo indicado en la norma INEN 696 para posteriormente ingresarla al

horno por un tiempo de 24 horas a la temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La misma que será la muestra inicial.

- Una vez se ha cumplido las 24 horas esperamos que la muestra se enfríe para poder trabajar con ella y armamos los tamices en el orden de la serie de tamices indicada en la tabla 3. 5.

Tabla 3. 5 Orden de tamices

Tamiz	Abertura (mm)
2"	50
1 ½"	37.5
1"	25
¾"	19
½"	12.5
3/8"	9.5
#4	4.75
#8	2.36
Bandeja	

Fuente: Luna, 2014, pag.75

- Se coloca la muestra en el tamiz superior tapando y colocando en el tamizador de forma correcta para ser tamizada por el periodo especificado en las normas que es de 3 a 5 minutos. Luego de que se tamiza la muestra se procede a pesar y ver la cantidad de masa retenida en cada tamiz.
- Utilizando la norma INEN 696, en la cual se indica el proceso determinar el módulo de finura en la cual se menciona lo siguiente. “Calcular el módulo de finura mediante la sumatoria de los porcentajes totales de material que es más grueso que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100: 150 μm (No. 100), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8”), 19,0 mm (3/4”), 37,5 mm (1 1/2”) y tamices mayores que crecen en la relación 2 a 1” (INEN_696, 2011)

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado en los tamices}}{100}$$

Donde:

MF: Módulo de finura

- Para garantizar el resultado se verifica que la pérdida de la muestra no sea superior al 0.3% del total de la muestra del agregado grueso.

3.1.2.2. Densidad relativa y absorción

La densidad relativa se define como el cociente de la densidad de una sustancia y la densidad del agua a 4°C. (Vera Guarinos, J., Durá Domenech, A. (2002). Fundamentos físicos de las construcciones arquitectónicas. Vectores deslizantes, geometría de masas y estática: Volumen I: Vectores Deslizantes, Geometría de Masas y Estática. España: Universitat d' Alacant (Publicacions)).

La densidad relativa se la define como el cociente de la masa con el volumen total del agregado que se encuentra completamente saturado en agua, sin considerar el agua de su superficie. La absorción se define como la capacidad del agregado para llenar sus espacios vacíos. (Rengifo Cuenca, María Cristina, 2013)

Para el cálculo de la densidad relativa se realizará el procedimiento establecido en la INEN 857.

- Se cuartea la muestra del agregado para obtener el peso requerido indicado en la (NTE INEN 857, 2010). Se coloca en un recipiente apropiado para sumergir la muestra durante 24 ± 4 horas para conseguir un estado de saturación completo.
- Se retira con cuidado la muestra del agua y se la coloca en una sobre una franela con la misma se procede a secar de manera superficial la muestra y con eso obtener el estado de saturación (S.S.S) de la muestra.
- Pesamos la muestra en estado (S.S.S)
- Secamos la muestra en horno durante 24 horas a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Una vez seca la muestra se pesa la muestra seca.

Las ecuaciones que sirven para calcular las densidades son las siguientes:

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{997.5 * A}{(B - C)} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad \text{Ecuación 3. 3 Densidad Relativa}$$

$$\text{Densidad Relativa S.S.S} = \frac{997.5 * B}{(B - C)} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad \text{Ecuación 3. 4 Densidad relativa S.S.S}$$

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{997.5 * A}{(A - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ecuación 3. 5 Densidad relativa aparente}$$

$$\text{Absorción} = \frac{(B - A)}{(A)} * 100 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ecuación 3. 6 Absorción}$$

Donde:

- A: Muestra seca al horno, en g
- B: Muestra en estado S.S.S, en g
- C: Muestra aparente en agua, en g

3.1.2.3. Densidad aparente suelta y compacta

La densidad aparente suelta de una muestra sin que presente alguna condición de compactación mostrará una gran cantidad de vacíos entre partículas. La densidad aparente compactada es la densidad aparente de una muestra de agregado compactada por apisonamiento en cada capa de material, cada una con igual volumen, la cantidad de vacíos entre partículas disminuyen por el varillado de cada capa. (LARA, 2016)

Para determinar la densidad aparente suelta y compactada se utiliza la Norma INEN 858. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos.

Densidad aparente suelta:

- Se determina la masa y el volumen del recipiente, (M1)
- Se procede a llenar el recipiente, colocando el agregado desde una altura de caída que no sobrepase los 50 milímetros con el fin de evitar la compactación de la muestra.
- Se enrasa la parte superior del recipiente quitando los excesos evitando compactar el material.
- Se pesa el recipiente con el material suelto.

Densidad aparente Compacta:

- Se determina la masa y el volumen del recipiente, (M1)
- Se procede a llenar el recipiente del agregado con 3 capas iguales las cuales cada capa se aplica 25 golpes de la varilla para compactar la muestra distribuidos uniformemente hasta llenar el recipiente, se debe quitar los excesos y enrasar la superficie. Luego se procede a pesar el recipiente con la masa del agregado.

- Se pesa el recipiente y la masa del agregado.

La ecuación para determinar la densidad es:

$$Densidad_{(suelta-compacta)} = \frac{(M_2 - M_1)}{(V)} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ecuación 3. 7 Densidad}$$

Donde:

- M_1 : Masa del recipiente vacío, en kg
- M_2 : Masa del recipiente junto a la masa del agregado, en kg
- V : Volumen del recipiente, en m^3 :

3.1.2.4. Ensayo de abrasión o desgaste

Este ensayo determina el desgaste de las superficies del agregado grueso, para esto se utiliza unas esferas que dan la carga abrasiva, sometidas a revoluciones en la máquina de los Ángeles. (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

Se basa en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 860 áridos o en la Norma ASTM C131, en la determinación del valor de la degradación del agregado grueso con partículas menores a 37.7mm por medio de la utilización de la Máquina de los Ángeles.

- Para determinar la gradación de las masas retenidas se usa como referencia granulometría y la tabla 20 que se presenta.
- Se procede a tamizar la muestra hasta completar la masa necesaria para el ensayo.
- Se lava y seca al horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para eliminar los finos que se encuentren presentes en la muestra, para tener un resultado mucho más fino.

Tabla 3. 6 Tamaño de abertura de tamiz

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
		Gradación			
Pasante de	Retenido en	A	B	C	D
37.5	25.0	1250 ±25			
25.0	19.0	1251 ± 25			
19.0	12.5	1252 ± 10	2500 ± 10		

12.5	9.5	1253 ± 10	2500 ± 10	2501 ± 10	
9.5	6.3			2502 ± 10	
6.3	4.8				
4.8	2.4				5000 ± 10
	TOTAL	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: (NTE INEN 860, 2010)

- Con la gradación obtenida se debe seleccionar la carga para la abrasión de acuerdo con la siguiente tabla

Tabla 3. 7 Especificación de carga para abrasión

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 10
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: (NTE INEN 860, 2010)

- Se coloca la muestra y la carga abrasiva en la máquina de los Ángeles, colocamos las esferas sin tirarlas para evitar que al caer ya provoque cambios en la estructura de la muestra y arroge resultados con cierto porcentaje de error.
- Encendemos la máquina de los ángeles para que el cilindro gire a una velocidad entre 30 y 33 rpm una vez que este complete 500 giros se apaga la maquina y se retira la muestra del cilindro.
- Se tamiza en el tamiz #12 y se pesa la cantidad retenida. Con esos pesos se procede a determinar el coeficiente de uniformidad y el porcentaje de abrasión. Las cuales se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Abrasión (Desgaste)} = \frac{M_0 - M_{500}}{M_0} (\%) \quad \text{Ecuación 3. 8}$$

$$\text{Abrasión (Desgaste)} = \frac{M_0 - M_{500}}{M_0} (\%) \quad \text{Ecuación 3. 9}$$

Donde:

- Mo: Masa inicial en (g)
- M100: Masa a las 100 revoluciones en (g)
- M500: Masa a las 500 revoluciones en (g)

3.1.2.5. Resumen de resultados

La caracterización del agregado se ha obtenido a partir de la realización de los ensayos previamente descritos, las características se presentan en la Tabla 3.5 detallada a continuación

Tabla 3. 8 Resultados de los ensayos de agregado grueso

Propiedad	Unidad	Valor Obtenido	Norma de ensayo	Norma requisito
Densidad Suelta	gr/cm ³	2.19	NTE INEN 857	
Densidad Compacta	gr/cm ³	2.23	NTE INEN 857	
Peso específico		2.29	NTE INEN 857	
Peso específico S.S.S		2.2	NTE INEN 857	
Peso específico aparente		2.24	NTE INEN 857	
Absorción	%	1.99	NTE INEN 857	
Contenido de Humedad	%	0.5	NTE INEN 862	
Abrasión	%	24	NTE INEN 860	NTE INEN 872
Tamaño nominal	cm	3.95	NTE INEN 896	NTE INEN 872

Tabla 3. 9 Gradación obtenida para el agregado grueso

Tamaño N°	Tamaño máximo nominal	Tamiz (pulg)	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	Bandeja
		Tamiz (mm)	38.1	25	19	12.5	9.5	4.76	
57	1"	Porcentaje (peso) que pasa por el tamiz	100	100	84.65	24.68	13.08	1.84	0
Exigencia de gradación para ripio (Norma de requisito NTE INEN 872)			100	94 a 100		25 a 60		0 a 10	

3.2.MUESTREO

Con respecto al muestreo de los agregados que se debe tomar para los ensayos se usará lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 695 Áridos o en la Norma ASTM D 75; basándonos en estas normas se podrá tener una mejor garantía de la calidad del producto con lo cual será verificado que estamos utilizando agregados son idóneos para la realización de la mezcla.

Con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 872 se determina el tamaño máximo nominal y con una guía también en la Norma ASTM C 33

Tabla 3. 10 Tamaño de las muestras de agregados

Tamaño del árido mm	Masa mínima de la muestra in situ Kg	Volumen mínimo de la muestra in situ, litros
Áridos finos		
2.36	10	8
4.75	10	8
Áridos gruesos		
9.5	10	8
12.5	15	12
19	25	20
25	50	40
37.5	75	60
50	100	80
63	125	100
75	150	120
90	175	140
Para los áridos procesados, utilizar el tamaño máximo nominal que se indica en la norma respectiva o en la descripción. Si la norma o descripción no indica un tamaño máximo nominal (por ejemplo, una abertura de tamiz que contemple un pasante del 90% al 100%), utilizar el tamaño máximo (la abertura de tamiz que pase el 100%)		
Para áridos gruesos y finos combinados (por ejemplo, áridos para bases o subbase) la masa mínima debe ser la masa mínima del árido grueso más 10Kg		

Fuente: NTE INEN 695,2010

3.3.CEMENTO

La parte práctica experimental del presente trabajo de investigación se realizó con el cemento producido por la empresa Holcim del Ecuador y el tipo de cemento fue el Hidráulico Holcim tipo GU.

Este cemento está diseñado para todo tipo de construcción en general contando como principales características su resistencia, durabilidad y destacado desempeño que cumple y

excede los estándares de la Norma INEN 2380, por lo que puede ser utilizado en todos los tipos de obras constructivas donde no se requieran propiedades especiales, además cuenta con una ecoetiqueta que proporciona una reducción de 30% de emisiones de CO₂. (Holcim, 2020)



Imagen 1. Cemento Holcim Fuerte Tipo GU

Fuente: (Holcim, 2020)

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 152 exige ciertos requisitos y características con las que debe cumplir el cemento Holcim, las mismas que se detallan a continuación:

- Ofrece una resistencia mecánica al esfuerzo de compresión, con excelencia.
- Reduce la exudación y segregación en la mezcla.
- Posee una permeabilidad alta.
- Proporciona cierta resistencia química a los sulfatos.
- La trabajabilidad que proporciona a las mezclas se ve mejorada.

3.3.1. Densidad real del cemento

Se utilizará la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 156 Cemento Hidráulico para determinar la densidad real del cemento, la cual indica los requisitos y el detalle correcto de como se debe realizar el proceso el mismo que se menciona a continuación:

- Se debe cumplir con ciertas condiciones ambientales como que la temperatura sea de 23 ± 2 °C y la humedad el ambiente sea del 65%.
- Se debe pesar 64 gramos de cemento para el ensayo.

- Se utiliza el frasco de Le Chatelier en el cual se debe añadir el reactivo el cual debe estar entre las marcas de 0 a 1 cm³ las cuales están por debajo del cuello del frasco. Una vez realizado esto se procede a sumergir el frasco en el agua consecutivamente se toma la primera lectura de volumen como de peso.
- Luego se debe añadir el cemento en el interior en proporciones de 64 gramos aproximadamente de cemento evitando el atasco del cemento en el cuello del frasco, cuando se acabé de añadir el cemento se coloca el tapón al frasco.
- Se debe eliminar las burbujas de aire moviendo con ciertos movimientos ligeros y consistentes y evitar daños en el frasco Le Chatelier.
- Cuando se finalice con la proceso de extracción de aire se debe colocar el recipiente en condiciones ambientales entre 1 a 2 minutos, culminado ese tiempo se debe dar lecturas finales de masa y volumen.

Para el cálculo de la densidad se debe utilizar la ecuación que se detalla a continuación:

$$\text{Densidad real} = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1} \qquad \text{Ecuación 3. 10}$$

Donde:

- Densidad real, en g/cm³
- M1: Masa del frasco y reactivo, en g.
- M2: Masa del frasco, cemento y reactivo, eng.
- V1: Lectura del volumen en el cuello inferior, en cm³.
- V2: Lectura del volumen en el cuello superior, en cm³.

3.3.2. Consistencia normal del cemento

Para determinar la consistencia del cemento se va a utilizar le proceso y ensayo descrito en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 157 Cemento Hidráulico. el cual se realiza con el método Vitac para consistencia normal.

- Se debe obtener una muestra de 500 gramos
- Se debe añadir agua en una probeta, la misma que debe tener condiciones de temperatura normal. El porcentaje de cemento a ser añadido debe tener una relación con respecto al agua del 20% y 30%.

- Se debe revolver el cemento conjuntamente con el agua durante un tiempo aproximado de 30 segundos, se debe dejar en reposo durante 20 segundos y posteriormente mezclamos nuevamente por 30 segundos a una velocidad moderada.
- Se debe enrazar la mezcla con una espátula, luego se coloca la esfera de material en la argolla del equipo Vicat. La esfera se debe presionar contra la placa de vidrio inferior y se retira el material sobrante que se encuentra en la argolla.
- Se debe centrar el molde con el material justo debajo del vástago el cual se procede a soltar.
- La consistencia normal del cemento se obtiene cuando la aguja del aparato Vicat penetra en la pasta 10 ± 1 mm al cabo de un tiempo de 30 segundos posteriores al soltar el vástago.

El valor de la consistencia normal se obtuvo de la siguiente forma:

$$C\% = \frac{M_w}{M_c} * 100\% \quad \text{Ecuación 3. 11}$$

Donde:

- C%: Consistencia normal en %
- Mw: Masa de agua.
- Mc: Masa de cemento

3.3.3. Resultados de la caracterización del cemento

Al realizarse los ensayos al cemento Holcim Fuerte tipo GU se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3. 11 Resultados de los ensayos del cemento

Propiedad	Unidad	Valor Obtenido	Valor requerido	Norma del ensayo	Norma del requisito
Densidad real	gr/cm ³	2.68	Entre 3 y 3.16	NTE INEN 156	NTE INEN 2380
Densidad suelta	gr/cm ³	0.98			
Densidad Compactada	gr/cm ³	1.2			
Gravedad específica		2.68			
Consistencia normal	%	23	Entre 20-30		NTE INEN 2380

3.4.FIBRAS DEL RAQUIS DE LA PALMA AFRICANA

Estas fibras de la palma africana se obtienen a partir de la extracción de la nuez (subproductos torta y aceite de palma) debido a que en Ecuador se realiza bastante este proceso el cual da como resultado la fibra, raquis la cascarilla y la ceniza de la caldera. Como se puede saber por lo descrito anteriormente el raquis es un subproducto que representa entre un 30 a 35 % del peso de un racimo como lo indico el Ing. Edwin Castillo.

3.4.1. Procedencia

El raquis de palma africana se obtuvo en la Pamicultora “LA JOYA” ubicada en la provincia de Santo Domingo vía Pedernales, cuneta con amplia zona de almacenamiento y extracción de palma africana, llevando procesos industrializados.

3.4.2. Obtención y proceso de deshilachar fibras

Para toda empresa que se dedique al uso de la palma africana para realizar aceites u otros productos a parte de la extracción del fruto de esta el raquis (fibra) viene a ser un desecho industrial orgánico el cual se suele utilizar como abono, o como combustible el cual se obtiene con un proceso de secado. Este proceso se lo solía realizar en las calderas, pero era un proceso que contaminaba bastante ya que producía ceniza de palma la cual también se solía utilizar para la agricultura, pero debido a su alto impacto ambiental negativo ya se lo dejó de realizar.

El raquis que utilizamos como ya se mencionó se lo obtuvo de un palmicultor que por cada 1000 toneladas de futa que extrae el 12% es raquis del cual se obtiene la fibra de palma africana la misma que será utilizada en el presente trabajo de investigación.

Para el proceso de deshilachado de la fibra se lo realiza de forma manual tomando en cuenta los siguientes pasos:

- Obtención del raquis de palma africana
- Se procede a expandir en una superficie grande e impermeable al suelo para que el raquis comience a secarse con el fin de evitar que la fibra por estar húmeda y sin aire comience a presentar moho causas del proceso de descomposición lo cual puede dañar la fibra y disminuir sus propiedades mecánicas.
- Una vez seca la fibra se puede almacenar en un lugar con ventilación y evitar que le caiga lluvia o se moje.

- Se selecciona los raquis con los cuales se va a extraer la fibra de forma manual, para mayor facilidad de extracción se aconseja mantener mojado el raquis, solo mantener mojado el raquis que se va a extraer en el momento.
- Una vez que se extrae la fibra se debe lavar para evitar la presencia de hongos y microorganismos y se procede a almacenarla en cajones para que presenten una buena ventilación y se puedan secar con el ambiente, no es necesario ingresar al horno las fibras para su proceso de secado a menos que se tenga intención de usarla al instante.
- Si se va a secar la fibra en horno se recomienda no usar una temperatura no mayor a 45 °C ya que esta se puede quemar y eliminar ciertos componentes como la celulosa y la hemicelulosa que si estos se pierden en el secado la resistencia de la fibra se verá disminuida.

3.4.3. Ensayos a las fibras naturales

Estos ensayos se realizan con el fin de comparar los resultados obtenidos de la fibra sin tratamiento químico y con tratamiento químico lo cual ayudara a tener una idea de su durabilidad de la fibra embebida en el hormigón y proponer como material de refuerzo de materiales compuestos. (Alvarado, 2002)

Por medios de la investigación se ha podido observar que existen diversos estudios de la palma africana pero estos estudios son de la caracterización física de la misma lo cual no se a podido ver pocos estudios acerca de la caracterización física de la fibra del raquis de palma africana por lo que no se puede conocer las características de la misma cuando son tratadas con un tratamiento químico, por lo que para el presente trabajo de investigación ha sido orientado con tratamientos químicos realizados a otros tipos de fibra en los cuales se observó que funcionaban. Con lo que en este presente trabajo se emplean ciertas técnicas para describir la fibra.

La fibra de raquis de palma africana se la obtuvo de la palmicultora la Joya ubicada en Santo Domingo y se procedió almacenarla en el patio de una casa ubicada en la ciudad de Quito-Conocoto donde se disponía de espacio suficiente para poder lavar y esparcirla para que la fibra se pueda secar al aire libre.

3.4.3.1.Preparación de la Muestra

Para preparar la muestra de una forma más adecuada se puede seguir los siguientes pasos:

- Se lava la fibra de raquis de palma africana evitando así que la muestra a ensayar presente hongos o microorganismos. Se deja secar la fibra.
- Se procede a desfibrar el raquis de palma, para lo cual se recomienda mantener húmeda la muestra durante el proceso.
- Una vez obtenido la cantidad y peso necesario de la fibra se los puede almacenar en cartones verificar que la fibra se encuentre seca.



Imagen 3. 2Secado de fibra



Imagen 3. 1 lavado de fibra



Imagen 3. 3 Fibra limpia y seca

3.4.3.2. Contenido de humedad

Utilizando la técnica de diferencia de masa para el ensayo de contenido de humedad de la muestra se usa la fibra que ya se tiene almacenada en los cartones la cual está lista para ser usada. Para el ensayo se necesita una balanza con 0.0001gr de precisión.

Se usa una muestra que este en estado parcialmente seco y se obtiene su masa, la misma se la ingresa al horno y al paso de 24 horas se vuelve a pesar la muestra.

Se empleando la norma NTE INEN 862, 2011 la cual da los parámetros para el ensayo en agregados para el hormigón, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se ubica la fibra en el recipiente para tomar el peso en conjunto con la fibra de raquis de palma africana.
- Se anota la masa de la fibra en conjunto con el recipiente.
- Se ingresa la muestra en el horno el cual debe estar a temperatura de $70\text{C}^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 ± 2 horas.
- Una vez haya pasado las 24 ± 2 horas se saca la fibra del horno y se coloca en un recipiente para que la muestra se enfríe.
- Se retira la fibra del horno para dejar enfriar a temperatura ambiente.



Imagen 3. 4 Fibra seca

Para obtener el valor del contenido de humedad se emplea:

$$C.H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100\%$$

Ecuación 3. 12

Donde:

- C. H: contenido de humedad expresado en %.
- m_1 : masa de la fibra seca al ambiente expresada en gr.
- m_2 : masa de la fibra seca al horno expresada en gr.

3.4.3.3. Porcentaje de humedad de la fibra

Para realizar el cálculo se utiliza los datos obtenidos en el laboratorio.

Datos

- Masa de la bandeja= 320 gr
- Masa de la bandeja más fibra en estado húmedo= 350 gr
- Masa de la bandeja más fibra en estado seco= 325 gr

Cálculo del contenido de humedad

- $m_1 = 350 - 320 \text{ gr} = 30 \text{ gr}$
- $m_2 = 325 - 320 \text{ gr} = 5 \text{ gr}$

Utilizando la fórmula se obtiene el siguiente valor:

$$C.H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100\%$$

$$C.H = \frac{30 - 5}{30} * 100\%$$

$$C.H = 83.33 * 100\%$$

El porcentaje de contenido de humedad presente en la fibra sin tratamiento es del 83.33%

3.4.3.4. Absorción de la fibra de palma africana

Para realizar el ensayo de absorción a la fibra tratada y sin tratar químico se utilizó la norma ASTM D570, 1998 la cual da los parámetros a seguir para determinar la absorción:

- Se coloca fibra de raquis de palma africana en horno a una temperatura de 53 °C para que la misma proceda a secarse.
- Se saca la fibra del horno y se deja a temperatura ambiente hasta que se encuentre a temperatura ambiente y se pesa con una balanza de precisión de 0.0001 gr.

- Una vez pesada la muestra seca se sumerge en agua a temperatura ambiente la muestra de fibra por un periodo de 24±2 horas.
- Y por último se pesa la fibra que se encuentra en estado superficie saturada seca.



Imagen 3. 5 Absorción de la palma africana

Para tener un mejor calculo hay que dejar escurrir el agua durante al menos un minuto después de sacar el agua de la muestra. Las muestras tuvieron una inmersión de 30 minutos. Para el cálculo de la absorción se utilizó la siguiente formula.

$$\text{Absorción} = \frac{m_0 - m_i}{m_i} * 100\% \quad \text{Ecuación 3. 13}$$

Donde:

- Absorción expresada en %.
- m_i : masa de la fibra seca al horno expresada en gr.
- m_0 : masa de la fibra en estado superficie seca expresada en gr.

Cálculo del contenido de absorción

Con los datos obtenidos en el laboratorio se realizó el cálculo del parámetro de la absorción.

Donde:

- $m_i = 25\text{gr}$
- $m_o = 75\text{gr}$

Cálculo:

$$\text{Absorción} = \frac{m_o - m_i}{m_i} * 100\%$$

$$\text{Absorción} = \frac{75 - 25}{75} * 100\%$$

$$\text{Absorción} = 66.67\%$$

La fibra de raquis de palma africana presenta una absorción del 66.67%.

3.4.3.5.Densidad superficie saturada seca de la fibra de palma africana

Para poder determinar este parámetro existen varios métodos siendo el más confiable el método por desplazamiento de volumen. Este método consiste en tomar en cuenta el peso de la fibra y del fluido en el que se encuentra sumergido y el volumen desalojado por la introducción de la fibra en el fluido. (Alvarado, 2002)

Es importante determinar este parámetro debido a que para que cuando la fibra sea añadida al hormigón está no absorba el agua de la dosificación lo cual provocaría que la relación A/C cambie y la resistencia del hormigón no sea la requerida para evitar que esto suceda la fibra se añadirá al hormigón en estado de superficie saturada seca S.S.S. Como la fibra ya estará en su estado saturado esta no afectará la relación A/C del hormigón.

El Método reconocido como desplazamiento de volumen también se utilizó en el trabajo de titulación de Gómez Erika y Guzmán Marcela que lleva como título “Comparación entre las propiedades físicas de los bloques fabricados con viruta de plástico PET y los bloques tradicionales de acuerdo con la (NTE INEN 3066, 2016)” este trabajo presenta un proceso detallado para poder realizar el cálculo de la densidad superficie saturada seca el mismo que se expondrá a continuación: (Gómez Cuadrado, Erika Paola, Guzmán Chialial, Marcela Fernanda, 2019)

- Colocar la fibra en agua cubierta totalmente por un periodo de 24 ± 4 horas y tapar el recipiente para impedir que se pierda humedad en el proceso. (Gómez Cuadrado, Erika Paola, Guzmán Chialial, Marcela Fernanda, 2019)
- Botar el agua del recipiente donde se encuentra la fibra de raquis de Palma Africana, poner en otro recipiente seco y proceder a secar el agua de la superficie con una tela absorbente, para lograr que la fibra llegue al estado de superficie saturada seca de la fibra. (Gómez Cuadrado, Erika Paola, Guzmán Chialial, Marcela Fernanda, 2019)
- En un recipiente de vidrio o de plástico que es valuado y tenga capacidad de 15 litros mínimo, se deberá poner agua a una temperatura ambiente de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta completar un volumen de 10 litros ($VV1$) y se procede a pesar el recipiente más el agua. (Gómez Cuadrado, Erika Paola, Guzmán Chialial, Marcela Fernanda, 2019)
- Por último procede a colocar fibra aumentando así el volumen ($VV1$) del agua con fibra y se procede a pesar el recipiente más el agua y la fibra ($MM2$).



Imagen 3. 6 Proceso de ensayo de la densidad en la fibra



Imagen 3. 7Proceso de ensayo de la densidad en la fibra.

La ecuación que se detalla a continuación es la que se va a utilizar para calcular la densidad en estado S.S.S.

$$\text{Densidad S.S.S.} = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1} \quad \text{Ecuación 3. 14}$$

Donde;

- La densidad S.S.S., expresada en kg/m³.
- M_1 : Masa de la pecera más el agua, expresada en kg.
- M_2 : Masa de la pecera más la fibra en estado S.S.S más el agua, expresada en kg.
- V_1 : Volumen del agua expresado en litros.
- V_2 : Volumen del agua más las fibras en estado S.S, S, expresado en litros.

3.4.3.5.1. Cálculo de la densidad en estado con superficie saturada seca

Los datos para el cálculo de la densidad se obtuvieron realizando los ensayos del laboratorio, los mismos que serán utilizados.

Datos:

- $M_1=10.33$ kg
- $M_2=11.31$ kg
- $V_1=10$ litros
- $V_2=11$ litros

Cálculo de la Densidad S.S.S

$$Densidad\ S.S.S. = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1}$$

$$Densidad\ S.S.S. = \frac{11.31 - 10.33}{11 - 10}$$

$$Densidad\ S.S.S. = 1030\ kg/m^3$$

Obteniendo que la densidad S.S.S. de la fibra de raquis de palma africana sin tratamiento es de 1030 kg/m³.

3.4.4. Longitud de la fibra

Por estudios que se han realizado previamente a esta investigación no exactamente con estas fibras si no con otras como las fibras de coco se ha podido tener una idea clara que la longitud de la fibra que va a ser añadida al hormigón influye bastante al comportamiento del mismo una vez endurecido. Por ejemplo, Ahmad et al. (2020), demostró que los resultados óptimos se obtuvieron con fibra de coco con una longitud cercana a los 5 cm (en comparación con 2.5 y 7.5 cm).

Se puede observar que en la norma de la ACI 544 1R-96 (1997) indica sugerencias para las longitudes de fibra natural por ejemplo para el coco es de 1.5 pulgadas lo que se traduce a 3.77cm. Pero para la palma africana se tomó en cuenta la norma de la ACI 544 1R 1984 la misma que sugiere una longitud mínima a 1.5 pulgadas lo que se traduce a 3.8cm. Con lo que al hormigón se le añadirá fibras con una longitud mínima de 3.8cm con un error a más de hasta fibras con longitud de 4cm, las fibras no serán menor a los 3.8cm

3.5. TRATAMIENTOS QUÍMICOS

Para el presente trabajo se realizó una investigación de posibles tratamientos químicos que se le pueda realizar a la fibra de palma africana, con lo que por limitaciones de uso de ciertos químicos debido a las restricciones de venta y licencias para el uso de químicos que exigen las normas del Ecuador, se buscó entre las opciones accesibles que tenían mejores resultados y eran factibles para aplicar en los ensayos del presente trabajo.

Existen varios tratamientos químicos y térmicos que ayudan en la durabilidad de las fibras, en el presente estudio se sometió a las fibras finas de raquis de Palma Africana a dos tratamientos químicos, los mismos que se aplicaron superficialmente en las fibras con el fin de mejorar las

propiedades mecánicas de la fibra y la compatibilidad con la matriz de cemento. (Sandra Velásquez, Gabriel Pelaéz, Diego Giraldo, 2015)

Varios estudios demostraron que la introducción de fibras naturales a la mezcla de hormigón mejora óptimamente su rendimiento. Existen diferentes tipos de fibra natural alrededor del mundo por que se recomienda su uso en lugar de fibra sintética y así poder frenar el cambio climático, el principal problema que presentan las fibras naturales se debe al medio alcalino del hormigón el cual genera la degradación de la fibra. (Hadi Abou Chakra, Hisham Basha, 2007)

Un correcto tratamiento químico aplicado a las fibras puede reducir considerablemente el ataque de los álcalis y aumentar la unión débil entre el cemento y las fibras formando una capa rugosa en la superficie de la fibra de raquis de palma africana. El método químico más utilizado para el tratamiento de las fibras naturales es álcalis; en el presente estudio se usarán dos tratamientos químicos en la fibra de raquis de palma africana las misma que tiene como objetivo principal mejorar la durabilidad de la fibra de raquis de palma africana embebida en el hormigón sin causar efectos secundarios en la fibra y mucho menos en el hormigón. (Hadi Abou Chakra, Hisham Basha, 2007)

Tomando en cuenta lo que se ha mencionado previamente con respecto a los tratamientos químicos que se decidió utilizar y que se obtuvo información adecuada que indica que será un tratamiento que no dañe la fibra y no comprometa los componentes internos de la fibra se ha seleccionado el tratamiento con Hidróxido de Sodio (Mercerización) como tratamiento uno y el Agua Hervida como tratamiento dos.

3.5.1. Mercerización (Hidróxido de Sodio)

Para mejorar las propiedades y mantener un control de la concentración del álcali, tratamos la fibra de raquis de palma africana con hidróxido de sodio a una concentración de 4% para no originar ninguna inestabilidad en el volumen que ocasione perdidas en la adherencia de la fibra con la matriz de cemento y reducir la porosidad de la fibra disminuir la absorción del agua. (Cesar A. Alvarado, Patricia Rodríguez , 2003)

3.5.1.1.Reducción de concentración del 5% al 4% de NaOH

Para conseguir una menor concentración del compuesto químico, se realiza una dilución para el hidróxido de sodio usando agua destilada. Y para este proceso intervienen la dilución, que

es una disolución de menor concentración que aquella de la que partimos o inicial; la disolución inicial se llama disolución madre. (Education)

Debido a que por el mercado no se pudo obtener directamente un Hidróxido de sodio del 4% de concentración nos hemos visto forzados a bajar la concentración con agua destilada, para eso vamos a utilizar la ecuación mencionada en de soluciones químicas ecuación que se describe a continuación. (Education)

$$C_i * V_i = C_f * V_f \quad \text{Ecuación 3. 15}$$

Donde:

- C_i : Concentración inicial (i) del NaOH, se expresa en %.
- C_f : Concentración final (f) del NaOH, se expresa en %.
- V_i : Volumen inicial (i) del NaOH, expresada en mililitro.
- V_f : Volumen final (f) del NaOH, expresada en mililitro

3.5.1.2.Cálculo para la reducción de concentración del NaOH

C_i : 5%

C_f : 4%

V_f : 1000ml

$$5\% * V_i = 4\% * 1000ml$$

$$V_i = 800ml$$

Como resultado se a obtenido que para reducir la concentración del 5% al 4% se debe mezclar 800ml de NaOH con 200ml de agua destilada

3.5.1.3.Aplicación de hidróxido de sodio con 4% de concentración a las fibras de raquis de palma africana

Para realizar el tratamiento a la fibra se procura el uso de protección en las manos para evitar cualquier reacción negativa en las manos por el uso del Hidróxido de Sodio, el proceso para realizar el tratamiento se lo detalla a continuación:

- Se lava la fibra para retirar cualquier material orgánico adherido a la misma y también las impurezas que pudieron haber quedado en el proceso de extracción de la fibra.

- Se deja secar la fibra al ambiente durante un día, si se deja a presencia de sol se recomienda remover cada dos horas para evitar que toda la muestra no se seque de manera homogénea.
- Se coloca la solución del hidróxido de sodio NaOH al 4% en baldes, según la necesidad y cantidad de fibra, en nuestro caso se usó un balde para tener la cantidad de fibra necesaria para cada dosificación de hormigón.
- Se añade la fibra progresivamente en el balde con el NaOH al 4% asegurándose que la totalidad de la fibra quede sumergida en la solución se tapa el balde para evitar pérdida de humedad y se deja sosegar durante un tiempo de 24 ± 2 horas.
- Una vez que hayan transcurrido las 24 horas se retira la fibra del NaOH la cual se la debe lavar con agua normal para reducir su pH, posteriormente completar el lavado con agua destilada para lograr que la fibra obtenga un pH neutro y poder manipular la misma.
- Verificamos con la tabla de colores la cual nos indica el pH de la fibra, una vez verificado ya se puede usar la fibra en la dosificación del hormigón.

3.5.2. Agua Hervida

Este tratamiento se lo considera químico porque permite que la fibra tenga cambios y purificación de la misma de organismos que aceleran su descomposición, pero este es un tratamiento que también se lo conoce como tratamiento térmico, es un tratamiento que resulta tener una gran factibilidad en el medio ya que primero y más importante es amigable con el medio ambiente y segundo que es un tratamiento muy económico, accesible y fácil de realizar.

