

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**“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”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO/A CIVIL**

JORGE DAVID CHIQUITO TENORIO

jorgechiquitoemc@gmail.com

GLADYS ELIZABETH ERAS VALLADOLID

eras.gladys@gmail.com

DIRECTOR: ING. NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GÓMEZ, MSC.

nicolay.yanchapanta@epn.edu.ec

CO-DIRECTOR: ING. EDGAR DAVID MORA MARTINEZ, MSC.

edgar.mora@epn.edu.ec

Quito, enero 2022

DECLARACIÓN

Nosotros, **CHIQUITO TENORIO JORGE DAVID y ERAS VALLADOLID GLADYS ELIZABETH**, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

JORGE CHIQUITO TENORIO

GLADYS ERAS VALLADOLID

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge David Chiquito Tenorio y Gladys Elizabeth Eras Valladolid, bajo mi supervisión.

ING. NICOLAY YANCHAPANTA G, MSC.

DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. EDGAR MORA M, MSC

CODIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser la luz que me ha guiado y dado fuerzas para seguir adelante sin dejarme vencer en los momentos difíciles.

A Miguel Ángel Chiquito, mi padre, por su enorme esfuerzo y sacrificio, por enseñarme el valor de la vida y por darme aliento para seguir adelante superando los obstáculos del camino, ya que, él fue mi motivo para estudiar ingeniería civil y a través de mi quiero que cumpla su sueño de ser ingeniero.

A Delia Tenorio, mi madre quien ha sido ese pilar fundamental para seguir adelante y cumplir con todas mis metas, por el amor incondicional que me ha brindado y por el esfuerzo que hizo en busca de mi superación profesional, por ser esa mujer guerra e incondicional que siempre estuvo para mí por eso este triunfo este título es tuyo madre hermosa y linda te amo tu eres mi todo y mi fuerza para seguir adelante.

A Ana Chiquito, mi hermana quien fue la primera que nos inculco ese camino del estudio y darnos las fuerzas para seguir adelante pese a cualquier problema que se nos presenta en el camino´.

A Laura Chiquito, mi hermana, quien me dio su apoyo incondicional y estuvo a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida y siempre tuvo esa palabra de aliento y de fuerza para no dejarme vencer y salir adelante

A Miguel Ángel, mi hermano mi fuerza mi yunta quien siempre ha estado a mi lado acompañándome y apoyándome en cada paso que doy.

A Milton y Marcelo, mis hermanos quienes cada día me dan ejemplo de esfuerzo y superación y hoy comparten este gran sueño.

Al Ingeniero Ángel Gómez alias el arquitecto quien me apoyado a lo largo de la carrera gracias por todo.

A mis mejores amigos: Ángel, Elizabeth, Daniel, Gladys, Mario, Pedrito, Jefferson Juampi, Wendy por brindarme su amistad sincera siendo unas excelentes personas que siempre tuvieron la palabra adecuada de aliento y de apoyo a lo largo de la carrera y sobre todo gracias por las experiencias vividas gracias por llevarme a la novatada de primer semestre.

A mi compañera y amiga de tesis Gladys Eras por aceptar este reto conmigo por tenerme paciencia y por su apoyo incondicional desde que empezó este trabajo de titulación y por inculcarme que siempre un trabajo por más perfecto que este siempre se puede mejorar gracias por todo.

A los ingenieros, Nicolay Yanchapanta y Edgar Mora, por su ayuda y consejos para poder realizar este trabajo de titulación gracias.

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud a mi Dios, que me ha dado a mis padres Rosa Valladolid, Belarmino Eras y hermano David. La familia siempre es la fuente de energía en momentos que una persona siente su mundo se desmorona, mis padres son mi mayor orgullo y es a quienes les debo todo.

Rosa Valladolid, la mujer que me inspira a ser una mujer fuerte, trabajadora y responsable. Te amo mami por siempre apoyarme en todo.

Belarmino Eras, a más de ser mi padre fuiste mi amigo y te dedico mi trabajo de titulación porque este fue nuestro sueño y me alegro de haberlo planeado contigo y aunque ya no estés aquí siempre serás mi amado padre.

David Eras, mi primer amigo y mi hermano favorito siempre recuerdo que hiciste muy bien tu papel de hermano mayor cuidándome y queriéndome. Tengo recuerdos de tantas ocurrencias tuyas, pero entre ellas está presente tu gran amor de hermano.

Mishelle Hidalgo y Javier Guevara, por ser más que mis amigos mis hermanos los quiero mucho.

En el camino siempre te permite conocer a personas que marcan tu vida y sé que a pesar de la distancia han estado para mí cuando lo he necesitado Miguel Carrera, Lizzet Enríquez, Sara Tupiza, Andrea Mosquera, Gina Martínez, Carlos Arboleda, Daniel Sánchez, Ángel Gómez, Elizabeth Fuertes, Jorge Chiquito, Karina Guadalupe, Jeferson Calderón, Pedro Almache, Carlos Rivera, Walther Soto y Ricardo Proaño. Me ha dado tanto gusto conocerlos y haber compartido momentos de amistad muy bonitos a su lado.

A los docentes: Ing. Juan Carlos Pantoja, Ing. Jorge Vintimilla, Ing. Ma. Belén Correa, Ing. Ma. Belén Aldás, Ing. Raúl Baquero, Ing. German Luna, Ing. Patricia Haro e Ing. Carla Mancinati. Porque sus palabras me han ayudado y motivado.

Jorge Chiquito, por ser paciencia durante la elaboración del trabajo de titulación y esa persona que me apoyo cada vez que lo necesite.

Ing. Nicolay Yanchapanta, Ing. Edgar Mora e Ing. Luis Hernández por su ayuda y guía ha sido fundamental para la investigación del tema adquirido. Y me siento feliz por haber podido trabajar con ustedes como tutores.

Ing. Jorge Albuja e Ing. Ma. Inés Calvo, representantes de la Pontificia Universidad Católica – Ecuador. Por ayudarnos con las instalaciones de la PUCE y con su asesoramiento que ha sido de vital ayuda.

Miguel Carrera, gracias por tu amor y apoyo. Eres parte de mi vida y mi corazón.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Delia Tenorio, Miguel Ángel Chiquito por su paciencia, confianza y apoyo incondicional y sobre todo por creer en mí en que lograría alcanzar esta meta.

A mis hermanos: Anita, Laura, Miguel, Patricio, Marcelo quienes saben el esfuerzo y sacrificios que pase para alcanzar este grandioso sueño.

A mis abuelitos: Juana Muisin, Serafín Tenorio también a mis tíos, tías quienes han estado conmigo en este camino apoyándome y por su gran cariño.

A mis sobrinos: Kamila, Nicolás, Danna por sacarme una sonrisa y ser parte de este triunfo universitario.

Jorge David Chiquito Tenorio

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres y hermano.

A Eliánis, mi sobrina.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTO	III
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VII
DEDICATORIA	VIII
CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS	XXIII
ÍNDICE FOTOGRAFÍAS	XXVIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XXXI
RESUMEN	XXXII
ABSTRACT.....	XXXIII
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 GENERAL.....	2
1.2.2 ESPECÍFICOS.....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.4 ALCANCE	5
1.5 JUSTIFICACIÓN	5
1.5.1 TEÓRICA.....	5

1.5.2 METODOLÓGICA.....	9
1.5.3 PRÁCTICA.....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	14
2.1 HORMIGONES	14
2.1.1 HISTORIA DEL HORMIGÓN.....	14
2.1.2 HORMIGONES CON FIBRAS NATURALES.....	15
2.2 PALMA AFRICANA.....	16
2.2.1 GENERALIDADES	16
2.2.2 PRODUCCIÓN DE PALMA AFRICANA EN ECUADOR.	17
2.2.3 HISTORIA EN EL TIEMPO.....	19
2.2.4 PALMICULTORA “LA JOYA”	20
2.3 COMPONENTES: HORMIGÓN CON FIBRA	23
2.3.1 CEMENTO.....	23
2.3.2 AGREGADOS.....	25
2.3.3 AGUA.....	26
2.3.4 FIBRAS NATURALES	27
2.4 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO Y ENDURECIDO	30
2.4.1 HORMIGÓN FRESCO.....	30
2.4.2 HORMIGÓN ENDURECIDO.....	36
2.4.3 CURADO	36
2.5 DURABILIDAD DE LA FIBRA NATURAL	37
2.5.1 LA FIBRA DENTRO DE UN MEDIO ALCALINO (HORMIÓN).....	37
2.5.2 TRATAMIENTO QUÍMICO PARA AUMENTAR LA DURABILIDAD DE LA FIBRA	38
2.6 PROBETAS Y ENSAYOS.....	43

2.6.1 PROBETAS	43
2.7 DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES	47
2.7.1 SELECCIÓN DE PROPORCIONES	48
2.7.2 CORRECCIÓN POR HUMEDAD.....	51
2.7.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD - AGREGADOS.	52
2.7.4 RESISTENCIA REQUERIDA.....	53
2.7.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	56
2.7.6 CARGA AXIAL.....	59
CAPÍTULO III: METOLOGÍA	61
3.1 DEGRADACION DE LAS FIBRAS NATURALES EMBEBIDAS EN EL HORMIGON SIMPLE.....	61
3.2 ENSAYOS PLANTEADOS Y CANTIDAD DE PROBETAS.....	62
3.2.1 ENSAYOS PLANTEADOS	62
3.2.2. CANTIDAD DE PROBETAS CON Y SIN FIBRAS DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA.....	63
3.3 DISEÑO DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN SIMPLE	66
3.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGON SIMPLE.....	66
3.3.2 SELECCIÓN DEL ENCOFRADO.	66
3.4 ENSAYOS A COMPONENTES DEL HORMIGÓN SIMPLE Y DE LAS FIBRAS	67
3.4.1 ENSAYOS AL CEMENTO	67
3.4.2 ENSAYOS A LOS AGREGADOS.....	72
3.4.3 ENSAYO DE LAS FIBRAS NATURALES	85
3.4.3.2 Contenido de humedad.....	86

3.5 TRATAMIENTO QUÍMICO APLICADOS A LA FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA.....	92
3.5.1 HIDRÓXIDO DE SODIO	93
3.5.2 AGUA CALIENTE A 100°C.....	98
3.5.3 RESUMEN: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA.....	99
3.6 FIBRA DE PALMA AFRICANA A TRACCIÓN PURA	100
3.6.1 PREPARACIÓN: MUESTRA DE FIBRA SIN TRATAMIENTO	100
3.6.2 PREPARACIÓN: MUESTRA TRATADA CON HIDRÓXIDO DE SODIO	101
3.6.3 PREPARACIÓN: MUESTRA TRATADA CON AGUA CALIENTE	103
3.6.4 ENSAYO: TRACCIÓN DE LA FIBRA	104
3.6.5 RESUMEN: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA.....	105
3.6.6 CORTADO DE LA FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA	106
3.7 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE	107
3.7.1 DISEÑO DE PATRONES DE HORMIGÓN SIMPLE CON Y SIN FIBRAS NATURALES DE RESISTENCIA 210kgf/cm ² Y 240 kgf/cm ² PARA UN SACO DE CEMENTO PARA LA COMPROBACION DE RESISTENCIAS.....	107
3.7.2 RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN EL HORMIGON SIMPLE	108
3.8 DOSIFICACIÓN EN MASA PARA 1m ³ DE HORMIGÓN SIN FIBRA.....	109
3.8.1 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 210 kgf/cm ² SIN FIBRA.....	109
3.8.2 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 240 kgf/cm ² SIN FIBRA.....	116
3.9 DOSIFICACIÓN EN MASA PARA 1m ³ DE HORMIGÓN CON FIBRA TRATADA CON NaOH	119

3.9.1 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 210 kgf/cm ² CON 0.5 % DE FIBRA.....	120
3.9.2 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN 210 kgf/cm ² CON 1.0 % DE FIBRA	121
3.9.3 HORMIGÓN 240 kgf/cm ² CON 0.5 % DE FIBRA.....	122
3.9.4 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 240 kgf/cm ² CON 1.0% DE FIBRA.....	124
3.9.5 ENSAYO DE ASENTAMIENTO Y COMPRESIÓN A LOS CILINDROS PATRONES	124
3.10 DOSIFICACIÓN EN MASA PARA 1m ³ DE HORMIGÓN CON FIBRA TRATADA CON AGUA CALIENTE.....	126
3.10.1 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 210 kgf/cm ² CON 0.5% DE FIBRA....	126
3.10.2 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 210 kgf/cm ² CON 1.0% DE FIBRA....	127
3.10.3 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 240 kgf/cm ² CON 0.5% DE FIBRA....	128
3.10.4 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 240 kgf/cm ² con 1.0% DE FIBRA.....	129
3.10.5 ENSAYO DE ASENTAMIENTO Y COMPRESIÓN A LOS CILINDROS PATRONES	130
3.11 RESUMEN DE LAS DOSIFICACIONES FINALES PARA LA ELABORACION DE LAS PROBETAS CILINDRICAS	132
3.11.1 SIN FIBRA	132
3.11.2 HIDRÓXIDO DE SODIO	132
3.11.3 AGUA CALIENTE	134
3.12 VOLUMEN REQUERIDO DE HORMIGÓN.....	135
3.13 ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS.....	136
3.13.1 ENCOFRADO	136
3.13.2 MEZCLA Y HORMIGÓN.....	136
3.14 ENSAYO AL HORMIGÓN FRESCO.....	138
3.14.1 ASENTAMIENTO.....	138

3.14.2 DENSIDAD Y CONTENIDO DE AIRE	140
3.14.3 ENSAYO DE TEMPERATURA.....	141
3.14.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS APLICADOS AL HORMIGÓN FRESCO.....	141
3.15 ELABORACIÓN DESENCOFRADO Y CURADO DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS.	142
3.15.1 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS	142
3.15.2 DESENCOFRADO Y CURADO DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS	143
CAPÍTULO IV: ETAPA EXPERIMENTAL	145
4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS	145
4.1.1 EQUIPO DE ENSAYO	145
4.1.2 CONTROL DE CALIDAD DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS	168
4.1.3 ENSAYO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS.....	171
CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	180
5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE PALMA AFRICANA CON Y SIN TRATAMIENTO QUÍMICO.....	180
5.2 ENSAYOS AL HORMIGÓN SIMPLE FRESCO CON Y SIN FIBRAS	181
5.2.1 ASENTAMIENTO.....	181
5.2.2 CONTENIDO DE AIRE	183
5.2.3 PESO ESPECÍFICO	185
5.3 ENSAYOS AL HORMIGÓN ENDURECIDO	187
5.3.1 ENSAYO A LA COMPRESIÓN.....	187
5.3.2 RESUMEN DE RESISTENCIAS OBTENIDAS EN EL ENSAYO A COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS	192