A continuación se va a detallar el proceso para realizar el tratamiento a las fibras de palma africana se debe tomar las precauciones debidas ya que se trabaja con agua a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ la cual puede causar quemaduras graves:

- Se hierve agua hasta que la misma alcance una temperatura de $100 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se añade las fibras al agua durante 30 min, tratar de mantener toda la fibra sumergida o mover durante ciertos periodos para que toda la fibra este expuesta al agua.
- Se saca la fibra del agua y se procede a enjuagar con abundante agua.
- Secar al ambiente durante 24 horas o en horno a una temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 8 horas.

3.5.3. Características Físicas de la Fibra de Raquis de Palma Africana

Se va a presentar las tipologías que se presentaron en la fibra sin tratamiento y con tratamiento. Las tablas con las características se las presenta en las siguientes tablas.

Tabla 3. 12 Características de la fibra no tratada

Fibra de palma africana		
Propiedades	Valor	Unidad
Densidad S.S.S	1030	kg/m ³
Absorción	66.67	%
% W	83.33	%

Para caracterizar físicamente las fibras que se les hizo el tratamiento químico se procede a realizar los mismos pasos detallados en la sección de ensayos de agregados para la fibra sin tratamiento. Los datos obtenidos se expresan en las tablas a continuación:

Tabla 3. 13 Características de la fibra con Hidróxido de sodio (NaOH)

Fibra de palma africana con NaOH		
Propiedades	Valor	Unidad
Densidad S.S.S	1020	kg/m ³
Absorción	55.56	%
% W	40	%

Tabla 3. 14 Características de la fibra con Hidróxido de sodio (NaOH)

Fibra de palma africana - Agua Hervida		
Propiedades	Valor	Unidad
Densidad S.S.S	1010	kg/m ³
Absorción	51.72	%
% W	37	%

3.6. ENSAYO DE FIBRAS A TRACCIÓN PURA

Para realizar estos ensayos de la fibra a tracción se procedió a remitir los especímenes al Laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional al departamento de Ingeniería Química, pero antes de enviar la fibra la mismas tuvieron que ser preparadas los especímenes de fibras tratadas químicamente como las que no son tratadas. El proceso es el siguiente:

3.6.1. Preparación: Muestra de fibra sin tratamiento

- Se debe elegir cincuenta fibras con una extensión de 25 ± 10 cm.

- Se limpia las fibras seleccionadas, se debe sacar cualquier ramificación que la tenga presente.
- Se pesa en una balanza con una precisión de 0.001gr.



Imagen 3. 8 Fibras para determinar propiedades mecánicas

3.6.2. Preparación: Muestra tratada con hidróxido de sodio

- Se debe seleccionar cincuenta fibras de la fibra que ya haya sido tratada con el hidróxido de sodio con una longitud de 25 ± 10 cm.
- Se limpia las fibras seleccionadas, se debe sacar cualquier ramificación que la tenga presente.
- Se pesa en una balanza con una precisión de 0.001gr.



Imagen 3. 9 Fibras Con hidróxido de sodio para determinar propiedades mecánicas

3.6.3. Preparación: Muestra tratada con agua caliente

- Se debe seleccionar cincuenta fibras de la fibra que ya haya sido tratada con el agua hervida con una longitud de 25 ± 10 cm.
- Se limpia las fibras seleccionadas, se debe sacar cualquier ramificación que la tenga presente.
- Se pesa en una balanza con una precisión de 0.001gr.



Imagen 3. 10 Fibras con agua hervida para determinar propiedades mecánicas

3.6.4. Ensayo: Tracción de la fibra

Es importante conocer la resistencia mecánica que presenta la fibra natural de raquis de palma africana, estas propiedades pueden variar debido a factores nutricionales y factores climáticos que salen del control humano. Tener en claro los conceptos de resistencia a la abrasión, fuerza, alargamiento, elasticidad y flexibilidad nos permite conocer el rendimiento y evaluar la durabilidad de la fibra de raquis de palma africana. (Soxo, 2021)

3.6.4.1. Metodología

La fibra de raquis de palma africana fue extraída con un proceso manual. Es necesario determinar la densidad lineal de la fibra para este cálculo de esta densidad se hizo utilizando y basándose en la ASTM D 2256-02 standard test method for tensile properties of yarns by single-strand method, norma con la cual se pudo determinar y obtener las propiedades de esfuerzo a la ruptura y tenacidad.

Ya con las ejemplares listos se procede a llevarlas al Departamento de Ingeniería Química Centro Textil Politécnico y aplicar los ensayos de tracción, utilizando el método de hebra simple. Este método permite determinar la tracción y tenacidad de las fibras. Para este ensayo la maquina usada fue la universal de ensayos Instron, modelo 3345.

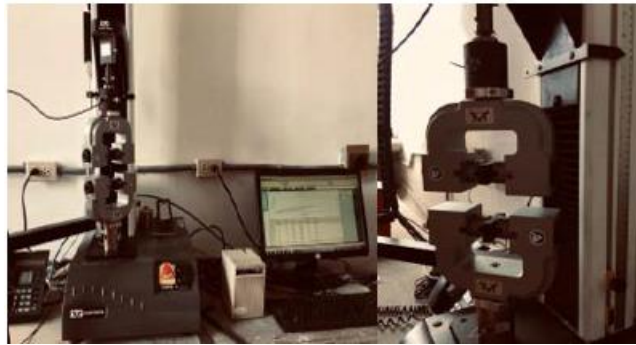


Imagen 3. 11 Máquina universal de ensayos Instron, modelo 3345



Imagen 3. 12 Fibras ubicada en la máquina de ensayo

3.6.5. Resumen: Características mecánicas de la fibra de raquis de palma africana

En las tablas a continuación se va a observar los valores obtenidos de los ensayos a la fibra con lo cual se podrá visualizar la caracterización mecánica de la fibra de palma africana con ambos tratamientos y la fibra sin tratamiento.

Tabla 3. 15 Características mecánica de la fibra sin tratamiento

Longitud (cm)	Masa (gr)	Velocidad de prueba (mm/min)	Fuerza de Roptura (N)	Elongación (mm/mm)	Densidad líneal (tex)	Tiempo de ruptura estándar (s)	Tenacidad de ruptura estándar (N/tex)
36.2	0.0203	30	6.59	0.03958	55.94197	15.9	0.118

Tabla 3. 16 Características mecánicas de la fibra tratada con hidróxido de sodio (NaOH)

Longitud (cm)	Masa (gr)	Velocidad de prueba (mm/min)	Fuerza de Roptura (N)	Elongación (mm/mm)	Densidad líneal (tex)	Tiempo de ruptura estándar (s)	Tenacidad de ruptura estándar (N/tex)
---------------	-----------	------------------------------	-----------------------	--------------------	-----------------------	--------------------------------	---------------------------------------

29.458	0.0177	30	6.6	0.04225	44.7466	17	0.146
--------	--------	----	-----	---------	---------	----	-------

Tabla 3. 17 Características mecánicas de la fibra tratada en agua hervida

Longitud (cm)	Masa (gr)	Velocidad de prueba (mm/min)	Fuerza de Roptura (N)	Elongación (mm/mm)	Densidad líneal (tex)	Tiempo de ruptura estándar (s)	Tenacidad de ruptura estándar (N/tex)
29.976	0.0184	30	5.65	0.02668	59.25857	10.7	0.097

4. CAPITULO IV: DOSIFICACIÓN Y ENSAYOS

Los cálculos de dosificación y ensayos se realizaron conjunto con los estudiantes Jorge Chiquito y Gladys Eras de la Escuela Politécnica Nacional en su tema de disertación “ENSAYO A COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN CON FIBRAS DE PALMA AFRICANA PRODUCIDAS EN EL ECUADOR, EXPUESTAS A DOS TRATAMIENTOS QUÍMICOS PARA DISMINUIR LA DEGRADACIÓN EN LAS FIBRAS”. Puesto que somos parte del grupo de investigación.

Una vez terminado con todos los ensayos aplicados a los materiales que conforma la mezcla de hormigón y a las fibras naturales, se realiza un pre-diseño de hormigón para resistencias teóricas de 210 kgf/cm² y 240 kgf/cm². Para lo cual se empleó el método que recomienda el (ACI 211.1, 2006). El cual se basa en experiencias por tal motivo es considerado como un método empírico. (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

La normativa (ACI 211.1, 2006) en su método para dosificación de hormigones, entrega tablas con valores de diseño, los cuales se encuentran en función de los materiales que se utilizarán en la dosificación. También nos indica los valores en según sea la estructura a la que se va a aplicar el hormigón.

Para diseñar el hormigón se debe verificar primero la resistencia a la compresión requerida, cumpliendo lo que nos indica la ACI 211.1 para tener un mejor conocimiento ya que no se tiene la desviación estándar.

Debido a que la resistencia requerida para el presente trabajo de investigación es de 210 kgf/cm² y 240 kgf/cm². Para determinar el f'_{cr} nos basaremos en la siguiente tabla.

Tabla 4. 1 Resistencia a la compresión solicitada

Resistencia a la compresión $f'c$ (kgf/cm ²)	Resistencia a la compresión $f'c$ (Mpa)	Requisito en (kgf/cm ²)	Resistencia a la compresión $f'cr$ (Mpa)	Resistencia a la compresión $f'cr$ (kgf/cm ²)
210	21	$f'cr=f'c +85$ kgf/cm ²	29.5	295
240	24		32.5	32.5

Para los patrones de dosificación que se van a realizar se tomó como base la normativa NTE INEN 1763 la cual menciona que se establece probetas cilíndricas en el tercio medio de la mezcla de hormigón. Se determinó que se realizaran 6 cilindros de 15 x 30 cm para cada dosificación y con eso establecer el promedio que se asemeje de mejor manera al contexto real de la resistencia a la compresión los mismos que se ensayaran a los 7 días.

4.1.DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1 m³

A los agregados que van a utilizar en la dosificación ya se les realizó los respectivos ensayos con lo que para la dosificación se van a seguir los criterios expuestos en la ACI 211.1, 2016.

En el presente trabajo de investigación se realizó una dosificación al peso por lo que para un hormigón de 210 kgf/cm² y 240 kgf/cm² se utilizó los datos como la densidad real del cemento Y de los agregados se usó las densidades reales en estado S.S.S. Utilizando estos datos se obtuvo la siguiente dosificación.

4.1.1. Dosificación preliminar

Los cálculos de dosificación y ensayos se realizaron conjunto con los estudiantes Jorge Chiquito y Gladys Eras de la Escuela Politécnica Nacional en su tema de disertación “ENSAYO A COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN CON FIBRAS DE PALMA AFRICANA PRODUCIDAS EN EL ECUADOR, EXPUESTAS A DOS TRATAMIENTOS QUÍMICOS PARA DISMINUIR LA DEGRADACIÓN EN LAS FIBRAS”. Puesto que somos parte del grupo de investigación

4.1.1.1. Dosificación hormigón de 210 kgf/cm²

En la dosificación preliminar se observa en la tabla 4. 2 que se va a elaborar con una relación agua cemento de 0.53, esperando que por la humedad que los agregados presentan, de esta

manera se busca que la relación a/c suba y así obtener la relación óptima para la dosificación del diseño requerido.

Tabla 4. 2 Dosificación en peso para 1 m³ de hormigón de 210 kgf/cm²

Componente	Masa	Volumen Real	Densidad Real	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	m ³	kg/m ³	
Agua	193	193	1	0.53
Cemento	364.15	135.88	2.68	1
Ripio	798.69	356.56	2.24	2.19
Arena	701.48	314.56	2.23	1.93

Como se sabe hay que tener en cuenta la humedad que traen los agregados en el momento de la dosificación por consiguiente se debe realizar una corrección de humedad, para lo cual existen varios métodos, para la presente investigación se decidió utilizar el método de corrección por humedad el mismo que será detallado en el siguiente literal.

A. Corrección de dosificación: Método de humedad de los agregados

Para realizar la corrección de la dosificación por el presente método se usa la ecuación que se menciona a continuación:

$$\Delta W = W_m \left(\frac{100 + \%Ab}{100 + \%W} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 4. 1}$$

Donde:

- ΔW : Diferencia de la cantidad de agua entre el estado saturado y natural de los agregados.
- W_m : Peso del agregado en estado S.S.S, expresado en kg
- $\%Ab$: Porcentaje de absorción del agregado, expresado en %.
- $\%W$: Porcentaje del contenido de humedad del agregado, expresado en %.

Si la diferencia del contenido de agua es negativa se encuentra húmedo y viceversa.

El uso de la Ec.(9), se realiza de la siguiente manera, si los agregados están secos la diferencia de agua se suma (ΔW) a la cantidad de agua de diseño, los pesos de diseños de los agregados se deben restar esta diferencia de agua (ΔW). Si el agregado está

saturado la corrección será a la inversa. (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020)

- **RIPIO**

$$\Delta W = 798.69 \text{ kg}$$

$$\%Ab = 1.99 \%$$

$$\%W = 0.50 \%$$

Solución

$$\Delta W = 798.69 * \left(\frac{100 + 1.99}{100 + 0.5} - 1 \right)$$

$$\Delta W = 11.84 \text{ kg (Ripio seco)}$$

- **ARENA**

$$\Delta W = 701.48 \text{ kg}$$

$$\%Ab = 2.07 \%$$

$$\%W = 1.52 \%$$

Solución

$$\Delta W = 701.48 * \left(\frac{100 + 2.07}{100 + 1.52} - 1 \right)$$

$$\Delta W = 3.80 \text{ kg (Arena seca)}$$

Se procede a calcular los pesos definitivos para la dosificación del hormigón.

Pesos definitivos según la masa del agua y de los agregados para la dosificación

- Masa del agua = 193 kg + 11.84 kg + 3.80 kg = 208.64 kg/m³
- Masa del ripio = 798.69 kg - 11.84 kg = 786.85 kg/m³
- Masa de la arena = 701.48 kg - 3.80 kg = 697.68 kg/m³

Tabla 4. 3 Dosificación corrección por humedad de los agregados 210 kg/cm².

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	208.64	0.57
Cemento	364.15	1
Ripio	786.85	2.16
Arena	697.68	1.92

- **DOSIFICACIÓN EN PESO PARA UN SACO DE CEMENTO**

Debido a que la concretera que se va a utilizar para realizar el hormigón tiene una capacidad en relación con el cemento de un saco de cemento por dosificación por lo que se hace una relación en las cantidades de peso de la tabla 35 para un factor de cemento de 7.28 (saco/m³ hormigón), obteniendo las siguientes cantidades para la dosificación.

Tabla 4. 4 Dosificación en peso para un saco de cemento 210 kgf/cm².

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	28.648	0.573
Cemento	50	1
Ripio	108.039	2.161
Arena	95.795	1.916

Prueba de asentamiento:

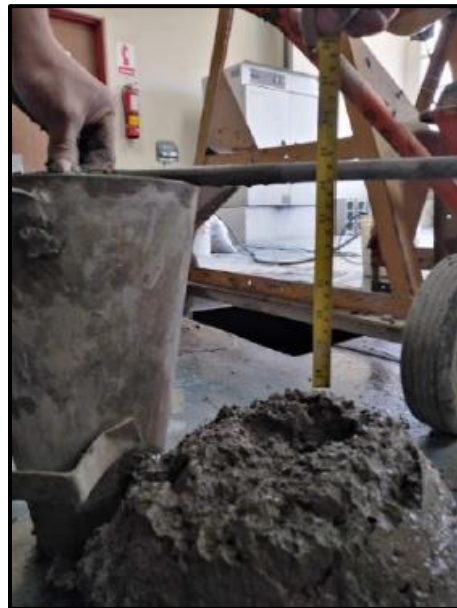


Imagen 4. 1Prueba de asentamiento del hormigón

B. Resistencia a la compresión del diseño patrón

Para determinar la resistencia del hormigón, se realizó los ensayos en el laboratorio de la Pontificie Universidad Católica del Ecuador, la edad de los cilindros a ensayar fue de 3, 5 y 7 días. Realizando los ensayos a las edades indicadas ya se puede comprobar si se va a cumplir con la resistencia requerida, si es correcto esa será la dosificación final para las viguetas a realizar si los resultados no dan se debe realizar un rediseño de la dosificación. Los resultados de la presente dosificación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4. 5 Resultados del hormigón simple 210 kgf/cm² cilindros patrones.

Dias de Ensayo	Asentamiento mm	Diseño 210		
		Mpa	kgf/cm ²	Evaluación
3	110	5.46	55.677	Rediseñar
5	110	8.69	88.614	Rediseñar
7	110	9.97	101.67	Rediseñar

Como se puede observar en la tabla 36, se puede llegar a la conclusión y por los parámetros a observar que en primera instancia se puede ver que la resistencia a la compresión es baja por lo que no cumple con el requisito para ser usada esta dosificación por lo que de ahí ya se desecha esta dosificación, otro parámetro que se puede observar es que el asentamiento es de 110mm lo cual supera el asentamiento de diseño. Siendo este un parámetro que nos puede indicar para donde ir al momento de rediseñar la nueva dosificación para la cual se tomara como referencia los siguientes puntos:

- El asentamiento indica que hay una cantidad excesiva de agua, por lo que se buscara reducir la relación agua cemento (A/C).
- Para evitar que la muestra siga de forma muy granular se aumentará la cantidad de arena en un 70%, lo que provocara que por los factores de corrección por humedad de los agregados la cantidad de ripio este en un porcentaje del 30%.

4.1.1.2. Dosificación de hormigón de 240 kgf/cm².

Para la dosificación de este hormigón se va a tomar la relación de los agregados mostrada en la tabla 4. 6 y una relación de agua cemento de 0.47.

Tabla 4. 6 Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 240 kgf/cm².

Componente	Masa	Volumen Real	Densidad Real	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	m ³	kg/m ³	
Agua	190	190	1	0.47
Cemento	412.15	153.79	2.68	1
Ripio	674.00	300.89	2.24	1.64
Arena	792.37	355.32	2.23	1.92

A. Se realiza la corrección por humedad de los agregados empleando a la ecuación mencionada en la sección 4.1.1.1.

- **RIPIO**

$$\Delta W = 674 \text{ kg}$$

$$\%Ab = 1.99 \%$$

$$\%W = 0.50 \%$$

Solución

$$\Delta W = 674 * \left(\frac{100 + 1.99}{100 + 0.5} - 1 \right)$$

$$\Delta W = 9.99 \text{ kg (Ripio seco)}$$

- **ARENA**

$$\Delta W = 792.37 \text{ kg}$$

$$\%Ab = 2.07 \%$$

$$\%W = 1.52 \%$$

Solución

$$\Delta W = 792.37 * \left(\frac{100 + 2.07}{100 + 1.52} - 1 \right)$$

$$\Delta W = 4.29 \text{ kg (Arena seca)}$$

Se procede a calcular los pesos definitivos para la dosificación del hormigón.

Pesos definitivos según la masa del agua y de los agregados para la dosificación

- Masa del agua = 190 kg + 9.99 kg + 4.29 kg = 204.29 kg/m³
- Masa del ripio = 674 kg - 9.99 kg = 664.01 kg/m³

- Masa de la arena = $792.37\text{kg} - 4.29 = 788.07 \text{ kg/m}^3$

Tabla 4. 7 Dosificación en peso para 1m^3 de hormigón 240 kg/cm^2 .

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	204.29	0.5
Cemento	412.15	1
Ripio	664.01	1.91
Arena	788.07	1.61

- **DOSIFICACIÓN EN PESO PARA UN SACO DE CEMENTO**

Debido a que la concretera que se va a utilizar para realizar el hormigón tiene una capacidad con relación al cemento de un saco de cemento por dosificación por lo que se hace una relación en las cantidades de peso de la tabla 39 para un factor de cemento de 7.28 (saco/ m^3 hormigón), obteniendo las siguientes cantidades para la dosificación.

Tabla 4. 8 Dosificación en peso para un saco de cemento 240 kgf/cm^2 .

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	24.8	0.5
Cemento	50	1
Ripio	80.6	1.91
Arena	95.6	1.61

Prueba de Asentamiento



Imagen 4. 2 Prueba de asentamiento

B. Resistencia a la compresión del patrón de diseño

Al igual que en la sección de la dosificación de un hormigón de 210 kgf/cm². Esta dosificación también se realizará el ensayo a los 3, 5 y 7 días para comprobar la resistencia y trabajabilidad del hormigón simple.

Tabla 4. 9 Resultados del hormigón simple 240 kgf/cm² cilindros patrones.

Dias de Ensayo	Asentamiento mm	Diseño 210		
		Mpa	kgf/cm ²	Evaluación
3	85	14.76	144.72	OK
5	85	17.62	179.6	OK
7	85	21.73	221.49	OK

Como se puede observar en la tabla 40 las resistencias requeridas se obtuvieron al igual que se obtuvo un asentamiento óptimo para la dosificación realizada por lo que está será la dosificación a utilizar para el hormigón de 240 kgf/cm².

4.1.2. Dosificación definitiva

Una vez realizado lo indicado en la sección 4.1.1 dosificación preliminar y se hayan obtenido los requisitos de resistencia ya se obtuvo la dosificación adecuada para cada hormigón. Las dosificaciones para emplear se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 4. 10 Dosificación Final en peso para 1 m³ de hormigón 210 kgf/cm².

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	194.42	0.48
Cemento	409.09	1
Ripio	664.01	1.62
Arena	812.78	1.99

Tabla 4. 11 Dosificación Final en peso para 1 saco de cemento de hormigón 210 kgf/cm².

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	23.762	0.48
Cemento	50	1
Ripio	81.156	1.62
Arena	99.34	1.99

Tabla 4. 12 Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kgf/cm².

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	204.29	0.5
Cemento	412.15	1
Ripio	664.01	1.91
Arena	788.07	1.61

Tabla 4. 13 Dosificación en peso para un saco de cemento 240 kgf/cm².

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	24.8	0.5
Cemento	50	1
Ripio	80.6	1.91
Arena	95.6	1.61

4.1.3. Dosificaciones empleadas en la mezcla

Se presenta las dosificaciones que se realizaron para la elaboración de las viguetas de ensayo para lo cual también se tomo en cuenta la humedad que tenían in situ los agregados por lo cual la relación de agua se debía cambiar en ciertas ocasiones por el cambio de humedad ya que los agregados no se podían almacenar en un lugar cubierto.

Tabla 4. 14 Dosificación Final de hormigón sin fibra 210 kgf/cm².

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	23.762	0.48
Cemento	50	1
Ripio	81.156	1.62
Arena	99.34	1.99

Tabla 4. 15 Dosificación Final de hormigón sin fibra 240 kgf/cm².

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	24.8	0.5
Cemento	50	1
Ripio	80.6	1.91
Arena	95.6	1.61

La dosificación para utilizar para hormigón con fibra que fue tratada con NaOH (Hidróxido de sodio), recordando que se va a utilizar un porcentaje de fibra del 0.5% y el 1% con respecto al volumen total del hormigón, debido a que no se tenían resultados, pero en base a investigaciones en las que indicaba que el añadir fibra natural en esos porcentajes producen buenos resultados y también la mejor trabajabilidad.

Como se mencionó anteriormente el porcentaje de fibra añadir es con respecto al volumen por lo que si estamos diciendo que si se hace una dosificación para 1m³ entonces el porcentaje que se va añadir va a ser el 1% y el 0.5% del m³ de hormigón.

Tabla 4. 16 Dosificación Final de hormigón con fibra al 0.5% 210 kgf/cm² NaOH.

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	23.83	0.48
Cemento	50	1.00
Ripio	80.8	1.62
Arena	99.5	1.99
Fibra 0.5%	4.89	0.10

Tabla 4. 17 Dosificación Final de hormigón con fibra al 1% 210 kgf/cm² NaOH.

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	23.898	0.48
Cemento	50	1.00
Ripio	80.751	1.62
Arena	99.748	1.99
Fibra 1%	9.16	0.18

Tabla 4. 18 Dosificación Final de hormigón con fibra al 0.5% 240 kgf/cm² NaOH.

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	24.86	0.50
Cemento	50	1.00
Ripio	80.474	1.61
Arena	95.687	1.91
Fibra 0.5%	4.89	0.10

Tabla 4. 19 Dosificación Final de hormigón con fibra al 1% 240 kgf/cm² NaOH.

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	24.86	0.50
Cemento	50	1.00
Ripio	80.551	1.61
Arena	95.61	1.91
Fibra 1%	9.16	0.18

La dosificación para la fibra de palma africana que fue tratada con el agua hervida se realizó de la misma forma siguiendo los mismos pasos que para la fibra tratada con NaOH (Hidróxido de sodio). Las cuales se obtuvo las siguientes dosificaciones:

Tabla 4. 20 Dosificación Final de hormigón con fibra al 0.5% 210 kgf/cm² Agua Hervida.

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	23.83	0.48
Cemento	50	1.00
Ripio	80.95	1.62
Arena	99.51	1.99
Fibra 0.5%	4.463	0.10

Tabla 4. 21 Dosificación Final de hormigón con fibra al 1% 210 kgf/cm² Agua Hervida..

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	23.89	0.48
Cemento	50	1.00
Ripio	80.751	1.62
Arena	99.748	1.99
Fibra 1%	8.93	0.18

Tabla 4. 22 Dosificación Final de hormigón con fibra al 0.5% 240 kgf/cm² Agua Hervida.

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	24.85	0.50
Cemento	50	1.00
Ripio	80.474	1.61
Arena	95.687	1.91
Fibra 0.5%	4.463	0.10

Tabla 4. 23 Dosificación Final de hormigón con fibra al 1% 240 kgf/cm² Agua Hervida.

Componente	Masa	Cantidad relativa en peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	24.91	0.50
Cemento	50	1.00
Ripio	80.551	1.61
Arena	95.61	1.91
Fibra 1%	8.926	0.18

4.2.FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE Y CON FIBRA DE PALMA AFRICANA

4.2.1. Volumen de hormigón requerido

Ahora que ya se tiene las dosificaciones para cada resistencia con fibra y sin fibra, se procede a realizar el cálculo de volumen neto que se va a necesitar en obra para el ensayo de las viguetas que van a ser ensayadas a los 14 28 y 56 días. Al volumen neto que se calcule se mayorará en un 10% es cual es un volumen que se puede considerar como desperdicio al momento de realizar las

pruebas al hormigón fresco, como asentamiento, contenido de aire tal como se mostrara en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 4. 24 Volumen requerido para la fabricación de las 210 viguetas

Descripción	Valor	Unidad
Ancho de la vigueta	10	cm
Alto de la vigueta	10	cm
Largo dela vigueta	35	cm ²
Volumen de la vigueta	0.0035	m ³
Número de viguetas	210	unidad
Volumen neto	0.735	m ³
Volumen neto con 10% extra	0.8085	m ³

Tabla 4. 25 Volumen requerido para la fabricación de las 21 viguetas

Descripción	Valor	Unidad
Ancho de la vigueta	10	cm
Alto de la vigueta	10	cm
Largo dela vigueta	35	cm ²
Volumen de la vigueta	0.0035	m ³
Número de viguetas	21	unidad
Volumen neto	0.0735	m ³
Volumen neto con 10% extra	0.08085	m ³

En la tabla 56, se puede observar el volumen requerido para la elaboración de las 21 viguetas que se desea realizar para cada variable analizada y ensayos requeridos que se debe hacer por cada dosificación. Las viguetas tendrán las mismas dimensiones que se muestran en la tabla previamente mencionada.

4.2.2. Encofrado

En el presente trabajo de investigación se presentó una limitante con respecto a las viguetas debido a que las viguetas que ofrecía el laboratorio no tenían las dimensiones adecuadas para los ensayos que se deseaban realizar ya que estas dimensiones eran de 10*10*35 cm como lo detalla la norma ACTM C1399/C1399 M-10 (2015).

Para solucionar el limitante presentado anteriormente se decidió utilizar un tipo de madera de tabla trípex reforzada con un espesor de 10mm, con estas maderas cortadas se logro adaptar las viguetas

rectangulares de acero con espesor de 0.5cm ajustables con pernos, las cuales se tenían en el laboratorio.

Una vez expuesto el limitante y su solución se menciona que las viguetas tenían dimensiones de 10x10x35 cm, como lo indicaba la norma.



Imagen 4. 3 Encofrado

4.2.3. Cálculo de la cantidad mínima de viguetas a ensayar

En el capítulo 5 de la ACI 318, 2019 indica varios aspectos en los que nos podemos fijar para tener un cálculo de numero de viguetas a ensayar para que el estudio tenga una validez estadística. En base a esta misma norma se logra obtener una correcta dosificación para el presente trabajo de investigación.

Adicionalmente para obtener el número de probetas de hormigón más real se emplea el procedimiento de la regla empírica 68-95-99.7. (Peter H. Westfall, Kevin S. S. Hening)

También conocida como regla empírica, el cual es una abreviatura utilizada para recordar el porcentaje de valores que se encuentran dentro de una banda alrededor de la media en una distribución normal con un ancho de dos, cuatro y seis veces la desviación típica, respectivamente. (Grafarend, 2006)

El número de viguetas a ensayar se va a obtener por medio de la utilización de las fórmulas establecidas por Peter Westfall y Kevin Henning.

$$a. m. = z \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) * \frac{\sigma}{n^{1/2}} \quad \text{Ecuación 4. 2}$$

Donde:

- a.m.: margen de precisión de intervalo de confianza
- n: número de muestras
- σ : Varianza
- z: desviación estándar
- π : es el porcentaje de aciertos que se tiene en el ensayo
- α : nivel de confianza

En la ecuación el valor que no tenemos es n el cual es el número de muestras por lo que se procede a despejar n y se obtiene la siguiente ecuación.

$$n = \left(z \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)\right)^2 * \frac{\pi*(1-\pi)}{a.m.^2} \quad \text{Ecuación 4. 3}$$

Para realizar el cálculo se lo hizo en Excel, el cálculo de este procedimiento nos a indicado que para el presente trabajo de investigación a un 90% de confianza y un error del 10%. Se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 4. 26 Regla empírica de Melikamp

Regla empírica de Melikamp				
Nivel de confianza (%)	a.m.	Quintil=1- α /2	Valor crítico, Z(1- α /2)	# Desviaciones
68	0.32	0.84	0.994	≈ 1
80	0.2	0.9	1.282	
90	0.1	0.95	1.645	
95	0.05	0.975	1.96	≈ 2
99	0.01	0.995	2.576	
99.7	0.003	0.9985	2.968	≈ 3

Se considera como datos:

- $\pi=0.9$
- $z = 1.645$
- a.m.=0.1
- $\alpha=0.95$

$$n = (1.645 \left(1 - \frac{0.95}{2}\right))^2 * \frac{0.9 * (1 - 0.9)}{0.1^2}$$

$$n = 6.76 = 7$$

Se conoce que el nivel de confianza es la probabilidad de acertar al realizar una estimación, mientras que el riesgo de error es su complementario, donde el riesgo de error es un valor de probabilidad que debe encontrarse entre 0 y 1, a mayor riesgo, menor tamaño de muestra. En la práctica, lo que se aconseja es el máximo tamaño de muestra para obtener el mínimo error. (Arrondo, 2009-2013)

Se debe calcular el error probable para lo cual se va a utilizar la ecuación de Peter Westfall y Kevin Henning.

$$n = z * \frac{\sqrt{\pi*(1-\pi)}}{\sqrt{e}} \quad \text{Ecuación 4. 4}$$

Donde:

A. e: es el error existente en la muestra

$$e=0.20$$

El error que se obtuvo utilizando la ecuación se encuentra en el rango permisible por lo que se decide que el número de muestras a utilizar se detallaran en la siguiente tabla:

Tabla 4. 27 Muestreo de viguetas a ensayar

Tratamiento	Fibra Natural	F'c (Kg/cm2)	Porcentaje Fibra Natural (%)	ENSAYOS A FLEXIÓN			# de Muestras
				14 Dias	28 Dias	56 Dias	
Sin Tratamiento	Sin Fibra	210	0.00%	7	7	7	21
		240	0.00%	7	7	7	21
Tratamiento 1	Palma Africana	210	0.50%	7	7	7	21
			1.00%	7	7	7	21
		240	0.50%	7	7	7	21
			1.00%	7	7	7	21
Tratamiento 2	Palma Africana	210	0.50%	7	7	7	21
			1.00%	7	7	7	21
		240	0.50%	7	7	7	21
			1.00%	7	7	7	21
Total de Muestras a Ensayar							210

El hormigón simple que se usará en las probetas está formado por agua, cemento, agregado grueso y fino, en el cual se incluirán fibras naturales tomando en cuenta que una mala adhesión entre las fibras y la matriz genera espacios vacíos, lo que conduce a una mayor absorción de agua. (Omar Martínez, Aíde Galindez, Rosa Narro, Florentino Corral , 2022)

A los especímenes, las fibras se ensayarán a tracción, absorción, dimensiones y masa para determinar la dosificación adecuada según el porcentaje de fibras las cuales como se ha mencionado previamente serán tratadas químicamente, la dosificación de esto con fibras se pueden visualizar en la sección de Dosificaciones definitivas.

4.2.4. Preparación de la mezcla de hormigón

Las dosificaciones fueron realizadas en el laboratorio de materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador utilizando la concreteira con la capacidad adecuada para una dosificación con un saco de cemento dosificaciones que se mostraron la sección de dosificaciones definitivas. Las cuales están realizadas para la capacidad de la concreteira,

El proceso se lo realizo de la siguiente manera:

- A. Se procede a tener todos los materiales necesarios para la dosificación como la concreteira, carretillas, palas, cono de abrams y las viguetas listas.
- B. Todos los materiales como pala, carretillas, espátulas y concreteira deben ser humedecidos para que estos no afecten la relación agua cemento de la mezcla.
- C. Se debe pesar los agregados, agua y cemento según lo requiere la dosificación.
- D. Para realizar la mezcla del hormigón se la realiza de la siguiente forma:
 1. Agregamos a la concreteira el agregado grueso.
 2. Agregamos el agregado fino.
 3. Agregamos la mitad de la cantidad de agua requerida.
- E. Se enciende la concreteira y se procede a mezclar durante 2 o 3 minutos aproximadamente los agregados una vez se han mezclado durante el tiempo mencionado se realiza lo siguiente.
 1. Se agrega el saco de cemento a la mezcla.
 2. Se añade la cantidad de agua necesaria para completar la cantidad calculada.
- F. Se mezcla la muestra hasta tener la consistencia adecuada del hormigón.

G. Cuando se realiza las dosificaciones de hormigón con fibras se realiza los mismos pasos que para la dosificación sin fibras, pero la fibra se debe añadir durante el paso E y el paso F para que la fibra se esparza homogéneamente en todo el hormigón. Mover con fuerza la concreteira para que la fibra se mezcle de correcta forma. Se deja una lista de orden para la dosificación con fibra.

1. Agregamos a la concreteira el agregado grueso.
2. Se añade el agregado fino.
3. Agregamos la mitad de la cantidad de agua requerida.
4. Se agrega el saco de cemento a la mezcla.
5. Se añade el agua necesaria para completar la cantidad necesaria
6. Se añade la fibra

Oscar Caizaguano y Gabriela Guevara menciona que “Para cuando se realiza la dosificación de hormigón con fibras, una vez que se a colocado la fibra se debe hacer mezclar los agregados durante unos 3 minutos haciendo una pausa ya que la fibra tiende a enredarse en la concreteira por lo que durante este tiempo de pausa se desenreda la fibra en cierta medida y de ahí se vuelve a mezclar durante 3 minutos evitando que el tiempo sea excesivo para que se produzca abrasión en el agregado grueso. Una vez realizada la dosificación se vierte el hormigón en caretila y se extrae la fibra que pudo quedarse en la concreteira y con la ayuda de palas y espátulas se homogeniza el hormigón en la carretilla. Sabiendo que el cemento utilizado es el Portland GU tiene un tiempo que se debe aplicar para el amasado es 1 hora, teniendo en cuenta que el cemento que se emplea presenta características normales y es de uso general para cualquier obra civil.” (Oscar Paul Caizaguano Guevara, Gabriela Stefania Terán tandazo , 2020).

Para las viguetas que se van a realizar, las mismas que tienen dimensiones de 10x10x35cm se va a realizar 25 compactaciones con la varilla con un promedio de 8 a 12 golpes en los lados de las viguetas como forma de vibración para la mezcla, se enraza la vigueta con varilla y espátula para dejar la superficie lo más lisa. Se las deja en un lugar donde no sean movidas golpeadas o que caiga agua en las mismas para en 24 horas proceder a desencofrar, identificación de la muestra y colocarles en la cámara de humedad hasta el día de ensayo de las muestras. Para identificar se coloca los datos respectivos correspondientes a las muestras como la fecha, numeración, resistencia, fibra, tratamiento y porcentaje de fibra.

4.2.5. Ensayos de hormigón fresco

4.2.5.1. Temperatura

La temperatura se la debe tomar con una desviación estándar de 0.5 °C (1°F) más cercano la misma que no debe ser mayor a los 24 °C para garantizar una buena trabajabilidad ya que temperaturas mayores en el hormigón fresco produce que tengan un amento coincidente en la resistencia inicial a edades menores a los 7 días y una disminución de la resistencia en edades maduras. (ASTM C1064, 2012)

Sabiendo por medio de la norma STM C1064, 2012 a la temperatura que debe estar el hormigón fresco se procede a tomar la temperatura del mismo con un termómetro digital del laboratorio, se toma la medida introduciendo 75mm en la mezcla el sensor del termómetro durante un tiempo aproximado de 5 minutos, la temperatura no debe exceder los 24 °C para garantizar la trabajabilidad del hormigón.



Imagen 4. 4 Ensayo de temperatura

4.2.5.2. Asentamiento

Para saber como va a estar una relación agua cemento en el hormigón fresco para un cierto tipo de hormigón nos basamos con un método visual el cual nos permite ver las características del hormigón fresco y por el momento el único método que se utiliza para verificar las propiedades del hormigón es el cono de Abrams el mismo que nos permite observar la consistencia, fluidez y cohesión inicial del hormigón.

Para realizar el ensayo de asentamiento se puede hacer de la siguiente manera:

- Colocamos la placa de acero en una superficie plana en el suelo
- Humedecemos la placa de acero, el cono de Abrams, la varilla para compactar y palas a utilizar para agarrar el hormigón.
- Añadir el hormigón en 3 capas similares en el cono y cada capa debe ser compactada con varilla compactadora por 25 golpes repartidos de forma homogénea en toda la superficie, recordar mantener firme el cono de Abrams una forma efectiva es que una persona pise el cono para que este no se mueva.
- Cuando ya se compacte la última capa hay que enrazar la superficie del cono y limpiar los excesos de material alrededor del cono.
- Levantar el cono de forma vertical en un lapsus de tiempo entre 3 y 5 segundos como máximo.
- El ensayo debe ser realizado en un tiempo inferior a los 2 minutos y medio desde que se coloca la primera pala de hormigón.
- Voltar el cono a un lado de la muestra asentado en la misma placa y la varilla colocarla encima del cono de forma horizontal que alcance a estar por encima de la muestra.
- Se mide la altura desde la varilla hasta el centro de la mezcla de hormigón que se debió asentar al quitar el cono.
- Reportar el valor medido en mm o centímetros y comparar si son los requeridos para la dosificación.

4.2.5.3.Densidad y Contenido de Aire

La densidad del hormigón fresco se determina mediante el uso del recipiente correcto.

El recipiente es cilíndrico y se pesa el mismo que se debe tomar las medidas principales como diámetro de la circunferencia interna y la altura de este.

Se añade al igual que en algunos ensayos se debe llenar el recipiente en tres capas similares y cada una debe ser compactada con 25 golpes de la varilla.

Se debe enrazar la superficie del recipiente y se procede a tapar con la tapa que posee cierre de válvula y se cierra la válvula de aire y se mantiene abierta las llaves de purga por medio de las cuales se agrega agua con una pipeta pequeña y con cuidado para evitar la inclusión de aire en la muestra, esto se debe hacer hasta que el agua salga por las llaves de purga.

Se bombea el aire hasta cerrar el manómetro y abrir la válvula principal y esperar que el manómetro se estabilice para tomar la medida. (ASTM C231,2017).



Imagen 4. 5 Densidad y contenido de aire

4.2.5.4. Resultados de los ensayos realizados al hormigón fresco

En la siguiente tabla se va a mostrar los resultados obtenidos de los ensayos que se aplicaron al hormigón fresco en la tabla también se presentan las variables.

Tabla 4. 28 Resultados de ensayos hormigón fresco

DATOS DE ENSAYOS AL HORMIGÓN FRESCO							
TIPO	FIBRA	TRATAMIENTO	DISEÑO	DENSIDAD	CONTENIDO DE AIRE	TEMPERATURA	ASENTAMIENTO
	%		Kg/cm ²	kg/cm ³	%	°C	mm
Hormigón simple sin fibra			210	2248.24	2	18.5	90
			240	2293.18	2.3	17.8	95
Hormigón simple con fibra	0.5	Hidróxido de sodio	210	2247.50	2.4	18.1	90
	1			2220.10	3	18.4	90
	0.5		240	2220.15	2.5	18.4	85
	1			2218.12	2.6	18.6	85
	0.5	Agua Hervida	210	2257.89	2.4	17.9	80
	1			2188.90	2.8	18.5	80
	0.5		240	2211.98	2.6	19.1	85
	1			2184.04	3	19.2	80

4.2.6. Desencofrado y curado de viguetas

Una vez que las viguetas ya pasaron sus primeras 24 ± 8 horas después de dejarlas en reposo ya con el hormigón fresco estas ya pueden ser desencofradas ya que a completado un fraguado correcto, así lo estipula la NEC-SE-HM, 2015.

Se desencofra con cuidado las viguetas evitando que estas se golpeen o en peor caso se caigan ya que golpes fuertes puede causar fisuras más grandes que afecten a la resistencia de las mismas, luego se las identifica como se mencionó en la sección 4.2.4 y se las deja en la cámara de curado en el laboratorio de hormigones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, durante los 14, 28 y 56 días.

La humedad de la cámara debe estar en un 50% mínimo y con una temperatura de 23 ± 2 °C, se puede dar un punto de vista que mientras más tiempo pasen las viguetas en la cámara de humedad se podrá ver la durabilidad y degradación de la fibra.

4.3. ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

4.3.1. Resistencia residual de las viguetas

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia residual de una viga de ensayo de hormigón reforzado con fibras. La resistencia residual promedio se calcula utilizando deflexiones de viga especificadas que se obtienen de una viga que se ha agrietado de manera estándar. La prueba proporciona los datos necesarios para obtener la porción de la curva de carga-deflexión más allá de la cual ha ocurrido una cantidad significativa de daño por agrietamiento y proporciona una medida de la resistencia posterior al agrietamiento, ya que dicha resistencia se ve afectada por el uso de refuerzo de fibra. (ASTM C1399/C1399M, 2007)

4.3.2. Equipo de ensayo

Maquina con sistema hidráulico, con capacidad e controlar la velocidad con la que el cabezal aplica la fuerza en las muestras y con la precisión adecuada para realizar los ensayos según los requisitos que exige la norma.



Imagen 4. 6 Equipo de ensayo

Se utiliza una placa metálica en que se apoya la vigueta con ayuda de soportes los cuales se hicieron en base a la medida de las viguetas utilizadas.



Imagen 4. 7Placa de ensayo

El procedimiento para realizar el ensayo se detalla a continuación:

- Se toma medidas de las viguetas, altura, ancho espesor y peso de estas.
- En una cara que sea la más regular de la vigueta se procede a marcar con línea a 2.5cm de los extremos y a 10 cm de los intermedios y por último marcando en el centro de la vigueta donde se colocara una tabla que permita medir la deflexión de la vigueta con el deformímetro.
- Se coloca la placa de madera en cada vigueta a ensayar con ayuda de un epóxido que sirve para pegar en hormigón y sea lo suficientemente fuerte para que no permita que la tabla se desprenda o mueva.
- Se coloca las piezas de apoyo en los extremos de la vigueta en las marcas que están a 2.5 cm de los extremos.
- Se instala el deformímetro en la lámina ajustada y esta se coloca centrando con la tabla para que el deformímetro que de fijado y en contacto con la placa de madera. Hay que tener en cuenta que el deformímetro tenga un rango de desplazamiento para evitar errores si se ve que tiene poco recorrido se debe volver a ajustar la altura de la placa para que el deformímetro tenga un mayor recorrido.

- Se coloca la vigueta en la máquina de ensayo centrando los cabezales en las marcas que están a 10 cm de las marcas internas y se procede a bajar los cabezales hasta que estén en contacto con la vigueta.
- Se encera la maquina en cero y se procede aplicar las cargas hasta que la viga falle y se anota la última carga que soporto la misma.

4.3.3. Resistencia a la flexión

En el cálculo de la resistencia a la flexión promedio del hormigón sin fibra y del hormigón simple con fibra se realizó los mismos ensayos de flexión a las viguetas como lo indica la norma ASTM C1399/C1399 M-10,2015. Como se ha mencionado durante la investigación se ha escogido 7 viguetas por cada tipología a ensayar y por cada edad de viguetas a ensayar para tener la resistencia promedio para cada característica.

Para poder identificar las muestras se usó una nomenclatura específica para cada caso de viguetas a ensayar los mismos que se pueden observar en la siguiente tabla 4.29.

Donde:

- T1: Tratamiento 1 (NaOH)
- T2: Tratamiento 2 (Agua Hervida)
- 0.5% FC: porcentaje de fibra de palma africana utilizada respecto al volumen total
- 0.1% FC: porcentaje de fibra de palma africana respecto al volumen total
- 210: resistencia a la compresión del hormigón – 210 kg/cm²
- 240: resistencia a la compresión del hormigón – 240 kg/cm²
- SF: Designación para el hormigón simple sin fibra

Tabla 4. 29 Descripción de la nomenclatura para cada espécimen según sus características

Nomenclatura	Descripción
210 SF	Hormigón simple sin fibra, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
240 SF	Hormigón simple sin fibra, $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$
210 - 0.5% PA - T1	$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Hormigón con fibra al 0.5% respecto al volumen total, tratamiento 1
210 - 1.0 % PA - T1	$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Hormigón con fibra al 1.0% respecto al volumen total, tratamiento 1
240 - 0.5 % PA - T1	$f'c=240 \text{ kg/cm}^2$, Hormigón con fibra al 0.5% respecto al volumen total, tratamiento 1
240 - 1.0 % PA - T1	$f'c=240 \text{ kg/cm}^2$, Hormigón con fibra al 1.0% respecto al volumen total, tratamiento 1
210 - 0.5% PA - T2	$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Hormigón con fibra al 0.5% respecto al volumen total, tratamiento 2
210 - 1.0 % PA - T2	$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Hormigón con fibra al 1.0% respecto al volumen total, tratamiento 2
240 - 0.5 % PA - T2	$f'c=240 \text{ kg/cm}^2$, Hormigón con fibra al 0.5% respecto al volumen total, tratamiento 2
240 - 1.0 % PA - T2	$f'c=240 \text{ kg/cm}^2$, Hormigón con fibra al 1.0% respecto al volumen total, tratamiento 2

A continuación, en la tabla 60 se presentará las dimensiones, pesos y los diferentes parámetros de las viguetas como área, volumen y peso específico.

Tabla 4. 30 Descripción de las viguetas, dimensiones, pesos, áreas, volumen y peso específico.

N° de vigueta	Descripción	Edad	Dimensiones			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (kg)	Peso (g)	Peso Específico (g/cm ³)	Peso Específico Promedio (g/cm ³)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)						
1	210 SF	14	35.10	10.30	10.10	361.53	3651.453	8.533	8533.000	2.337	2.34
2			35.10	10.20	10.10	358.02	3616.002	8.35	8350.000	2.309	
3			35.10	10.20	10.20	358.02	3651.804	8.609	8609.000	2.357	
4			35.10	10.10	10.20	354.51	3616.002	8.47	8470.000	2.342	
5			35.20	10.20	10.20	359.04	3662.208	8.652	8652.000	2.363	
6			35.20	10.20	10.10	359.04	3626.304	8.348	8348.000	2.302	
7			35.10	10.30	10.10	361.53	3651.453	8.621	8621.000	2.361	
1	210 SF	28	35.10	10.20	10.10	358.02	3616.002	8.23	8230.000	2.276	2.26
2			35.20	10.20	10.20	359.04	3662.208	8.215	8215.000	2.243	
3			35.00	10.10	10.10	353.50	3570.350	8.6541	8654.100	2.424	
4			35.20	10.30	10.10	362.56	3661.856	8.326	8326.000	2.274	
5			35.10	10.20	10.20	358.02	3651.804	8.234	8234.000	2.255	
6			35.20	10.30	10.30	362.56	3734.368	8.136	8136.000	2.179	
7			35.30	10.30	10.20	363.59	3708.618	8.165	8165.000	2.202	
1	210 SF	56	35.10	10.30	10.10	361.53	3651.453	8.77	8770.000	2.402	2.35
2			35.10	10.20	10.10	358.02	3616.002	8.75	8750.000	2.420	
3			35.10	10.20	10.20	358.02	3651.804	8.5	8500.000	2.328	
4			35.10	10.10	10.20	354.51	3616.002	8.44	8440.000	2.334	
5			35.20	10.20	10.20	359.04	3662.208	8.84	8840.000	2.414	
6			35.20	10.20	10.10	359.04	3626.304	8.5	8500.000	2.344	
7			35.10	10.30	10.10	361.53	3651.453	8.17	8170.000	2.237	
1	240 SF	14	35.10	10.20	10.20	358.02	3651.804	8.354	8354.000	2.288	2.32
2			35.20	10.10	10.20	355.52	3626.304	8.165	8165.000	2.252	
3			35.20	10.10	10.20	355.52	3626.304	8.65	8650.000	2.385	
4			35.20	10.10	10.20	355.52	3626.304	8.324	8324.000	2.295	

5			35.10	10.10	10.10	354.51	3580.551	8.642	8642.000	2.414	
6			35.30	10.20	10.10	360.06	3636.606	8.465	8465.000	2.328	
7			35.10	10.30	10.10	361.53	3651.453	8.246	8246.000	2.258	
1	240 SF	28	35.10	10.20	10.30	358.02	3687.606	8.65	8650.000	2.346	2.34
2			35.10	10.00	10.20	351.00	3580.200	8.354	8354.000	2.333	
3			35.30	10.30	10.20	363.59	3708.618	8.751	8751.000	2.360	
4			35.20	10.30	10.10	362.56	3661.856	8.805	8805.000	2.405	
5			35.30	10.10	10.00	356.53	3565.300	8.105	8105.000	2.273	
6			35.00	10.10	10.30	353.50	3641.050	8.604	8604.000	2.363	
7			35.20	10.20	10.20	359.04	3662.208	8.34	8340.000	2.277	
1	240 SF	56	35.15	10.20	10.30	358.53	3692.859	8.615	8615.000	2.333	2.29
2			35.35	10.30	10.40	364.11	3786.692	8.412	8412.000	2.221	
3			35.40	10.20	10.20	361.08	3683.016	8.545	8545.000	2.320	
4			35.30	10.30	10.20	363.59	3708.618	8.395	8395.000	2.264	
5			35.30	10.30	10.20	363.59	3708.618	8.52	8520.000	2.297	
6			35.20	10.30	10.10	362.56	3661.856	8.38	8380.000	2.288	
7			35.20	10.30	10.10	362.56	3661.856	8.365	8365.000	2.284	
1	210 - 0.5% PA - T1	14	35.2	10.4	10.3	366.08	3770.624	8.445	8445.000	2.240	2.3
2			35.1	10.2	10.4	358.02	3723.408	8.635	8635.000	2.319	
3			35.1	10.4	10.1	365.04	3686.904	8.445	8445.000	2.291	
4			35.2	10.5	10.3	369.60	3806.880	8.48	8480.000	2.228	
5			35.2	10.3	10.1	362.56	3661.856	8.255	8255.000	2.254	
6			35.45	10.2	10.1	361.59	3652.059	8.425	8425.000	2.307	
7			35.25	10.3	10.2	363.08	3703.365	8.422	8422.000	2.274	
1	210 - 0.5% PA - T1	28	35.7	10.15	10	362.36	3623.550	8.266	8266.000	2.281	2.3
2			35.5	10.25	10.05	363.88	3656.944	8.392	8392.000	2.295	
3			35.5	10.1	10.15	358.55	3639.283	8.574	8574.000	2.356	
4			35.7	10.5	10.25	374.85	3842.213	8.996	8996.000	2.341	
5			35.7	10.4	10.15	371.28	3768.492	8.775	8775.000	2.329	
6			35.1	10.35	10.25	363.29	3723.671	8.607	8607.000	2.311	

7			35.5	10.15	10.2	360.33	3675.315	8.556	8556.000	2.328	
1	210 - 0.5% PA - T1	56	35.4	10.3	10.35	364.62	3773.817	8.88	8880.000	2.353	2.3
2			35.25	10.4	10.4	366.60	3812.640	8.5	8500.000	2.229	
3			35.4	10.1	10.15	357.54	3629.031	8.38	8380.000	2.309	
4			35.5	10.35	10.1	367.43	3710.993	8.67	8670.000	2.336	
5			35.4	10.1	9.95	357.54	3557.523	8.34	8340.000	2.344	
6			35.15	10.3	10.15	362.05	3674.757	8.66	8660.000	2.357	
7			35.2	10.35	10.1	364.32	3679.632	8.78	8780.000	2.386	
1	210 - 1.0 % PA - T1	14	35.2	10.4	10.3	366.08	3770.624	8.445	8445.000	2.240	2.3
2			35.1	10.2	10.4	358.02	3723.408	8.635	8635.000	2.319	
3			35.1	10.4	10.1	365.04	3686.904	8.445	8445.000	2.291	
4			35.2	10.5	10.3	369.60	3806.880	8.48	8480.000	2.228	
5			35.2	10.3	10.1	362.56	3661.856	8.255	8255.000	2.254	
6			35.4	10.3	10.1	364.62	3682.662	8.425	8425.000	2.288	
7			35.2	10.3	10.1	362.56	3661.856	8.4	8400.000	2.294	
1	210 - 1.0 % PA - T1	28	35.5	10.4	10.5	369.20	3876.600	8.685	8685.000	2.240	2.3
2			35.2	10.1	10.2	355.52	3626.304	8.375	8375.000	2.310	
3			35.5	10.1	10.1	358.55	3621.355	8.705	8705.000	2.404	
4			35	10.4	10.2	364.00	3712.800	8.455	8455.000	2.277	
5			35.3	10.25	10	361.83	3618.250	8.545	8545.000	2.362	
6			35	10.1	10	353.50	3535.000	8.315	8315.000	2.352	
7			35.2	10.2	10.5	359.04	3769.920	8.61	8610.000	2.284	
1	210 - 1.0 % PA - T1	56	35	10.45	10.25	365.75	3748.938	8.58	8580.000	2.289	2.3
2			35.1	10.3	10.35	361.53	3741.836	8.52	8520.000	2.277	
3			35.2	10.3	10.25	362.56	3716.240	8.63	8630.000	2.322	
4			35.1	10.05	10	352.76	3527.550	8.21	8510.000	2.412	
5			35.5	10.3	10.1	365.65	3693.065	8.505	8505.000	2.303	
6			35.1	10.3	10.3	361.53	3723.759	8.53	8530.000	2.291	
7			35.2	10.3	10.2	362.56	3698.112	5.55	8550.000	2.312	
1	240 - 0.5 % PA - T1	14	35.4	10.1	10.25	357.54	3664.785	8.275	8275.000	2.258	2.3
2			35.5	10.6	10.3	376.30	3875.890	8.725	8725.000	2.251	

3			35.5	10.2	10.2	362.10	3693.420	8.46	8460.000	2.291	
4			35.5	10.1	10.1	358.55	3621.355	8.28	8280.000	2.286	
5			35.5	10.1	10.3	358.55	3693.065	8.445	8445.000	2.287	
6			35.5	10.1	10.2	358.55	3657.210	8.6	8600.000	2.352	
7			35.5	10.3	10.2	365.65	3729.630	8.695	8695.000	2.331	
1	240 - 0.5 % PA - T1	28	35.3	10.2	10.5	360.06	3780.630	8.53	8530.000	2.256	2.3
2			35.2	10.5	10.5	369.60	3880.800	8.66	8660.000	2.231	
3			35.1	10.2	10.4	358.02	3723.408	8.53	8530.000	2.291	
4			35.5	10	10.5	355.00	3727.500	8.52	8520.000	2.286	
5			35.2	10.5	10.5	369.60	3880.800	8.66	8660.000	2.231	
6			35.1	10.4	10.4	365.04	3796.416	8.5	8500.000	2.239	
7			35.1	10.3	10.2	361.53	3687.606	8.5	8500.000	2.305	
1	240 - 0.5 % PA - T1	56	35.6	10.3	10.1	366.68	3703.468	8.485	8485.000	2.291	2.3
2			35.1	10.1	10.25	354.51	3633.728	8.27	8270.000	2.276	
3			35.1	10.35	10.3	363.29	3741.836	8.565	8565.000	2.289	
4			35.1	10.3	10.3	361.53	3723.759	8.375	8375.000	2.249	
5			35.3	10.4	10.4	367.12	3818.048	8.54	8540.000	2.237	
6			35.1	10.35	10.4	363.29	3778.164	8.595	8595.000	2.275	
7			35.2	10.3	10.4	362.56	3770.624	8.67	8670.000	2.299	
1	240 - 1.0 % PA - T1	14	35.4	10.1	10.2	357.54	3646.908	8.105	8105.000	2.222	2.3
2			35.1	10	10.2	351.00	3580.200	8.005	8325.000	2.325	
3			35.4	10.3	10.3	364.62	3755.586	8.39	8390.000	2.234	
4			35.4	10.1	10.3	357.54	3682.662	8.365	8365.000	2.271	
5			35.1	10.3	10.2	361.53	3687.606	8.245	8245.000	2.236	
6			35.3	10.3	10.3	363.59	3744.977	8.33	8330.000	2.224	
7			35.4	10	10.3	354.00	3646.200	8.325	8325.000	2.283	
1	240 - 1.0 % PA - T1	28	35.3	10.1	10.2	356.53	3636.606	8.38	8380.000	2.304	2.3
2			35.2	10.2	10.2	359.04	3662.208	8	8210.000	2.242	
3			35.3	10.1	10.1	356.53	3600.953	8.03	8330.000	2.313	
4			35.2	10.4	10.3	366.08	3770.624	8.5	8500.000	2.254	
5			35.2	10.3	10.1	362.56	3661.856	7.97	8195.000	2.238	

6			35.3	10.3	10.2	363.59	3708.618	8.19	8190.000	2.208	
7			35.3	10.1	10.2	356.53	3636.606	8.085	8085.000	2.223	
1	240 - 1.0 % PA - T1	56	35.4	10.2	9.9	361.08	3574.692	8.335	8335.000	2.332	2.3
2			35.2	10.15	10.15	357.28	3626.392	8.18	8380.000	2.311	
3			35.2	10.3	10.3	362.56	3734.368	8.3	8300.000	2.223	
4			35.2	10.5	10.3	369.60	3806.880	8.275	8275.000	2.174	
5			35.2	10.25	10.2	360.80	3680.160	8.32	8320.000	2.261	
6			35.2	10.25	10.3	360.80	3716.240	8.265	8265.000	2.224	
7			35.2	10.25	10.3	360.80	3716.240	8.3	8300.000	2.233	
1			210 - 0.5% PA - T2	14	35.15	10.3	10.18	362.05	3685.618	8.533	
2	35	10.2			10.15	357.00	3623.550	8.35	8350.000	2.304	
3	35	10.25			10.2	358.75	3659.250	8.609	8609.000	2.353	
4	35.15	10.15			10.2	356.77	3639.080	8.47	8470.000	2.328	
5	35.15	10.15			10.2	356.77	3639.080	8.652	8652.000	2.378	
6	35.2	10.25			9.95	360.80	3589.960	8.348	8348.000	2.325	
7	35.05	10.4			10.1	364.52	3681.652	8.621	8621.000	2.342	
1	210 - 0.5% PA - T2	28	35.2	10	10.2	352.00	3590.400	8.23	8230.000	2.292	2.3
2			35.1	10.1	10.4	354.51	3686.904	8.215	8215.000	2.228	
3			35.2	10	10.5	352.00	3696.000	8.6541	8654.100	2.341	
4			35	10.2	10.5	357.00	3748.500	8.326	8326.000	2.221	
5			35	10.2	10.1	357.00	3605.700	8.234	8234.000	2.284	
6			35.5	10.5	10.3	372.75	3839.325	8.536	8536.000	2.223	
7			35.3	10.5	10.4	370.65	3854.760	8.365	8365.000	2.170	
1	210 - 0.5% PA - T2	56	35.1	10.25	10.3	359.78	3705.683	8.77	8770.000	2.367	2.3
2			35.1	10.25	10.1	359.78	3633.728	8.75	8750.000	2.408	
3			35.1	10.3	10.35	361.53	3741.836	8.5	8500.000	2.272	
4			35.1	10.3	10.3	361.53	3723.759	8.44	8440.000	2.267	
5			35.3	10.4	10.4	367.12	3818.048	8.84	8840.000	2.315	
6			35.1	10.4	10.35	365.04	3778.164	8.5	8500.000	2.250	
7			35.2	10.4	10.5	366.08	3843.840	8.17	8170.000	2.125	
1		14	35.2	10.3	10.15	362.56	3679.984	8.533	8533.000	2.319	2.3

2	210 - 1.0 % PA - T2		35.1	10.3	10.2	361.53	3687.606	8.35	8350.000	2.264	
3			35.2	10.2	10	359.04	3590.400	8.609	8609.000	2.398	
4			35.2	10.5	10.25	369.60	3788.400	8.609	8609.000	2.272	
5			35.2	10.2	10.35	359.04	3716.064	8.479	8479.000	2.282	
6			35.5	10.5	10	372.75	3727.500	8.348	8348.000	2.240	
7			35.1	10.5	10.5	368.55	3869.775	8.655	8655.000	2.237	
1			210 - 1.0 % FC - T2	28	35.25	10.4	10.5	366.60	3849.300	8.42	
2	35.2	10.3			10.5	362.56	3806.880	8.51	8510.000	2.235	
3	35.1	10.4			10.2	365.04	3723.408	8.38	8380.000	2.251	
4	35.35	10.2			10.1	360.57	3641.757	8.72	8720.000	2.394	
5	35.2	10.3			10.3	362.56	3734.368	8.59	8590.000	2.300	
6	35.15	10.3			10.2	362.05	3692.859	8.96	8960.000	2.426	
7	35.35	10.25			10.3	362.34	3732.076	8.9	8900.000	2.385	
1	210 - 1.0 % PA - T2	56	35	10.15	10.5	355.25	3730.125	8.538	8538.000	2.289	2.3
2			35.6	10.5	10	373.80	3738.000	8.27	8270.000	2.212	
3			35	10.1	10.25	353.50	3623.375	8.565	8565.000	2.364	
4			35.1	10.3	10.6	361.53	3832.218	8.375	8375.000	2.185	
5			35.2	10.2	10.2	359.04	3662.208	8.54	8540.000	2.332	
6			35.3	10	10	353.00	3530.000	8.595	8595.000	2.435	
7			35.15	10.2	10.2	358.53	3657.006	8.67	8670.000	2.371	
1	240 - 0.5 % PA - T2	14	35	10	10.1	350.00	3535.000	8.305	8305.000	2.349	2.3
2			35	10.3	10.3	360.50	3713.150	8.755	8755.000	2.358	
3			35.25	10.2	10.3	359.55	3703.365	8.37	8370.000	2.260	
4			35.1	10.2	10.3	358.02	3687.606	8.67	8670.000	2.351	
5			35.1	10.2	10.1	358.02	3616.002	8.47	8470.000	2.342	
6			35.2	10.3	10.4	362.56	3770.624	7.72	7720.000	2.047	
7			35.4	10.25	10.35	362.85	3755.498	8.51	8510.000	2.266	
1	240 - 0.5 % PA - T2	28	35.3	10.3	10.2	363.59	3708.618	8.42	8420.000	2.270	2.3
2			35.2	10.25	10.3	360.80	3716.240	8.55	8550.000	2.301	
3			35.15	10.35	10	363.80	3638.025	8.38	8380.000	2.303	
4			35.1	10.3	10	361.53	3615.300	8.23	8230.000	2.276	

5			35	10.2	10.2	357.00	3641.400	8.5	8500.000	2.334	
6			35.3	10.4	10.2	367.12	3744.624	8.7	8700.000	2.323	
7			35.2	10.35	10.2	364.32	3716.064	8.53	8530.000	2.295	
1	240 - 0.5 % PA - T2	56	35.5	10.4	10.2	369.20	3765.840	8.67	8670.000	2.302	2.3
2			35.5	10.5	10.2	372.75	3802.050	8.55	8550.000	2.249	
3			35.5	10.5	10.3	372.75	3839.325	8.56	8560.000	2.230	
4			35.5	10.5	10.5	372.75	3913.875	8.525	8525.000	2.178	
5			35.5	10.3	10.3	365.65	3766.195	8.505	8505.000	2.258	
6			35.5	10.4	10.2	369.20	3765.840	8.535	8535.000	2.266	
7			35.2	10.5	10.2	369.60	3769.920	8.715	8715.000	2.312	
1	240 - 1.0 % PA - T2	14	35.3	10.15	10.2	358.30	3654.609	8.385	8385.000	2.294	2.3
2			35.2	10.4	10.3	366.08	3770.624	8.53	8530.000	2.262	
3			35.15	10.3	10.2	362.05	3692.859	8.535	8535.000	2.311	
4			35.2	10.4	10.4	366.08	3807.232	8.785	8785.000	2.307	
5			35.5	10.35	10.2	367.43	3747.735	8.415	8415.000	2.245	
6			35.1	10.5	10.1	368.55	3722.355	8.715	8715.000	2.341	
7			35.1	10.1	10.1	354.51	3580.551	8.53	8530.000	2.382	
1	240 - 1.0 % PA - T2	28	35.3	10.4	10.2	367.12	3744.624	8.35	8350.000	2.230	2.2
2			35.5	10.2	10.4	362.10	3765.840	8.18	8180.000	2.172	
3			35.2	10.4	10.2	366.08	3734.016	8.58	8580.000	2.298	
4			35.1	10.3	10.3	361.53	3723.759	8.485	8485.000	2.279	
5			35.3	10.25	10.35	361.83	3744.889	8.295	8295.000	2.215	
6			35.5	10.25	10.3	363.88	3747.913	8.45	8450.000	2.255	
7			35.15	10.35	10.4	363.80	3783.546	8.555	8555.000	2.261	
1	240 - 1.0 % PA - T2	56	35.4	10.1	10.25	357.54	3664.785	8.315	8315.000	2.269	2.3
2			35.5	10.6	10.3	376.30	3875.890	7.865	7865.000	2.029	
3			35.5	10.2	10.2	362.10	3693.420	8.5	8500.000	2.301	
4			35.5	10.1	10.1	358.55	3621.355	8.32	8320.000	2.297	
5			35.5	10.1	10.3	358.55	3693.065	8.485	8485.000	2.298	
6			35.4	10.1	10.2	357.54	3646.908	8.64	8640.000	2.369	
7			35.3	10.3	10.2	363.59	3708.618	8.735	8735.000	2.355	

El hormigón en condiciones normales debe tener un peso específico entre 2.3 y 2.5 gr/cm³. Se puede observar en la tabla que prácticamente en todas las dosificaciones se cumple con un valor promedio de 2.3 gr/cm³ siendo este un valor aceptable, en ciertos valores se obtuvo 2.9 de peso específico, pero eso se da en el hormigón con fibras por lo que se puede tomar como un valor aceptable.

Se puede ver también que los valores en los que el peso específico se encuentran en 2.94 alrededor se presentan en el hormigón con fibras ya sea para los dos tratamientos pero si promediamos todas las muestras del hormigón, se sabía que la fibra iba a provocar una disminución del peso específico del hormigón pero debido a los tratamientos químicos que se le realizó y los ensayos que se realizaron se puede observar que la densidad de la fibra con tratamiento era mayor con respecto a la fibra sin tratar lo cual causa que la disminución en peso específico del hormigón prácticamente no se vea afectada.

4.3.4. Densidad del hormigón fraguado

Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado. Para un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre 2300- 2500 kg/m³. En caso de utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre 1000-1300 kg/m³. Y en caso de utilizarse áridos pesado la densidad oscila entre 3000-3500 kg/m³ (Garrido, 2008)

Por lo expuesto por Garrido se puede tener idea que la densidad que se obtuvo en nuestras viguetas de hormigón sin fibras se obtuvo valores que se encuentran dentro del rango establecido en su densidad por lo que se acepta la compactación de las muestras y las viguetas están correctamente elaboradas y listas para ser ensayadas.

Tabla 4. 31 Densidad de Viguetas sin fibra

Cantidad de Fibra	Especificaciones	Densidad (t/m ³)	Densidad Promedio (t/m ³)
		Promedio	Promedio
Sin Fibra	210 SF -14 días	2.34	2.317
	210 SF-28 días	2.26	
	210 Sf -56 días	2.35	
Sin Fibra	240 SF -14 días	2.32	2.317
	240 SF-28 días	2.34	
	240 Sf -56 días	2.29	

En la tabla #toque79 se va a poder visualizar la densidad promedio de las viguetas de hormigón simple con fibras las cuales fueron reforzadas con fibras las mismas que recibieron el tratamiento químico de NaOH (Hidróxido de Sodio). Se observa los resultados de resistencia a la compresión simple de 210 y 240 kg/cm².

Tabla 4. 32 Densidad de Viguetas con fibra de palma africana NaOH.