5.3.3 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LOS HORMIGONES.....	193
5.4 SELECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN (HORMIGÓN SIMPLE MÁS FIBRA NATURAL) PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS SOSTENIBLES	196
5.5 DURABILIDAD DE LA FIBRA	196
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	198
6.1 CONCLUSIONES	198
6.2 RECOMENDACIONES	201
BIBLIOGRAFÍA	202
ANEXOS	213

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Regla empírica de Melikamp.</i>	11
Tabla 2: <i>Números de especímenes a ser ensayados.</i>	12
Tabla 3: <i>Factores que afectan las propiedades de las fibras naturales como refuerzo.</i>	15
Tabla 4: <i>Condiciones edafo-climáticas para el cultivo de palma aceitera.</i>	17
Tabla 5: <i>Superficie productiva del cultivo de aceite de palma (Ha).</i>	17
Tabla 6: <i>Estimación del producción y consumo nacional.</i>	19
Tabla 7: <i>Tipos de cemento Portland.</i>	24
Tabla 8: <i>Clasificación de acuerdo a sus propiedades específicas.</i>	24
Tabla 10: <i>Ventajas y desventajas de las fibras naturales respecto a las fibras sintéticas.</i>	29
Tabla 11: <i>Grados de consistencias y aplicaciones.</i>	32
Tabla 12: <i>Tipo de hormigón en función de su peso unitario.</i>	34
Tabla 13: <i>Diámetro y propiedades elásticas de la fibra de palma.</i>	38
Tabla 14: <i>Resume de tratamientos químicos.</i>	40
Tabla 15: <i>Número de capas necesarias para las muestras.</i>	45
Tabla 16: <i>Diámetro varilla y número de golpes a utilizar en las probetas.</i>	45
Tabla 17: <i>Precisión dentro del ensayo.</i>	46
Tabla 18: <i>Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.</i>	49
Tabla 19: <i>Tamaño máximo del agregado recomendado para varias obras.</i>	49
Tabla 20: <i>Cantidad de agua mezclada, (litros/m) de hormigón, requerida en función del tamaño máximo del agregado utilizado en la obra, para diferentes asentamientos.</i>	50
Tabla 21: <i>Relación a/c recomendada.</i>	51
Tabla 22: <i>Volumen del agregad grueso por unidad de volumen.</i>	51
Tabla 23: <i>Resistencia a compresión simple del hormigón endurecido.</i>	53
Tabla 24: <i>Influencia del curado en el hormigón.</i>	54
Tabla 25: <i>Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes.</i>	56

Tabla 26: <i>Ec específica</i>	59
Tabla 27: <i>Cilindros Patrones a ensayar</i>	64
Tabla 28: <i>Número de probetas cilíndricas por cada resistencia</i>	64
Tabla 29: <i>Número de probetas cilíndricas a ensayar</i>	66
Tabla 30: <i>Resultados de los ensayos aplicados al cemento</i>	72
Tabla 31: <i>Tamaño de las muestras de agregados</i>	73
Tabla 32: <i>Tamices para agregado Grueso</i>	73
Tabla 33: <i>Gradación de la Muestra, de ensayo</i>	78
Tabla 34: <i>Especificaciones para la carga abrasiva</i>	79
Tabla 35: <i>Resultados de los ensayos agregado grueso</i>	80
Tabla 36: <i>Gradación obtenida para el agregado grueso</i>	80
Tabla 37: <i>Tamices usados para el agregado fino</i>	81
Tabla 38: <i>Escala de Gardner</i>	83
Tabla 39: <i>Resultados obtenidos de los ensayos al agregado fino</i>	84
Tabla 40: <i>Gradación Obtenida de la arena</i>	84
Tabla 41: <i>Características físicas de la fibra no tratada</i>	99
Tabla 42: <i>Características físicas de la fibra con NaOH</i>	99
Tabla 43: <i>Características físicas de la fibra en Agua Caliente a 100°C</i>	100
Tabla 44: <i>Resultados caracterización mecánica de la fibra sin tratamiento</i>	105
Tabla 45: <i>Resultados caracterización mecánica de la fibra con hidróxido de sodio</i>	105
Tabla 46: <i>Resultados caracterización mecánica de la fibra en agua caliente</i> ...	105
Tabla 47: <i>Resistencia a la compresión requerida</i>	108
Tabla 48: <i>Resumen de resultados a los materiales que componen la mezcla de hormigón</i>	109
Tabla 49: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 210 kgf/cm²</i>	109
Tabla 50: <i>Dosificación corrección por humedad de los agregados</i>	111
Tabla 51: <i>Dosificación en peso para un saco de cemento</i>	112
Tabla 52: <i>Resultados del hormigón simple cilindros patrones</i>	113
Tabla 53: <i>Segunda dosificación hormigón 210 kgf/cm²</i>	114

Tabla 54: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 210 kgf/cm².</i>	115
Tabla 55: <i>Dosificación en peso para un saco de cemento.</i>	115
Tabla 56: <i>Resultados del hormigón simple cilindros patrones.</i>	116
Tabla 57: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 240 kgf/cm².</i>	116
Tabla 58: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kgf/cm².</i>	117
Tabla 59: <i>Dosificación en peso para un saco de cemento 240kgf/cm².</i>	118
Tabla 60:	118
Tabla 61: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra</i>	120
Tabla 62: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra.</i>	121
Tabla 63: <i>Resultados del hormigón simple cilindros patrones 210kgf/cm² con 0.5% de fibra.</i>	121
Tabla 64: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra.</i>	121
Tabla 65: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra.</i>	122
Tabla 66: <i>Resultados del hormigón simple cilindros patrones 210kgf/cm² con 1.0% de fibra.</i>	122
Tabla 67: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra.</i>	123
Tabla 68: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra.</i>	123
Tabla 69: <i>Resultados del hormigón simple cilindros patrones 240kgf/cm² con 0.5% de fibra.</i>	123
Tabla 70: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra.</i>	124
Tabla 71: <i>Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra.</i>	124

Tabla 72: Resultados del hormigón simple cilindros patrones 240kgf/cm ² con 1.0% de fibra.	124
Tabla 73: Resultados del hormigón simple 210 kgf/cm ² al 0.5 % y1.0% de fibra.	125
Tabla 74: Resultados del hormigón simple 240 kgf/cm ² al 0.5 % y1% de fibra.	126
Tabla 75: Dosificación en peso para 1m ³ de hormigón de 210 kgf/cm ² con 0.5% de fibra.	126
Tabla 76: Dosificación en peso para 1m ³ de hormigón 210 kg/cm ² con 0.5% de fibra.	127
Tabla 77: Resultados del hormigón simple cilindros patrones 210kgf/cm ² con 0.5% de fibra.	127
Tabla 78: Dosificación en peso para 1m ³ de hormigón de 210 kg/cm ² con 1.0% de fibra.	127
Tabla 79: Dosificación en peso para 1m ³ de hormigón 210 kg/cm ² con 1.0% de fibra.	128
Tabla 80: Resultados del hormigón simple cilindros patrones 210kgf/cm ² con 1.0% de fibra.	128
Tabla 81: Dosificación en peso para 1m ³ de hormigón de 240 kgf/cm ² con 0.5% de fibra.	128
Tabla 82: Dosificación en peso para 1m ³ de hormigón 240 kg/cm ² con 0.5% de fibra.	129
Tabla 83: Resultados del hormigón simple cilindros patrones 240kgf/cm ² con 0.5% de fibra.	129
Tabla 84: Dosificación en peso para 1m ³ de hormigón de 240 kgf/cm ² con 1.0% de fibra.	129
Tabla 85: Dosificación en peso para 1m ³ de hormigón 240 kgf/cm ² con 1.0% de fibra.	129
Tabla 86: Resultados del hormigón simple cilindros patrones 240kgf/cm ² con 1.0% de fibra.	130

Tabla 87: <i>Resultados del hormigón simple 210 kg/cm² al 0.5 % y 1.0% de fibra.</i>	130
Tabla 88: <i>Resultados del hormigón simple 240 kg/cm² al 0.5 % y 1.0% de fibra.</i>	131
Tabla 89: <i>Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm².</i>	132
Tabla 90: <i>Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm².</i>	132
Tabla 91: <i>Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratadas con NaOH.</i>	132
Tabla 92: <i>Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratadas con NaOH.</i>	133
Tabla 93: <i>Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratadas con NaOH.</i>	133
Tabla 94: <i>Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratadas con NaOH.</i>	133
Tabla 95: <i>Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratada con agua caliente.</i>	134
Tabla 96: <i>Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratada con agua caliente.</i>	134
Tabla 97: <i>Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratada con agua caliente.</i>	134
Tabla 98: <i>Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratada con agua caliente.</i>	135
Tabla 99: <i>Volumen general requerido para la fabricación de las 210 probetas cilíndricas.</i>	135
Tabla 100: <i>Volumen general requerido para la fabricación de las 21 probetas cilíndricas por cada variable.</i>	135
Tabla 101: <i>Orden de los componentes para la mezcla del hormigón simple sin fibras naturales.</i>	137
Tabla 102: <i>Orden de los componentes para la mezcla del hormigón simple con fibras naturales.</i>	137

Tabla 103: <i>Resultados ensayos al hormigón fresco.</i>	142
Tabla 104: <i>Descripción de la nomenclatura usada al nombrar a los especímenes según sus características.</i>	147
Tabla 105: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kg/cm² sin fibra.</i>	148
Tabla 106: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kg/cm² sin fibra.</i>	149
Tabla 107: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de NaOH.</i>	150
Tabla 108: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kgf/cm² al 1% de fibra con tratamiento de NaOH.</i>	151
Tabla 109: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de NaOH.</i>	152
Tabla 110: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 1% de fibra con tratamiento de NaOH.</i>	153
Tabla 111: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.</i>	154
Tabla 112: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kgf/cm² al 1.0% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.</i>	155
Tabla 113: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.</i>	156
Tabla 113: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.</i>	156
Tabla 114: <i>Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 1.0% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.</i>	157
Tabla 115: <i>Resistencia de cilindros de f'c 210 kgf/cm² sin fibra.</i>	158
Tabla 116: <i>Resistencia de cilindros de f'c 240 kgf/cm² sin fibra.</i>	159
Tabla 117: <i>Resistencia de cilindros de f'c 210 kgf/cm² con fibra al 0.5% - T1: NaOH.</i>	160
Tabla 118: <i>Resistencia de cilindros de f'c 210 kgf/cm² con fibra al 1.0% - T1: NaOH.</i>	161

Tabla 119: Resistencia de cilindros de $f'c$ 240 kgf/cm ² con fibra al 0.5% - T1: NaOH.	162
Tabla 120: Resistencia de cilindros de $f'c$ 240 kgf/cm ² con fibra al 1.0% - T1: NaOH.	163
Tabla 121: Resistencia de cilindros de $f'c$ 210 kgf/cm ² con fibra al 0.5% - T2: Agua caliente 100°C.....	164
Tabla 122: Resistencia de cilindros de $f'c$ 210 kgf/cm ² con fibra al 1.0% - T2: Agua caliente 100°C.....	165
Tabla 123: Resistencia de cilindros de $f'c$ 240 kgf/cm ² con fibra al 0.5% - T2: Agua caliente 100°C.....	166
Tabla 124: Resistencia de cilindros de $f'c$ 240 kgf/cm ² con fibra al 1.0% - T2: Agua caliente 100°C.....	167
Tabla 125: Estándares de control de calidad del concreto	169
Tabla 126: Control de calidad de la variación de la resistencia	170
Tabla 127: Cuadro comparativo de las propiedades de la fibra.....	180
Tabla 128: Resultados de asentamiento hormigón sin y con fibras.....	182
Tabla 129: Contenido de aire.....	184
Tabla 130: Resultados del peso específico.	185
Tabla 131: Resultados de la resistencia a la compresión.....	188
Tabla 132: Módulo de Elasticidad 210 kgf/cm ²	194
Tabla 133: Modulo de elasticidad 240 kgf/cm ²	195
Tabla 134: Dosificación en peso óptima para 1m ³ de hormigón $f'c$ 210kgf/cm ² .196	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Regla empírica	10
Figura 2: Primeras construcciones con derivados de hormigón.....	14
Figura 3: Distribución de la superficie del cultivo de aceite de palma de acuerdo a la superficie en producción por provincia (Ha).	18
Figura 4: Evaluación de la producción nacional de aceite de palma (Tm)- PRODUCCIÓN.....	18
Figura 5: Mapa conceptual de clasificación de fibra natural.....	27
Figura 6: Composición química de la fibra vegetal.....	28
Figura 7: Estructura de la organización celular de la fibra natural.....	30
Figura 8: Presencia de coqueras o ratoneras.....	33
Figura 9: Exudación del hormigón a) Normal, b) Insuficiente y c) Excesiva.....	33
Figura 10: Diagrama esquemático del medidor tipo B.....	35
Figura 11: Ventajas, desventajas y observaciones en cuanto al uso del hidróxido de sodio.....	41
Figura 12: Resistencia a la tracción del OPBF sometido al tratamiento de NaOH con diferentes concentraciones y duraciones.....	42
Figura 13: Ventajas, desventajas y observaciones en cuanto al tratamiento con agua caliente	42
Figura 14: Resistencia a la tracción del OPBF sometido a tratamiento de agua caliente durante diferentes tiempos.....	43
Figura 15: Tipos de probetas o especímenes de concreto.....	44
Figura 16: Moldes de acero.....	44
Figura 17: Colocación, compactación y eliminación de aire (maso de goma).....	46
Figura 18: Dimensiones para especímenes.	46
Figura 19: Esquema de los modelos típicos de fractura.....	47
Figura 20: Composición del hormigón.....	47