Cantidad de Fibra	Especificaciones	Densidad (t/m ³)	Densidad Promedio (t/m ³)
		Promedio	Promedio
0.5% de Fibra	210 PA -14 días	2.3	2.31
	210 PA -28 días	2.3	
	210 PA -56 días	2.3	
0.5% de Fibra	240 PA -14 días	2.3	2.28
	240 PA -28 días	2.3	
	240 PA -56 días	2.3	
1% de Fibra	210 PA -14 días	2.3	2.30
	210 PA -28 días	2.3	
	210 PA -56 días	2.3	
1% de Fibra	240 PA -14 días	2.3	2.25
	240 PA -28 días	2.3	
	240 PA -56 días	2.3	

En la tabla #toque79 se va a poder visualizar la densidad promedio de las viguetas de hormigón simple con fibras las cuales fueron reforzadas con fibras las mismas que recibieron el tratamiento químico del Agua Hervida. Se observa los resultados de resistencia a la compresión simple de 210 y 240 kg/cm².

Tabla 4. 33 Densidad de Viguetas con fibra de palma africana Agua Hervida.

Cantidad de Fibra	Especificaciones	Densidad (t/m ³)	Densidad Promedio (t/m ³)
		Promedio	Promedio
0.5% de Fibra	210 PA -14 días	2.3	2.29
	210 PA -28 días	2.3	
	210 PA -56 días	2.3	
0.5% de Fibra	240 PA -14 días	2.3	2.28
	240 PA -28 días	2.3	
	240 PA -56 días	2.3	
1% de Fibra	210 PA -14 días	2.3	2.30
	210 PA -28 días	2.3	
	210 PA -56 días	2.3	
1% de Fibra	240 PA -14 días	2.3	2.27
	240 PA -28 días	2.2	
	240 PA -56 días	2.3	

Se a podido observar en las tablas se a podido observar que con la fibra añadida el hormigón a perdido mínimamente su densidad lo cual concuerda que si al hormigón se le refuerza con fibras ligeras su densidad disminuye.

Observando los resultados de las densidades de los hormigones con fibra entre las resistencias de $f'c$ 210 kg/cm² y $f'c$ 240 kg/cm² los resultados de sus densidades varían por diferencias mínimas y se puede observar que la resistencia del $f'c$ 210 kg/cm² en el agua hervida tiene una densidad mínimamente mayor a la de $f'c$ 240 kg/cm². Mientras que en el tratamiento del NaOH (Hidróxido de sodio) el $f'c$ 210 kg/cm² pero con un porcentaje de fibra del 0.5% tiene la mayor densidad entre el hidróxido y con el tratamiento del agua.

5. CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1.RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO

Para realizar los cálculos de resistencia residual promedio se utilizó la ecuación indicada para la misma Ecuación 2.1, mientras se iban obteniendo los resultados se procedió a realizar la curva de Carga vs Deflexión.

5.1.1. Cálculo de la resistencia promedio

5.1.1.1.Resistencia a la flexión de viguetas sin fibra.

Tabla 5. 1 Carga de fracturación de viguetas sin fibra con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion,mm	0.00	0.20
fc 210 Sin Fibra	14	CARGA INICIAL,N	0.00	9398.74
	28		0.00	13062.14
	56		0.00	16169.00

La tabla 5.1 muestra los resultados de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la viga en esta deflexión se produce la fracturación de la viga con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas con hormigón simple sin fibra. Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 210 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

Tabla 5. 2 Resistencia a la flexión de viguetas sin fibra con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga viga fisurada							DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS		
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS(Mpa)
210 Sin Fibra	14	CARGA (N)	0	1503.80	1127.85	751.90	375.95	351.29	102.14	101.43	0.000334	0.314197
	28		0	2089.94	1567.46	1044.97	522.49	351.57	102.29	101.71	0.000332	0.433959
	56		0	2587.04	1940.28	1293.52	646.76	352.57	102.43	101.57	0.000334	0.539468

En la tabla 5.2 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 210 kg/cm².

Los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón sin fibra de palama africana como refuerzo.

Tabla 5. 3 Carga de fracturación de viguetas sin fibra con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion,mm	0.00	0.20
fc 240 Sin Fibra	14	CARGA INICIAL,N	0.00	13023
	28		0.00	16897
	56		0.00	20577

La tabla 5.3 muestra los resultados de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la vigueta en esta deflexión se produce la fracturación de la vigueta con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas con hormigón simple sin fibra. Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 240 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

Tabla 5. 4 Resistencia a la flexión de viguetas sin fibra con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga viga fisurada							DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS		
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS
240 Sin Fibra	14	CARGA (N)	0	2083.63	1562.73	1041.82	520.91	351.71	101.57	101.57	0.000336	0.437096
	28		0	2703.45	2027.59	1351.73	675.86	352.71	101.71	101.86	0.000334	0.564751
	56		0	3292.25	2469.19	1646.13	823.06	352.71	102.71	102.14	0.000329	0.67725

En la tabla 5.4 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 240 kg/cm².

Con esto se hace los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón sin fibra de palama africana como refuerzo.

5.1.1.2. Resistencia a la flexión de viguetas con fibra y tratamiento de NaOH Hidróxido de Sodio

Tabla 5. 5 Carga de fracturación de viguetas con fibra 0.5% aplicado el hidróxido de sodio con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion,mm	0.00	0.20
0.5% fc210 T1	14	CARGA INICIAL,N	0.00	12547.12
	28		0.00	17810.00
	56		0.00	21573.46

La tabla 5. 5 muestra los resultados de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la vigueta en esta deflexión se produce la fracturación de la vigueta con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas de hormigón simple con una adición de fibra del 0.5% con tratamiento del hidróxido de sodio (NaOH). Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 210 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

Tabla 5. 6 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 0.5% aplicado el hidróxido de sodio con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga viga Fisurada								DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS	
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS
0.5%fc210 T1	14	CARGA (N)	0	2007.54	1505.65	1003.77	501.88	352.14	103.29	102.14	0.000327	0.410021
	28		0	2849.60	2137.20	1424.80	712.40	355.29	102.71	101.50	0.000336	0.597969
	56		0	3451.75	2588.81	1725.88	862.94	353.29	102.71	101.71	0.000332	0.717218

En la tabla 5. 6 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 210 kg/cm².

Los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 7 Carga de fracturación de viguetas con fibra 1% aplicado el hidróxido de sodio con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion, mm	0.00	0.20
1% fc210 T1	14	CARGA INICIAL, N	0.00	10698.74
	28		0.00	16902.57
	56		0.00	22198.86

La tabla 5. 7 muestra los resultados de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la vigueta en esta deflexión se produce la fracturación de la vigueta con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas de hormigón simple con una adición de fibra del 1% y tratamiento químico del hidróxido de sodio (NaOH). Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 210 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

Tabla 5. 8 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 1% aplicado el hidróxido de sodio con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga viga frisurada							DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS		
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS
1%fc210 T1	14	CARGA (N)	0	1711.80	1283.85	855.90	427.95	352.00	103.43	102.00	0.000327	0.349973
	28		0	2704.41	2028.31	1352.21	676.10	352.43	102.21	102.14	0.00033	0.558594
	56		0	3551.82	2663.86	1775.91	887.95	351.71	102.86	102.07	0.000328	0.728581

En la tabla 5.8 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 210 kg/cm².

Los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón con fibra de palama africana al 1% aplicado el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 9 Carga de fracturación de viguetas con fibra 0.5% aplicado el hidróxido de sodio con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion,mm	0.00	0.20
0.5% fc240 T1	14	CARGA INICIAL,N	0.00	10765
	28		0.00	16956
	56		0.00	23154

La tabla 5. 9 muestra los resultados de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la vigueta en esta deflexión se produce la fracturación de la vigueta con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas de hormigón simple con una adición de fibra del 0.5% con tratamiento del hidróxido de sodio (NaOH). Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 240 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

Tabla 5. 10 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 0.5% aplicado el hidróxido de sodio con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga viga Fisurada								DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS	
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS
0.5%fc240 T1	14	CARGA (N)	0	1722.47	1291.85	861.24	430.62	354.86	102.14	102.21	0.000333	0.357977
	28		0	2712.96	2034.72	1356.48	678.24	352.14	103.00	104.29	0.000314	0.533034
	56		0	3704.62	2778.46	1852.31	926.15	352.14	103.00	103.07	0.000322	0.745124

En la tabla 5.10 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 240 kg/cm².

Con esto se hace los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 11 Carga de fracturación de viguetas con fibra 1% aplicado el hidróxido de sodio con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion,mm	0.00	0.20
1% fc240 T1	14	CARGA INICIAL,N	0.00	14520
	28		0.00	16740
	56		0.00	24401

La tabla 5.11 muestra los valores de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la viga en esta deflexión se produce la fracturación de la viga con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas de hormigón simple con una adición de fibra del 1% y tratamiento químico del hidróxido de sodio (NaOH). Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 240 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

Tabla 5. 12 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 1% aplicado el hidróxido de sodio con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga viga Fisurada								DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS	
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS
1%fc240 T1	14	CARGA (N)	0	2323.15	1742.37	1161.58	580.79	353.00	101.57	102.57	0.00033	0.479632
	28		0	2678.38	2008.78	1339.19	669.59	352.57	102.14	101.86	0.000333	0.556939
	56		0	3904.18	2928.14	1952.09	976.05	352.29	102.71	102.36	0.000327	0.7988

En la tabla 5.12 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 240 kg/cm².

Con esto se hace los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón con fibra de palama africana al 1% aplicado el hidróxido de sodio.

5.1.1.3. Resistencia a la flexión de viguetas con fibra y tratamiento de agua hervida

Tabla 5. 13 Carga de fracturación de viguetas con fibra 0.5% aplicado Agua Hervida con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion,mm	0.00	0.20
0.5% fc210 T2	14	CARGA INICIAL,N	0.00	14749.00
	28		0.00	16769.64
	56		0.00	21554.00

La tabla 5.13 muestra los resultados de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la viga en esta deflexión se produce la fracturación de la viga con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas de hormigón simple con una adición de fibra del 0.5% con tratamiento químico y con agua hervida. Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 210 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

Tabla 5. 14 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 0.5% aplicado el agua hervida con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga viga Fisurada								DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS	
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS
0.5%fc210 T2	14	CARGA (N)	0	2359.84	1769.88	1179.92	589.96	351.00	102.43	101.40	0.000333	0.491556
	28		0	2683.14	2012.36	1341.57	670.79	351.86	102.14	103.43	0.000322	0.540009
	56		0	3448.64	2586.48	1724.32	862.16	351.43	103.29	103.29	0.000319	0.687455

En la tabla 77 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 210 kg/cm².

Se hace los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el agua hervida.

Tabla 5. 15 Carga de fracturación de viguetas con fibra 1% aplicado Agua Hervida con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion,mm	0.00	0.20
1% fc210 T2	14	CARGA INICIAL, N	0.00	15735.71
	28		0.00	18980.29
	56		0.00	19585.71

La tabla 5.15 muestra los resultados de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la vigueta en esta deflexión se produce la fracturación de la vigueta con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas de hormigón simple con una adición de fibra del 1% y tratamiento químico con agua hervida. Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 210 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

Tabla 5. 16 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 1% aplicado el agua hervida con $f'c$ 210 kg/cm²

Carga viga Fisurada								DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS	
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS
1%fc210 T2	14	CARGA (N)	0	2517.71	1888.29	1258.86	629.43	352.14	103.57	102.07	0.000326	0.51352
	28		0	3036.85	2277.63	1518.42	759.21	352.29	103.07	103.00	0.000322	0.611484
	56		0	3133.71	2350.29	1566.86	783.43	351.93	102.07	102.50	0.000328	0.64275

En la tabla 79 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 210 kg/cm².

Con esto se hace los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón con fibra de palama africana al 1% aplicado el agua hervida.

Tabla 5. 17 Carga de fracturación de viguetas con fibra 0.5% aplicado Agua Hervida con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion,mm	0.00	0.20
0.5% fc240 T2	14	CARGA INICIAL,N	0.00	15913
	28		0.00	19308
	56		0.00	21777

La tabla 5.18 muestra los valores de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la vigueta en esta deflexión se produce la fracturación de la vigueta con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas de hormigón simple con una adición de fibra del 0.5% y tratamiento químico con agua hervida. Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 240 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

Tabla 5. 18 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 0.5% aplicado el agua hervida con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga viga Fisurada							DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS		
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS
0.5%fc240 T2	14	CARGA (N)	0	2546.15	1909.61	1273.07	636.54	351.50	102.07	102.64	0.000327	0.520149
	28		0	3089.23	2316.92	1544.61	772.31	351.79	103.07	101.57	0.000331	0.638744
	56		0	3484.34	2613.25	1742.17	871.08	354.57	105.43	104.71	0.000307	0.667934

En la tabla 81 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 210 kg/cm².

Con esto se hace los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el agua hervida.

Tabla 5. 19 Carga de fracturación de viguetas con fibra 1% aplicado Agua Hervida con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga de fracturación				
DESCRIPCION	DIAS	Deflexion,mm	0.00	0.20
1% fc240 T2	14	CARGA INICIAL,N	0.00	16350
	28		0.00	21084
	56		0.00	23352

La tabla 5.19 muestra los resultados de la carga inicial a los 20mm de deflexión de la vigueta en esta deflexión se produce la fracturación de la vigueta con lo cual es el indicativo para dar inicio al ensayo de resistencia residual de las viguetas de hormigón simple con una adición de fibra del 1% y tratamiento químico con agua hervida. Como indica la tabla las viguetas tienen una resistencia de $f'c$ 240 kg/cm² en edades de los 14, 28 y 56 días.

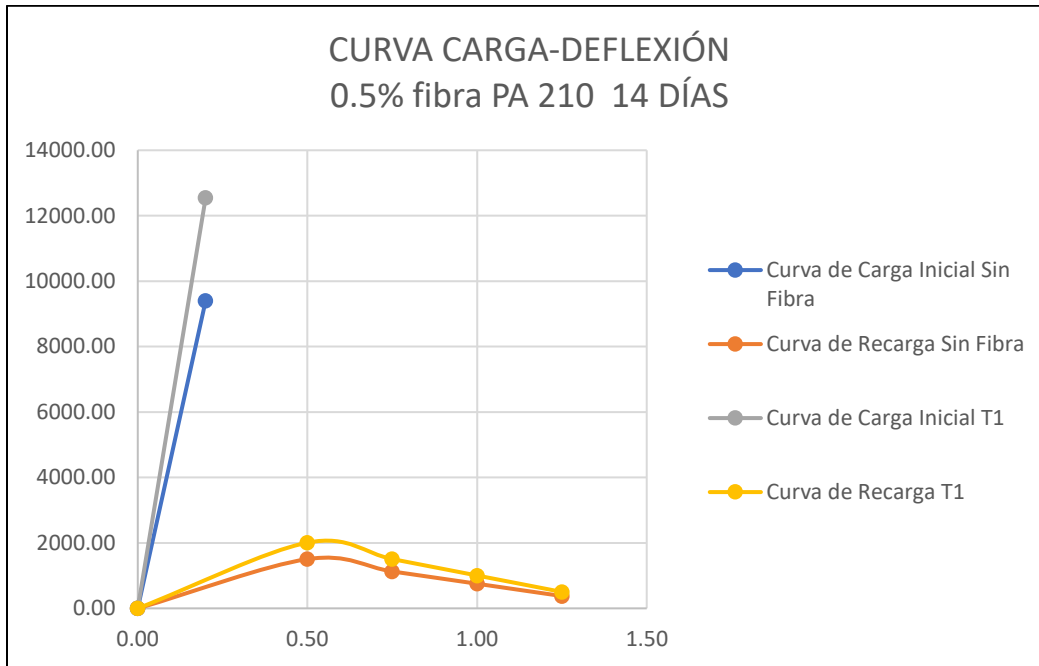
Tabla 5. 20 Resistencia a la flexión de viguetas con fibra al 1% aplicado el agua hervida con $f'c$ 240 kg/cm²

Carga viga fisurada								DIMENSIONES (mm)			RESULTADOS	
DESCRIPCION	Dias	Deflexion(mm)	0	0.5	0.75	1	1.25	L	b	d	K	ARS
1%fc240 T2	14	CARGA (N)	0	2616.07	1962.05	1308.03	654.02	352.21	103.14	102.14	0.000327	0.535157
	28		0	3373.37	2530.03	1686.69	843.34	352.93	103.07	103.07	0.000322	0.679542
	56		0	3736.27	2802.21	1868.14	934.07	354.43	102.14	102.21	0.000332	0.775562

En la tabla 83 se puede visualizar cada una de las cargas para las distintas deflexiones las cuales van de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, las mismas a las que son sometidas las viguetas fisuradas, también la tabla indica las dimensiones de estas las cuales tienen una resistencia $f'c$ 240 kg/cm².

Con esto se hace los cálculos y se obtiene la resistencia residual promedio (ARS), de las viguetas a las diferentes edades 14, 28 y 56 días respectivamente. Recalcando que este es hormigón con fibra de palama africana al 1% aplicado el agua hervida.

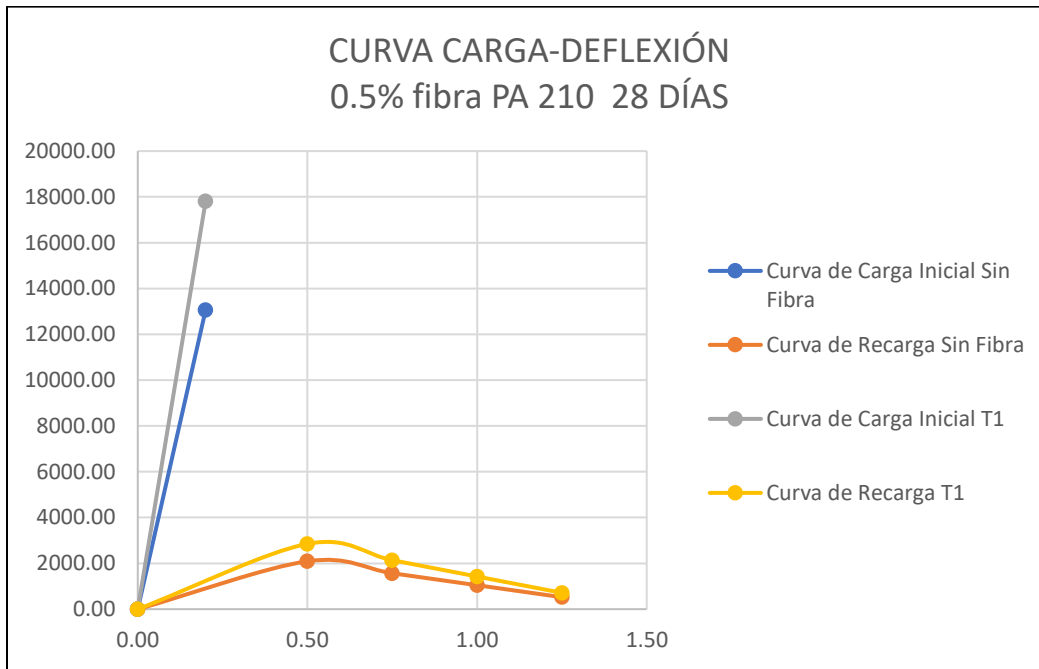
5.1.1.4. Curvas de Carga – Deflexión SF vs SC al 0.5%, con un $f'c$ 210 kg/cm²



Grafica 5. 1 Comparación de flexión a los 14 días sin fibra y tratamiento

En la gráfica 5.1 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm² con a los 14 días de ensayo.

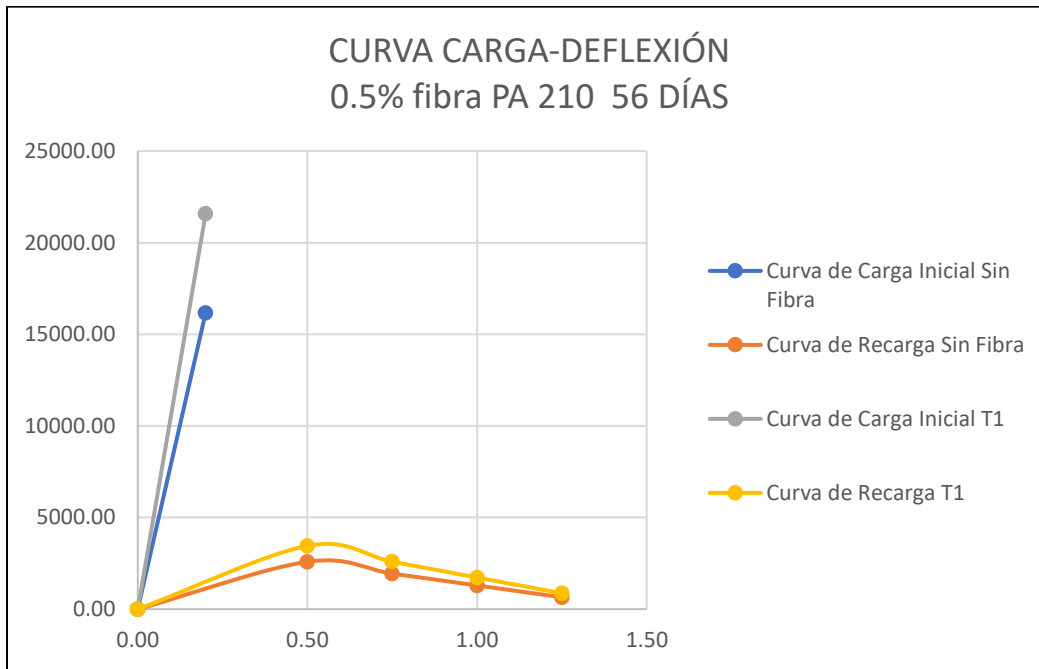
Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.



Grafica 5. 2 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 1

En la gráfica 5.2 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm^2 con a los 28 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

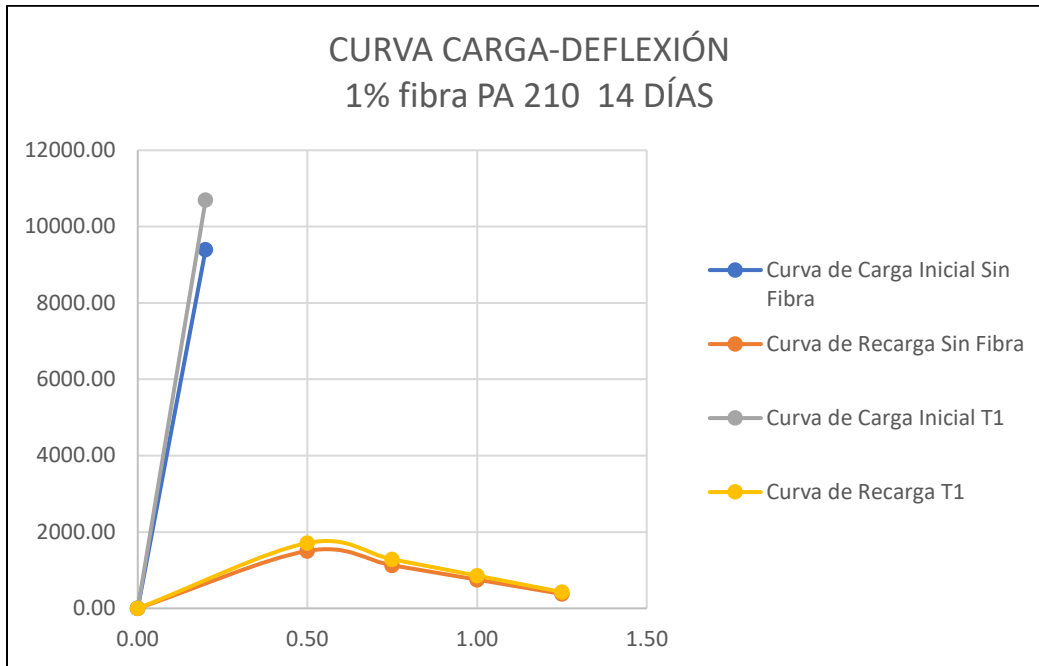


Grafica 5. 3 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 1

En la gráfica 5.3 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm^2 con a los 56 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

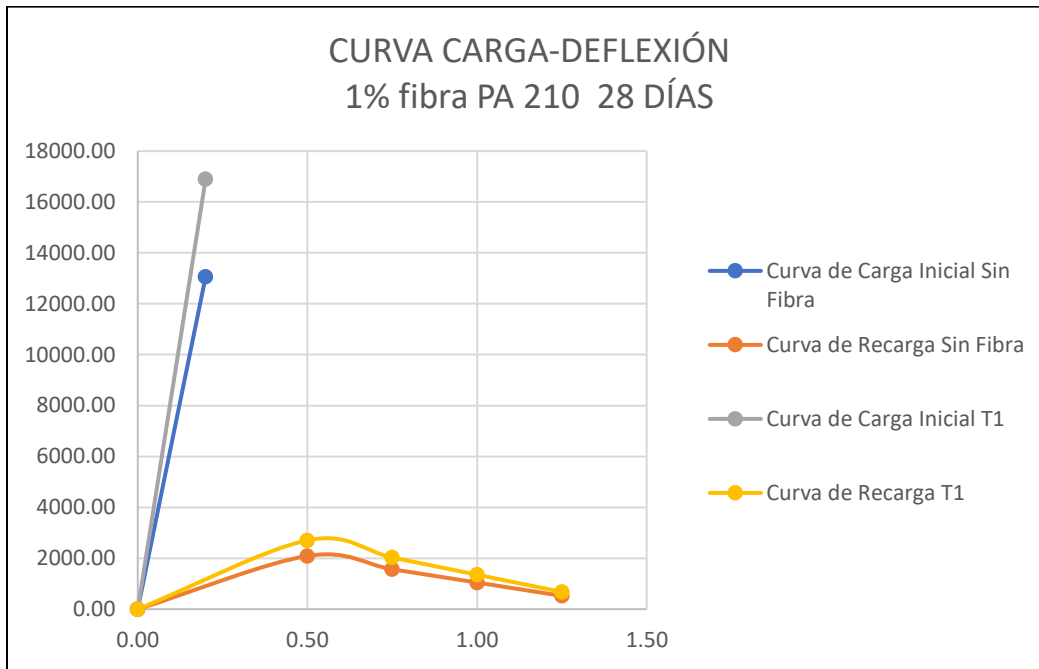
5.1.1.5. Curvas de Carga – Deflexión SF vs SC al 1%, con un $f'c$ 210 kg/cm²



Grafica 5. 4 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 1

En la gráfica 5.4 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm² con a los 28 días de ensayo.

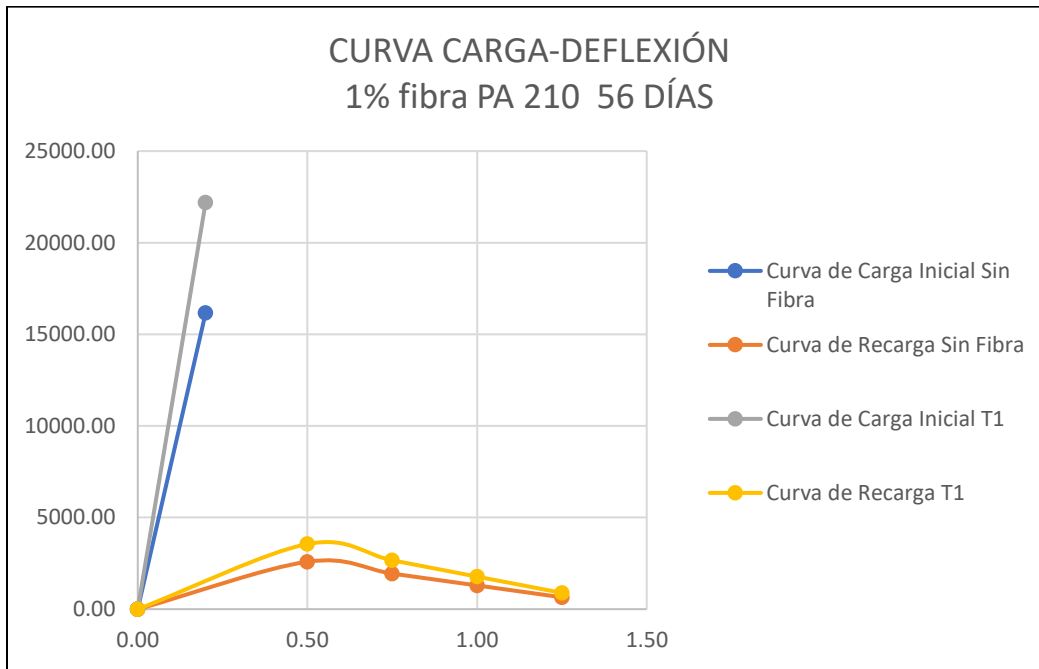
Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.



Grafica 5. 5 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 1

En la gráfica 5.5 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

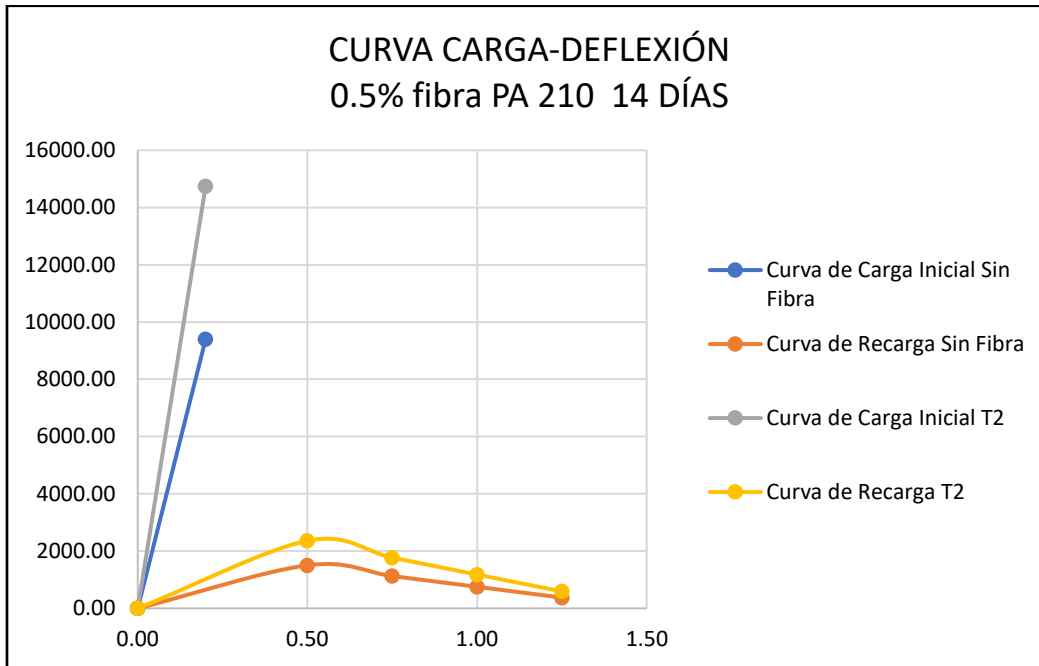


Grafica 5. 6 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 1

En la gráfica 5.6 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm^2 a los 57 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

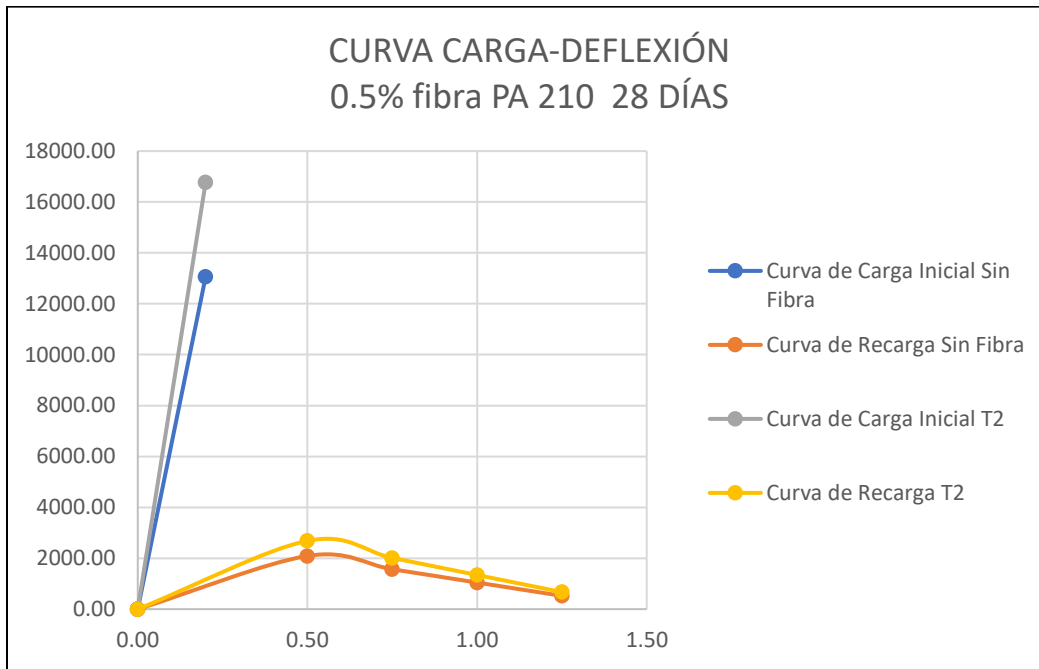
5.1.1.6. Curvas de Carga – Deflexión SF vs AH al 0.5%, con un $f'c$ 210 kg/cm²



Grafica 5. 7 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.7 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm² con a los 14 días de ensayo.

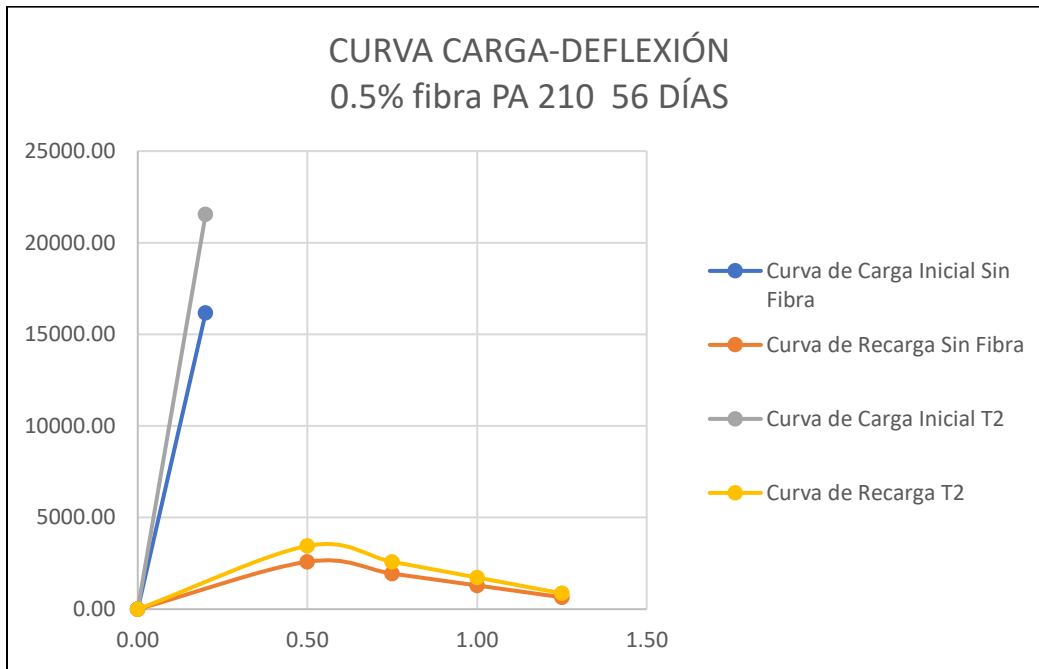
Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.



Grafica 5. 8 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.8 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm^2 a los 28 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

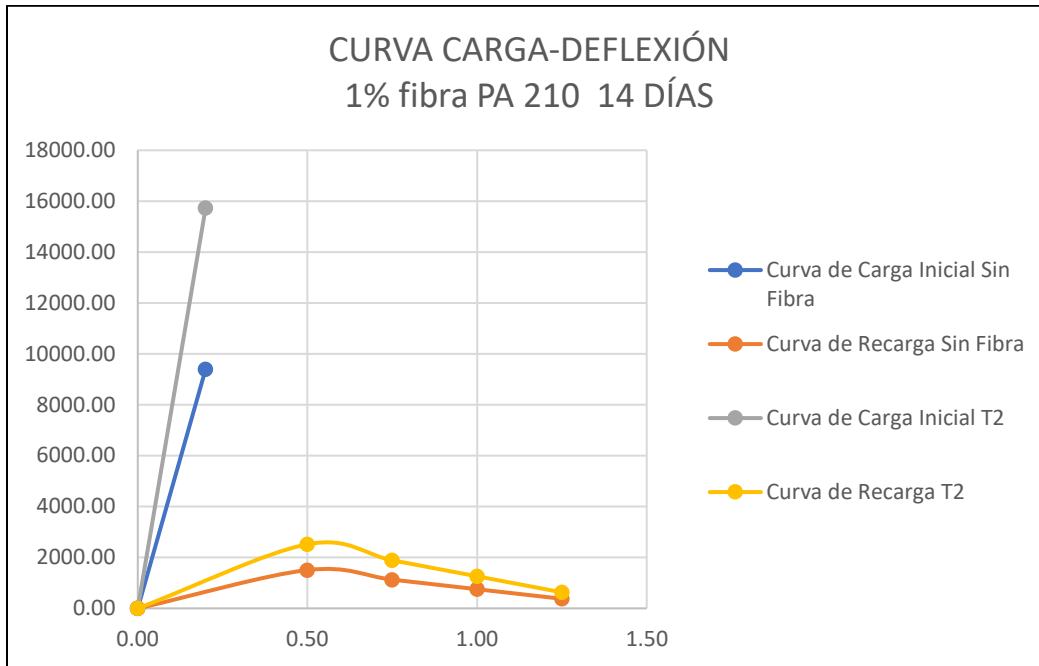


Grafica 5. 9 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.9 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm^2 con a los 56 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

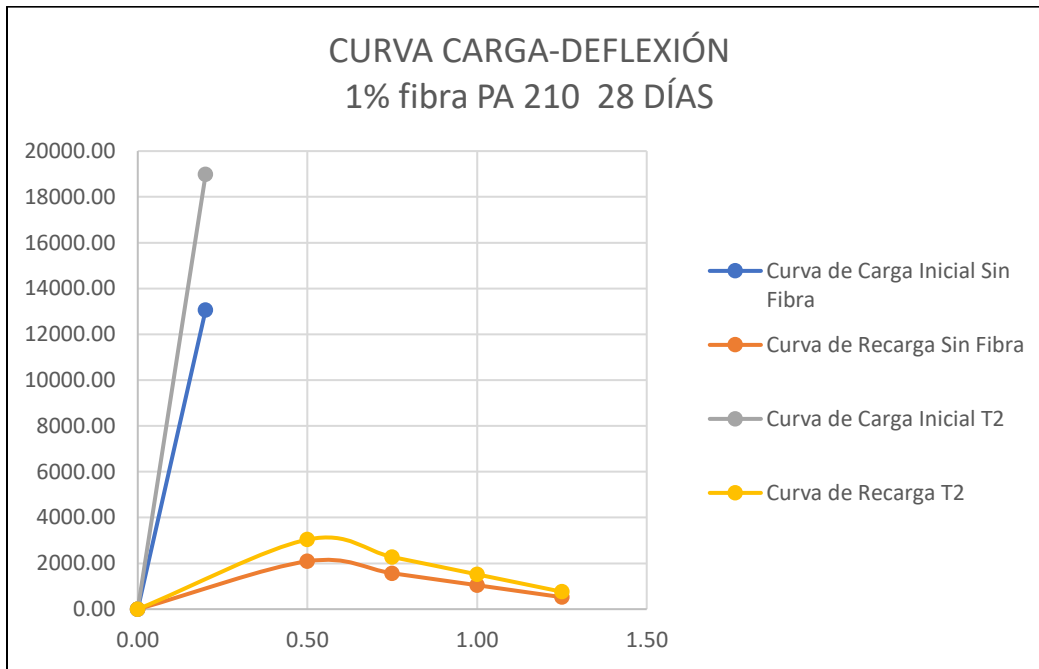
5.1.1.7. Curvas de Carga – Deflexión SF vs AH al 1%, con un $f'c$ 210 kg/cm²



Grafica 5. 10 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.10 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm² con a los 14 días de ensayo.

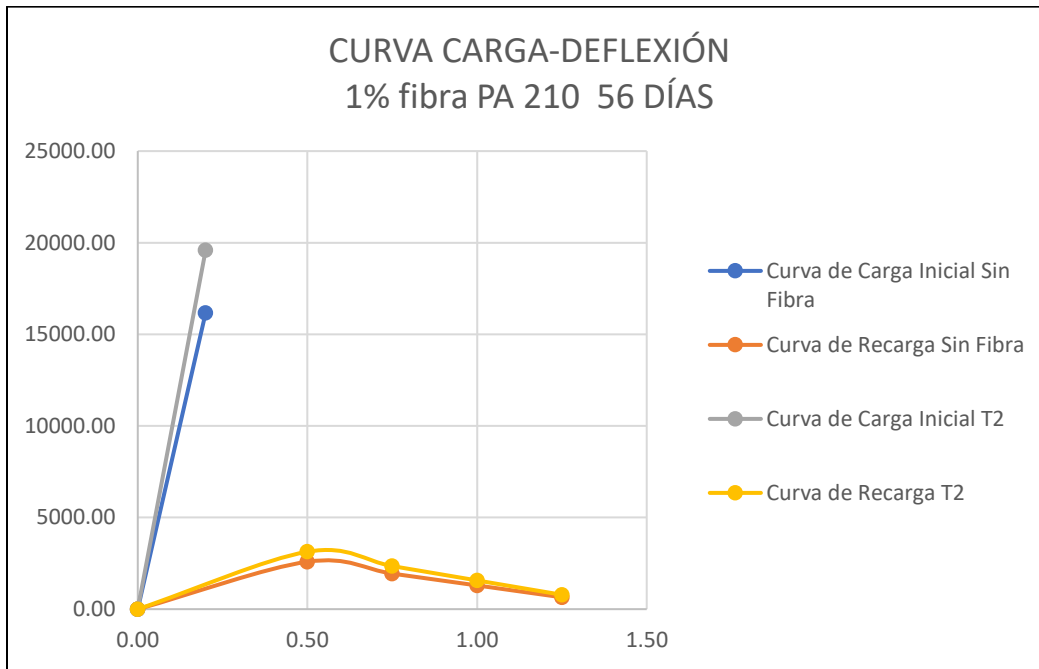
Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.



Grafica 5. 11 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.11 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm^2 a los 28 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

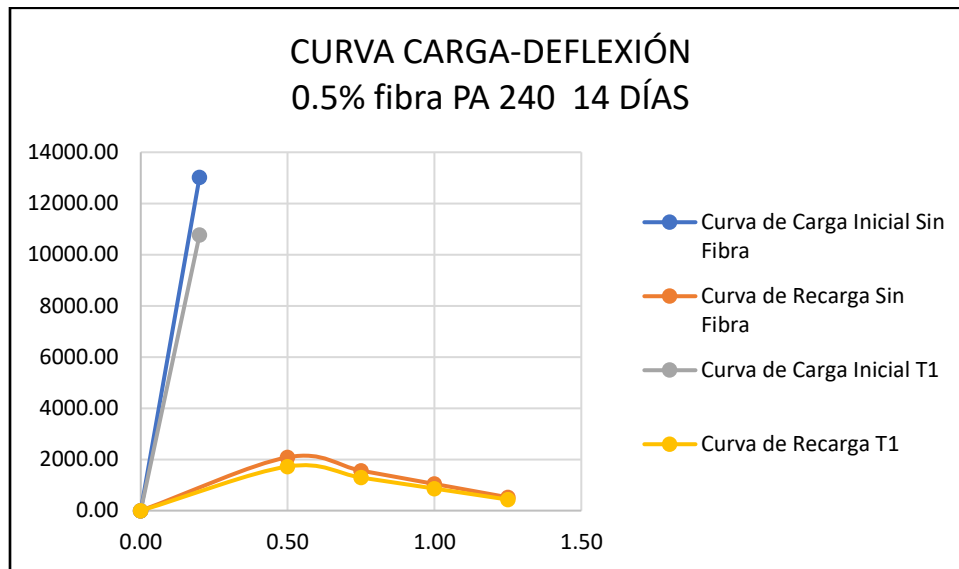


Grafica 5. 12 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.12 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 210 kg/cm² a los 56 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

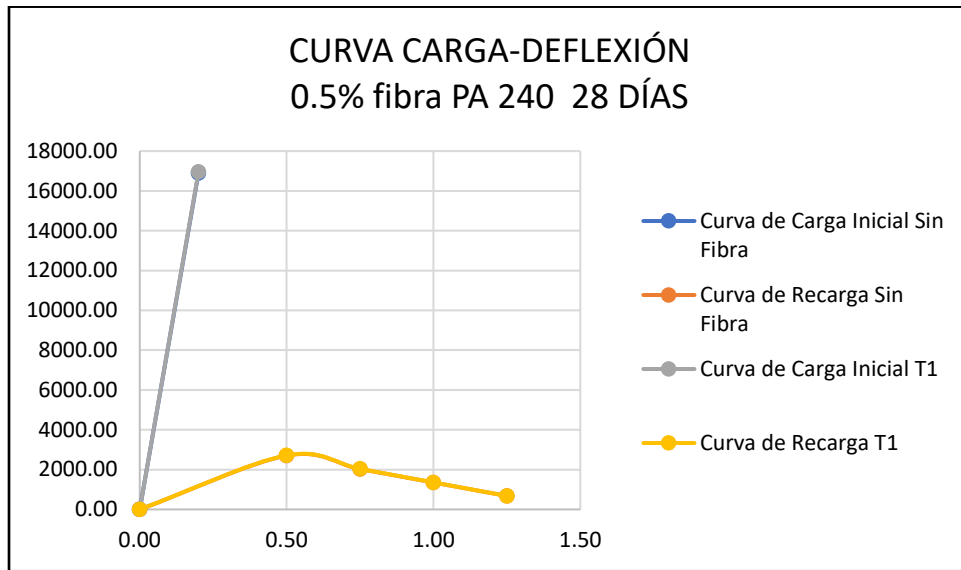
5.1.1.8. Curvas de Carga – Deflexión SF vs PA al 0.5%, con $f'c$ 240 kg/cm²



Grafica 5. 13 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 1

En la figura 38 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 14 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor sin el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras sin fibra es mayor con relación a las muestras con fibra pero esto se puede deber a que la fibra pudo estar más húmeda evitando que el fraguado sea de la misma velocidad por lo que tuvo una resistencia menor.

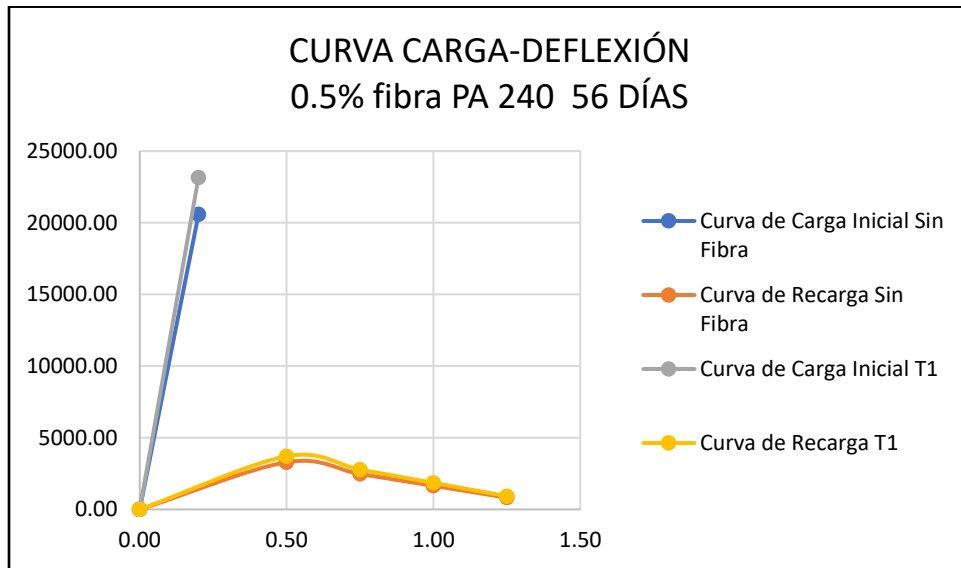


Grafica 5. 14 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 1

En la gráfica 5.14 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

Se puede observar que las curvas de carga y recarga de la dosificación con o sin fibra prácticamente se sobreponen es decir no hubo un gran cambio al añadir la fibra al 0.5%, aunque si se habla de los valores se puede observar que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

La fibra comenzó a realizar efecto en la dosificación y ay supera la resistencia del hormigón sin fibra.



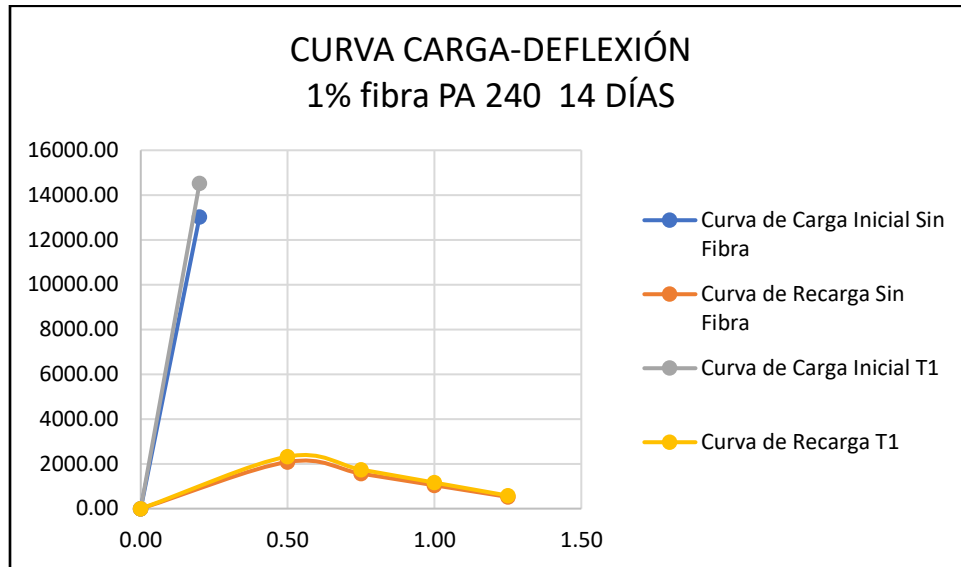
Grafica 5. 15 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 1

En la gráfica 5.15 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 56 días de ensayo.

Se puede observar que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

La fibra comenzó a realizar efecto en la dosificación y ya supera la resistencia del hormigón sin fibra, y ya muestra claramente como la dosificación con fibra refuerza considerablemente la resistencia del hormigón simple.

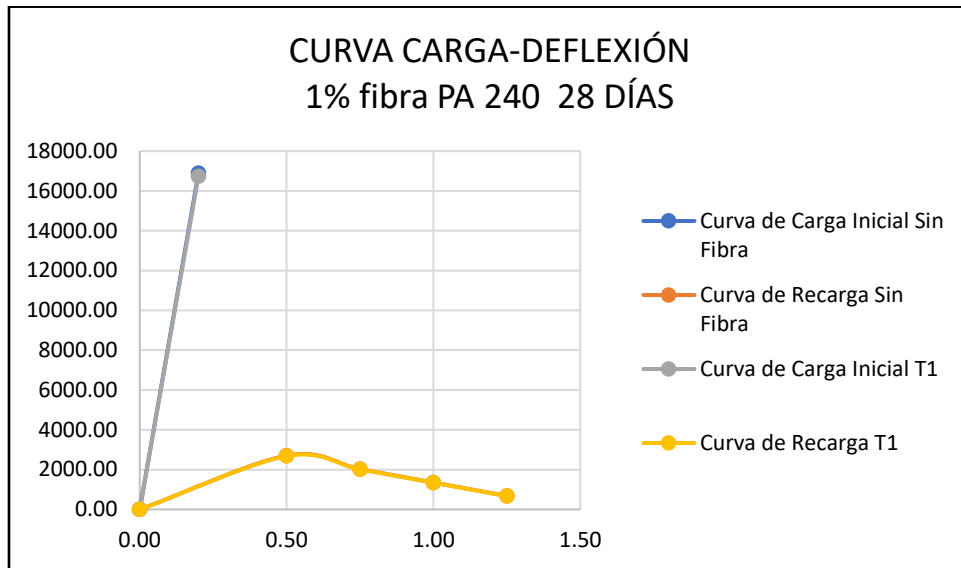
5.1.1.9. Curvas de Carga – Deflexión SF vs PA al 1%, con $f'c$ 240 kg/cm²



Grafica 5. 16 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 1

En la figura 41 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² con una edad de ensayo de 14 días.

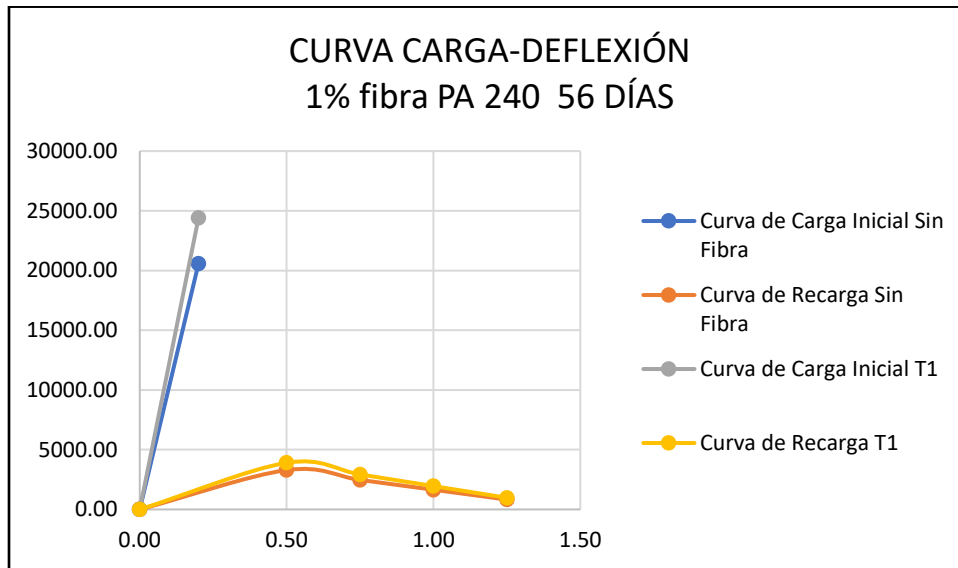
Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.



Grafica 5. 17 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 1

En la gráfica 5.17 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

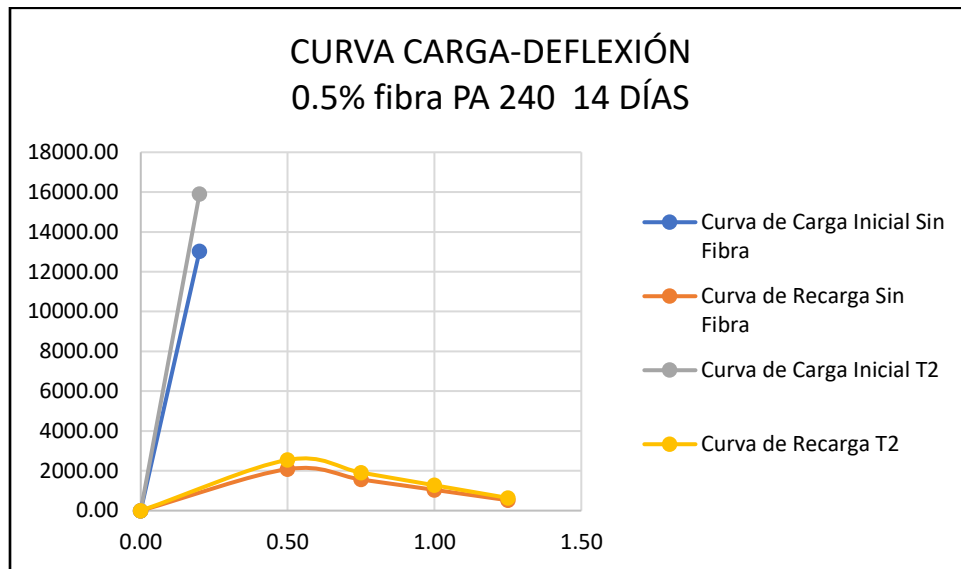


Grafica 5. 18 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 1

En la gráfica 5.18 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 56 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

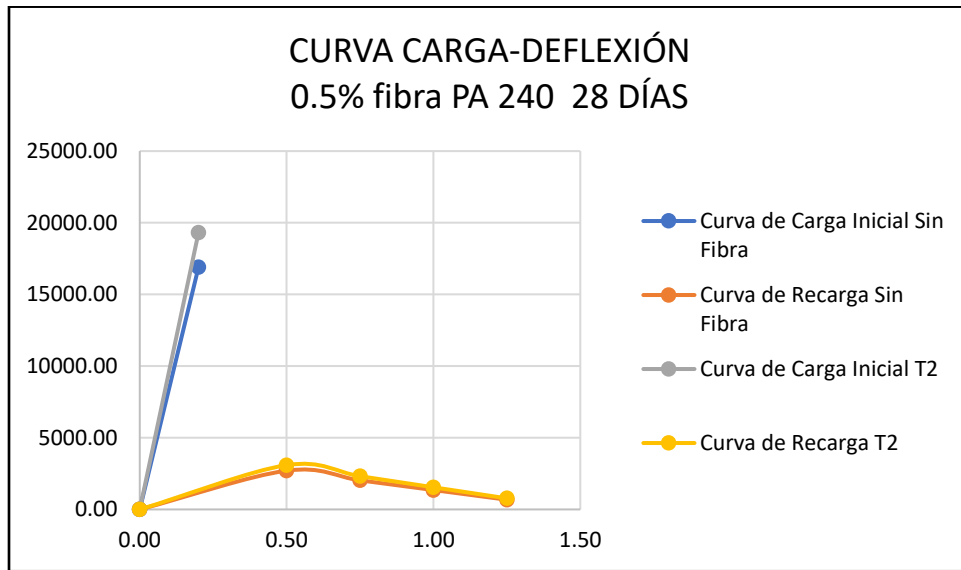
5.1.1.10. Curvas de Carga – Deflexión SF vs AH al 0.5%, con $f'c$ 240 kg/cm²



Grafica 5. 19 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.19 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 14 días de ensayo.

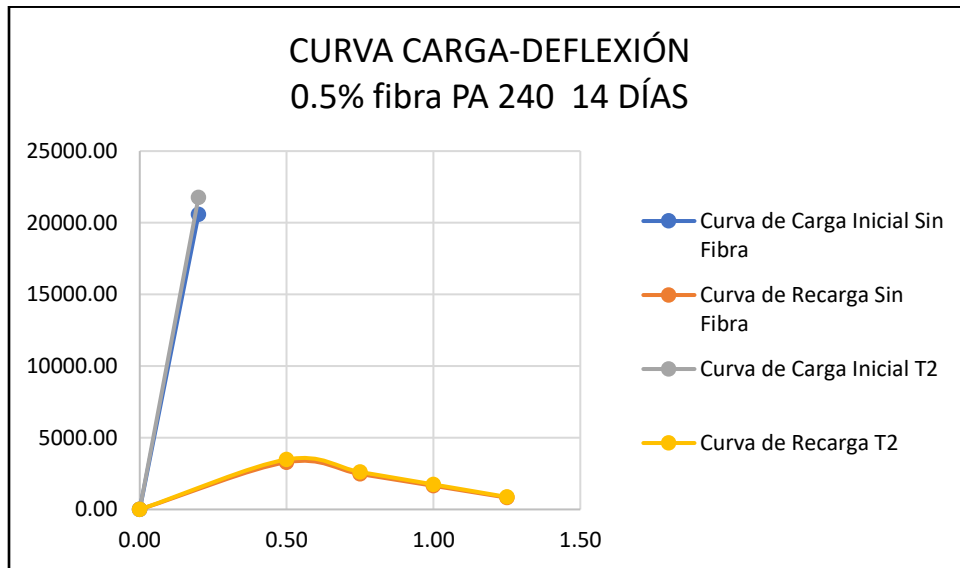
Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.



Grafica 5. 20 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.20 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

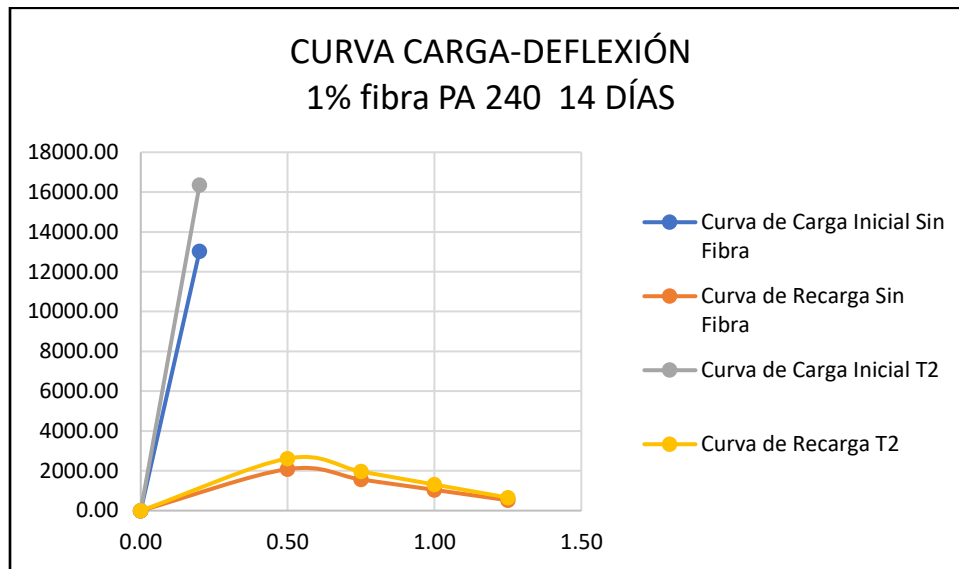


Grafica 5. 21 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.21 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 56 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 0.5% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

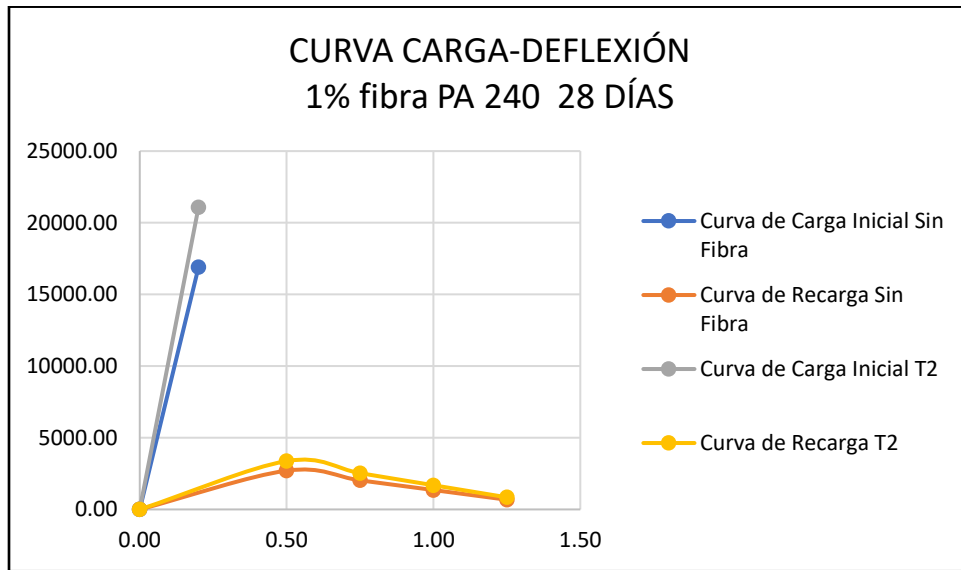
5.1.1.11. Curvas de Carga – Deflexión SF vs PA al 1%, con $f'c$ 240 kg/cm²



Grafica 5. 22 Comparación de deflexión a los 14 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.22 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 14 días de ensayo.

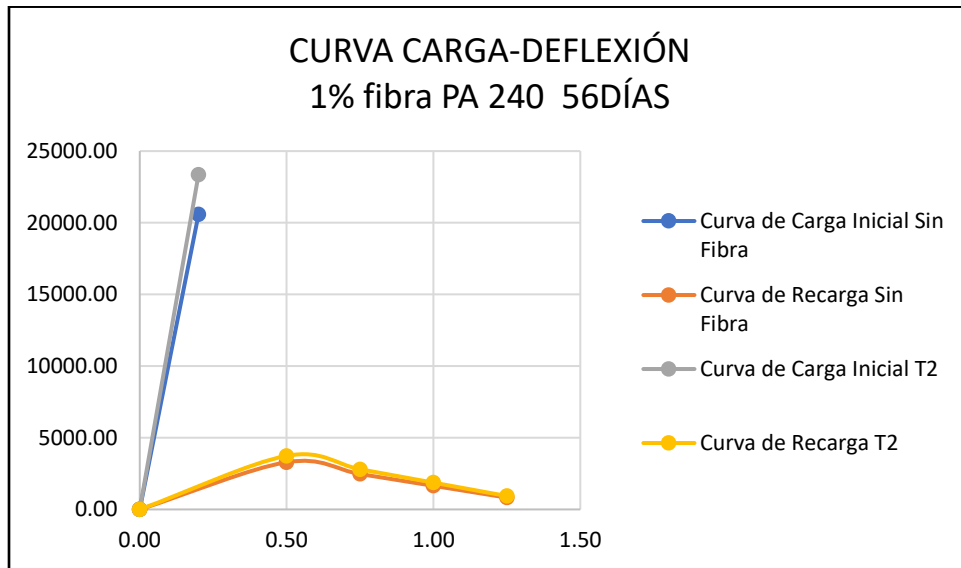
Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.



Grafica 5. 23 Comparación de deflexión a los 28 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.23 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

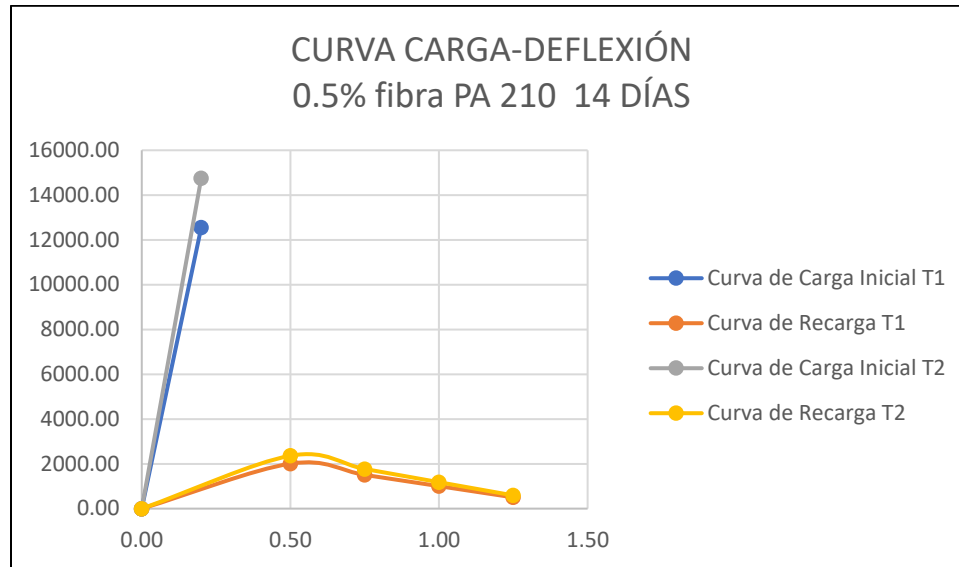


Grafica 5. 24 Comparación de deflexión a los 56 días sin fibra y tratamiento 2

En la gráfica 5.24 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que se comparan en esta gráfica con los resultados obtenidos de las viguetas con hormigón simple sin fibra con un $f'c$ 240 kg/cm² a los 56 días de ensayo.

Se observa que la resistencia inicial a la fisura es mayor con el 1% de fibra añadida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra es mayor con relación a las muestras sin fibra.

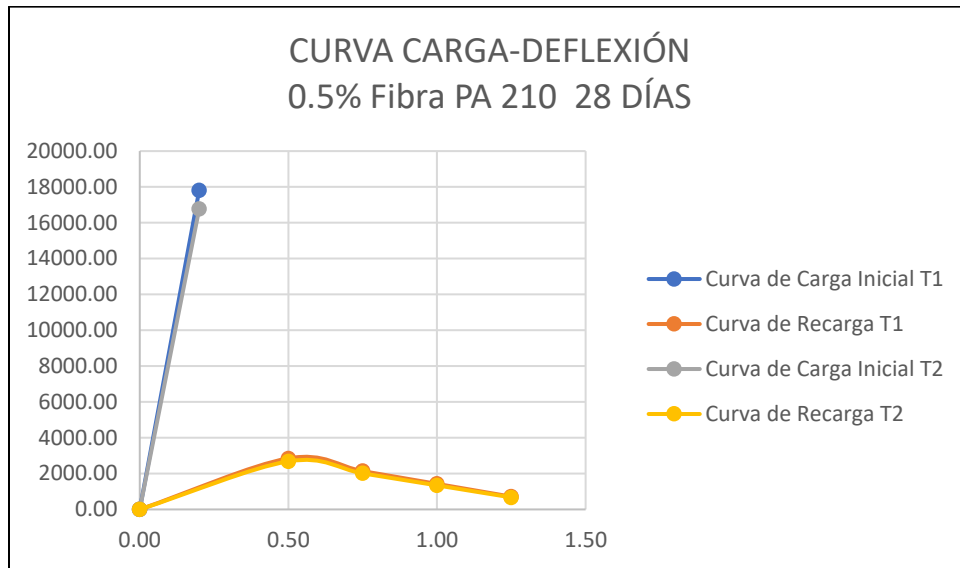
5.1.1.12. Curvas de Carga – Deflexión PA vs AH al 0.5%, con $f'c$ 210 kg/cm²



Grafica 5. 25 Comparación de deflexión a los 14 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la gráfica 5.25 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 210 kg/cm² a los 14 días de ensayo.