Figura 21: Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas en agregados pequeños mientras que las barras 2 y 4 representan mezclas pobres en materiales grandes.	48
Figura 22: Curva esfuerzo-deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración.	53
Figura 23: Influencia de curado en el hormigón.	54
Figura 24: Efecto de la edad al ensayar en la resistencia.	55
Figura 25: Modulo de elasticidad del concreto.	56
Figura 26: Compresión adecuada (izq.) y Diagrama de desplazamientos (der.).	57
Figura 27: Carga axial aplicada en la sección transversal.	59
Figura 28: Resistencia a la compresión del hormigón sin fibra $f'c$ 210 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.	159
Figura 29: Resistencia a la compresión del hormigón sin fibra $f'c$ 240 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.	160
Figura 30: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 210 kgf/cm^2 14, 28 y 56 días.	161
Figura 31: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 210 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.	162
Figura 32: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 240 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.	163
Figura 33: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 240 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.	164
Figura 34: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 210 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.	165
Figura 35: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 210 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.	166
Figura 36: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 240 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.	167
Figura 37: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 240 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.	168

Figura 38: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² --SF. (Edad de curado: 28 días)...	172
Figura 39: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210-SF. (Edad de curado: 56 días)	172
Figura 40: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 28 días)	173
Figura 41: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 56 días)	173
Figura 42: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 14 días)	173
Figura 43: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 28 días)	174
Figura 44: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 56 días)	174
Figura 45: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -1.0% F. (Edad de curado: 14 días)	174
Figura 46: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -1.0% F. (Edad de curado: 28 días)	175
Figura 47: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -1.0% F. (Edad de curado: 56 días)	175
Figura 48: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -1.0% F. (Edad de curado: 14 días)	175
Figura 49: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -1.0% F. (Edad de curado: 28 días)	176
Figura 50: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -1.0% F. (Edad de curado: 56 días)	176
Figura 51: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 14 días)	176
Figura 52: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 28 días)	177
Figura 53: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 56 días)	177

Figura 54: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 14 días)	177
Figura 55: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 28 días)	178
Figura 56: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -0.5% F. (Edad de curado: 56 días)	178
Figura 57: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -1.0% F. (Edad de curado: 14 días)	178
Figura 58: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm ² -1.0%. (Edad de curado: 56 días)	179
Figura 59: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -1.0%. (Edad de curado: 14 días)	179
Figura 60: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm ² -1.0%. (Edad de curado: 28 días)	179
Figura 61: Disminución de la absorción	181
Figura 62: Disminución del asentamiento hormigón $f'c$ 210kgf/cm ²	182
Figura 63: Disminución del asentamiento hormigón $f'c$ 240kgf/cm ²	183
Figura 64: Contenido de aire vs adición de la fibra hormigón $f'c$ 210 kgf/cm ² ...	184
Figura 65: Contenido de aire vs adición de la fibra hormigón $f'c$ 240 kgf/cm ² ...	185
Figura 66: Peso específico y adición de la fibra 210 kgf/cm ² tratamiento con NaOH	186
Figura 67: Peso específico y adición de la fibra 210kg/cm ² tratamiento con agua caliente	186
Figura 68: Peso específico y adición de la fibra 240 kg/cm ² tratamiento con NaOH	186
Figura 69: Peso específico y adición de la fibra 240kg/cm ² tratamiento con agua caliente	187
Figura 70 Curvas de resistencia de compresión vs tiempo de curado - $f'c$ 21MPa	189
Figura 71: Comparación de $f'c$ 21MPa, respecto a la inmersión de 0.5 y 1.0% de fibra con tratamiento 1	189
Figura 72: Comparación de $f'c$ 21MPa, respecto a la inmersión de 0.5 y 1.0% de fibra con tratamiento 2	190

Figura 73: Curvas de resistencia de compresión vs tiempo de curado - $f'c$ 24MPa	190
Figura 74: Comparación de $f'c$ 24MPa, respecto a la inmersión de 0.5 y 1.0% de fibra con tratamiento 1.....	191
Figura 75: Comparación de $f'c$ 24MPa, respecto a la inmersión de 0.5 y 1.0% de fibra con tratamiento 2.....	192
Figura 76: Hormigón simple de $f'c$ 21Mpa con y sin fibras expuestas a los tratamientos.....	192
Figura 77: Hormigón simple de $f'c$ 24Mpa con y sin fibras expuestas a los tratamientos.....	193
Figura 78: Resumen valores de módulos de elasticidad respecto a $f'c$ 210 kgf/cm ²	194
Figura 79: Resumen valores de módulos de elasticidad respecto a $f'c$ 240 kgf/cm ²	195

ÍNDICE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Palmicultora "La Joya".....	20
Fotografía 2: Raquis de la palma africana.	20
Fotografía 3: Calderas de la extractora "LA JOYA".	20
Fotografía 4: Limpieza de la fibra.....	21
Fotografía 5: Almacenamiento de la fruta exprimida - LA JOYA.....	21
Fotografía 6: Calderas en la Palmicultora “La Joya”	21
Fotografía 7: Fibra limpia y lista para cortar.....	22
Fotografía 8: Subproducto de la palma africana.	23
Fotografía 9: Fruta posteriormente al prensado.....	23
Fotografía 10: Cámara de humedad - PUCE.	27
Fotografía 11: Vista en planta, se visualiza el er y eg.....	57
Fotografía 12: Puntos de calibre (Puntos de sujeción), se incrustan en el espécimen.....	58
Fotografía 13: Maquina universal de Cargas	61
Fotografía 14: Moldes cilíndricos – metálicos.	67
Fotografía 15: Cemento Holcim Fuerte Tipo GU.....	68
Fotografía 16: Ensayo de densidad real del cemento.....	69
Fotografía 17: Ensayo de densidad real del cemento.....	69
Fotografía 18: Ensayo de consistencia normal del cemento.....	71
Fotografía 19: Ensayo de consistencia normal del cemento.....	71
Fotografía 20: Agregado que pasa el tamiz ½”	74
Fotografía 21: Agregado que pasa el tamiz No 4.....	74
Fotografía 22: Secado de la superficie del agregado grueso.....	75
Fotografía 23: masa del agregado en estado saturado.	75
Fotografía 24: Densidad SSS del agregado grueso.....	76
Fotografía 25: Máquina de los Ángeles y carga de Abrasión.....	79
Fotografía 26: Fibra de Raquis de Palma Africana	85
Fotografía 27: Desfibra miento y almacenamiento de la fibra.	86
Fotografía 28: Masa de la Fibra de Raquis de Palma Africana.....	87

Fotografía 29: Proceso de ensayo de absorción.....	89
Fotografía 30: Proceso de ensayo de la densidad en la fibra	91
Fotografía 31: Proceso de ensayo de la densidad en la fibra.	91
Fotografía 32: Almacenamiento y transporte de la fruta de palma africana en la palmicultora “La Joya”	93
Fotografía 33: Materiales para bajar la concentración de NaOH del 5% al 4%. .	95
Fotografía 34: Separación de los 800 ml de NaOH	95
Fotografía 35: Separación de los 200ml de agua destilada.	96
Fotografía 36: 0.8L de NaOH y 0.2L de Agua destilada.	96
Fotografía 37: Mezcla de NaOH y Agua destilada.	96
Fotografía 38: Lavada y puesta al horno de la fibra.....	97
Fotografía 39: Aplicación del NaOH a la fibra.	97
Fotografía 40: Medición del PH a las Fibras.	98
Fotografía 41: Fibras sumergidas en agua caliente	98
Fotografía 42: Lavado y puesta al horno de la fibra.....	99
Fotografía 43: Selección de fibras.	100
Fotografía 44: Masa (g) de las fibras para determinar propiedades mecánicas.	101
Fotografía 45: Colocando NaOH a las fibras de palma africana.....	101
Fotografía 46: Sumergir las fibras en NaOH.....	102
Fotografía 47: Buscar el pH neutro.	102
Fotografía 48: Medir el pH de las fibras con tratamiento de NaOH.....	102
Fotografía 49: pH neutro del agua destilada.....	103
Fotografía 50: Tratamiento de las fibras agua caliente.	103
Fotografía 51: Maquina universal de ensayos Instron, modelo 3345.....	104
Fotografía 52: Ubicación de la fibra en la maquina universal	105
Fotografía 53: Cizalladura manual	106
Fotografía 54: Estiramiento de las fibras	106
Fotografía 55: Cardada de la fibra.	107
Fotografía 56: Prueba de asentamiento del hormigón	112

Fotografía 57: Prueba de compresión cilindros patrones.....	113
Fotografía 58: Prueba de asentamiento del hormigón	115
Fotografía 59: Tipo de falla del cilindro patrón (Falla 5)	116
Fotografía 60: Prueba de asentamiento del hormigón	118
Fotografía 61: Tipo de falla del cilindro patrón (Falla 5)	119
Fotografía 62: Prueba de asentamiento del hormigón 210kgf/cm ² al 0.5% y 1.0% de fibras	125
Fotografía 63: Prueba de asentamiento del hormigón 240kgf/cm ² al 0.5% y 1% de fibras	126
Fotografía 64: Prueba de asentamiento del hormigón 210kgf/cm ² al 0.5% y 1% de fibras	130
Fotografía 65: Prueba de asentamiento del hormigón 240kgf/cm ² al 0.5% y 1.0% de fibras	131
Fotografía 66: Moldes cilíndricos	136
Fotografía 67: Asentamiento del hormigón simple.....	139
Fotografía 68: Asentamiento del hormigón simple con fibras	139
Fotografía 69: Ensayo de contenido de aire	140
Fotografía 70: Toma de temperatura al hormigón fresco.....	141
Fotografía 71: Elaboración de las probetas cilíndricas de hormigón sin fibra ...	143
Fotografía 72: Elaboración de las probetas cilíndricas de hormigón con fibra..	143
Fotografía 73: Curado de las probetas de hormigón simple con fibras y sin fibras	144
Fotografía 74: Maquina universal de cargas.....	145
Fotografía 75: Toma de dimensiones de las probetas cilíndricas	146
Fotografía 76: Determinación del módulo de elasticidad	171
Fotografía 77: Fibra tratada con NaOH.....	196
Fotografía 78: Fibra tratada con NaOH (25/11/2021)	197
Fotografía 79: Fibra tratada con Agua Caliente	197

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tenacidad de muestras de la fibra sin tratamiento.....	213
Anexo 2: Tenacidad de muestras de la fibra sin tratamiento.....	214
Anexo 3: Tabla de resultados de fibra sin tratamiento.	215
Anexo 4: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de hidróxido de sodio al 4% de concentración.	216
Anexo 5: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de hidróxido de sodio al 4% de concentración.	217
Anexo 6: Tabla de resultados de fibra con tratamiento de hidróxido de sodio. .	218
Anexo 7: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de agua caliente.	219
Anexo 8: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de agua caliente.	220
Anexo 9: Tabla de resultados de fibras con tratamiento de agua caliente.	221
Anexo 10: Componentes principales del cemento.	222
Anexo 11: Certificado de producción del Hidróxido de sodio al 5%.	223
Anexo 12: Muestras para ensayos a las fibras de palma africana.	224

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo investigativo es la durabilidad de las fibras naturales en un medio alcalino, como lo es el hormigón. La fibra de raquis palma africana para la elaboración de los especímenes de hormigón los cuales deberán cumplir con lo especificado en el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), American Society for Testing and Materials (ASTM) y American Concrete Institute (ACI).

Las fibras de origen vegetal serán expuestas a dos tratamientos: I) Hidróxido de sodio con una concentración al 4% y II) Agua caliente a 100°C. buscando el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas. Las fibras tendrán una longitud de 38mm (1.5 pulg), y antes de ser colocadas su superficie debe ser saturada seca, y contrarrestar el cambio de volumen de la fibra.

Para obtener la resistencia requerida es necesario realizar unas muestras patrones que tendrán una dosificación de diseño que están ligados a las propiedades de los materiales como son el cemento y agregados. Y las variables a considerar son resistencia de 21 y 24 MPa. Se requiere una dosificación con una proporción del 0.5% y 1.0% de fibra respecto al volumen total de la mezcla de hormigón simple.

Para comparar las propiedades mecánicas se realizarán ensayos del hormigón simple en sus respectivos estados que son fresco y endurecido en las instalaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE, en la Facultad de Ingeniería Civil (ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES).

Los resultados indicaron que el mejor tratamiento es el hidróxido de sodio con concentración al 4% y con un 0.5% de fibra de palma africana respecto al volumen total de la mezcla de hormigón tanto para la resistencia de 21MPa y también de 24MPa.

ABSTRACT

The main objective of this research work is the durability of natural fibers in an alkaline medium, such as concrete. The African palm bunch fiber was used for the elaboration of concrete specimens, which must comply with the specifications of the Ecuadorian Institute for Standardization (INEN), the American Society for Testing and Materials (ASTM) and the American Concrete Institute (ACI).

The vegetable fibers will be exposed to two treatments: I) Sodium hydroxide at a 4% concentration and II) Hot water at 100°C. in order to improve both their physical and chemical properties. The fibers will have a length of 38mm (1.5 pulg) and before being placed their surface, must be saturated dry, and counteract the change of volume of the fiber.

In order to obtain the required strength, it is necessary to make some standard samples that will have a design dosage that are linked to the properties of the materials such as cement and aggregates. And the variables to consider are resistance of 21 and 24 MPa. A dosage with a proportion of 0.5% and 1.0% of fiber with respect to the total volume of the simple concrete mix is required.

In order to compare the mechanical properties of the concrete in its fresh and hardened state, tests will be carried out at the facilities of the Pontifical Catholic University of Ecuador - PUCE, in the Faculty of Civil Engineering (ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES).

The results indicated that the best treatment is sodium hydroxide with a concentration of 4% and with 0.5% of African palm fiber with respect to the total volume of the concrete mix, both for the resistance of 21MPa and 24MPa.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El sector de la construcción es importante, ya que, da lugar a diversidad de estructuras como: viviendas, edificios, puentes, carreteras, obras hidráulicas entre otras. Entonces ha necesitado que el hormigón estructural busque mejoras en base a investigaciones que se han realizado en varios países con el fin de aumentar las ventajas, logrando los objetivos determinados y que sean más económicos. El principal avance fue lograr un hormigón armado, pero actualmente eso no basta porque a nivel mundial la producción de cemento alcanza un valor de 2.310 millones de toneladas (INKA, 2017); y en 2019, se registró una producción de acero de 1.869 millones de toneladas (Monvaga, 2020). Según (Rodgers, 2018), el CO₂ generado en la producción de cemento representa un 8% del total mundial (2.200 millones de toneladas) en el 2016; pero el subproceso de mayor emisión esta atribuido a la producción del clínker.

Por lo tanto, es momento de ayudar al medio ambiente tratando de buscar materiales que usualmente son catalogados como residuos o desechos; es el caso de las fibras naturales que no están siendo aprovechadas al máximo.

Las fibras naturales (FN) en las últimas décadas están influyendo mucho al ser utilizadas como material para diferentes procesos constructivos, se conoce que la utilización de las fibras viene desde hace 4000 años aproximadamente por las primeras civilizaciones, y fueron utilizados como refuerzo de los elementos estructurales que son propensos a sufrir roturas por su uso.

La civilización baja de Mesopotamia empleo por primera vez las fibras en la elaboración de adobes de barro, los mismos que se construían con paja. El auge en la utilización de fibras naturales se dio en el siglo XX, pero se observa que las FN (de origen vegetal) respecto de las sintéticas presentan la desventaja que es la degradación.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL

- Determinar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de raquis de palma africana con dos tratamientos que eviten su rápida degradación.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Obtención y preparación de las probetas, mediante normas y dosificaciones requeridas, para llevarlas a ensayos de compresión.
- Verificar la disminución de la degradación de las fibras naturales mediante tratamientos químicos establecidos.
- Comparar y analizar los resultados por el uso de los procesos químicos utilizados para tratar a las fibras mediante fórmulas estadísticas, para determinar el grado de afectación en la resistencia a compresión de los elementos estructurales de hormigón armado a los 14, 28 y 56 días.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial se evidencia los efectos causados por el calentamiento global, por lo que, se requiere de procesos que sean amigables con el medio ambiente. La producción de cemento o productos utilizados del sector de la construcción representa un alto porcentaje a la contaminación del planeta, siendo responsable del 40% del total de las emisiones de CO₂ (González-Vallejo, Muntean, Solís-Guzmán, & Marrero, 2020) que dan lugar a investigar materiales alternativos que puedan ser fáciles de conseguir y sobre todo que aporten a la reducción de desechos.

En Ecuador, existe un elevado volumen de desechos de origen vegetal y no están siendo aprovechados de manera eficaz. La fibra de palma africana está dentro de los productos alimenticios con mayor demanda porque de ahí se extrae el aceite y sus derivados; dejando residuos que son utilizados como abono y combustible en las calderas, esta información fue proporcionada por el Ing. Edwin Castillo encargado de los procesos en la extractora La Joya.

El hormigón simple tiene una alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia de tensión mientras que el acero es resistente a la tracción y compresión, entonces al combinar estos materiales dan lugar al concreto u hormigón reforzado que permite la fabricación de elementos estructurales. Dichos elementos estarán expuestos a impactos de fatiga y diferentes tipos de cargas que pueden provocar fisuras o fallas para ello es importante un adecuado reforzamiento para reducir la formación de fisuras; permitiendo que las estructuras aumenten la capacidad de carga y ductilidad individual de los elementos estructurales y por ende de toda la estructura como tal (McCormac & Brown, 2018).

El reforzamiento del hormigón también es posible con el uso de fibras tanto orgánicas como inorgánicas generando así nuevos procesos constructivos, por lo tanto, en los últimos años se realizaron investigaciones respecto al tema. Entre las fibras más utilizadas son: acero, plástico, vidrio y otros materiales. Los experimentos muestran que al añadir del 1.0 al 2.0% por volumen, los hormigones convencionales pueden mejorar óptimamente sus características; creando un material más resistente al agrietamiento y al impacto porque las fibras a diferencia de las barras o mallas de acero que ofrecen resistencia en zonas específicas según la dirección de la varilla, mientras que, las fibras al ser distribuidas aleatoriamente pasan a ser parte de la matriz de concreto y se convierte en un material compuesto formando una red de refuerzo en todas las direcciones (McCormac & Brown, 2018).

Para las inclusiones de fibras superiores al 2.0%, la mala trabajabilidad dificulta la preparación y obtención muestras compactas monolíticas debido a la excesiva separación de los componentes de la matriz de hormigón (Ozerkan, Ahsan, Mansour, & Iyengar, 2013); y se observa en (Caizaguano & Terán, 2020), que al utilizar el 4.0% de fibra presenta una consistencia muy seca que dificulta su manipulación.

Las fibras naturales se añaden en el hormigón y morteros se ha venido estudiado en los últimos años. Siendo de gran importancia, debido a que, no solo mejoran las características mecánicas de los morteros de cemento, sino que además son renovables, la disponibilidad es alta, lo que hace que el uso de fibras vegetales sea más generalizado. Las investigaciones realizadas en países europeos arrojaron resultados muy alentadores (Santillán, 2020).

En Ecuador, la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) es uno de los cultivos menos depredadores, pues aproximadamente el 97% del cultivo se encuentra fuera de las zonas protegidas, por eso se considera la producción de palma sostenible en el ámbito social, ambiental y productivo. En el periodo 2010 a 2016, la producción de palma presenta un crecimiento del 8% en promedio anual y se posicionó en el séptimo producto agrícola del país (MCE, 2017) y en 2019 se reportó, “unas 26.000 toneladas al año de material sobrante de la palma africana ubicadas en Santo Domingo de los Tsáchilas y Esmeraldas”, y estos residuos están siendo utilizados en la producción de energía como se menciona en (eltelegrafo, 2019).

Cuando un país cuenta con una gran cantidad de fibra natural es viable la utilización de las mismas, pero la fibra en contacto con el hormigón se ve afectada principalmente por la alcalinidad y por eso su vida útil dependerá de la protección que tenga la fibra y de las características de impermeabilidad propias de la matriz (Juárez Alvarado, Rodríguez López, Rivera Villarreal, & Rechy de Von Roth, 2004). La principal causa de esta pérdida de resistencia se debe a la alcalinidad de la matriz y los cambios volumétricos de las fibras, siendo el hormigón un material frágil que presenta baja resistencia a la tracción, capacidad de deformación, resistencia a la fractura y mala absorción de energía (Santillán, 2020).

En general las fibras naturales presentan algunas desventajas al ser utilizadas como refuerzo como por ejemplo: la degradación, resistencia al fuego, adhesión interfacial entre otras, por lo tanto, se hace hincapié en aquellas desventajas que aportan para mejorar la calidad de los materiales compuestos siendo las limitantes más importantes la degradación y la resistencia al fuego en cuanto aplicaciones de ingeniería civil (Azwa, Yousif, Manalo, & Karunasena, 2013). Las fibras vegetales se degradan al estar en un medio alcalino esto se debe a que la hemicelulosa y lignina se disuelven, produciendo una hidrólisis alcalina a la celulosa; por último, el carácter higroscópico de la celulosa que hace que las fibras no sean estables a los cambios de la humedad produciendo variación de volumen lo cual desemboca en pérdida de adherencia o fisuración a largo plazo (Salas & Barberlo, 2018).

Esta investigación trata de definir estrategias de adaptación tecnológica aprovechando recursos naturales tendiendo un desarrollo en elementos constructivos sostenibles de vivienda a nivel global, de una fácil manipulación, y

capacidad de generar economía local. También se analizará cómo controlar la degradación de la fibra natural cuando se encuentra expuesta a un medio alcalino como lo es la mezcla de hormigón. Verificando su validez del hormigón mediante ensayos a compresión basándonos en normas vigentes en el Ecuador como son las NTE INEN (Norma Técnico Ecuatoriana - Instituto Ecuatoriano Normalizado), ACI (American Concrete Institute) y ASTM (American Society for Testing of Materials). Se comparará entre el hormigón simple y el hormigón compuesto con fibra natural en las respectivas dosificaciones del refuerzo de compresión ($f'c$) igual a 210 y 240 kgf/cm². Lo que se determinará principalmente con estos especímenes de hormigón con fibra natural es su máximo esfuerzo de compresión y el módulo de elasticidad; y así promover su uso con mayor demanda reduciendo considerablemente la generación de gases de efecto invernadero debido a que se podrá detener la quema del material usado para fibras, y de esta manera construir viviendas más amigables con el medio ambiente.

1.4 ALCANCE

Este trabajo de titulación tiene como alcance realizar un tratamiento químico y térmico a las fibras de palma africana que logra una modificación en la superficie de la fibra para aumentar su durabilidad y como factor secundario ver como mejora las propiedades mecánicas tanto de las fibras y también el material compuesto en el transcurso del tiempo de curado que va desde 1, 7, 14, 28 y 56 días; y cada proceso de ensayo debe cumplir los requisitos normalizados.

1.5 JUSTIFICACIÓN

1.5.1 TEÓRICA

Cuando los requisitos de diseño o construcción establecen que la resistencia del concreto colocado en sitio debe lograrse a edades o etapas de construcción especificadas, estos requisitos deben quedar explícitamente establecidas en los documentos de construcción. La etapa de construcción en que debe especificarse la resistencia a la compresión del concreto es el desencofrado (ACI 318-19, 2019).

En las últimas décadas las nuevas construcciones en países de economía emergente, así como en los del todo el mundo. Emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) cantidad que se ha duplicado en los últimos 20

años. Por tal motivo, se requiere alcanzar los objetivos globales de reducción de emisiones de GEI, es necesario mitigar las emisiones en todo el sector de la construcción y tomar acciones sobre el cambio climático (Espinoza J, 2015) La propuesta de investigación pretende solventar la poca información que se tiene sobre hormigones con fibras naturales sometidas a esfuerzos de compresión y así obtener información confiable para el uso de estas nuevas tecnologías de construcción en viviendas sostenibles que sean más amigables para el medio ambiente.

A lo largo de la historia se realizan múltiples investigaciones sobre las plantas fibrosas para ser aprovechadas, por ejemplo: en Europa paja de arroz y el ramio en Asia, el agave, el yute y el algodón en la India, África o en América. Estos avances dan paso a diversos usos o aplicaciones, pero la de interés para esta investigación es la fabricación de viviendas tratando así de reemplazar las fibras sintéticas para crear viviendas sostenibles dando lugar a la bioconstrucción (Vidal & Hormazábal, 2016).

La industria del aceite de palma, líder a nivel mundial en la provisión de aceites y grasas vegetales y uno de los sectores que cuenta con mayor potencial por la versatilidad de usos y aplicaciones de sus derivados, ha venido desarrollándose de manera destacada en Latinoamérica. Si bien esta región aporta 5,77 % de la producción mundial de aceite de palma, la dinámica que ha adquirido en las últimas décadas lo convierte en un actor estratégico en el interior de las economías de la región. Al mismo tiempo, parte de la expansión del cultivo en los últimos años ha sido impulsada por programas gubernamentales que apoyan la palma de aceite en virtud del desarrollo rural que proporciona, especialmente a países como Ecuador, Colombia, Honduras y Perú (Cardenas Ortega, 2016).

Las fibras naturales se clasifican según su origen: animal (de glándulas sedosas o folículos pilosos), vegetales (provenientes de la semilla, tallo, hojas, frutos) y minerales (asbestos); la investigación se enfocará a fibras naturales de tipo vegetal, mismas que, provienen del yute, sisal, banano, piña, coco, estropajo, bambú, bagazo de caña entre otras (Velásquez, Pelaéz, & Giraldo, 2016). El uso de fibras vegetales (celulósicas) son una alternativa que proporcionan rigidez, fuerza y capacidad de unión adecuadas a las matrices alcalinas, mejorando

sustancialmente la resistencia a la flexión, así como reducen la tensión de retracción de las matrices, tenacidad y resistencia al impacto. Además, estas fibras pueden reducir la contracción plástica libre, disminuir la conductividad térmica y mejorar el rendimiento acústico aumentando la absorción del sonido y la amortiguación específica y la densidad del compuesto (Salas & Barberlo, 2018).

La fibra natural está compuesta por celulosa, lignina y hemicelulosa que variarán según el tipo de fibra, por ende, se debe elegir en función de las características que se desea obtener para aprovechar sus propiedades. La celulosa representa la resistencia mecánica de la fibra y la lignina es la protección al medio ambiente principalmente del agua. Y dado que las fibras naturales se pueden encontrar en relativamente grandes cantidades, serán una fuente renovable continua (Martín, 2020).

La fibra natural tiene dos mecanismos diferentes de descomposición. El primero es el desfibramiento, es el resultado de que las cadenas lineales de glucosas se disuelvan al reaccionar con el ion OH^- , produciendo $-\text{CH}_2\text{OH}$ desprende la cadena molecular y es continuo ante un medio alcalino se presenta a temperatura ambiente por debajo de los 75°C . Mientras que, el segundo mecanismo es la hidrólisis alcalina causada por la división de cadenas moleculares en combinación con el mecanismo anterior y se da generalmente en temperaturas de 100°C . La lignina consiste en sustancias aromáticas y es la matriz que une las microceldas de celulosa que se fragmentan fácilmente en un medio alcalino y su color llega a ser amarillo y café cuando se oxida. Siendo así la descomposición química de la lignina y hemicelulosa la principal causa del deterioro por fragilización de la fibra de concreto, por ende, la fibra pierde su flexibilidad y se fragmenta en pequeñas unidades longitudinales perdiendo su capacidad de reforzar al concreto (Juárez Alvarado et al., 2004).

Para controlar la absorción de agua que presenta la fibra y protegerla de un medio alcalino de la matriz de cemento, se considera usar sustancias que fueran hidrófobas y económicas como: Aceite de linaza, aceite de linaza más resina natural, parafina, parafina más resina residual, sellador para madera o creosota. Teniendo como resultado que la parafina le permite a la fibra reducir su capacidad

de absorción de agua y mantiene un porcentaje aceptable cuando se trata de resistencia última a la tensión (Juárez Alvarado et al., 2004).