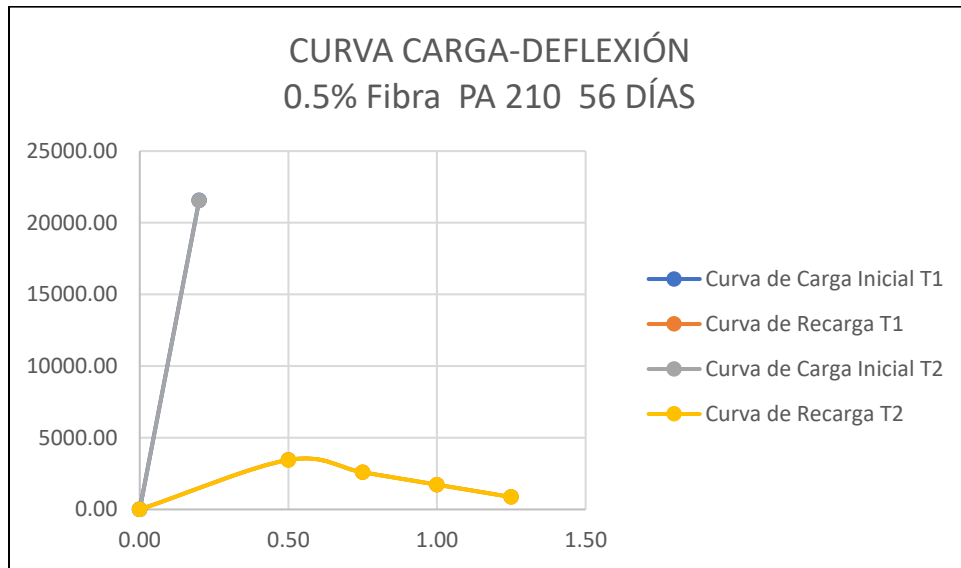
La resistencia inicial a la fisura es mayor del hormigón con adición de fibra que fue tratada con él agua hervida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra con agua hervida resulta ser mayor que las tratadas con hidróxido de sodio.



Grafica 5. 26 Comparación de deflexión a los 28 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la gráfica 5.26 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 210 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

La resistencia inicial a la fisura es mayor del hormigón con adición de fibra que fue tratada con él agua hervida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra con agua hervida resulta ser mayor que las tratadas con hidróxido de sodio.

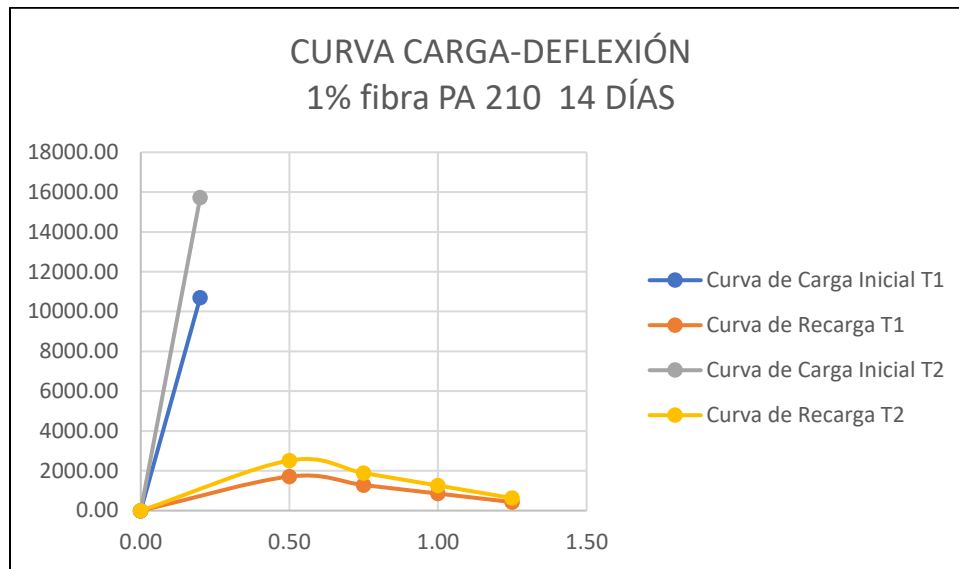


Grafica 5. 27 Comparación de deflexión a los 56 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la figura 5.27 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 210 kg/cm² a los 56 días de ensayo.

La resistencia a la flexión y la resistencia inicial a la fisura de las muestras para los dos tratamientos a los 56 días prácticamente son iguales es decir que a pesar que la fibra con agua hervida tenía una mayor resistencia a los 14 y 28 días, la fibra con hidróxido de sodio alcanzó prácticamente la misma resistencia a los 56 días.

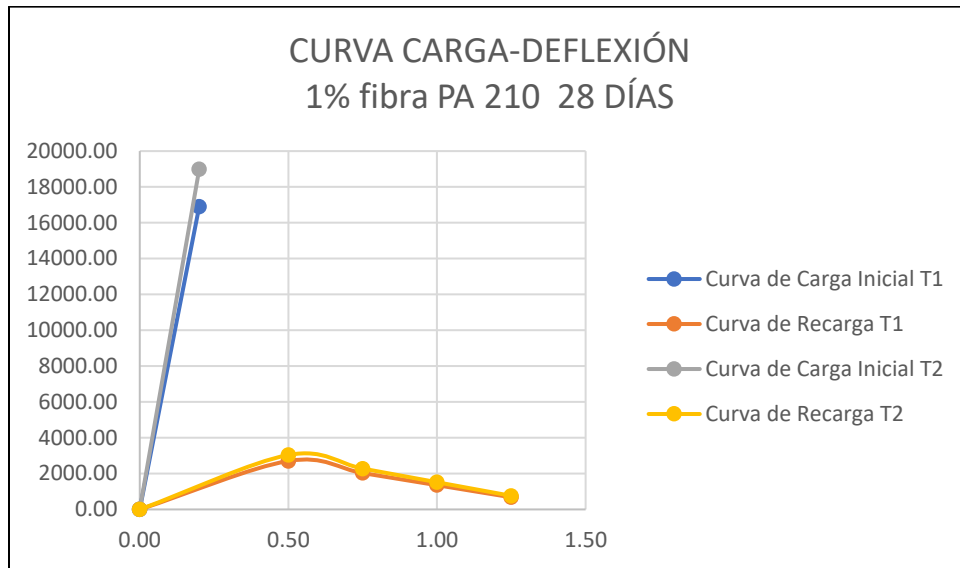
5.1.1.13. Curvas de Carga – Deflexión PA vs AH al 1%, con $f'c$ 210 kg/cm²



Grafica 5. 28 Comparación de deflexión a los 14 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la gráfica 5.28 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 210 kg/cm² a los 14 días de ensayo.

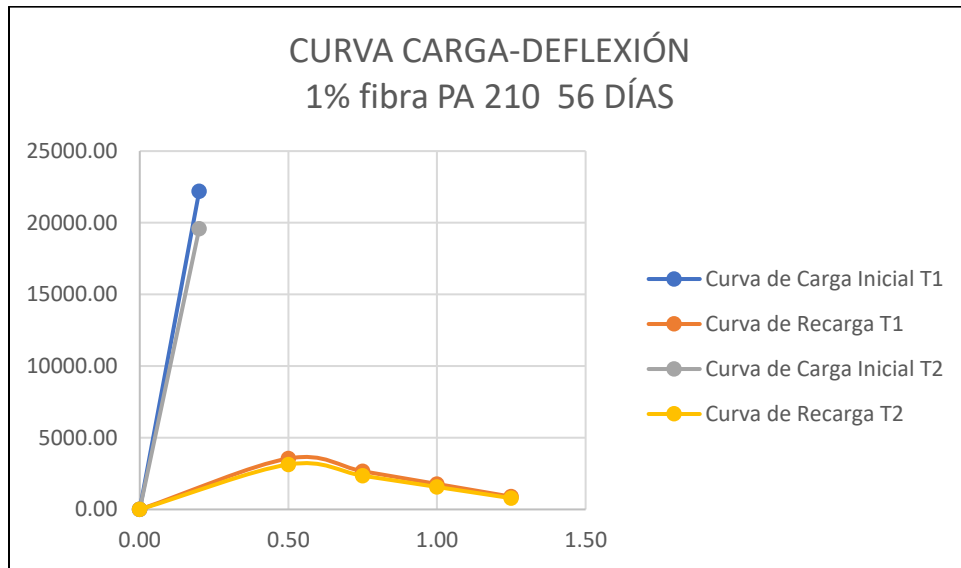
Se visualiza la resistencia inicial a la fisura es mayor del hormigón con adición de fibra que fue tratada con él agua hervida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra con agua hervida resulta ser mayor que las tratadas con hidróxido de sodio.



Grafica 5. 29 Comparación de deflexión a los 28 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la gráfica 5.29 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 210 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

La resistencia inicial a la fisura es mayor del hormigón con adición de fibra que fue tratada con él agua hervida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra con agua hervida resulta ser mayor que las tratadas con hidróxido de sodio.

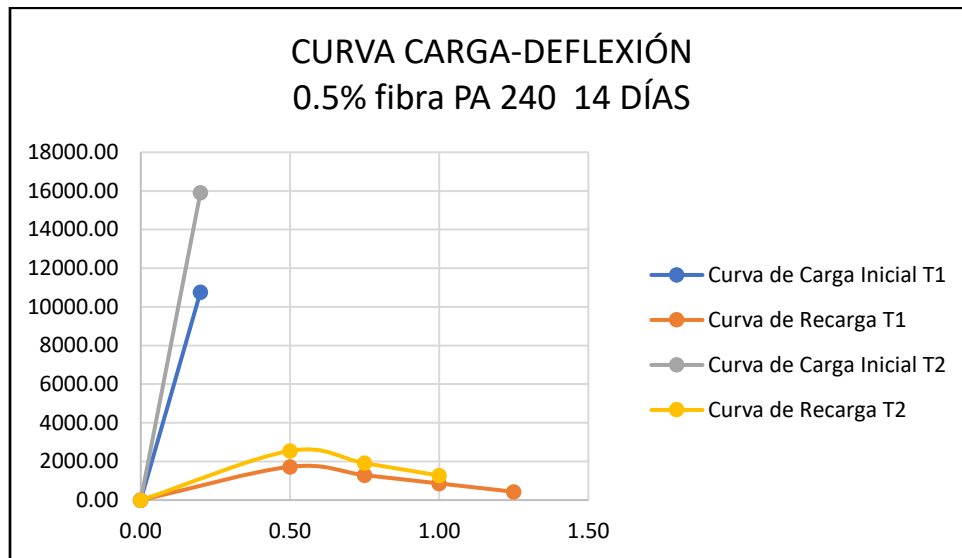


Grafica 5. 30 Comparación de deflexión a los 56 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la gráfica 5.30 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 210 kg/cm^2 a los 56 días de ensayo.

La resistencia a la flexión y la resistencia inicial a la fisura de las muestras con el tratamiento del hidróxido de sodio a los 56 días supero a la resistencia del hormigón con la fibra con agua hervida la misma que tenía una mayor resistencia a los 14 y 28 días, la fibra con hidróxido de sodio no solo alcanzo resistencia si no que la superó a los 56 días.

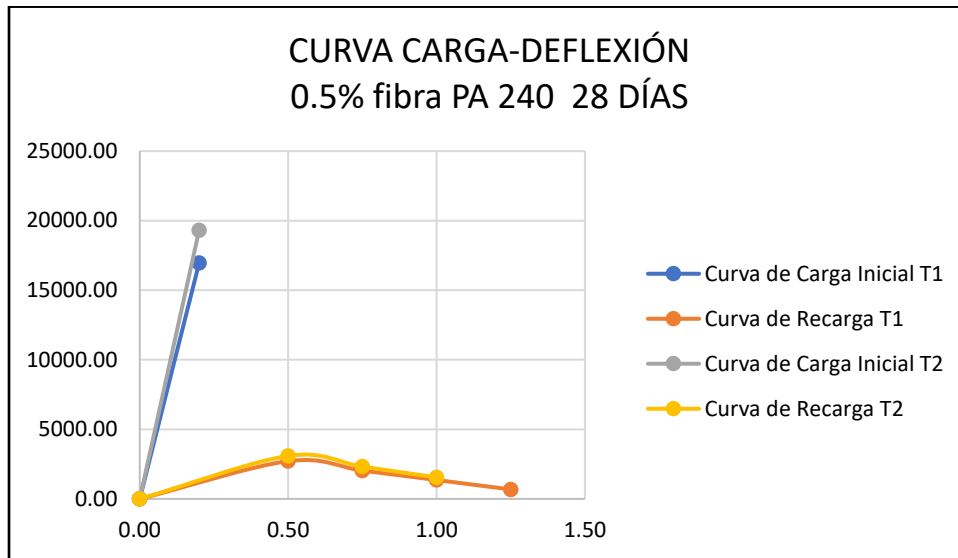
5.1.1.14. Curvas de Carga – Deflexión PA vs AH al 0.5%, con $f'c$ 240 kg/cm²



Gráfica 5. 31 Comparación de deflexión a los 14 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la gráfica 5.31 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 240 kg/cm² con una edad de ensayo de 14 días.

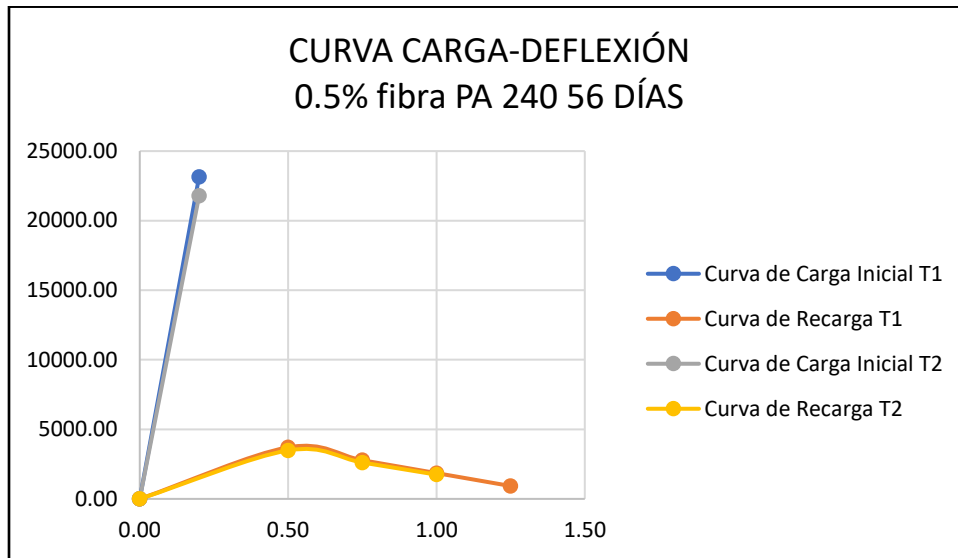
Se visualiza que la resistencia inicial a la fisura es mayor del hormigón con adición de fibra que fue tratada con el agua hervida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra con agua hervida resulta ser mayor que las tratadas con hidróxido de sodio.



Grafica 5. 32 Comparación de deflexión a los 28 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la figura 57 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 240 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

Se visualiza la resistencia inicial a la fisura es mayor del hormigón con adición de fibra que fue tratada con él agua hervida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra con agua hervida resulta ser mayor que las tratadas con hidróxido de sodio.

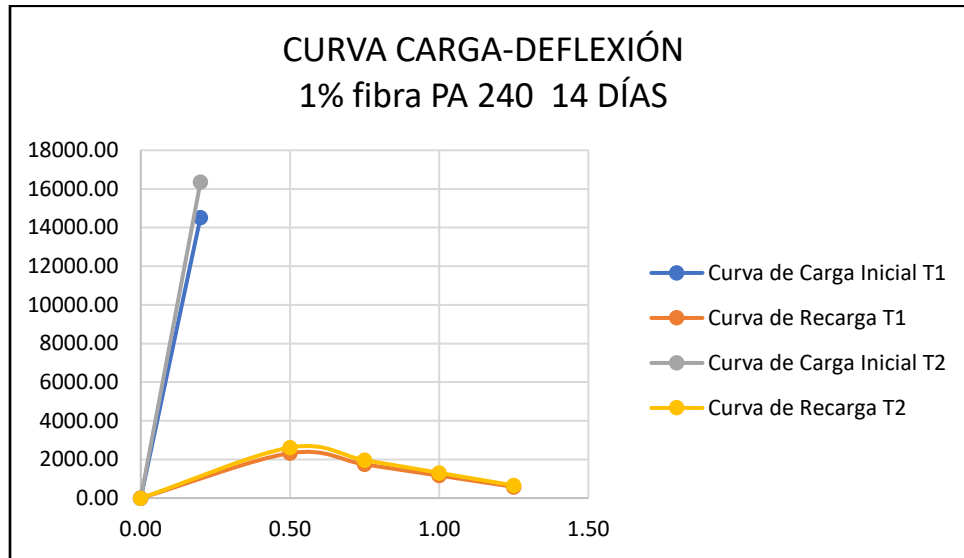


Grafica 5. 33 Comparación de deflexión a los 56 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la figura 5.33 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 0.5% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 240 kg/cm² a los 56 días de ensayo.

La resistencia a la flexión y la resistencia inicial a la fisura de las muestras con el tratamiento del Hidróxido de Sodio a los 56 días supero a la resistencia del hormigón con la fibra con Agua Hervida la misma que tenía una mayor resistencia a los 14 y 28 días, la fibra con agua hervida no solo alcanzó resistencia si no que la superó a los 56 días.

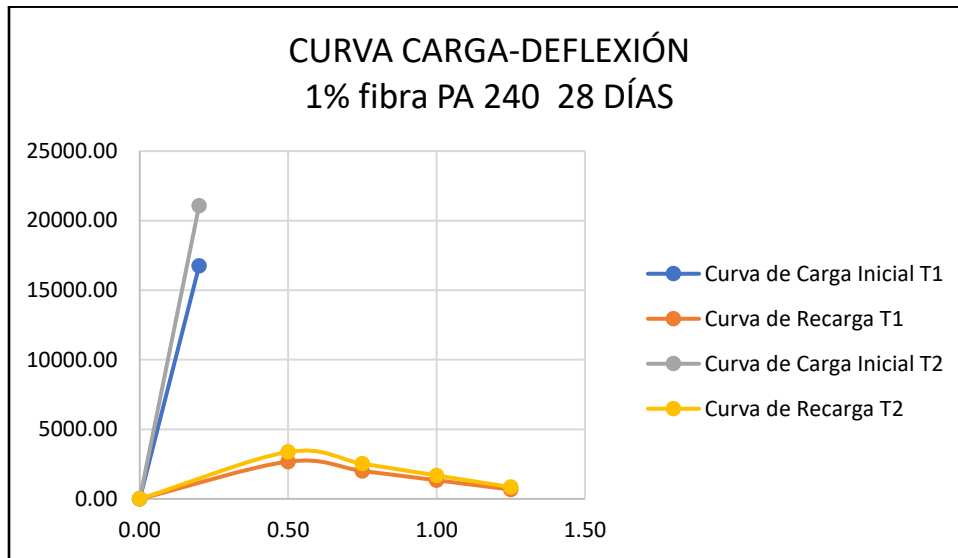
5.1.1.15. Curvas de Carga – Deflexión PA vs AH al 1%, con $f'c$ 240 kg/cm²



Grafica 5. 34 Comparación de deflexión a los 14 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la figura 5.34 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 240 kg/cm² a los 14 días de ensayo.

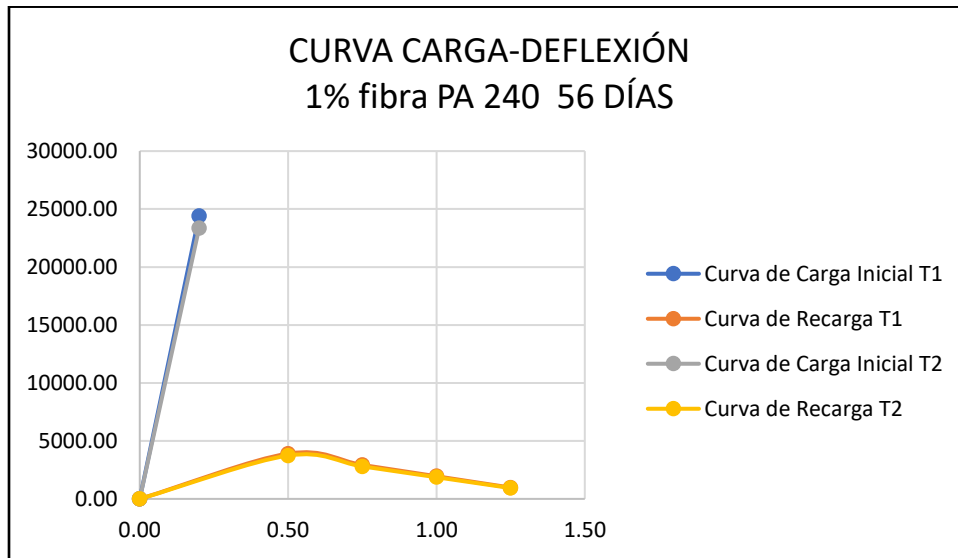
La resistencia inicial a la fisura es mayor del hormigón con adición de fibra que fue tratada con él agua hervida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra con agua hervida resulta ser mayor que las tratadas con hidróxido de sodio.



Grafica 5. 35 Comparación de deflexión a los 28 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la figura 5.35 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 240 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

Se visualiza que la resistencia inicial a la fisura es mayor en el hormigón con adición de fibra que fue tratada con él agua hervida al igual que la resistencia a la flexión. La carga y sobre carga que soporta las muestras con fibra con agua hervida resulta ser mayor que las tratadas con hidróxido de sodio.



Grafica 5. 36 Comparación de deflexión a los 56 días tratamiento 1 y tratamiento 2

En la figura 5.36 se visualiza las curvas de carga deflexión, las cuales fueron realizadas con los datos obtenidos del cálculo de la carga residual media de las viguetas que tienen un porcentaje del 1% de fibra de palma africana las curvas que se observan en la figura son con cada tratamiento, con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida, los mismos que tienen un $f'c$ 240 kg/cm² con una edad de ensayo de 28 días.

Se observa que en consecuencia la resistencia a la flexión y la resistencia inicial a la fisura de las muestras para el tratamiento del Hidróxido de Sodio a los 56 días supero a la resistencia del hormigón con la fibra con Agua Hervida la misma que tenía una mayor resistencia a los 14 y 28 días, la fibra con agua hervida no solo alcanzó resistencia si no que la superó a los 56 días.

5.1.2. Análisis de resultados

Expuesto los resultados, tanto en tablas como en gráficas se puede obtener la resistencia residual promedio con la misma que se puede realizar el porcentaje de mejora que provoco las fibras y con sus distintos tratamientos. Los mismos que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 5. 21 Resumen de la resistencia residual promedio de las viguetas a los 56 días

Especificación	Edad (Días)	Resistencia residual promedio ARS (Mpa)	% de Mejoramiento
210 SF	56	0.5395	
240 SF	56	0.6773	
210 - 0.5% PA - T1	56	0.7172	32.9489%
210 - 1.0 % PA - T1	56	0.7286	35.0553%
240 - 0.5 % PA - T1	56	0.7451	25.5403%
240 - 1.0 % PA - T1	56	0.7988	17.9475%
210 - 0.5% PA - T2	56	0.6875	27.4319%
210 - 1.0 % PA - T2	56	0.6427	19.1450%
240 - 0.5 % PA - T2	56	0.6817	0.6569%
240 - 1.0 % PA - T2	56	0.7756	14.5162%

Se observa en la tabla 5.21 se presenta los porcentajes de mejora que ha proporcionado la fibra al hormigón simple, se puede deducir que con los dos tratamientos se ha obtenido una mejora en la resistencia residual con respecto al hormigón realizado sin fibra de palama africana. Se puede observar que en la dosificación de hormigón con fibras al 1% con $f'c$ de 240 kg/cm² la mejora porcentual es muy imperceptible, esto se debe a que debido a las dimensiones de la misma tuvo ciertas variaciones lo cual provoca que la resistencia residual promedio sea ligeramente mayor. Pero se observa en las tablas de la carga que soportan estas viguetas son cargas que, si se consideran mayor a las que soportan las viguetas sin fibra tanto para los 14, 28 y 56 días.

Por el resto de las dosificaciones tanto para la resistencia $f'c$ 210 kg/cm² y $f'c$ 240 kg/cm² ya sea para la adición de fibras al 0.5% y al 1% se observa la clara tendencia de aumento en la resistencia residual.

Sin embargo, se observa que las dosificaciones con fibra tratada con el hidróxido de sodio (NaOH), ofrece mejores resultados en cuanto a la resistencia residual ya sea para el diseño de 210 kg/cm² y $f'c$ 240 kg/cm², aunque el agua hervida tiene resultados similares y en edades tempranas en la dosificación $f'c$ 240 kg/cm² como a los 14 y 28 presentaba una mejor resistencia a las cargas.

Las dosificaciones con mejores resultados viendo que dieron una mejora del 32.94% y 35.05 % son las que tenían un porcentaje del 0.5 y el 1 % respectivamente con una dosificación de $f'c$ 210 kg/cm² y las mismas que fueron tratadas con el Hidróxido de sodio. El resto de dosificaciones tuvieron un porcentaje de mejora similares entre sí.

5.2.MÓDULO DE ROTURA

5.2.1. Módulo de rotura teórico

Utilizando la ecuación 24 se puede obtener el módulo de rotura teórico para las resistencias especificadas en el presente trabajo de investigación.

$$f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación 5. 1}$$

$$f_r = 0.62 \cdot 2(1) \sqrt{21} = 2.84 \text{MPa}$$

$$f_r = 0.62 \cdot 2(1) \sqrt{24} = 3.04 \text{MPa}$$

5.2.2. Módulo de rotura viguetas

El módulo de rotura de las viguetas se obtiene por medio de los ensayos que se realizaron a los diferentes tipos de viguetas con sus respectivas especificaciones, por lo que el resultado que se obtiene será bastante dependiente de lo bien que se hagan los ensayos en sus diferentes etapas.

Es de importancia aclarar que para el módulo de rotura se presentó la fisura en el tercio medio del largo de las viguetas lo que con lleva a utilizar la ecuación 2.

5.2.2.1.Cálculo de módulo de rotura de viguetas sin fibra de coco

En la siguiente tabla 5.22 se muestra los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón sin fibra de palama africana con un f'_c 210 kg/cm², a los 14, 28 y 56 días

Tabla 5. 22 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 210 kg/cm² sin fibra

RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		SF	
TRATAMIENTO		-	% DE FIBRA		-	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	1063.20	108.38	35.10	10.30	10.10	3.62
2	10876.00	1108.66	35.10	10.20	10.10	3.67
3	10024.00	1021.81	35.10	10.20	10.20	3.32
4	10986.00	1119.88	35.10	10.10	10.20	3.67
5	10745.00	1095.31	35.20	10.20	10.20	3.56
6	11003.00	1121.61	35.20	10.20	10.10	3.72
7	11094.00	1130.89	35.10	10.30	10.10	3.71
RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		SF	
TRATAMIENTO		-	% DE FIBRA		-	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	13254.00	1351.07	35.10	10.20	10.10	4.47
2	12989.00	1324.06	35.20	10.20	10.20	4.31
3	12763.00	1301.02	35.00	10.10	10.10	4.34
4	12305.00	1254.33	35.20	10.30	10.10	4.12
5	13059.00	1331.19	35.10	10.20	10.20	4.32
6	13102.00	1335.58	35.20	10.30	10.30	4.22
7	13963.00	1423.34	35.30	10.30	10.20	4.60
RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		SF	
TRATAMIENTO		-	% DE FIBRA		-	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	16425.00	1674.31	35.10	10.30	10.10	5.49
2	16245.00	1655.96	35.10	10.20	10.10	5.48
3	16325.00	1664.12	35.10	10.20	10.20	5.40
4	15434.00	1573.29	35.10	10.10	10.20	5.16
5	15965.00	1627.42	35.20	10.20	10.20	5.30
6	16846.00	1717.23	35.20	10.20	10.10	5.70
7	15943.00	1625.18	35.10	10.30	10.10	5.33

En la siguiente tabla 5.23 se muestra los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón sin fibra de palama africana con un $f'c$ 210 kg/cm², a los 14, 28 y 56 días

Tabla 5. 23 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 240 kg/cm² sin fibra

RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		SF	
TRATAMIENTO		-	% DE FIBRA		-	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	11635.00	1186.03	35.10	10.20	10.20	3.85
2	12985.00	1323.65	35.20	10.10	10.20	4.35
3	12743.00	1298.98	35.20	10.10	10.20	4.27
4	13692.00	1395.72	35.20	10.10	10.20	4.59
5	13265.00	1352.19	35.10	10.10	10.10	4.52
6	13478.00	1373.90	35.30	10.20	10.10	4.57
7	13361.00	1361.98	35.10	10.30	10.10	4.46
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		SF	
TRATAMIENTO		-	% DE FIBRA		-	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	16234.00	1654.84	35.10	10.20	10.30	5.27
2	16463.00	1678.19	35.10	10.00	10.20	5.55
3	17456.00	1779.41	35.30	10.30	10.20	5.75
4	17654.00	1799.59	35.20	10.30	10.10	5.91
5	16059.00	1637.00	35.30	10.10	10.00	5.61
6	15763.00	1606.83	35.00	10.10	10.30	5.15
7	15647.00	1595.01	35.20	10.20	10.20	5.19
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		SF	
TRATAMIENTO		-	% DE FIBRA		-	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	19465.00	1984.20	35.15	10.20	10.30	6.32
2	19863.00	2024.77	35.35	10.30	10.40	6.30
3	19876.00	2026.10	35.40	10.20	10.20	6.63
4	20130.00	2051.99	35.30	10.30	10.20	6.63
5	20478.00	2087.46	35.30	10.30	10.20	6.75

6	20346.00	2074.01	35.20	10.30	10.10	6.82
7	19978.00	2036.49	35.20	10.30	10.10	6.69

Elaborado por: Guilcatoma, M & Romero, R

5.2.2.2. Cálculo de módulo de rotura de viguetas con fibra de palma africana tratada con hidróxido de sodio (NaOH)

En la siguiente tabla 5.24 se muestra los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón con de palama africana con un $f'c$ 210 kg/cm², a los 14, 28 y 56 días, estas viguetas tienen una adición de fibra del 0.5% la cual es tratada con el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 24 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 210 kg/cm² con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el tratamiento 1

RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (Mpa)
1	13801.05	1406.83	35.2	10.4	10.3	4.40
2	15830.94	1613.76	35.1	10.2	10.4	5.04
3	12047.75	1228.11	35.1	10.4	10.1	3.99
4	11966.32	1219.81	35.2	10.5	10.3	3.78
5	9893.23	1008.48	35.2	10.3	10.1	3.31
6	11785.54	1201.38	35.45	10.2	10.1	4.02
7	12504.98	1274.72	35.25	10.3	10.2	4.11
RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (Mpa)
1	17852.8	1819.86	35.7	10.15	10	6.28
2	17025.09	1735.48	35.5	10.25	10.05	5.84
3	19339.2	1971.38	35.5	10.1	10.15	6.60
4	17825.3	1817.05	35.7	10.5	10.25	5.77
5	17328.4	1766.40	35.7	10.4	10.15	5.77
6	17900.4	1824.71	35.1	10.35	10.25	5.78
7	17398.8	1773.58	35.5	10.15	10.2	5.85

RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (Mpa)
1	21204.59	2161.53	35.4	10.3	10.35	6.80
2	22385.81	2281.94	35.25	10.4	10.4	7.02
3	20325.75	2071.94	35.4	10.1	10.15	6.92
4	21777.76	2219.96	35.5	10.35	10.1	7.32
5	20373.58	2076.82	35.4	10.1	9.95	7.21
6	22376.72	2281.01	35.15	10.3	10.15	7.41
7	22569.98	2300.71	35.2	10.35	10.1	7.52

En la siguiente tabla 5.25 se muestra los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón con de palama africana con un $f'c$ 210 kg/cm², a los 14, 28 y 56 días, estas viguetas tienen una adición de fibra del 1% la cual es tratada con el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 25 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 210 kg/cm² con fibra de palama africana al 1% aplicado el tratamiento 1

RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	10163.2	1036.00	35.2	10.4	10.3	3.24
2	10876	1108.66	35.1	10.2	10.4	3.46
3	10024	1021.81	35.1	10.4	10.1	3.32
4	10986	1119.88	35.2	10.5	10.3	3.47
5	10745	1095.31	35.2	10.3	10.1	3.60
6	11003	1121.61	35.4	10.3	10.1	3.71
7	11094	1130.89	35.2	10.3	10.1	3.72
RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)

1	15187	1548.11	35.5	10.4	10.5	4.70
2	16614	1693.58	35.2	10.1	10.2	5.57
3	15819	1612.54	35.5	10.1	10.1	5.45
4	16568	1688.89	35	10.4	10.2	5.36
5	16322	1663.81	35.3	10.25	10	5.62
6	19301	1967.48	35	10.1	10	6.69
7	18507	1886.54	35.2	10.2	10.5	5.79
RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	23508	2396.33	35	10.45	10.25	7.49
2	22358	2279.10	35.1	10.3	10.35	7.11
3	21325	2173.80	35.2	10.3	10.25	6.94
4	22373	2280.63	35.1	10.05	10	7.81
5	22485	2292.05	35.5	10.3	10.1	7.60
6	21358	2177.17	35.1	10.3	10.3	6.86
7	21985	2241.08	35.2	10.3	10.2	7.22

En la siguiente tabla 5.26 se muestra los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón con de palama africana con un $f'c$ 240 kg/cm², a los 14, 28 y 56 días, estas viguetas tienen una adición de fibra del 0.5% la cual es tratada con el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 26 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 240 kg/cm² con fibra de palama africana con 0.5% aplicado el tratamiento 1

RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (Mpa)
1	10630.2	1083.61	35.4	10.1	10.25	3.55
2	10876	1108.66	35.5	10.6	10.3	3.43
3	10024	1021.81	35.5	10.2	10.2	3.35
4	10986	1119.88	35.5	10.1	10.1	3.79
5	10745	1095.31	35.5	10.1	10.3	3.56
6	11003	1121.61	35.5	10.1	10.2	3.72
7	11094	1130.89	35.5	10.3	10.2	3.68
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	

TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (Mpa)
1	15718.84	1602.33	35.3	10.2	10.5	4.93
2	17907.16	1825.40	35.2	10.5	10.5	5.45
3	16085.04	1639.66	35.1	10.2	10.4	5.12
4	17521.42	1786.08	35.5	10	10.5	5.64
5	18626.69	1898.75	35.2	10.5	10.5	5.66
6	16618.64	1694.05	35.1	10.4	10.4	5.19
7	16214.01	1652.80	35.1	10.3	10.2	5.31
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (Mpa)
1	22962	2340.67	35.6	10.3	10.1	7.78
2	23085	2353.21	35.1	10.1	10.25	7.64
3	23705	2416.41	35.1	10.35	10.3	7.58
4	23716	2417.53	35.1	10.3	10.3	7.62
5	21885	2230.89	35.3	10.4	10.4	6.87
6	23538	2399.39	35.1	10.35	10.4	7.38
7	23186	2363.51	35.2	10.3	10.4	7.33

En la siguiente tabla 5.27 se muestra los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón con de palama africana con un $f'c$ 240 kg/cm², a los 14, 28 y 56 días, estas viguetas tienen una adición de fibra del 1% la cual es tratada con el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 27 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 240 kg/cm² con fibra de palama africana al 1% aplicado el tratamiento 1

RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	14986	1527.62	35.4	10.1	10.2	5.05
2	12973	1322.43	35.1	10	10.2	4.38
3	14721	1500.61	35.4	10.3	10.3	4.77
4	14242	1451.78	35.4	10.1	10.3	4.71
5	14404	1468.30	35.1	10.3	10.2	4.72
6	14652	1493.58	35.3	10.3	10.3	4.73
7	15660	1596.33	35.4	10	10.3	5.23
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	16022.94	1633.33	35.3	10.1	10.2	5.38
2	16564.98	1688.58	35.2	10.2	10.2	5.49
3	17561.95	1790.21	35.3	10.1	10.1	6.02
4	17006.09	1733.55	35.2	10.4	10.3	5.43
5	16438	1675.64	35.2	10.3	10.1	5.51
6	16000	1630.99	35.3	10.3	10.2	5.27
7	17585	1792.56	35.3	10.1	10.2	5.91
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		1.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	24868	2534.96	35.4	10.2	9.9	8.81
2	24105	2457.19	35.2	10.15	10.15	8.11
3	24240	2470.95	35.2	10.3	10.3	7.81
4	23989	2445.36	35.2	10.5	10.3	7.58
5	24900	2538.23	35.2	10.25	10.4	7.91
6	24120	2458.72	35.2	10.25	10.3	7.81
7	24586	2506.22	35.2	10.25	10.3	7.96

5.2.2.3. Cálculo de módulo de rotura de viguetas con fibra de palma africana tratadas con agua hervida

En la siguiente tabla 5.28 se muestra los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón con de palama africana con un f^c 210 kg/cm², en las edades de 14, 28 y 56 días, estas viguetas tienen una adición de fibra del 0.5% la cual es tratada con el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 28 Módulo de rotura de viguetas con f^c 210 kg/cm² con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el tratamiento 2

RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (MPa)
1	14875	1516.31	35.15	10.3	10.18	4.90
2	14398	1467.69	35	10.2	10.15	4.80
3	14998	1528.85	35	10.25	10.2	4.92
4	15000	1529.05	35.15	10.15	10.2	4.99
5	15118	1541.08	35.15	10.15	10.2	5.03
6	14865	1515.29	35.2	10.25	9.95	5.16
7	13989	1425.99	35.05	10.4	10.1	4.62
RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (MPa)
1	15988.2	1629.79	35.2	10	10.2	5.41
2	16198.64	1651.24	35.1	10.1	10.4	5.20
3	16670.18	1699.30	35.2	10	10.5	5.32
4	16871	1719.78	35	10.2	10.5	5.25
5	16706.64	1703.02	35	10.2	10.1	5.62
6	17124.5	1745.62	35.5	10.5	10.3	5.46
7	17828.3	1817.36	35.3	10.5	10.4	5.54
RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (MPa)

				MUESTRA (cm)		
1	20753	2115.49	35.1	10.25	10.3	6.70
2	21232	2164.32	35.1	10.25	10.1	7.13
3	22880	2332.31	35.1	10.3	10.35	7.28
4	21139	2154.84	35.1	10.3	10.3	6.79
5	21120	2152.91	35.3	10.4	10.4	6.63
6	20870	2127.42	35.1	10.4	10.35	6.58
7	22884	2332.72	35.2	10.4	10.5	7.03

En la siguiente tabla 5.29 se muestra los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón con de palama africana con un $f'c$ 210 kg/cm², en las edades de 14, 28 y 56 días, estas viguetas tienen una adición de fibra del 1% la cual es tratada con el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 29 Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 210 kg/cm² con fibra de palama africana al 1% aplicado el tratamiento 2

RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (MPa)
1	16169	1648.22	35.2	10.3	10.15	5.36
2	15334	1563.10	35.1	10.3	10.2	5.02
3	15895	1620.29	35.2	10.2	10	5.49
4	15469	1576.86	35.2	10.5	10.25	4.94
5	15698	1600.20	35.2	10.2	10.35	5.06
6	16187	1650.05	35.5	10.5	10	5.47
7	15398	1569.62	35.1	10.5	10.5	4.67
RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (MPa)
1	18560	1891.95	35.25	10.4	10.5	5.71
2	18398	1875.43	35.2	10.3	10.5	5.70
3	18758	1912.13	35.1	10.4	10.2	6.08

4	19302	1967.58	35.35	10.2	10.1	6.56
5	19001	1936.90	35.2	10.3	10.3	6.12
6	19100	1946.99	35.15	10.3	10.2	6.27
7	19743	2012.54	35.35	10.25	10.3	6.42
RESISTENCIA		210 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	19884	2026.91	35	10.15	10.5	6.22
2	19870	2025.48	35.6	10.5	10	6.74
3	18998	1936.60	35	10.1	10.25	6.27
4	19578	1995.72	35.1	10.3	10.6	5.94
5	19487	1986.44	35.2	10.2	10.2	6.46
6	19225	1959.73	35.3	10	10	6.79
7	20058	2044.65	35.15	10.2	10.2	6.64

En la siguiente tabla 5.30 se muestra las variables y los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón con de palama africana con un f^c 240 kg/cm², en las edades de 14, 28 y 56 días, estas viguetas tienen una adición de fibra del 0.5% la cual es tratada con el hidróxido.

Tabla 5. 30 Módulo de rotura de viguetas con f^c 240 kg/cm² con fibra de palama africana al 0.5% aplicado el tratamiento 2

RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	15887	1619.47	35	10	10.1	5.45
2	15134	1542.71	35	10.3	10.3	4.85
3	15885	1619.27	35.25	10.2	10.3	5.17
4	16028	1633.84	35.1	10.2	10.3	5.20
5	16123	1643.53	35.1	10.2	10.1	5.44
6	16254	1656.88	35.2	10.3	10.4	5.14
7	16083	1639.45	35.4	10.25	10.35	5.19
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	

N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (MPa)
1	19289.4	1966.30	35.3	10.3	10.2	6.35
2	19595.15	1997.47	35.2	10.25	10.3	6.34
3	19247.1	1961.99	35.15	10.35	10	6.54
4	19136.5	1950.71	35.1	10.3	10	6.52
5	18997	1936.49	35	10.2	10.2	6.27
6	19632	2001.22	35.3	10.4	10.2	6.40
7	19256.6	1962.96	35.2	10.35	10.2	6.29
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		0.50	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd ² (MPa)
1	21688.39	2210.85	35.5	10.6	10.5	6.59
2	20872.59	2127.69	35.5	10.5	10.5	6.40
3	22191.92	2262.17	35.5	10.5	10.5	6.81
4	21118.03	2152.70	35.5	10.8	10.5	6.30
5	22185.8	2261.55	35.5	10.5	10.3	7.07
6	22395.8	2282.96	35.5	10.4	10.5	6.93
7	21987.2	2241.30	35.2	10.5	10.5	6.69

En la siguiente tabla 5.31 se muestra las variables y los resultados de los cálculos obtenidos en las viguetas de hormigón con de palama africana con un $f'c$ 240 kg/cm², en las edades de 14, 28 y 56 días, estas viguetas tienen una adición de fibra del 1% la cual es tratada con el hidróxido de sodio.

Tabla 5. 31Módulo de rotura de viguetas con $f'c$ 240 kg/cm² con fibra de palama africana al 1% aplicado el tratamiento 2

RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		14.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	16354	1667.07	35.3	10.15	10.2	5.47
2	17005	1733.44	35.2	10.4	10.3	5.43
3	16321	1663.71	35.15	10.3	10.2	5.35
4	16877	1720.39	35.2	10.4	10.4	5.28
5	16123	1643.53	35.5	10.35	10.2	5.32
6	15899	1620.69	35.1	10.5	10.1	5.21
7	15874	1618.14	35.1	10.1	10.1	5.41
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		28.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	21569	2198.67	35.3	10.4	10.2	7.04
2	21354	2176.76	35.5	10.2	10.4	6.87
3	21478	2189.40	35.2	10.4	10.2	6.99
4	21000	2140.67	35.1	10.3	10.3	6.75
5	19352	1972.68	35.3	10.25	10.35	6.22
6	21478	2189.40	35.5	10.25	10.3	7.01
7	21354	2176.76	35.15	10.35	10.4	6.70
RESISTENCIA		240 kg/cm ²	FIBRA NATURAL		Palma Africana	
TRATAMIENTO		2.00	% DE FIBRA		1.00	
N° VIGUETAS ENSAYADAS		7.00	DÍAS DE ENSAYO		56.00	
N° VIGUETA	CARGA (N)	CARGA (kg)	LONGITUD VIGUETA (cm)	ANCHURA MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE LA MUESTRA (cm)	R= PL/bd² (MPa)
1	24301	2477.17	35.4	10.1	10.25	8.11
2	23754	2421.41	35.5	10.6	10.3	7.50
3	23741	2420.08	35.5	10.2	10.2	7.94
4	23159	2360.75	35.5	10.1	10.1	7.98
5	22478	2291.34	35.5	10.1	10.3	7.45
6	23146	2359.43	35.4	10.1	10.2	7.80
7	22883	2332.62	35.3	10.3	10.2	7.54

5.3. Análisis de resultados

Para visualizar de mejor manera los resultados obtenidos con el módulo de rotura obtenido en el presente trabajo de investigación se realizó el resumen para los ensayos de las viguetas con edad de 56 días debido a que es la edad en que se puede observar la resistencia máxima de las mismas. Los mismos resultados se observan en la tabla 5.32 los cuales se podrá observar el promedio de las 7 viguetas que se realizó por cada tipología y a los 56 días de curado de las viguetas.

Tabla 5. 32 Módulos de rotura a los 56 días de curado

Especificación	Edad (Días)	Módulo de rotura promedio (MPa)
210 SF	56	5.41
240 SF	56	6.59
210 - 0.5% PA - T1	56	7.17
210 - 1.0 % PA - T1	56	7.29
240 - 0.5 % PA - T1	56	7.46
240 - 1.0 % PA - T1	56	8.00
210 - 0.5% PA - T2	56	6.87
210 - 1.0 % PA - T2	56	6.44
240 - 0.5 % PA - T2	56	6.68
240 - 1.0 % PA - T2	56	7.76

Se ha podido comprobar y verificar con los datos obtenidos en los ensayos de las diferentes viguetas con fibra que el módulo de rotura de estas es superior al resultante de las viguetas sin fibra. Se puede visualizar en la tabla 95 que en las viguetas con un $f'c$ 210 kg/cm² el módulo de rotura con el tratamiento 1 el cual es el NaOH es mayor al obtenido por el tratamiento 2 (Agua Hervida), pero comparando las viguetas con el mismo tratamiento se puede verificar que el mayor módulo de rotura se obtuvo en la adición de fibra del 1% comparándolo con el 0.5% del mismo tratamiento, mientras que para el tratamiento 2 (NaOH) no se obtiene un resultado claro de cual adición de fibra supera en el valor del módulo de rotura a la otra debido a que para un $f'c$ 210 kg/cm² el módulo de rotura al 0.5% de adición de fibra es superior al del 1% mientras que en la dosificación e las viguetas con un $f'c$ 240 kg/cm² el mayor valor es con una adición de fibra al 1%, por lo que se puede observar que en el segundo tratamiento se estabiliza de una mejor manera el módulo de rotura ya que no hay mucha diferencia entre las diferentes dosificaciones.

Y lo que mas se puede apreciar en la tabla 95 es la mejora del módulo de rotura que se ha obtenido ya que al visualizar que el módulo de rotura experimental promedio claramente es mayor en

comparación al módulo de rotura teórico para las dos resistencias a la compresión simple de f^c 210 kg/cm² y f^c 240 kg/cm² como se puede visualizar en la tabla 96

Tabla 5. 33 Módulo de rotura teórico

Resistencia (kg/cm²)	Módulo de rotura teórico (MPa)
210	2.84
240	3.04

6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se a logrado concluir el trabajo de investigación a cabalidad de forma teórica y experimental lo mismo que ha permitido que se cumplan con los objetivos del mismo, el cual tenía como objetivo principal el reforzar el hormigón con fibra de palma africana obtenido a través del raquis de la planta que tiene el mismo nombre. Mediante ensayos se ha logrado determinar los cambios que surgieron en el hormigón y saber si estos cambios fueron mejoras en sus propiedades físicas y mecánicas en base a las variables que se expusieron en el mismo como el volumen de la fibra de palma africana, tratamientos químicos y la longitud de la misma para su utilización como refuerzo en el hormigón simple. Los obtenidos fueron favorables y elevados en las características indicadas en las fibras de palma africana tratadas con el hidróxido de sodio (NaOH) o con el agua hervida tanto para una proporción menor de volumen de fibra como para una resistencia de diseño. El añadir la fibra de palma africana al hormigón simple se obtuvieron resultados que ayudaron a la flexión de las viguetas lo cual se pudo verificar mediante el método del módulo de rotura y resistencia residual promedio. Con los datos obtenidos en el presente trabajo de disertación se puede concluir lo siguiente:

- Realizar el tratamiento químico a la fibra es un gran acierto para el trabajo de investigación debido a que la fibra es de origen natural su durabilidad depende de factores como la humedad y los componentes químicos más cierto contenido orgánico que puede poseer la fibra provocan que esta se pueda dañar y degradar de una forma más rápida por lo que para eliminar estos elementos que pueden afectar a la durabilidad de la fibra pero al mismo tiempo sin modificar los componentes que le dan resistencia mecánica a la fibra por lo que los tratamientos con hidróxido de sodio (NaOH) y el agua hervida fueron los que ayudaban a eliminar los aceites y células propias de la fibra provocando que las mismas sean versátiles, mantengan su solides y fuerza mejorando el área de contacto y causando un mejor coeficiente de fricción para una correcta adhesión de la fibra en el hormigón simple.
- El hidróxido como tratamiento químico en la fibra produjo una mejor aspereza en la fibra, pero observando los resultados de caracterización física de la fibra, el hidróxido de sodio provoco que la tenacidad a la ruptura de la fibra y también tenga una mayor elongación la fibra con respecto al tratamiento con agua hervida y a las fibras sin tratamiento, con esta

observación se puede tener una cierta idea de cual tratamiento sería mejor. El mayor valor de densidad obtenido entre los tratamientos y fibra sin tratar se produjo con el agua hervida un parámetro que puede ser importante a pesar de que la tenacidad de la fibra disminuya. Debido a los resultados obtenidos de la fibra se considera que el hidróxido de sodio es la mejor opción para tratar la fibra ya que al aumentar la tenacidad de la fibra y sabiendo que por el proceso químico esta va a tener una mejor duración aumentara la tenacidad del hormigón.

- El hormigón con fibras con los tratamiento de hidróxido de sodio o con el del agua hervida se vio en cierta medida con una ligera variación en el asentamiento, debido a que la fibra tenia cierto porcentaje de fricción lo cual le daba una adherencia extra con el hormigón lo que provocaba que el hormigón fresco tenga una mayor consistencia y adherencia entre los agregados a pesar de tener la misma relación agua-cemento que el hormigón sin fibra. Este efecto provocaba que la trabajabilidad del hormigón sea un poco mas dificultosa ya que por la presencia de las fibras al momento de agarrar el hormigón se con la pala se dificultaba debido a que la fibra resistía lo que obligaba a que precisamente la pala se introduzca por la parte inferior para obtener el hormigón sin afectar la fibra.
- Según Ahmed et al. La longitud de la fibra es un parámetro que afecta en la trabajabilidad del hormigón ya que fibras con una longitud mayor o igual a 75mm produce que por el largo de la mismas tienden a enredarse produciendo que el hormigón sea mucho más difícil de manejar y esto es un problema ya que la distribución de los agregados no seria homogénea, mientras que para longitudes de fibras de hasta 25mm aumenta que los filamentos por densidad sean mayor y lo cual disminuye la trabajabilidad del hormigón. En la tesis se uso fibras con una longitud mayor a los 25mm y menor a los 75mm lo cual es una longitud que permitía una buena trabajabilidad del hormigón. Debido a que se uso fibras de 40mm se observo que el asentamiento del hormigón fresco vario poco pero nunca estuvo por debajo del rango permitido de asentamientos de 80 mm a 100mm.
- La densidad de la fibra de palma africana tuvo ciertas variaciones la misma que tuvo una densidad S.S.S. sin ningún tratamiento presento un valor de 1030 kg/m^3 el mismo que disminuyo según los tratamientos químicos aplicados a la fibra con el hidróxido de sodio tenía un valor de 1020 kg/m^3 mientras que con el agua hervida un valor de 1010 kg/m^3 . La densidad del hormigón se ve afectada la cual también disminuyó ligeramente y según como

la cantidad de fibra en el hormigón aumentaba la densidad del mismo disminuía es decir que el hormigón sin fibras fue más denso que el hormigón con fibra de palma africana. Además, se puede considerar que la presencia de vacíos del hormigón, en relación con el hormigón sin fibras. Según la investigación realizada por Mjid Alí & otros, de Propiedades mecánicas y dinámicas del concreto reforzado con fibra de coco, en la cual se menciona que con fibra y una longitud pequeña la densidad del hormigón tenderá a disminuir lo cual concuerda con lo realizado en el presente trabajo. La densidad está en relación con la absorción de agua por lo que si la fibra logró disminuir la del mismo quiere decir que la naturaleza absorbente de las fibras de palma africana no afectó en la absorción del mismo.

- En cuanto al módulo de rotura se puede observar que el valor obtenido por los ensayos realizados a las viguetas con sus diferentes variaciones en % de fibra como sin fibra y realizando una comparación claramente se puede observar que el valor obtenido para las viguetas sin fibra con $f'c$ de 210 y 240 kg/cm² el módulo de rotura es de 5.41 MPa y 6.59Mpa respectivamente es menor que los obtenidos por el hormigón con fibra de palma africana añadida. Según los datos obtenidos los valores con una adición del 1% de la fibra son más óptimos y favorables ya que el módulo de rotura que se obtiene con el 1% es mejor al obtenido con el 0.5% de fibra de palma africana. Esto se debe a que las fibras de palma africana actúan en dirección contraria al corte es decir que la fibra sirve como refuerzo en el sentido que cuando el hormigón se fisura y por acción cortante tiende a separarse la fibra actúa en contra de las fuerzas evitando que las grietas se agranden o se rompan de esta forma la carga de las fisuras se transfiere a las fibras de palma africana permitiendo que las grietas permanezcan a través de la fibra. La fibra de palma africana con sus componentes resiste la carga como un solo elemento, provocando que los esfuerzos sean discontinuos dentro del hormigón disminuyendo la fragilidad característica del hormigón simple por lo que el hormigón con fibra de palma africana obtiene una mejor capacidad.
- Se ha podido observar durante los ensayos del hormigón reforzado con fibras del raquis de palma africana ha presentado fallas dúctiles al momento de alcanzar su máxima resistencia, lo que nos permite concluir que como tal el hormigón reforzado con la fibra es mas seguro al momento de este colapsar ya que otorgaría un tiempo adicional a las personas para ponerse a salvo en caso de un colapso de una estructura con un hormigón como este. Podemos sugerir que un hormigón reforzado con fibras es ideal para estructuras que se

realicen con hormigón preesforzado ya que estas al no tener hierro estructural si llegasen a fallar presentan fallas frágiles por lo que si se coloca un hormigón con fibras este presentara una falla mucho más dúctil logrando ser una estructura más segura para las personas.

- Los tratamientos químicos que se aplican a la fibra es importante ya que con estos se logra disminuir la capacidad de absorción de la fibra, por los datos obtenidos ya que la capacidad de absorción de la fibra no tratada es del 66.67% mientras que para la fibra tratada con hidróxido de sodio (NaOH) fue del 55.56% y para la fibra tratada con agua hervida fue del 51.72%. es decir que con cualquiera de los dos tratamientos es factible reducir el porcentaje de absorción de la fibra.
- Realizando una comparación entre el tratamiento con Agua hervida y con el hidróxido de sodio (NaOH) se observa que el agua hervida reduce un 22.42% de absorción de agua lo que fácilmente se podría decir que este sería el tratamiento más adecuado para la fibra lo cual sería un error ya que éste reduce la tenacidad de ruptura de la fibra en un 17.80% lo que provocaría que el hormigón tenga una falla más frágil y rápida. Por lo que a pesar de que la absorción es un parámetro importante para la dosificación no es el más relevante el cual sería el factor de la tenacidad a la ruptura de la fibra, es decir que a pesar de que el hidróxido de sodio (NaOH) reduzca en menor medida la absorción es el óptimo debido a que incrementa la tenacidad a la ruptura en un 23.72% aumentando la resistencia del hormigón y que al momento de fallar sea más dúctil su falla y resista mayores cargas.
- Se ha podido concluir en base a los ensayos realizados establecidos por la norma ASTM C1399/C1399M-10 el hormigón reforzado con fibra de palma africana obtuvo mejor resistencia residual con respecto al hormigón sin fibra lo cual se puede ver reflejado para todas las edades ensayadas es decir que se cumple a los 14, 28 y 56 días de ensayo. Esto se puede deber que por la adición de las fibras ayuda a que las grietas que normalmente se producen en el hormigón sin refuerzo de fibras no se presenten en el hormigón reforzado no en la misma cantidad y cuando estas se presentan o se intentan agrandar sean de cierta forma sujetadas y controladas por la fibra soportando estas la carga hasta alcanzar la falla de las mismas, este proceso permite que el hormigón presente una falla más dúctil lo cual se presenta para los dos tratamientos químicos realizados en el presente trabajo. En base a la tabla de resultados se pudo construir una curva de carga vs deflexión la misma que permite observar la resistencia de las vigas después de agrietarse ha obtenido una mejora

de hasta un 35 % en las viguetas con refuerzo de fibras de palma africana siendo un resultado muy alentador.

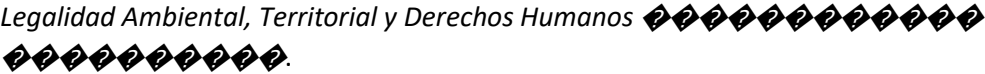
6.2.RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio químico en la fibra una vez aplicado el tratamiento químico del hidróxido de sodio y el tratamiento térmico del agua hervida el mismo que va a permitir conocer cómo cambia la fibra a nivel molecular con respecto a su estado sin tratamiento. Para poder determinar cuáles son los factores que pueden influir en cuanto a la tenacidad y la absorción de la fibra.
- Hay que tomar en cuenta los porcentajes de fibra que se va añadir al hormigón ya que si se quiere realizar trabajos con un porcentaje de fibra superior es recomendable que se haga un ajuste en la relación de agua cemento en función de la absorción de la fibra y corregir por el método de contenido de humedad de agregados.
- Se recomienda realizar una investigación de tratamientos térmicos con el fin de encontrar un proceso alternativo al agua hervida ya que como se pudo observar este produce una disminución a la tenacidad de ruptura de la fibra, ya que si se reduce este parámetro de la fibra la misma se volverá frágil y añadirla al hormigón con esta disminución no puede traer grandes beneficios al mismo hasta puede ser que se obtenga una reducción en la resistencia a la compresión pero como se comprobó en el presente estudio a pesar que se utilizó el agua hervida se obtuvo mejores valores tanto para el módulo de ruptura y la resistencia residual a la flexión que del hormigón sin fibras.
- El proceso de curado de las viguetas debe ser adecuado ya que este es de gran importancia para que el hormigón pueda alcanzar su resistencia máxima para la cual fue diseñado, todas las viguetas deben tener el mismo curado para evitar inconsistencias en los resultados.
- Siempre mantener el material en lugar en que la humedad no cambie bruscamente ya que si estos valores cambian bruscamente y no se tomaron en cuenta la dosificación del hormigón se verá afectada y no se obtendrá la resistencia de diseño requerida.
- La fibra que se va a utilizar debe estar en un estado S.S.S. para que no afecte a la dosificación del hormigón, ya que el porcentaje de absorción que presenta la fibra es considerable si esta se añadiera en un estado seco al hormigón.
- El raquis de palma especialmente debe ser almacenado en un lugar con ventilación y si cambios de humedad bruscos ya que al estar en estado primo si este se lo almacena en

fundas, sacos, etc. Estos se comenzaran a ver afectados por moho lo cual puede dañar la fibra del raquis. La fibra cuando ya es extraída se busca de igual forma cuando se almacena en cartones o fundas que la misma este completamente seca para evitar microorganismos que puedan dañarla.

- Se debe enrazar la superficie de la vigueta de una manera correcta para evitar que la cara enrazada este lo más regular posible ya que las cargas de momento se reparten en la superficie de estas.
- Se debe tomar en cuenta la adición de fibra ya que la fibra afecta al asentamiento en hormigón fresco lo cual puede disminuir la trabajabilidad del mismo entonces hay que tomar en cuenta las investigaciones las cuales se mencionan las cantidades óptimas para mantener una trabajabilidad adecuada para el hormigón con fibras.
- Se recomienda continuar con el presente estudio para hormigón con refuerzo de fibras naturales, pero para un tiempo de endurecido mayor al realizado en este trabajo lo mejor sería para un tiempo de endurecido de 7 meses a 13 meses y poder verificar si la fibra sigue en un buen estado arrojando resultados positivos con respecto al hormigón sin fibras.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali Gholampour, & Togay Ozbakkaloglu. (n.d.). *Una revisión de los compuestos de fibras naturales_ propiedades, técnicas de modificación y procesamiento, caracterización, aplicaciones_ Solicitar PDF.*
- ASTM C1399/C1399M. (2007). *Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced. i*(Reapproved 2015), 1–6. <https://doi.org/10.1520/C1399>
- Daniel, Y., & Lara, E. A. (n.d.). *AUTORIZACIÓN DE LA AUTORIA INTELECTUAL.*
- De, D. R., Palma, L. A., De Aceite, A., Estopa, L. A., Paúl, O., Guevara, C., Estefania, G., & Tandazo, T. (2020). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL "CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO INGENIERO CIVIL.*
- De, O., Relación, L. A., Cemento, A. /, El, E. N., Verenice, L., Pinchao, O., Santiago, P., & Morales, Z. (n.d.). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL CÓDIGOS ACI-ASTM. PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.*
- Ecuador, H., & Holcim, F. (n.d.). *Confianza que construye. Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general.*
- Edward G. Nawy, P. N. B. (n.d.). *concreto-reforzado-un-enfoque-basico-edward-g-nawy-pdf.*
- En, S., Empresa, L. A., & Luna. (2019). *Escuela politécnica nacional.*
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2010). Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. NTE INEN 855. *Intituto Ecuatoriano de Normalizacion*, 15. http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000extracto.pdf
- Mingorance, F., Minelli, F., & Le Du, H. (n.d.). *EL CULTIVO DE LA PALMA AFRICANA EN EL CHOCÓ Legalidad Ambiental, Territorial y Derechos Humanos* 
- Momoh, E. O. , O. A. I. , & M. Op. (n.d.). *Propiedades fisicomecánicas de fibras de escoba de palma aceitera tratadas para composites cementosos _ Revista de Materiales en Ingeniería Civil _ Vol. 32, núm. 10.*
- Verónica, R., & Cushicondor, Y. (n.d.). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTUDIO DEL HORMIGÓN CELULAR PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL MARÍA CRISTINA RENGIFO CUENCA.*

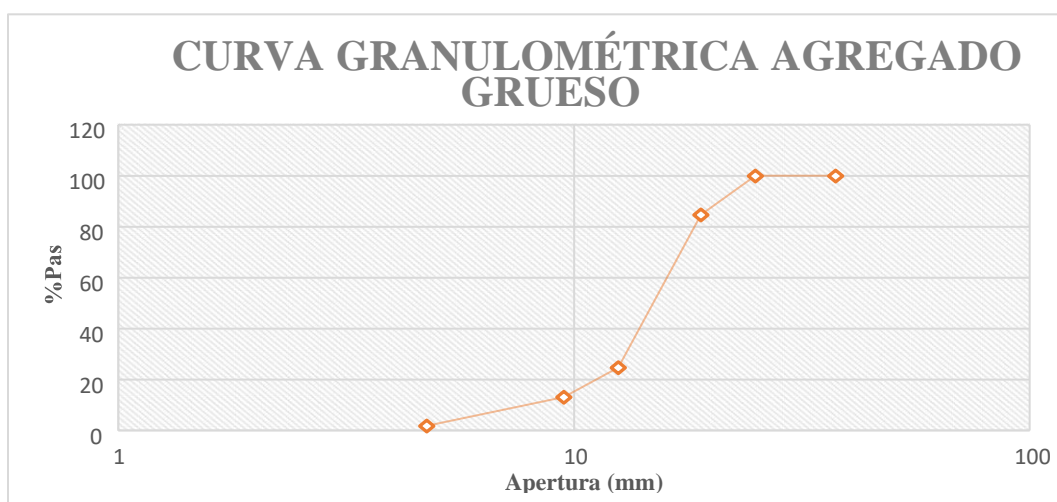
ANEXOS

ANEXO 1. ENSAYOS EN AGREGADO GRUESO Análisis Granulométrico

Norma NTE INEN 696

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	%RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
1 1/2	37.5	0	0	0.00	0.00	100.00
1	25	0	0	0.00	0.00	100.00
3/4	19	2.17	2.17	15.35	15.35	84.65
1/2	12.5	8.48	10.65	59.97	75.32	24.68
3/8	9.5	1.64	12.29	11.60	86.92	13.08
4	4.75	1.59	13.88	11.24	98.16	1.84
PASA 4		0.26	14.14	1.84	100.00	0.00
TOTAL			14.14	100.00		

Tamaño Máximo	1"
Tamaño Máximo Nominal	1"
Módulo de Finura MF	3.59



Densidad relativa y absorción

Norma NTE INEN 857,858

• Densidad Relativa

DATO	DESCRIPCIÓN
A	Masa en aire de la muestra seca al horno, g.
B	Masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g.
C	Masa aparente en agua de la muestra saturada, g

DATOS		
A	4001	g
B	4081	g
C	2263	g

DESCRIPCIÓN DENSIDAD	FÓRMULA	VALOR [kg/m ³]
En condiciones secas al horno	SH = 997,5A/(B-C)	2195.268
En condiciones saturada superficialmente seca	SSS = 997,5B/(B-C)	2239.163
Densidad relativa aparente	SA = 997,5A/(A-C)	2296.316

• Absorción

ABSORCIÓN	FÓRMULA	VALOR (%)
	$((B-A) / A) * 100$	2.00

• Contenido de humedad

$$P = \frac{100 (W - DD)}{D}$$

DATO	DESCRIPCIÓN
P	Contenido de humedad evaporable de la muestra
W	Masa de la muestra original, g

D	Masa de la muestra seca, g
---	----------------------------

MUESTRA 1			MUESTRA 2		
W1	1295	g	W2	1745	g
D1	1235	g	D2	1735	g
P1	4.858	%	P2	0.576	%
			W promedio	2.717	%

Abrasión

Norma NTE INEN 860

Tamaño Nominal:	1"	Fecha de Muestreo:	14/07/2021
Fuente:	Holcim	Fecha de Ensayo:	15/07/2021
PARÁMETRO		DATO	MAGNITUD
Tipo de Muestra		Árido Grueso	
Gradación		B	
Número de Esferas		11	esferas
Número de Revoluciones		500	
A= Peso Inicial		5000	gr.
C= Peso Retenido en el tamiz No. 12 a las (500/1000) Revoluciones		3800	gr.
Porcentaje de Pérdida		24	%

Observación: La pérdida de peso del agregado se expresa en porcentaje el mismo que se limita a un 50% por lo tanto, la muestra ensayada tiene la resistencia adecuada para la utilización del mismo en al dosificación del hormigón.