Entre otros tratamientos químicos y físicos para contrarrestar la degradación de la fibra vegetal entre los cuales tenemos mercerización (proceso que al mezclar fibras naturales con hidróxido de sodio estas disminuirán de tamaño, y aumentarán su resistencia), acetilación(consiste en sustituir los grupos OH- de la celulosa por el grupo carboxílico – COOH y así obtener el acetato de celulosa o celulosa modificada lo cual recubrirá a la fibra natural disminuyendo la degradación de las fibras), acilación (consiste en introducir un solo grupo sin peligro de poli alquilación en el cual se sumerge la fibra disminuyendo la capacidad de absorción de la fibra) y tratamiento con silano; estos tratamientos consisten en la inmersión de las fibras en soluciones químicas con el fin de modificar los enlaces de sus componentes químicos para que las fibras sean menos sensibles a la degradación. En tanto a los tratamientos físicos se tiene el tratamiento por hornificación (eliminan hidrogeno para evitar el cizallamiento de la fibra) y por inmersión en agua (consiste en sumergir a las fibras durante 24 horas pretendiendo evitar la absorción de agua de la matriz de cemento) donde los tratamientos químicos agresivos mejorarán la resistencia a la tracción (Abdeldjebar et al, 2018).

Una modificación viable es el tratamiento con agua caliente a 100°C que provoca lixiviación de las impurezas solubles mejorando así su limpieza y la unión entre la fibra y cemento. Y en cuanto a propiedades mecánicas, permite un aumento de la resistencia a tracción, adherencia entre el hormigón-fibra y la tenacidad de la fibra (Momoh et al, 2020).

El segundo tratamiento seleccionado es álcalis (mercerización) en donde se sumerge las fibras en hidróxido de sodio (NaOH) al 4% de concentración, que sirve para mejorar su morfología y propiedades fisicomecánicas. Obteniendo una mayor resistencia a la tracción de las fibras porque no afectan al módulo de elasticidad y porcentaje de alargamiento de la fibra (Momoh et al, 2020).

1.5.2 METODOLÓGICA

Esta investigación teórica y práctica a la vez pretende contribuir en el desarrollo de conocimientos sobre el comportamiento del hormigón a compresión reduciendo el agregado grueso e incorporando fibras naturales de palma africana, comparando dos tratamientos para evitar su degradación (con álcalis y agua caliente; estos pueden ser modificados luego de una revisión bibliográfica más extensa), además permitiendo el aumento de la resistencia a tracción de la fibra y reducir la capacidad de absorción de agua que influyen directamente en las propiedades mecánicas de los especímenes; y al ser obtenidas de forma natural lo cual es muy amigable para el medio ambiente y a su vez económico. Verificando así el comportamiento mecánico que presenta este hormigón simple a compresión y sean aplicables en obra construyendo viviendas sostenibles (Juárez, Valdez, & Durán, 2004).

Para el tratamiento con álcalis, las fibras deben ser previamente empapadas por hidróxido de sodio con una concentración específica durante un determinado periodo de tiempo, a temperatura ambiente para posteriormente ser secadas, almacenadas en bolsas de plástico selladas y así evitar que estén expuestas a la humedad (Machaka, Abou Chakra, & Elkordi Professor, 2014).

Los especímenes que se van a utilizar en esta investigación son de forma cilíndrica con dimensiones de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura (relación diámetro: altura 1:2), los moldes deben ser herméticos, siendo conveniente untarlos con aceite mineral o cualquier otra sustancia apropiada que no ataque al cemento, con objeto de evitar la adherencia del hormigón facilitando así su desmoldado (Luna, 2014).

Para obtener el número de probetas patrones de hormigón simple sin fibras y con fibras se realizó en base al capítulo 5 del (ACI 318, 2019) , y así lograr obtener la dosificación requerida para la fabricación de las probetas de hormigón simple con fibras y sin fibras.

Adicionalmente para obtener el número de probetas de hormigón más real se emplea el procedimiento de la regla empírica 68-95- 99.7 (Westfall & Henning, 2013) , 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).

Para obtener el número de probetas de hormigón simple se realizan los siguientes pasos de acuerdo a las fórmulas establecidas a continuación por Peter H. Westfall y Kevin.S, S. Henning

$$a. m. = z \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec.(1)}$$

Se despeja n:

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

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

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

El procedimiento se realizará en una hoja de Excel

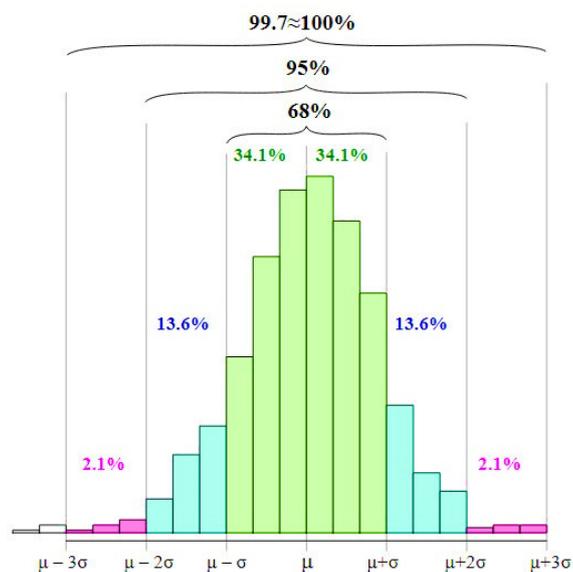


Figura 1: Regla empírica
Fuente: (Westfall & Henning, 2013)

Tabla 1:
Regla empírica de Melikamp.

Regla empírica				
Nivel de confianza (%)	am	Quintil=1-alfa/2	Valor crítico, Z(1-alfa/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

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

El nivel de confianza (α) para el estudio es del 90% y el margen de error es igual al 10%.

Datos:

$$\pi=0.9$$

$$z=1.645$$

$$a.m =0.1$$

$$\alpha=0.95$$

Cálculo del número de probetas

Usando la **Ec.(3)** se realiza el cálculo del número de probetas de hormigón simple a fabricar por cada variable a estudiar obteniendo el siguiente resultado.

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

$$n=7$$

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, 2015).

Fórmula para el cálculo del error probable para la aceptación del número de muestras según Peter H. Westfall y Kevin.S, S. Henning.

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

$$e = 0.2$$

Donde:

e: es el error existente en la muestra.

El error está dentro del rango permisible, por ende, en número de muestras a ensayar por cada variable se muestra en la tabla 2.

Tabla 2:
Números de especímenes a ser ensayados.

Tratamiento Químico	Fibra Natural	f'c kg/cm ²	% Fibra Natural	Compresión (d) días de Ensayo			Muestras
				14d	28d	56d	
-----	-----	210	0.00%	7	7	7	21
		240	0.00%	7	7	7	21
Hidróxido de Sodio	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
Agua caliente	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

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.

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 (Azwa et al., 2013), para controlar este efecto en materiales compuestos y para mejorar la trabajabilidad de las mismas se procederá a usar cuantías del 0.5 y 1.0% en fibras lo cual está en función de la cantidad de absorción del agua que se presenta en la matriz de concreto.

Los cilindros serán ensayados a compresión obteniendo la densidad de la probeta, tomando sus dimensiones y masa. Se debe tomar en cuenta que las dimensiones de las probetas deben medirse con un error menor a 1mm, con las que se determinara el esfuerzo máximo a compresión que el hormigón con fibras naturales puede soportar (Luna, 2014) y finalmente comparando cual es la mejor

dosificación de fibras con un tratamiento químico previo que puede ser empleado con mayor confiabilidad para la construcción de edificios sostenibles.

1.5.3 PRÁCTICA

Esta investigación se realiza por que existe la necesidad de mejorar el comportamiento del hormigón a compresión, con el uso de fibras naturales obtenidas como materia prima los mismos que son residuos de otros procesos de producción y son más amigables con el medio ambiente las cuales serán expuestas a dos procesos químicos los cuales consiste en sumergir las fibras naturales en hidróxido de sodio con una concentración del 4% y agua caliente a 100°C. Esto contribuirá mucho al medio ambiente y reducirá los procesos industrializados en la obtención del agregado grueso para el hormigón sin dejar de lado la sostenibilidad ambiental.

El tratamiento de álcalis consiste en sumergir las fibras en hidróxido de sodio con una concentración del 4% y posteriormente, secarlas al horno a una temperatura de 100°C durante 15 minutos; teniendo como propósito proteger a las fibras del medio alcalino que proporciona la mezcla de hormigón (Abdeldjebar et al, 2018). El tratamiento con agua caliente requiere sumergir las fibras en agua a 100°C (punto de ebullición) durante 30 minutos, a continuación, sacar las fibras y lavarlas con abundante agua potable y finalmente dejarlas secar al horno a una temperatura de a $60^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 8h (Momoh et al, 2020).

En los países Europeos se han realizado estudios con fibras de alta resistencia, arrojando resultados muy prometedores al usar estas fibras en el hormigón, en el Ecuador se procederá a usar fibra de palma africana para la elaboración del hormigón simple y posteriormente a ensayarlos a compresión, demostrando que el hormigón fabricado con fibras de palma africana son aplicables para la construcción de viviendas sostenibles, dando un salto en la industria de la construcción y medio ambiente (Espinoza J, 2015).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 HORMIGONES

2.1.1 HISTORIA DEL HORMIGÓN

Los primeros registros estructurales de hormigón se remontan al año 6500 a.C por parte de los comerciantes nabateos en la región de Siria y Jordania. Egipto y China, los egipcios utilizaban barro mezclado con paja para aglutinar los ladrillos secos; también utilizaban morteros de yeso y cal en las pirámides. En la Gran Muralla China se utilizó una forma de cemento para construirla (Giatec Scientific Inc., 2017).

En 1824, Joseph Aspdin invento el cemento Portland quemando arcilla y tiza finamente molidas hasta eliminar el dióxido de carbono. Aspdin bautizó el cemento con el nombre de las piedras de construcción de alta calidad extraídas en Portland (Inglaterra). Y empezó a utilizarse en edificios industriales mientras que de manera generalizado en viviendas en Inglaterra y Francia (entre 1850 y 1880) con el aporte de Francois Coignet que añadió barras de acero para evitar que los muros exteriores se extendieran (Giatec Scientific Inc., 2017).

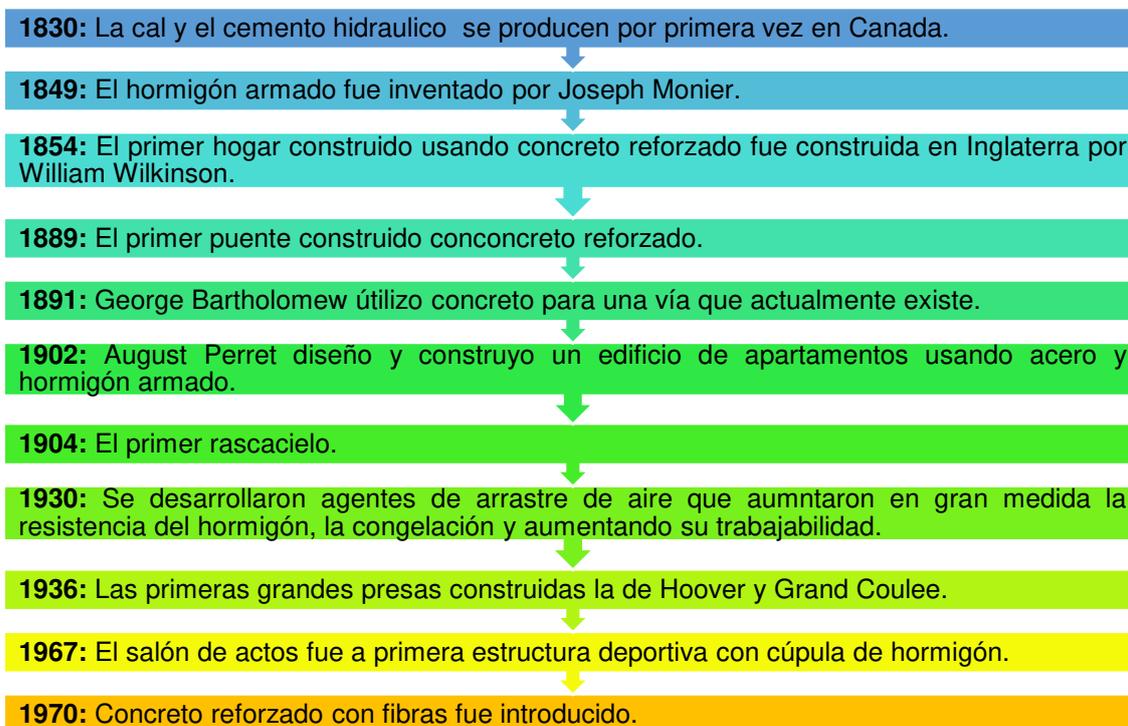


Figura 2: Primeras construcciones con derivados de hormigón.
Fuente: (CONSTRUCTI ON BIBLE, 2021)

Como se puede observar en la **Figura 2**, la introducción de la fibra en el campo de la construcción de manera general es aproximadamente por 1970. Y en (Caizaguano & Terán, 2020) en la figura 8, la inmersión de la fibra natural en el sector de la construcción en la década de 1970.

2.1.2 HORMIGONES CON FIBRAS NATURALES

El concreto reforzado con fibra (FRC) es una mezcla realizada con cemento hidráulico, agregados (fino y grueso) y como reforzamiento el uso de fibras. Las fibras pueden ser de origen natural o sintético, y usualmente no superan la longitud de 3 pulgadas (76mm) y el diámetro de 0.04 pulgadas. (1mm). Su principal objetivo es mejorar las propiedades mecánicas y así controlar las micro y macro fisuras que presenta la matriz de concreto debido a la reducida ductilidad. La mejora de propiedades dependerá de las características de la fibra, de su posición dentro de la matriz, la adherencia entre la matriz y la fibra, entre otras (ACI 544 1R, 1984).

Tabla 3:

Factores que afectan las propiedades de las fibras naturales como refuerzo.

Factor	Variable
Tipo de fibra	Coco, sisal, bagazo de caña de azúcar, bambú, yute, madera, vegetales, etc.
Geometría de fibra	Longitud, diámetro, sección transversal, anillos y extremos enganchados.
Forma de fibra	Monofilamento, hebras, engarzado y con un solo nudo.
Superficie de la fibra	Suavidad, presencia de revestimiento.
Propiedades de la matriz	Tipo de cemento, tipo de árido y clasificación de tipos de aditivos.
Dosificación de la mezcla	Contenido de agua, contenido de fibra, trabajabilidad.
Método de mezcla	Tipo de mezclador, secuencia de adición de componentes (método de adición de fibras), duración y velocidad de mezclado.
Método de colocación	Vibración convencional, deshidratación por vacío para el miembro pulverizado, deshidratación por prensado al vacío para el miembro deshidratado por lodos, extrusión y hormigón proyectado
Técnica de colado	Presión de colado.
Método de curado	Convencional, métodos especiales.