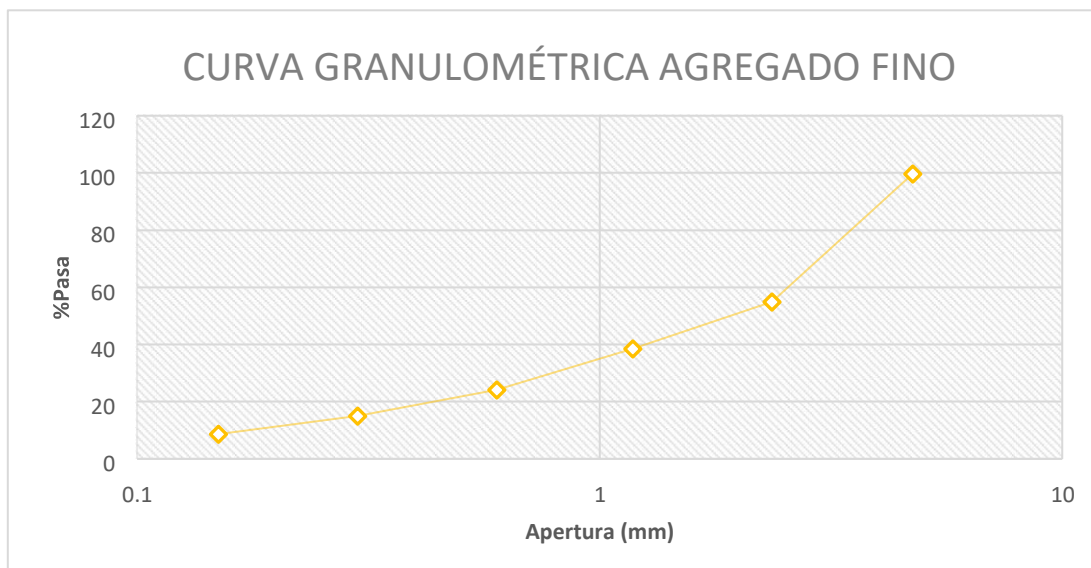


ANEXO 2. ENSAYOS EN AGREGADO FINO
Análisis Granulométrico

Norma NTE INEN 696

GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	%RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
4	4.75	3.59	3.59	0.304	0.304	100
8	2.36	530.06	533.65	44.820	45.124	55
16	1.18	192.95	726.6	16.315	61.439	38.561
30	0.6	169.9	896.5	14.366	75.806	24.194
50	0.3	108.44	1004.94	9.169	84.975	15.025
100	0.15	74.87	1079.81	6.331	91.306	8.694
PASA 100		102.82	1182.63	8.694	100.000	0.000
		TOTAL	1182.63	100		

Módulo de Finura
MF= 2.76



Densidad relativa, densidad aparente y absorción

Norma NTE INEN 856,858

- Densidad relativa y densidad aparente

DATO	DESCRIPCIÓN
A	Muestra seca al horno, en g
B	Masa del picnómetro + agua, en g
C	Masa del picnómetro + agregado+ agua, en g
S	Masa de la muestra Superficie Saturada Seca (S.S.S.), en g

DENSIDAD		
PIC+W+AGR	991.4	C
W+PIC	702.2	B
PIC	212.1	-
Masa saturada	501.3	S
Masa seca	401.4	A

RESULTADOS	
Densidad (SH)	1.893
Densidad (SSS)	2.358
Densidad aparente	3.578
Densidad relativa (SH)	1.888
Densidad relativa (SSS)	2.364
Densidad relativa aparente	2.358

- Absorción

ABSORCIO	N	
AG+REC	828	-
AG+REC SEC	817.8	-
BASE	325.4	-
muestra seca	492.4	A
masa saturada	502.6	S

ABSORCION	2.071%	-
-----------	--------	---

• Contenido de humedad

$$P = \frac{100 (W - D)}{D}$$

DATO	DESCRIPCIÓN
P	Contenido de humedad evaporable de la muestra
W	Masa de la muestra original, g
D	Masa de la muestra seca, g

MUESTRA 1			MUESTRA 2		
W1	765	g	W2	780	g
D1	745	g	D2	760	g
P1	2.685	%	P2	2.632	%
			W promedio	2.658	%

Contenido orgánico de la arena

Norma NTE INEN 855

Agregado Fino		Fecha de Muestreo:	14/07/2021
Fuente	Holcim	Fecha de Ensayo:	15/07/2021
TIPO DE MUESTRA	Árido Fino		
PROCEDIMIENTO	Solución de Color Normalizado		
	Comparador de Colores		X

Color Natural de la Muestra	Negro										
Contenido Orgánico Aceptable	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>										
Color Escala Gardner	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							

Observación: La muestra no presenta contenido orgánico y respecto a la escala de Gardner no se encuentra en este rango ya que presenta un color transparente. Con estas escalas se puede determinar que la muestra tiene una presencia de contenido orgánico prácticamente despreciable.



ANEXO 3. ENSAYOS EN CEMENTO
Densidad aparente, suelta y compacta

Norma NTE INEN 858

DENSIDAD APARENTE DEL CEMENTO	
DENSIDAD SUELTA	
V molde (cm³)	2735
P molde (g)	1652
P1 (g)	4330
P2 (g)	4334
Densidad 1 (g/cm³)	0.98
Densidad 2 (g/cm³)	0.98
Densidad promedio (g/cm³)	0.98
DENSIDAD COMPACTADA	
V molde (cm³)	2735
P molde (g)	1652
P1 (g)	4911
P2 (g)	4943
Densidad 1 (g/cm³)	1.19
Densidad 2 (g/cm³)	1.20
Densidad promedio (g/cm³)	1.20



Densidad real

Norma NTE INEN 156

DENSIDAD REAL CEMENTO		
Dato	Muestra 1	Muestra 2
Li	0.6	1
Lf	24.6	24.8
m (g)	64	64
Densidad real (g/cm³)	2.67	2.69
Densidad promedio (g/cm³)	2.68	



Consistencia normal

Norma NTE INEN 157

CONSISTENCIA CEMENTO		
Dato	Muestra 1	Muestra 2
Peso cemento (g)	500.13	500.24
Peso agua (g)	160	150
Descenso sonda (mm)	30	10
Consistencia normal hum.	23%	



ANEXO 4. DOSIFICACIÓN PRELIMINAR

Se ha de tener en consideración las siguientes tablas obtenidas de ACI 211.

Table 6.3.1 – Recommended slumps for various types of construction*

Types of construction	Slump, in.	
	Maximum [†]	Minimum
Reinforced foundation walls and footings	3	1
Plain footings, caissons, and substructure walls	3	1
Beams and reinforced walls	4	1
Building columns	4	1
Pavements and slabs	3	1
Mass concrete	2	1

*Slump may be increased when chemical admixtures are used, provided that the admixture-treated concrete has the same or lower water-cement or water-cementitious material ratio and does not exhibit segregation potential or excessive bleeding.

[†]May be increased 1 in. for methods of consolidation other than vibration.

ACI COMMITTEE REPORT

Table 6.3.3 – Approximate mixing water and air content requirements for different slumps and nominal maximum sizes of aggregates

Water, lb/yd ³ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate								
Slump, in.	¾ in.*	½ in.*	¾ in.*	1 in.*	1-½ in.*	2 in.* [†]	3 in.**	6 in.**
Non-air-entrained concrete								
1 to 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3 to 4	385	365	340	325	300	285	245	210
6 to 7	410	385	360	340	315	300	270	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
1 to 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3 to 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 to 7	365	345	325	310	290	280	260	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Recommended averages ¹ total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5***	1.0***
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5***	3.0***
Severe exposure ²	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5***	4.0***

Table 6.3.4(a) — Relationship between water-cement or water-cementitious materials ratio and compressive strength of concrete

Compressive strength at 28 days, psi*	Water-cement ratio, by weight	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
6000	0.41	—
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Table 6.3.6 — Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate+			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Dosificación para una resistencia de 210 kg/cm²

DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN - ACI 211 (SIN INTRODUCCIÓN DE AIRE)

CEMENTO				RESISTENCIA REQUERIDA	
Tipo	I			f _c	210 kg/cm ²
Peso específico	2.68				
Peso/saco	50		kg/saco		
				ASENTAMIENTO	
AGUA				Asentamiento esperado	8 in
Densidad	1		kg/dm ³	¿Se incorpora aire?	NO
				PROBETAS	
AGREGADO FINO				N° probetas	7
Peso específico seco	2.358		gr/cm ³	Altura	0.3 m
Absorción	2.072%			Diámetro	0 m
Contenido de humedad	2.658%			Desperdicios	7%
Módulo de finura	2.76				
				FIBRAS	
AGREGADO GRUESO				Longitud	3.81 cm
TMN	1		in	Diámetro	0.83 mm
Peso específico seco	2.239		gr/cm ³	Capacidad de absorción	146%
Peso seco compactado	1487		kg/m ³	Contenido de humedad	0%
Absorción	2.000%			Densidad S.S.S.	582 kg/m ³
Contenido de humedad	2.717%			%Fibras	0.5%

CÁLCULOS

1) Resistencia promedio

f_{cr}=294 kg/cm²

2) Tamaño máximo nominal

TMN=1 in

3) Asentamiento

Asentamiento 8 in BLANDA

Aire incorp?= NO

4) Volumen unitario de agua

Agua req= 202 l/m³

5) Contenido de aire

Cont. Aire= 2%

6) Relación agua/cemento

a/c=0.55

7) Factor cemento

factor cemento= 365.75 kg/m³

8) Contenido de agregado grueso

Vol agregado grueso s.c.= 0.674

Peso agregado grueso sc= 1002.2 kg/m³

12) Corrección por humedad del agregado

Cemento	365.7	kg/m ³	
Agua	192.1	l/m ³	
A. Fino	481.5	kg/m ³	
A. Grueso	1029.5	kg/m ³	Real Real

13) Proporción en peso

c/c	af/c	ag/c	a/c
1.00	1.32	2.81	0.53

14) Peso por tanda de un saco

Cemento	50.0	kg/saco
Agua	26.3	l/saco
A. Fino	65.8	kg/saco
A. Grueso	140.7	kg/saco

15) Cantidad de material para probetas sin fibra

0 m³

Cemento	0.0	kg
Agua	0.0	l
A. Fino	0.0	kg
A. Grueso	0.0	kg
Σ	0.0	m³

15) Cantidad de material para probetas con fibra

9) Cálculo de volúmenes absolutos parciales

Cemento	0.136	m3	Volumen probetas=	0.0000 m3
Agua	0.202	m3	Vol. Fibra=	0.0000 m3
Aire	0.015	m3	Fibra en peso=	0.0000 kg
A. Grueso	0.448	m3		
Σ	0.801	m3		

Cemento	0.0	kg
Agua	0.0	l
A. Fino	0.0	kg
A. Grueso	0.0	kg
Fibra	0.0	kg
Σ	0.0	m3

10) Contenido de agregado fino
A. Fino 469.0 kg/m3

11) Valores de diseño de mezcla

Cemento	365.7	kg/m3
Agua	202.0	l/m3
A. Fino	469.0	kg/m3
A. Grueso	1002.2	kg/m3

Seco
Seco

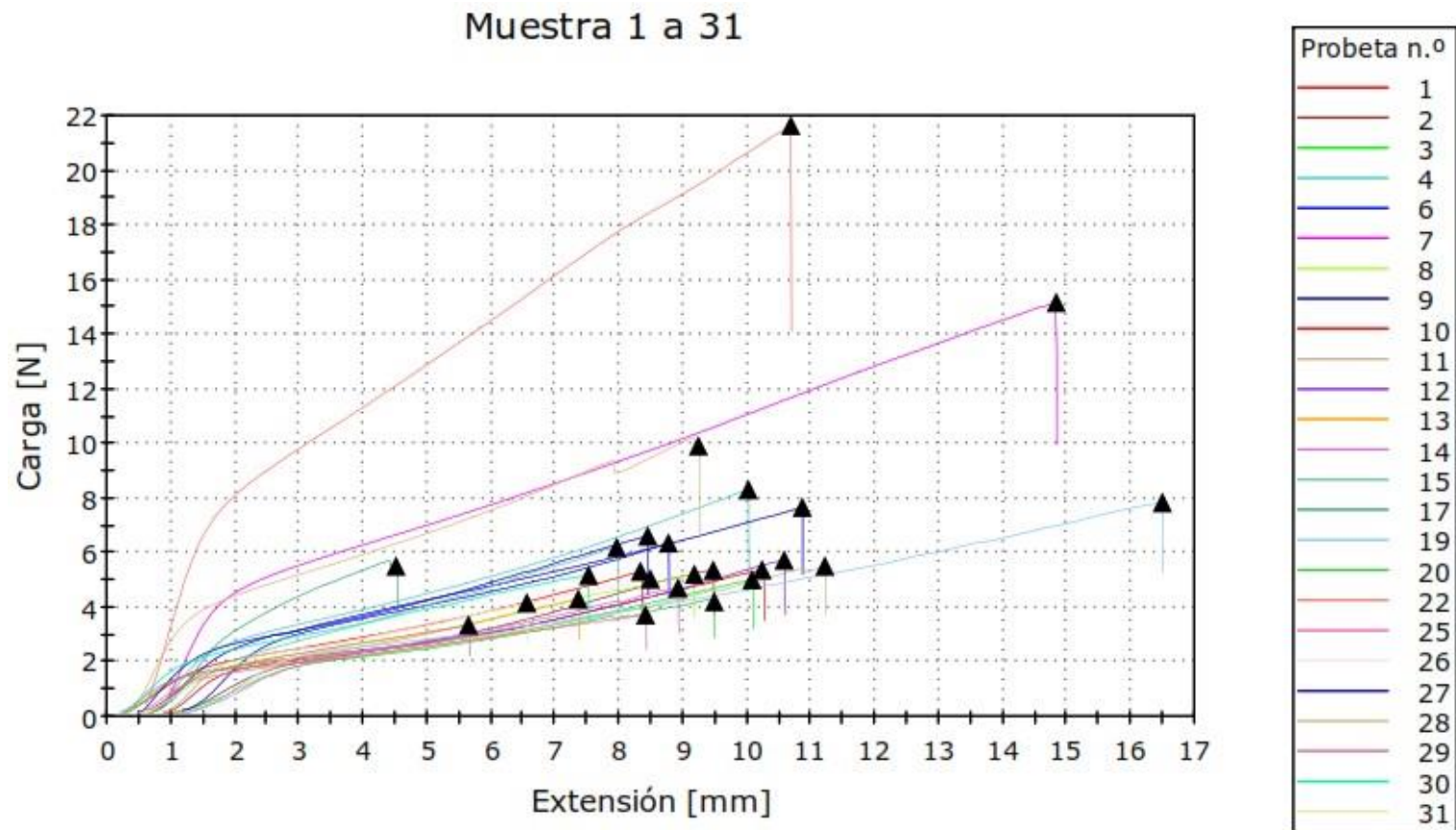
Dosificación para una resistencia de 240 kg/cm²

DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN - ACI 211 (SIN INTRODUCCIÓN DE AIRE)			
CEMENTO		RESISTENCIA REQUERIDA	
Tipo	I	f _c	240 kg/cm ²
Peso específico	2.68		
Peso/saco	50	g/cm ³	
AGUA		ASENTAMIENTO	
Densidad	1 kg/dm ³	Asentamiento esperado	8 in
		¿Se incorpora aire?	NO
AGREGADO FINO		PROBETAS	
Peso específico seco	2.358 gr/cm ³	N° probetas	7
Absorción	2.072%	Altura	0.3 m
Contenido de humedad	2.658%	Diámetro	0 m
Módulo de finura	2.76	Desperdicios	7%
AGREGADO GRUESO		FIBRAS	
TMN	1 in	Longitud	3.81 cm
Peso específico seco	2.239 gr/cm ³	Diámetro	0.83 mm
Peso seco compactado	1487 kg/m ³	Capacidad de absorción	146%
Absorción		Contenido de humedad	0%
Contenido de humedad	2.000%	Densidad S.S.S.	582 kg/m ³
	2.717%	%Fibras	0.5%
CÁLCULOS			
1) Resistencia promedio		12) Corrección por humedad del agregado	
f _{cr} =324	kg/cm ²	Cemento	393.7 kg/m ³
2) Tamaño máximo nominal		Agua	192.2 l/m ³
TMN=1	in	A. Fino	456.2 kg/m ³
3) Asentamiento		A. Grueso	1029.5 kg/m ³
			Real Real
		13) Proporción en peso	

Anexo 5: Tabla de resultados de fibra sin tratamiento.

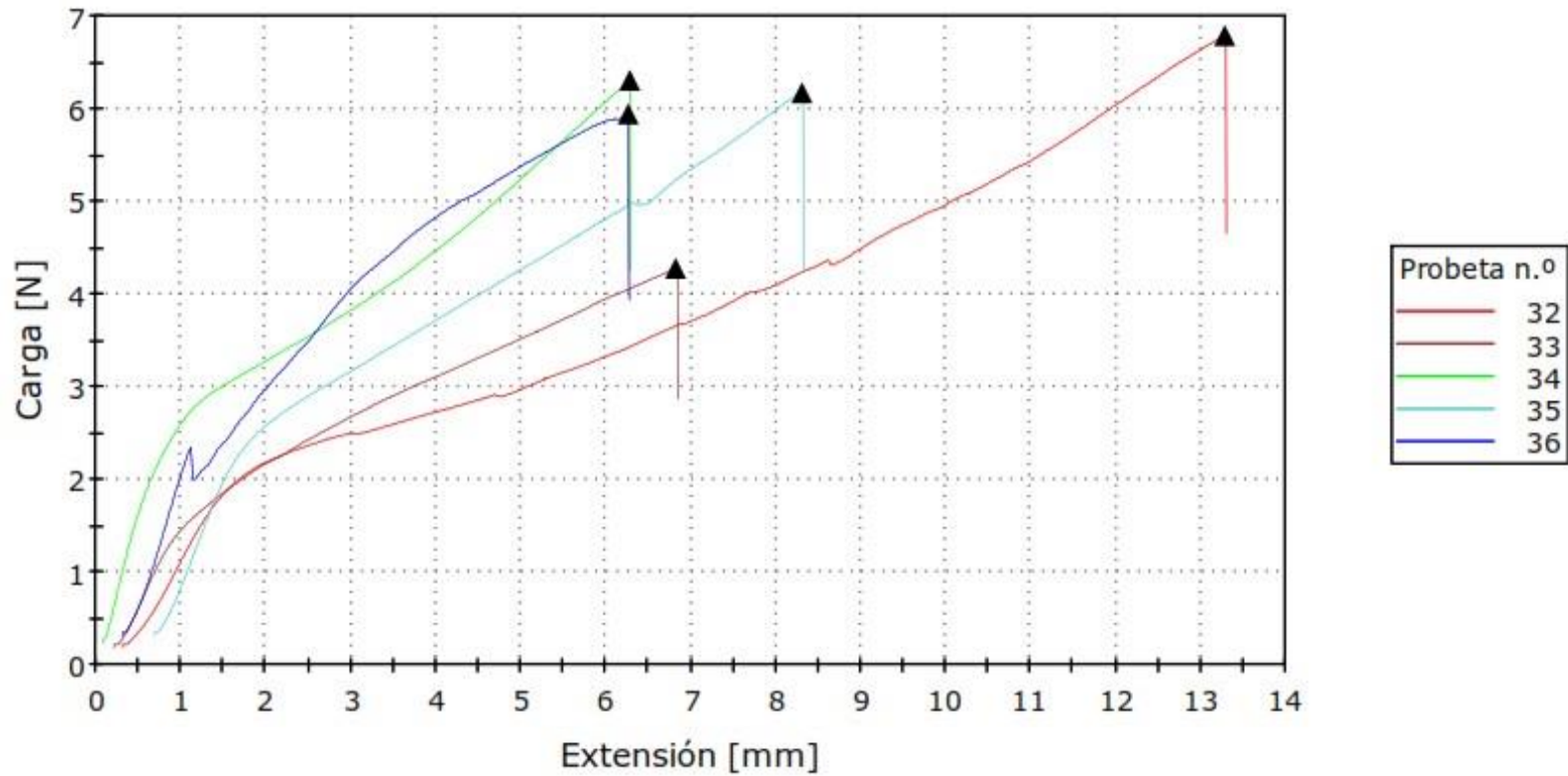
	Speed of Testing [mm/min]	Breaking Force [N]	Elongation [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	TiempoalBreak (Standard) [s]	TenacidadalBreak (Standard) [N/tex]
1	30,0	7,07	0,03759	53,61100	15,1	0,132
2	30,0	4,50	0,02320	58,76900	9,30	0,077
3	30,0	6,08	0,03479	51,78900	14,0	0,117
4	30,0	5,75	0,02197	58,64900	8,81	0,098
5	30,0	8,39	0,04320	80,30800	17,3	0,104
6	30,0	6,49	0,04509	44,76200	18,1	0,145
7	30,0	7,37	0,04111	63,73900	16,5	0,116
8	30,0	7,05	0,04101	54,63400	16,4	0,129
9	30,0	4,46	0,02396	49,84600	9,62	0,090
10	30,0	7,01	0,03131	56,73900	12,5	0,124
11	30,0	12,4	0,06239	75,13500	25,0	0,165
12	30,0	8,36	0,02736	76,58900	11,0	0,109
13	30,0	5,66	0,05372	44,64300	21,5	0,127
14	30,0	5,18	0,02726	39,47400	10,9	0,131
15	30,0	4,23	0,04377	47,16000	17,5	0,090
16	30,0	9,68	0,06539	54,96200	26,2	0,176
17	30,0	5,95	0,03467	64,94600	13,9	0,092
18	30,0	5,65	0,02596	56,71200	10,4	0,100
19	30,0	7,71	0,04875	63,06300	19,6	0,122
21	30,0	6,53	0,03106	48,33800	12,4	0,135
23	30,0	3,78	0,03246	50,93800	13,0	0,074
24	30,0	6,65	0,04117	51,78600	16,5	0,128
25	30,0	5,79	0,03001	48,43400	12,0	0,120
26	30,0	6,40	0,03233	61,22400	13,0	0,104
27	30,0	6,52	0,06461	58,27700	25,9	0,112
28	30,0	5,71	0,03843	59,33300	15,4	0,096
29	30,0	6,85	0,06216	54,37500	24,9	0,126
30	30,0	5,72	0,03327	57,27700	13,3	0,100
31	30,0	11,1	0,05063	49,58000	20,3	0,223
32	30,0	5,53	0,02178	52,64500	8,73	0,105
33	30,0	7,81	0,05208	54,75000	20,9	0,143
34	30,0	3,40	0,04394	47,65600	17,6	0,071
Media	30,0	6,59	0,03958	55,94197	15,9	0,118
Desviación estándar	0,00	1,93	0,01	9,14	5,10	0,03

Anexo 6: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de hidróxido de sodio al 4% de concentración.



Anexo 7: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de hidróxido de sodio al 4% de concentración.

Muestra 32 a 36



Fuente: (Trujillo, 2021)

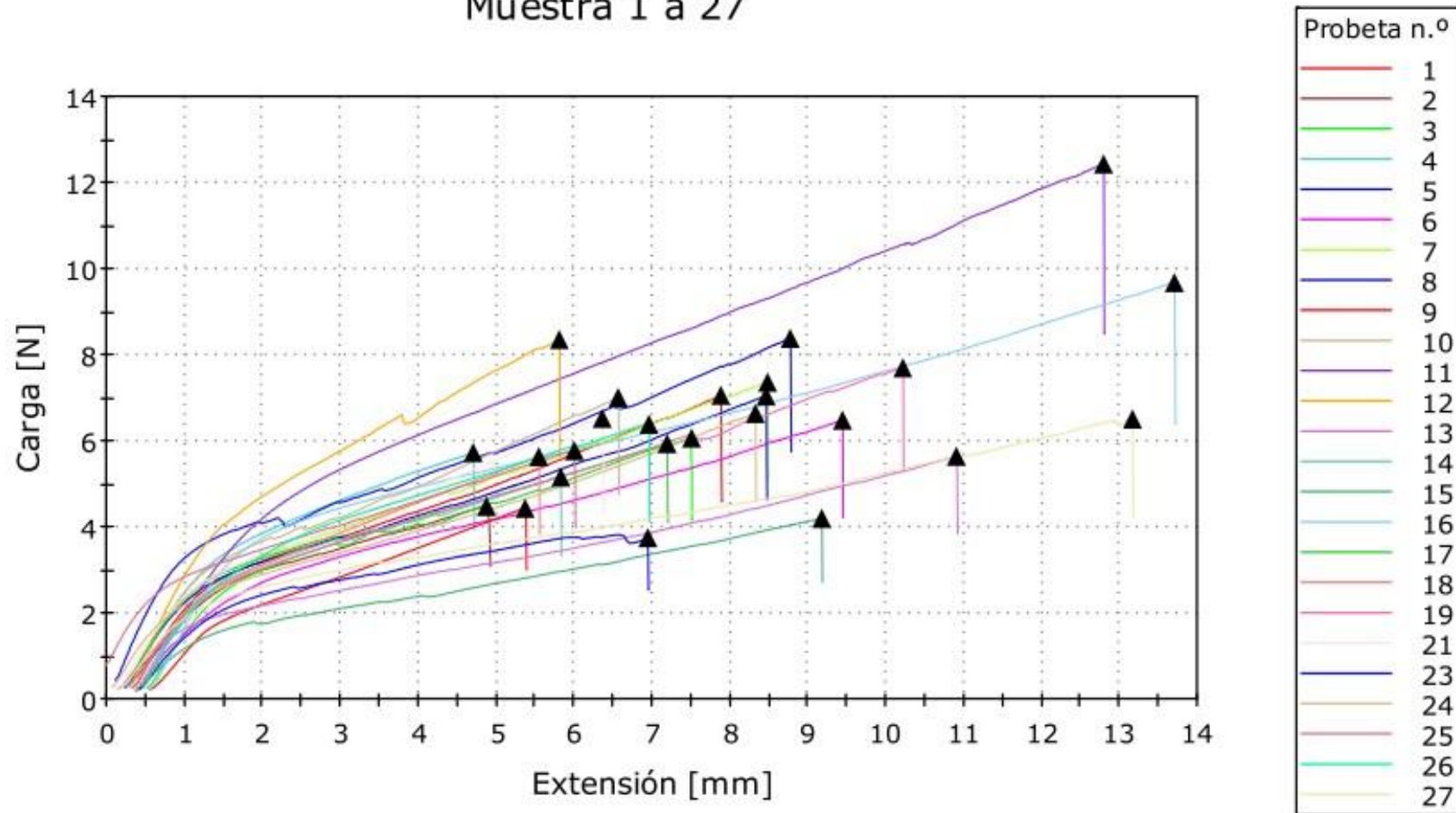
Anexo 8: Tabla de resultados de fibra con tratamiento de hidróxido de sodio.

	Speed of Testing [mm/min]	Breaking Force [N]	Elongation [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	Tiempo al Break (Standard) [s]	Tenacidad al Break (Standard) [N/tex]
1	30,0	5,37	0,04017	50,61200	16,1	0,106
2	30,0	5,41	0,04215	35,34500	17,0	0,153
3	30,0	5,06	0,04484	46,99600	18,0	0,108
4	30,0	8,34	0,04671	33,04000	18,8	0,252
6	30,0	6,40	0,03771	58,82400	15,2	0,109
7	30,0	15,2	0,06962	66,58000	28,0	0,228
8	30,0	5,27	0,04294	35,89700	17,2	0,147
9	30,0	7,70	0,05087	62,71900	20,4	0,123
10	30,0	5,42	0,04640	36,45600	18,6	0,149
11	30,0	5,57	0,05060	35,48400	20,3	0,157
12	30,0	5,78	0,04921	39,83700	19,8	0,145
13	30,0	4,36	0,03342	31,94800	13,4	0,136
14	30,0	4,76	0,03843	36,23200	15,5	0,131
15	30,0	6,23	0,03530	44,20700	14,2	0,141
17	30,0	5,56	0,01884	48,88200	7,57	0,114
19	30,0	7,88	0,07574	42,13200	30,5	0,187
20	30,0	4,27	0,04592	32,06800	18,4	0,133
22	30,0	21,6	0,05021	98,95800	20,2	0,219
25	30,0	3,78	0,03977	26,33700	16,0	0,143
26	30,0	5,09	0,03465	32,51700	14,0	0,157
27	30,0	6,65	0,03953	42,48100	15,9	0,157
28	30,0	9,93	0,04451	46,30900	17,8	0,214
29	30,0	3,40	0,02731	25,09000	10,9	0,136
30	30,0	5,23	0,03647	45,34900	14,6	0,115
31	30,0	4,22	0,03016	37,44700	12,1	0,113
32	30,0	6,78	0,06465	40,59000	25,9	0,167
33	30,0	4,28	0,03297	38,02300	13,2	0,113
34	30,0	6,30	0,03095	40,98400	12,4	0,154
35	30,0	6,17	0,03792	66,53800	15,2	0,093
36	30,0	5,94	0,02969	64,51600	11,9	0,092
Media	30,0	6,60	0,04225	44,74660	17,0	0,146
Desviación estándar	0,00	3,60	0,01	15,27	4,88	0,04

Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 9: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de agua caliente.

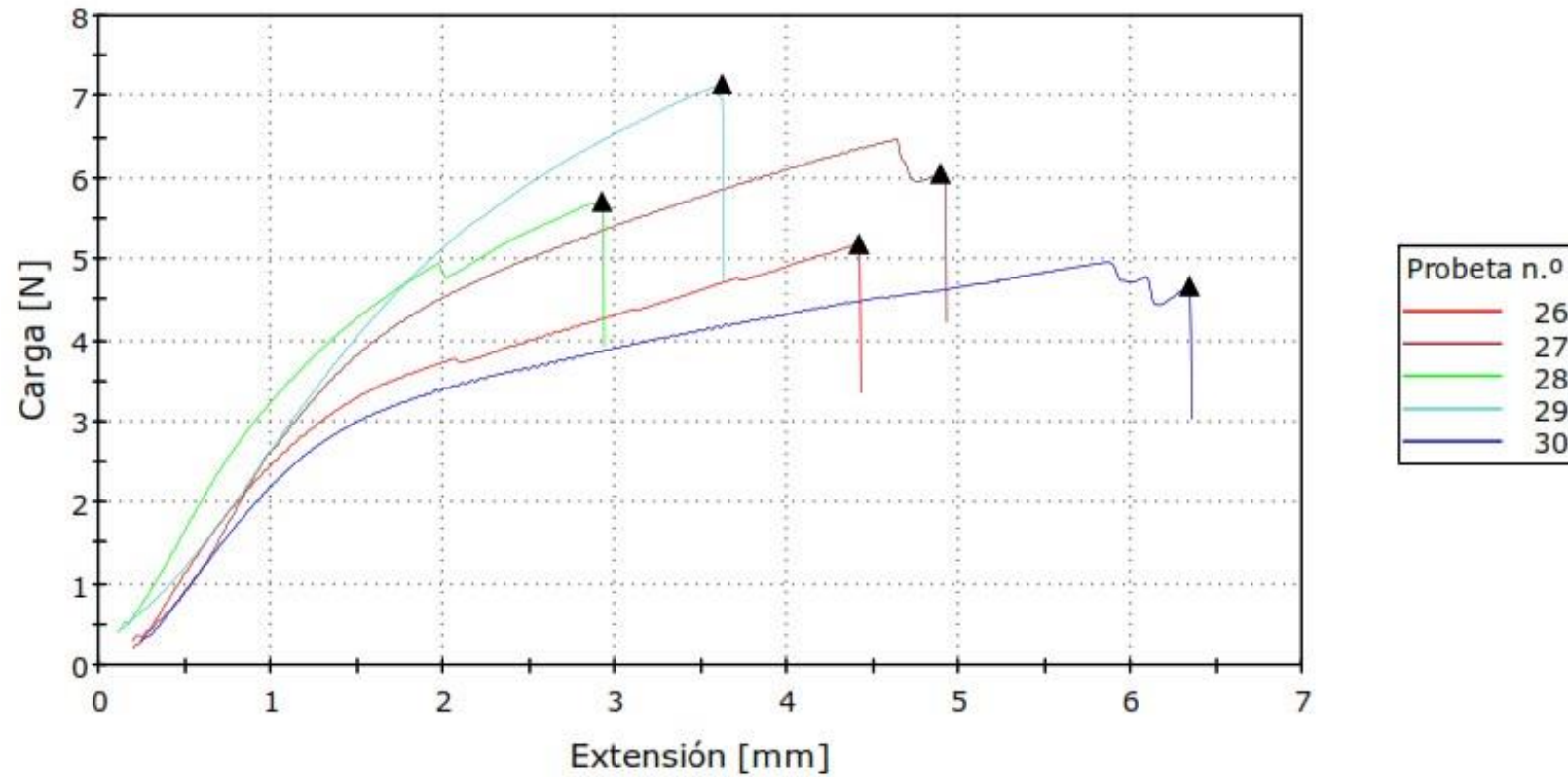
Muestra 1 a 27



Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 10: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de agua caliente.

Muestra 26 a 30



Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 11: Tabla de resultados de fibras con tratamiento de agua caliente.

	Speed of Testing [mm/min]	Breaking Force [N]	Elongation [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	Tiempo al Break (Standard) [s]	Tenacidad al Break (Standard) [N/tex]
1	30,0	4,38	0,02818	45,78900	11,3	0,096
2	30,0	4,36	0,01631	59,16400	6,56	0,074
3	30,0	5,87	0,03747	61,47900	15,0	0,096
4	30,0	2,88	0,02335	34,92100	9,35	0,082
5	30,0	8,28	0,04338	64,64400	17,4	0,128
6	30,0	5,12	0,02438	60,24800	9,78	0,085
7	30,0	3,66	0,02475	52,29900	9,91	0,070
8	30,0	3,38	0,01438	58,92900	5,76	0,057
9	30,0	5,04	0,01925	68,92700	7,72	0,073
10	30,0	5,06	0,02240	60,00000	8,98	0,084
11	30,0	5,93	0,03263	49,16700	13,1	0,121
12	30,0	7,87	0,05249	63,49200	21,0	0,124
13	30,0	5,47	0,02912	62,58100	11,7	0,087
14	30,0	4,78	0,01474	74,64300	5,91	0,064
15	30,0	10,1	0,03607	54,69800	14,4	0,185
16	30,0	5,62	0,02305	45,57400	9,22	0,123
17	30,0	4,33	0,01537	57,54400	6,17	0,075
18	30,0	3,52	0,01961	53,15100	7,87	0,066
19	30,0	10,5	0,05235	49,13000	21,0	0,214
20	30,0	3,26	0,00764	41,14600	3,07	0,079
21	30,0	4,77	0,02457	51,72000	9,84	0,092
22	30,0	5,87	0,02968	51,36100	11,9	0,114
23	30,0	8,91	0,04685	61,53800	18,7	0,145
24	30,0	5,20	0,02332	52,22600	9,34	0,099
25	30,0	6,36	0,03277	74,92100	13,1	0,085
26	30,0	5,19	0,02103	77,13400	8,43	0,067
27	30,0	6,06	0,02341	60,23100	9,38	0,101
28	30,0	5,71	0,01405	75,10000	5,63	0,076
29	30,0	7,15	0,01742	97,60000	6,98	0,073
30	30,0	4,67	0,03042	58,40000	12,2	0,080
Media	30,0	5,65	0,02668	59,25857	10,7	0,097
Desviación estándar	0,00	1,91	0,01	12,40	4,50	0,04

Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 12: Certificado de producción del Hidróxido de sodio al 5%.

CERTIFICADO DE PRODUCCIÓN

Quito a 02 de Agosto del 2021

Producto: Sodio Hidróxido 5%

Producido por: Lab. Químicos

Cantidad: 4 Litros

País de Procedencia Materia Prima: Alemania

Marca: Merck

Lote: 020821

Fecha de elaboración: 02/08/2021 Fecha de Caducidad: 02/08/2022

Elaborado Titulado y etiquetado por: Laboratorios Químicos

INFORME

Parámetros	Unidades	Resultados	Método
Sodio Hidróxido	Porcentaje % (p/v)	5 %	Volumétrico: p/v
Sodio Hidróxido	5 g de NaOH/ 100ml de H ₂ O	Solución al 5%	Volumétrico: p/v

Comentario: Las soluciones al porcentaje solo se reportan el procedimiento de su elaboración que puede ser v/v o p/v, en nuestro caso es (p/v) peso/volumen.

Muestra analizada con lote 020821 Cumple la especificación conforme al capítulo de reactivos de la farmacopea

Químico Responsable:



Dr. Victor Hugo Villacres O.
Lic. Profesional # 21
Laboratorios Químicos

Anexo 13: Muestras para ensayos a las fibras de palma africana.

Nombre	L-T2-F11	L-T2-F12	L-T2-F13	L-T2-F14	L-T2-F15
Wi [gr]	0.0165	0.0203	0.0244	0.0302	0.0162
Wi+T1 [gr]	0.0144	0.0191	0.0227	0.0279	0.0155
L [cm]	28.00	32.4	35.4	31.8	29.0