Fuente: (ACI 544 1R, 1984)

Según (ACI 544 1R, 1984), ante un óptimo diseño se puede lograr un aumento en la capacidad de servicio de la estructura; y así mantener la resistencia e integridad, cumplir con la vida útil prevista. Las fibras de alto volumen pueden aumentar la resistencia a la tracción.

Las siglas NFRC hacen referencia al concreto reforzado con fibras naturales, existiendo fibras procesadas (como se da en el caso de la madera) y no procesadas. En el presente trabajo se usarán fibras naturales no procesadas en donde el hormigón se verá afectado por algunos factores como: tipo de fibra, longitud, entre otras que se observan en la **Tabla 3** (ACI 544 1R, 1984).

2.2 PALMA AFRICANA

2.2.1 GENERALIDADES

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 & Minelli, FlaminiaLe Du, 2018).

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) (Momoh et al., 2020).

Usualmente la fibra de palma aceitera no se degrada fácilmente, pero se debe considerar que las propiedades físicas y mecánicas pueden variar drásticamente a pesar de ser de la misma especie. Factores que representan un problema en el uso de fibras vegetales en una matriz alcalina son la durabilidad de la fibra y la hidrofilia.

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 (Momoh et al, 2020).

Tabla 4:*Condiciones edafo-climáticas para el cultivo de palma aceitera.*

Latitud	Entre 15° de Latitud Norte y 15° de Latitud Sur.
Altitud (msnm)	Hasta 500 m.
Terrenos	Con pendientes menores a 15°.
Suelos	Francos, franco-arcillosos planos o ligeramente ondulados, sueltos y profundos de buena permeabilidad y bien drenados, con pH neutro o moderadamente ácido (máx. pH 4).
Temperatura (°C)	Máx. 33° - Min. 22°. En todo caso no inferior a 21°
Luminosidad (horas luz/año)	Superior a 1500h.
Lluvia (mm/año)	Entre 1.800 y 2.200 mm, pero son suficientes hasta 1.500 mm si hay lluvia todos los meses.
Evaporación (mm/año)	1.100 mm.
Humedad relativa (%)	80%

Fuente: (Mingorance & Minelli, FlaminiaLe Du, 2018)

El crecimiento de palma africana depende de las condiciones ambientales de una zona determinada, por ende, presenta varias tasas de crecimiento; también cuenta con un incremento del diámetro del tallo mediante un aumento del tamaño o el número de células de parénquima y los haces vasculares, lo que hace que tenga un aspecto fibroso (Forero H et al, 2012).

2.2.2 PRODUCCIÓN DE PALMA AFRICANA EN ECUADOR.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa en el 2019 y 2020, se observa la producción de aceite de palma en las provincias indicadas. Y se tiene a Esmeraldas, Los Ríos y Santo Domingo como los mayores productores.

Tabla 5:*Superficie productiva del cultivo de aceite de palma (Ha).*

PROVINCIA	2019	2020
Esmeraldas	82.352	55.378
Los Ríos	37.180	51.712
Santo Domingo	19.799	16.702
Pichincha	8.369	9.999
Manabí	11.761	8.092
Guayas	10.112	8.240
Sucumbíos	16.183	28.885
Orellana	12.208	7.361
Otras	2.945	2.102
TOTAL	200.909	188.471

Fuente: (PROPALMA, 2020)



Figura 3: Distribución de la superficie del cultivo de aceite de palma de acuerdo a la superficie en producción por provincia (Ha).
Fuente: (PROPALMA, 2020)

En la **Figura 4**, se puede ver que desde el año 2015 la producción de aceite a nivel nacional supera las 500 mil toneladas.

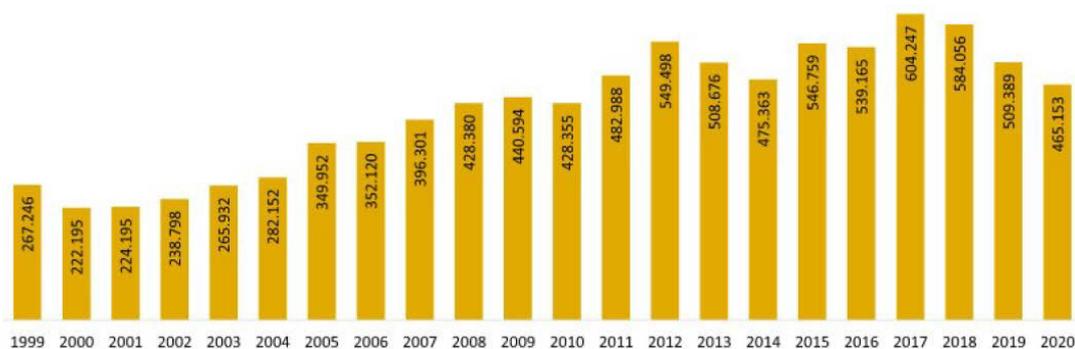


Figura 4: Evaluación de la producción nacional de aceite de palma (Tm)- PRODUCCIÓN.
Fuente: (PROPALMA, 2020)

2.2.2.1 Subproductos de extracción.

Al finalizar la extracción queda el raquis, las fibras y el cuesco de las nueces. Las cenizas del raquis cuenta con un alto contenido de potasio por eso es utilizado como fertilizante, mientras que las fibras son utilizadas como combustible para los hornos de las plantas procesadoras y el cuesco puede ser utilizado como complemento de materiales de construcción y para obtener carbón activado (Mingorance & Minelli, FlaminiaLe Du, 2018).

2.2.3 HISTORIA EN EL TIEMPO.

La palma africana fue introducido al país aproximadamente en el año de 1952 estableciendo la primera plantación comercial con una producción de 100 hectáreas en el Km 36 vía a Santo Domingo de los Colorados en 1953.

Tabla 6:

Estimación del producción y consumo nacional.

Año	Producción Nacional*	Exportaciones*	Consumo Nacional*	Excedentes*
	(TM)	(TM)	(TM)	(TM)
1999	267246.00	68513.00	198088.00	119158.00
2000	222195.00	30136.12	197540.00	77300.00
2001	224195.00	37964.42	198815.00	76431.00
2002	238798.00	53492.85	199508.00	79297.00
2003	265932.00	76900.49	200203.00	92575.00
2004	282152.00	82422.22	200798.00	97029.00
2005	349952.00	140824.26	201258.00	163300.00
2006	352120.00	133759.45	204039.00	170557.00
2007	396301.00	208273.77	207100.00	225999.00
2008	42838.00	204601.15	209675.00	237004.00
2009	440594.00	217905.34	211772.00	261225.00
2010	428355.00	174670.49	220243.00	266933.00
2011	482988.00	286853.00	222445.00	364634.00
2012	549498.00	311518.79	231343.00	395937.00
2013	508676.00	284918.16	240597.00	354593.00
2014	475363.00	251362.22	243003.00	307158.00
2015	546759.00	310745.60	245433.00	368759.00
2016	539165.00	320400.00	247887.00	349406.00
2017	604247.00	330438.00	265239.00	368814.00
2018	584056.00	319923.56	292958.56	337273.00
2019	509389.00	210830.00	303584.00	254754.00
2020	465153.00	198900.00	299000.00	215277.00

Fuente: (PROPALMA, 2020)

Posteriormente en 1961, el Ministerio de Fomento dispuso el inicio de investigaciones del cultivo. Su fomento ha sido ampliamente positivo, se contaba con solo 500 hectáreas (1961), 7.500 hectáreas (1971) y 26.000 hectáreas (1982) lo que indica un ascenso de la producción (Vera D & Orellana M, 1987). Según (PROPALMA, 2020), Ecuador ocupa el 8vo lugar en participación de producción mundial de aceite crudo de palma con 465mil toneladas, detrás de Colombia, Nigeria, Guatemala, Honduras, Costa de Marfil y Brasil.

2.2.4 PALMICULTORA “LA JOYA”

En las últimas décadas la palma africana se ha expandido por dos factores: en la utilización del aceite de palma como se ha mencionado en secciones anteriores y también se la utiliza para generar energía por medio de agrocombustibles. Registrando un crecimiento abrupto desde 2004 con 33 millones de toneladas hasta 2016 con 66 millones de toneladas a nivel mundial (Ávila R & Albuquerque, 2018).

En la **Fotografía 1** y **Fotografía 2**, se observa el almacenamiento, la fruta como tal y fruta comprimida, respectivamente.



Fotografía 1: Palmicultora "La Joya".
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.



Fotografía 2: Raquis de la palma africana.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.



Fotografía 3: Calderas de la extractora "LA JOYA".
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

2.2.4.1 Obtención de la palma africana con fibra natural en el Ecuador



Fotografía 4: Limpieza de la fibra.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.



Fotografía 5: Almacenamiento de la fruta exprimida - LA JOYA.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.



Fotografía 6: Calderas en la Palmicultora "La Joya"
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.

En la **Fotografía 7**, se observa lote 1, 2, 3 y 4; indicando que estaban destinados a las siguientes muestras:

Lote 1: 25 fibras sin ningún tratamiento para ensayo a tracción.

Lote 2: 25 fibras sin ningún tratamiento para ensayo a tracción.

Lote 3: 50 fibras tratadas con hidróxido de sodio para ensayo a tracción.

Lote 4: 50 fibras tratadas con agua caliente para ensayo a tracción.

Estas muestras fueron entregadas a la facultad de Ingeniería Química - EPN.



Fotografía 7: Fibra limpia y lista para cortar.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.

Los subproductos de la palma africana posterior a la extracción de la nuez (subproductos torta y aceite de palma) serían: la fibra, el raquis, la cascarilla (rompimiento de la nuez), la ceniza de la caldera. El raquis es un subproducto de la palma africana, representando un 30 a 35% del peso de un racimo como fue indicado por el Ing. Edwin Castillo.

El raquis (fibra) para la extractora es un desecho orgánico y lo utilizan a las plantaciones como abono, y mediante un proceso de secado se lo puede utilizar como combustible pasando por un proceso de secado bajo techo para que haya una óptima evaporación; anteriormente se secaba en las calderas para generar ceniza que sería posteriormente aplicada en los cultivos, pero aportaba negativamente al ambiente (ya no se lo realiza).

La palmicultora produce aproximadamente por cada 1000 toneladas de fruta el 12% es raquis (posterior al prensado). El raquis es parte del subproducto y de allí se extrae las fibras de palma africana.



Fotografía 8: Subproducto de la palma africana.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.



Fotografía 9: Fruta posteriormente al prensado.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.

2.3 COMPONENTES: HORMIGÓN CON FIBRA

En una mezcla de hormigón reforzado con fibras naturales (sin procesar) no se puede decir a la ligera una composición en especial debida que las características de las fibras naturales varían dependiendo la fibra elegida. Pero se debe tener en cuenta que al utilizar un porcentaje de fibra en una matriz de concreto la trabajabilidad se verá afectada (ACI 544 1R, 1984).

2.3.1 CEMENTO

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 (Luna, 2014).

Hasta 1930, se tenía en consideración un solo tipo de cemento reconocido por la industria de cemento y ASTM (American Society for Testing and Materials), pero al ver diferentes necesidades que cuentan con características particulares como: resistencia a la acción de sulfatos, baja o alta temperatura de hidratación entre otras. Por eso en 1940 la ASTM dio lugar a cinco tipos de cemento (Luna, 2014):

Tabla 7:

Tipos de cemento Portland.

CEMENTOS PUROS	
TIPO	USO
I	Es un cemento de uso en condiciones normales y no se requiere características especiales.
II	Generalmente en construcciones de hormigón expuestos a la acción moderada de sulfatos y una ligera disminución de calor de hidratación.
III	Cuando se requiere una elevada resistencia inicial.
IV	Cuando se requiere muy poco calor de hidratación.
V	Cuando se requiere una alta resistencia a los sulfatos.
*Los cementos con inclusión de aire son: tipo IA; IIA y IIIA a los cuales se les adiciona un aditivo inductor de aire; cementos puzolánicos, etc.	

Fuente: (Gutierrez, 2020)

El cemento hidráulico es capaz de aumentar sus propiedades bajo el agua. Según (Luna, 2014), las características que se presentan dado que sus compuestos son insolubles en agua es mantener la fuerza y dureza inclusive estando en contacto directo con el agua por ello es ideal en lugares con climas húmedos.

Sus requisitos de desempeño se encuentran en (NTE INEN 2380, 2011) y en (ASTM C 1157, 2013), cuenta con su respectiva clasificación en función de sus propiedades específicas sin considerar restricciones (Holcim Ecuador S.A., 2015).

Tabla 8:

Clasificación de acuerdo a sus propiedades específicas.

CEMENTOS – SEGÚN SU DESEMPEÑO	
TIPO	USO
GU	Uso general, cuando no se requiere uno o más de los cementos de tipo especial.
HE	Alta resistencia temprana
MS	Moderada resistencia a los sulfatos.
HS	Alta resistencia a los sulfatos
MH	Moderado calor de hidratación
LH	Bajo calor de hidratación

Fuente: (ASTM C 1157, 2013)

El tipo de cemento recomendado por (ACI 544 1R, 1984) es el de tipo I.

El cemento debe cumplir con ciertos requisitos para determinar:

- Densidad NTE INEN 156
- Densidad aparente (suelta y compactada) NTE INEN 858
- Consistencia normal (método de Vicat) NTE INEN 157

2.3.2 AGREGADOS

Los agregados son materiales sólidos que al ser combinados con el cemento y agua proporcionan resistencia mecánica. Esta resistencia debe ser acompañada con la capacidad de estar expuesta a condiciones severas de la intemperie y estar libre de impurezas que puedan causar el deterioro del producto final (Luna, 2014).

Por cada m³, se encuentra que, los agregados representan un 60% al 75% de los materiales que conforman el hormigón y el resto es cemento, agua y burbujas de aire. Están encargados de controlar los cambios volumétricos presentes durante el fraguado, ya que, al mezclarlos con el cemento y agua forman un esqueleto rígido y estable. La pasta sirve como lubricante cuando un hormigón este fresco otorgándoles cohesión y trabajabilidad (Luna, 2014).

Los áridos naturales se clasifican en:

Para la clasificación es importante determinar el tamaño de la abertura del tamiz y se aplica al agregado que pasa a través de este y que se queda retenido en el tamiz menor (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, 2008).

- **Agregado fino:** Es el árido de mayor influencia, a diferencia de la grava e inclusive del cemento y agua. El árido pasa el tamiz de 4.5 mm (No. 4) y son retenidas en el tamiz de 75 μ m (No. 200) (NTE INEN 694, 2010).
- **Agregado grueso:** Presentan mejores propiedades de adherencia con la pasta de cemento cuando son triturados, lo que les dota de aristas (mejor adherencia por su forma irregular). El árido retenido en el tamiz 4.5 mm (No. 4) (NTE INEN 694, 2010).

En al (ASTM C 125, 2013) y (ACI 116, 2019), se encuentra la terminología sobre el tamaño máximo nominal. El tamiz de máximo tamaño nominal puede retener

entre el 5 y 15% dependiendo del número de tamaño. Ejemplo: un agregado con número nominal 67 y su tamaño máximo de 25mm (1 pulg) y un tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4 pulg), 91% de este agregado debe pasar por el tamiz de 19mm y todas sus partículas deben pasar el tamiz de 25mm (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, 2008).

En base a (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, 2008), para determinar el tamaño máximo del agregado es fundamental conocer tamaño y forma del elemento de concreto; y también la cantidad y distribución del acero de refuerzo. Usualmente el tamaño máximo del agregado no supera:

- a) $\frac{1}{5}$ de la dimensión más pequeña del elemento.
- b) $\frac{3}{4}$ del espacio libre entre aceros.
- c) $\frac{2}{3}$ de la longitud total de la fibra a añadirse (Caizaguano & Terán, 2020).

Características requeridas para la dosificación del hormigón en base a las siguientes normativas:

- Análisis granulométrico NTE INEN 696
- Peso específico y absorción NTE INEN 856 (agregado fino) y NTE INEN 857 (agregado grueso)
- Densidad aparente suelta y compactada NTE INEN 856 (agregado fino) y NTE INEN 857 (agregado grueso)
- Contenido de humedad (NTE INEN 862)

2.3.3 AGUA

El agua debe ser limpia y de buena calidad (ACI 544 1R, 1984). Siendo de conocimiento general que el agua es un disolvente universal. El agua cumple la función de hidratar al cemento permitiendo que se haga una mezcla trabajable. Se debe tener en cuenta que también se utiliza un medio húmedo (cámara de humedad) para el curado de cilindros en estado del hormigón endurecido (Luna, 2014).



Fotografía 10: Cámara de humedad - PUCE.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.

En base a ASTM C 106, al utilizar agua no potable se debe realizar el curado a los especímenes durante 7 días en donde se obtendrá como mínimo el 90% de la resistencia (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, 2008).

2.3.4 FIBRAS NATURALES

La longitud de las fibras debe estar en el rango de 1 a 20 pulg. (25 a 500mm) y usualmente el diámetro va desde 0.004 a 0.03 pulg. (0.10 a 0.075mm) (ACI 544 1R, 1984).

La palma africana de aceite se desarrolla en áreas tropicales y subtropicales como Ecuador. Las fibras naturales tienen una apariencia similar al cabello que son filamentos, y pueden ser extraídas de diferentes partes dependiendo su origen (animal, vegetal y mineral) (Ramakrishna & Sundararajan, 2005). A continuación, la clasificación de fibras naturales.

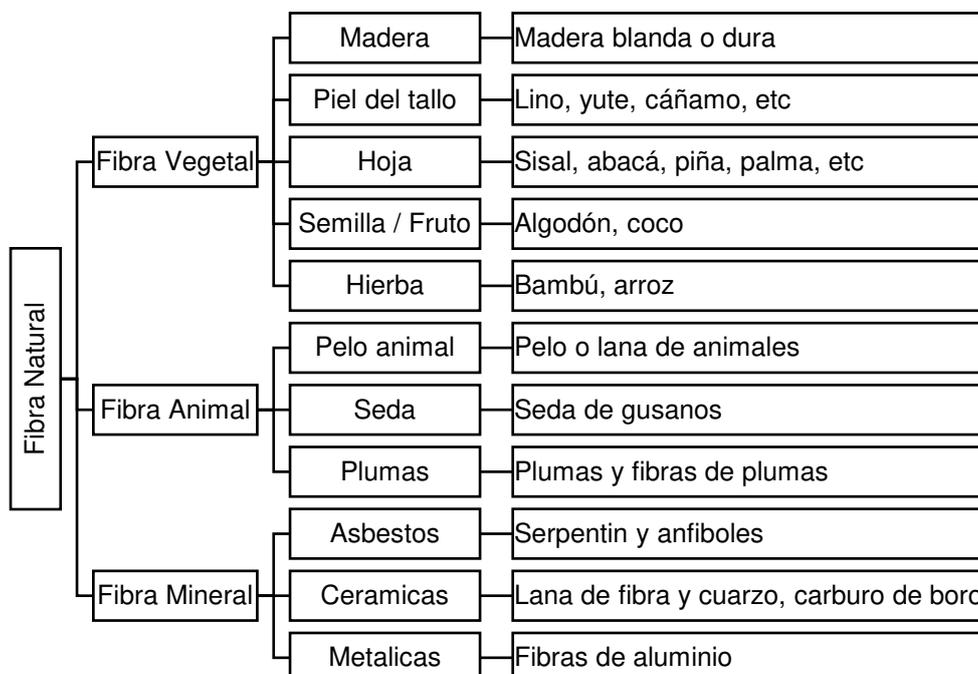


Figura 5: Mapa conceptual de clasificación de fibra natural.

Fuente: (Chandramohan & Marimuthu, 2011)

Las fibras naturales se dan con frecuencia en países tropicales y subtropicales, siendo utilizados como refuerzo en los compuestos de cemento para producir materiales de construcción rentables y sostenibles. Sin embargo, la durabilidad de las mismas al ser expuestas a un medio alcalino es un tema de preocupación por ende se investiga el proceso de deterioro real. Y es necesario conocer la composición química como: hemicelulosa, celulosa y lignina (Ramakrishna & Sundararajan, 2005).

Las fibras vegetales cuentan con una composición química, donde los principales componentes son:

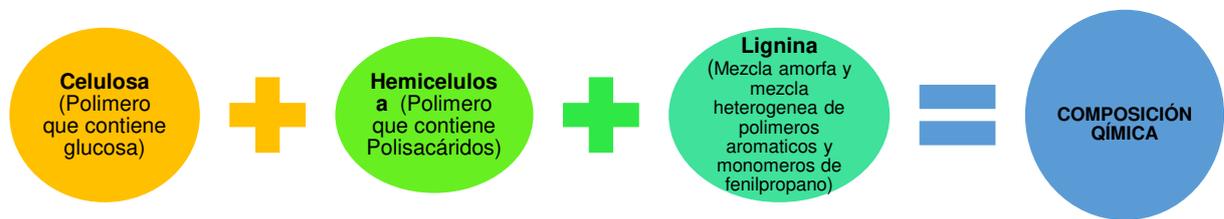


Figura 6: Composición química de la fibra vegetal.
Fuente: (Sethunarayanan, Chockalingam, & Ramanathan, 1989)

La celulosa es el componente de mayor importancia en las fibras naturales teniendo forma microfibrillas cristalinas alineadas respecto al eje longitudinal de la fibra, dando resistencia a la hidrólisis y agentes oxidantes, pero al entrar en contacto con ácidos fuertes puede degradarse parcialmente. La hemicelulosa (estructura compuesta por polisacáridos de peso molecular inferior permitiendo el enlace entre la pectina y celulosa) recubre la fibrilla y es hidrófila que puede ser hidrolizada con facilidad por ácidos o bases diluidas. La lignina es un polímero formado por varios alcoholes fenilpropílicos encargados de dar rigidez a la pared celular, ganando resistencia al impacto y la flexión; es hidrofóbica, resistente al hidrólisis ácida y una ventaja de la lignificación de los tejidos es que adquiere mayor resistencia al ataque de microorganismos. Y las pectinas proporcionan a las fibras más flexibilidad (Velásquez et al, 2016).

Lo más conveniente respecto a la composición química es eliminar el contenido de pectinas y lignina mejorando el efecto reforzante de las fibras naturales. La resistencia a la tracción y el módulo de Young dependen de la longitud de la célula y el contenido de celulosa; el ángulo microfibrilar es el comprendido entre el eje de la fibra y las microfibrillas cuyo diámetro está en un rango de 10 a 30nm que influye

en las propiedades mecánicas de tal manera que a mayor ángulo mayor será la resistencia, rigidez y ductilidad de la fibra (Velásquez et al, 2016).

La ventaja esencial de utilizar fibras vegetales (subdivisión de las fibras naturales) es tomar en cuenta materiales sostenibles “compuestos verdes” los mismos que tienen una resistencia mecánica y una rigidez relativamente moderada, pero en muchos casos son susceptibles al agua lo que limita su aplicación. De allí, nace la necesidad de investigar técnicas que ayuden a mejorar la resistencia y la rigidez de las fibras mediante modificaciones físicas o químicas alcanzando un rango de resistencia a la tracción y módulo de Young de 100-200 MPa y 3-6 GPa respectivamente (Kim & Netravali, 2013).

Continuación se puede ver un resumen de ventajas y desventajas de las fibras naturales respecto a las sintéticas:

Tabla 9:

Ventajas y desventajas de las fibras naturales respecto a las fibras sintéticas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo costo	Bajas propiedades mecánicas (en especial resistencia al impacto)
Poco peso	Mayor absorción de humedad
Mayor flexibilidad	Inferior durabilidad
Renovables	Baja resistencia al fuego
Biodegradables	Variación de calidad (según el tipo de fibra)
Buen aislamiento térmico y acústico	Temperatura máxima de procesamiento restringida
Ecológicos	Poca resistencia microbiana
Menor consumo de energía	Baja resistencia térmica
No hay residuos cuando se incinera	Ciclos de demanda y suministro
No hay irritación a la piel	
No tóxicos	

Fuente: (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020)

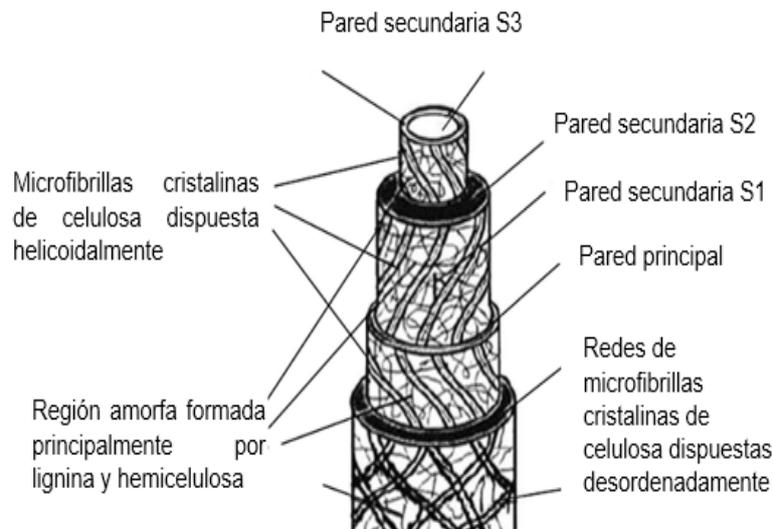


Figura 7: Estructura de la organización celular de la fibra natural.

Fuente: (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020)

2.4 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO Y ENDURECIDO

El hormigón puede ser analizado en cualesquiera de estos tres estados:

- Fresco
- En proceso de fraguado
- Endurecido

Y determinar su comportamiento en base a sus características típicas, tomando como objetivo mejorar la eficiencia en los procesos constructivos y vida útil del material compuesto para lo cual se debe hacer referencia a las distintas propiedades en donde la que más predomina es la resistencia a la compresión pero no hay que dejar de lado otras propiedades como: trabajabilidad, velocidad de fraguado, durabilidad, peso unitario, estabilidad volumétrica, apariencia, entre otras cualidades (Luna, 2014).

Los tipos de hormigón son identificados al presentar diferentes propiedades y características según su estado, de ahí la necesidad de conocer y saber sobre las medidas de control para garantizar la calidad del producto final.

2.4.1 HORMIGÓN FRESCO

El hormigón fresco debe contar con una adecuada consistencia que permita la facilidad al ser manipulado en la obra y sea llenado apropiadamente en los encofrados y también cumplir adecuadamente con los recubrimientos de los aceros

de refuerzo. Por ende, la masa debe ser homogénea evitando grandes burbujas de aire o agua atrapada (Luna, 2014).

Las características o cualidades que deben ser analizadas son:

- Trabajabilidad
- Consistencia
- Segregación
- Exudación o sangrado
- Peso unitario
- Contenido de aire
- Uniformidad
- Tiempos de fraguado

2.4.1.1 Trabajabilidad

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 (Luna, 2014).

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 (Luna, 2014).

Según (Caizaguano & Terán, 2020), algunos factores que afectan la trabajabilidad son:

- Agregados alargados y con aristas irregulares.
- Agregados triturados menos trabajables que los naturales.
- La porción de agua en el amasado.

- Áridos con mayor cantidad de finos, da más trabajabilidad.
- Mayor aumento de trabajabilidad de acuerdo al contenido de cemento y su finura.

2.4.1.2 Consistencia

El asentamiento en el cono de Abrams (NTE INEN 1578, 2010), que nos permite definir la humedad de la mezcla mediante su grado de fluidez.

Tabla 10:

Grados de consistencias y aplicaciones.

Consistencia	Asentamiento (cm)	Observaciones	Representación
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	Pavimentaciones y cimentaciones en concreto simple	
Media	5.0 a 10.0	Pavimentos, losas muros, vigas, etc.	
Húmeda	10 a 15	Elementos esbeltos – Concretos bombeados	
Muy húmeda	> 15	Elementos muy esbeltos – Concreto Tremie.	

Fuente: (Luna, 2014)

2.4.1.3 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 (Luna, 2014).



Figura 8: Presencia de coqueras o ratoneras.
Fuente: (Torrent, 2020)

2.4.1.4 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 partículas sólidas como son el cemento y los agregados. Los factores que pueden causarla es el agregada 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 (Luna, 2014).

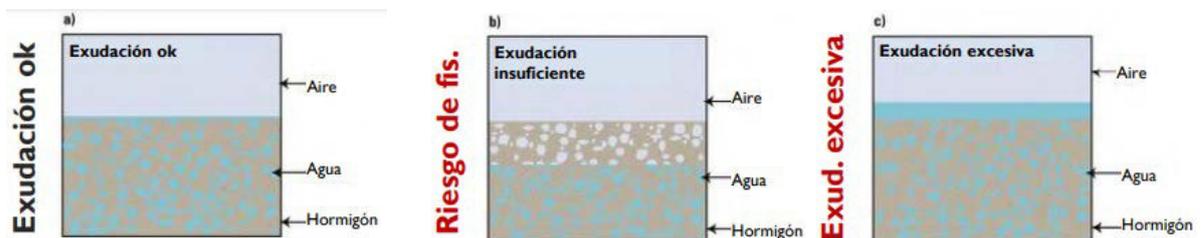


Figura 9: Exudación del hormigón a) Normal, b) Insuficiente y c) Excesiva.
Fuente: (Distrito, 2016)

2.4.1.5 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 (Luna, 2014). El peso unitario permite clasificar a los hormigones, de la siguiente manera:

Tabla 11:

Tipo de hormigón en función de su peso unitario.

Tipo de hormigón	Peso unitario (kg/m³)	
Liviano	480	1600
Normal	2300	2500
Pesado	3000	5200

Fuente: (Luna, 2014)

2.4.1.6 Contenido de aire

El aire atrapado en el concreto depende de las proporciones que se utilizan en la dosificación, características físicas de los agregados y del método usado al momento de compactar la mezcla (ASTM E 122, 2009).

El medidor tipo B, es utilizado para determinar el contenido de humedad del hormigón en estado fresco. Este equipo mediante el cambio de volumen que se produce por el cambio de presión; este ensayo es aplicable a hormigones frescos y morteros con áridos relativamente densos a los cuales se les puede aplicar un factor de corrección. El indicador del manómetro está calibrado para señalar el porcentaje de aire de la muestra de hormigón cuando la transmisión del volumen de aire se haya completado. Se han usado satisfactoriamente presiones de trabajo comprendidas en el intervalo de 50 a 205 kPa (NTE INEN 3122, 2021).

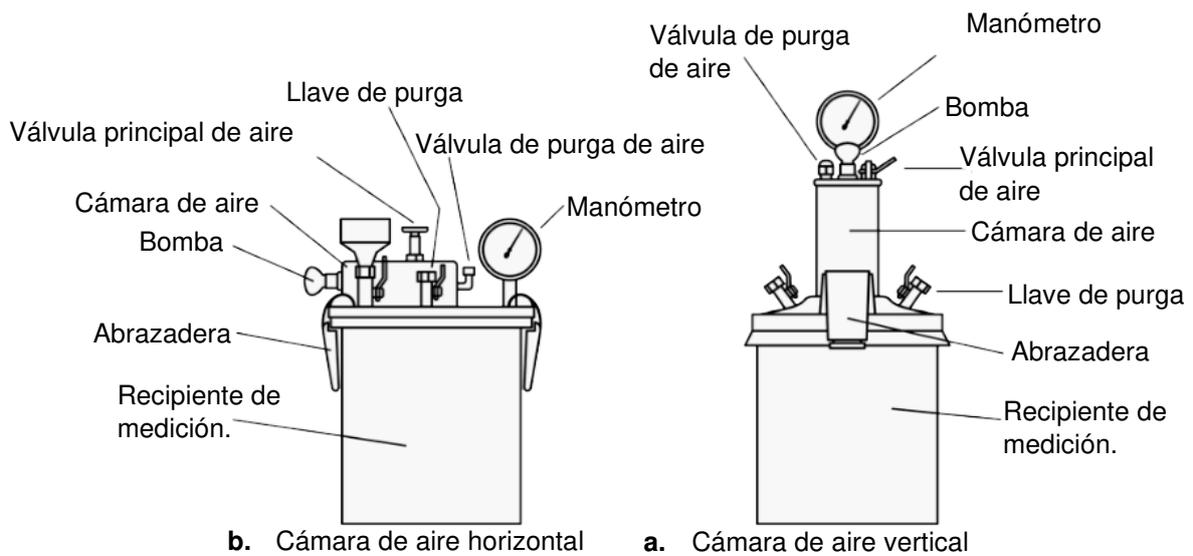


Figura 10: Diagrama esquemático del medidor tipo B

Fuente: (ASTM C 231, 2017)

Con la siguiente ecuación se determina el contenido de aire.

$$A_s = A_1 - G \quad \text{Ec.(5)}$$

Donde:

A_s: es el contenido de aire de la muestra ensayada, en %.

A₁: es el contenido de aire aparente ensayada, en %.

G: es el factor de corrección del árido.

2.4.1.7 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, 2000):

- Segregación interna: la fuerza de gravedad es mayor a la suma de la fuerza de adhesión y fuerza de fricción.
- Segregación externa: presenta baja cohesión y deformación plástica

2.4.1.8 Tiempo de fraguado

El fraguado es un cambio de estado de hormigón fresco a hormigón endurecido y puede tomar un tiempo de 4 a 10 horas aproximadamente sabiendo que este proceso empieza al momento de entrar en contacto con el agua (Perles, 2009). La velocidad de fraguado depende del aluminato tricálcico que da los tres componentes de cemento es el que reacciona más rápido interviniendo como

factores importantes la humedad y temperatura, que cuando aumentan aceleran el proceso de fraguado. Y a temperatura inferiores los 5°C prácticamente se detiene y se conoce que la temperatura ideal es de 20°C (Perles, 2009).

2.4.1.9 Temperatura

La temperatura del concreto es importante porque puede causar problemas de fraguado; y la temperatura de la mezcla de hormigón simple está en función de la temperatura de los componentes del mismo y del calor de hidratación que libera el cemento. Se debe tener en cuenta que la temperatura optima es 23°C y la aceptable debe estar entre 10°C y 32°C (Ronald, 2019). Tanto en (ACI 318-19, 2019) sección R26.5.5.1 y (ACI 310, 1999) sección 4.2.2.6 mencionan que la temperatura máxima es de 5°C.

2.4.2 HORMIGÓN ENDURECIDO

Las propiedades del hormigón endurecido pueden ser:

- Peso unitario
- Apariencia
- Homogeneidad
- Comportamiento: mecánico, térmico, acústico o eléctrico.

Las propiedades que más predominan son las mecánicas porque representan a la resistencia de la pasta endurecida y de la interface agregado-pasta, y pueden ser modificadas por las condiciones de colocación y curado. Cuatro maneras de representar la resistencia a la capacidad de soportar esfuerzos son: compresión, tracción, flexión y corte (Luna, 2014).

2.4.3 CURADO

El curado se realiza para mantener la humedad del hormigón y evitar que se evapore el agua manteniendo la proporción agua y cemento y así se logre completar la reacción química de endurecimiento. Un buen curado se obtiene de dos maneras, una es mantener la superficie humedad de manera periódica u otra evitando que el agua de la mezcla se evapore usando un medio tipo barrera para conservar la humedad propia (Alario C, 2014).

- **Retiro de los moldes:** se lo puede realizar en 24 ± 8 después de que la muestra ha sido colocada en los moldes. Para hormigones que tienen un tiempo de fraguado prolongado, los especímenes no pueden ser desencofrados hasta 20 ± 4 horas después del fraguado final (NTE INEN 3124, 2017).

2.4.3.1 Causas que provocan pérdidas de agua en el hormigón

Existen dos causas que provocan pérdida de agua y que afectan las propiedades del hormigón en estado endurecido (Alario C, 2014).

1. La relación agua cemento no es la adecuado, y se ha utilizado un bajo porcentaje del agua durante el amasado; esto no se presenta en una mezcla realizada en una planta debido a que son procesos más sistematizados.
2. Pérdida de agua durante la ejecución y endurecimiento de los especímenes. Se puede dar por la evaporación debido a un ambiente con altas temperaturas o el viento, Se recomienda un correcto curado.

2.4.3.2 Tipos de curado

- **Curado inicial:** en un periodo de hasta 48 horas a una temperatura entre 16°C y 27°C , en un ambiente donde se conserve la humedad, pero para resistencias mayores a 40 MPa la temperatura requerida esta entre 20°C y 26°C . estos especímenes deben no deben tener contacto con los rayos solares (radiación calórica); y la temperatura se debe controlar con un dispositivo de calefacción.
- **Curado final:** Posterior al curado inicial (± 30 minutos) y después de ser retirados de los moldes, se debe curarlos a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, manteniendo la humedad de la superficies de los especímenes lo que se puede lograr con una cámara de curado o tanques de almacenamiento según la (NTE INEN 2528, 2010).

2.5 DURABILIDAD DE LA FIBRA NATURAL

2.5.1 LA FIBRA DENTRO DE UN MEDIO ALCALINO (HORMIÓN)

La durabilidad de la fibra está directamente relacionada con las propiedades mecánicas, crecimiento de hongos y bacterias en la composición. Y las investigaciones indican que la durabilidad depende de la absorción de agua,

resistencia de desgaste y resistencia a la intemperie (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020).

El material compuesto por hormigón reforzado con fibras vegetal está relacionado con la resistencia externa como daños internos. Debido que el ambiente alcalino del hormigón causa la degradación de la fibra disolviendo la lignina y debilita la estructura de la fibra. Para que la fibra conserve su flexibilidad y resistencia el hormigón debe tener un $\text{pH} \leq 9$ (Pacheco-Torgal & Jalali, 2011).

Para mejorar el comportamiento de los compuestos, es necesario conocer las propiedades fisicoquímicas para optimizar el rendimiento de los materiales compuestos. Las características mecánicas de las fibras naturales están influenciadas por parámetros como: la estructura cristalina, el grado de cristalinidad, ángulo de espiral de las fibrillas, el grado de polimerización, contenido de porosidad, el tamaño de lumen (vacío central) y la composición química. También se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el diámetro y propiedades mecánicas de la fibra de palma africana (Alawar, Hamed, & Al-Kaabi, 2009).

Tabla 12:

Diámetro y propiedades elásticas de la fibra de palma.

Propiedades	Diámetro (μm)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alargamiento a la rotura (%)
Fibra de palma	100-1000	58-203	2-7.5	5-10

Fuente: (Alawar et al., 2009)

Para elegir la mejor opción de tratamiento es necesario conocer que causa el deterioro de la fibra dentro de un medio de hormigón (Sahoo, Mohanty, Nayak, & Behera, 2021).

2.5.2 TRATAMIENTO QUÍMICO PARA AUMENTAR LA DURABILIDAD DE LA FIBRA

Existen métodos de modificación superficial en las fibras de origen natural, son el método de modificación física y química. En la modificación física se ve afectada la rugosidad y cristalinidad de las fibras, mientras que en la modificación química usualmente se presenta una mejora en la adherencia y se utiliza reactivos (Sánchez, Patiño, & Cárdenas, 2020).

Las fibras vegetales presentan alta humedad y absorción de humedad teniendo como resultado a deslaminación entre la fibra y la matriz lo cual puede desencadenar una reducción severa en las propiedades mecánicas del material. Esto se da por la presencia de componentes no celulósicos (*como son la pectina, lignina y hemicelulosa*), y estas fibras son de naturaleza polar e hidrófila y, por eso, crean condiciones activas (*como: accesibilidad a los grupos hidroxilos y ácidos carboxílicos*) (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020). Las impurezas y las sustancias cerosas producen una mala humectación en la superficie y reducción de la unión en el compuesto (Ahmad, Hamid, & Osman, 2019).

Las condiciones ambientales (*sol y lluvia*), condiciones de suelo, cantidad de agua que ha recibido en su periodo de crecimiento, condiciones de producción puede influir en el rendimiento del material. Y aunque fueran de la misma población el rendimiento y las propiedades de las fibras variaran; pero existe maneras de modificar las fibras, y se clasifican en:

2.5.2.1 Tratamiento físico

Las modificaciones físicas mejoran la adhesión mecánica entre la fibra y la matriz al mejorar la interfaz y sin alterar las propiedades químicas. Los métodos de tratamiento físico incluyen la corona, el plasma, rayos ultravioletas (UV), el batido de fibras y el tratamiento térmico. Estos métodos pueden ser utilizados cuando se busca modificar las propiedades superficiales de las fibras (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020).

1. **Corona:** en fibras celulósicas mejoran la compatibilidad entre la fibra hidrofílica y la matriz.
2. **Plasma:** utilizando un alto voltaje a alta temperatura y a presión atmosférica.
3. **Rayos ultravioletas:** aumenta la polaridad de la superficie de la fibra, lo que conduce a una mejor humectabilidad de las fibras y un aumento de resistencia del material compuesto.
4. **Batido de fibras:** produce un aumento de superficie, desfibrilación y causa un aumento del 10% de la resistencia de la fibra.

5. **Tratamiento térmico:** se aplica una temperatura cercana a la de degradación, y esto afecta a las propiedades físicas, químicas, contenido de agua, resistencia, cristalinidad de la celulosa y el grado de polimerización.

2.5.2.2 Tratamiento químico

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 interface de los compuestos (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020).

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 (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020).

Tabla 13:

Resume de tratamientos químicos.

Tratamiento	Reactivo químico
Alcalino	NaOH
Silano	Silano
Acetilación	Ácido acético + Anhídrido acético
Benzoilación	Cloruro de benzoilo
Peróxido	Peróxidos reaccionan con los grupos OH
Agentes de acoplamiento maleados	
Clorito de sodio	NaClO ₂
Acrilación e injerto de crilonitrilo	CH ₂ =CHCOOH
Isocianato	
Ácido esteárico	
Cloruro de oleóilo	Cloruro de oleóilo
Permanganato	KMnO ₄
Triazina	C ₃ H ₃ N ₃
Fúngicos	Enzimas (tratamiento biológico)

Fuente: (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020)

▪ Alcalino

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 micro moléculas (*se agrandan los espacios y se llenan con moléculas de agua*) (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020).

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 (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020).

Cuando de tratamiento químico se trata un factor muy importante a ser considerado es la disponibilidad del mismo. Ecuador, mantiene reglamentos acerca de ciertos químicos por ende existen restricciones para acceder a ellos. Para la investigación se consiguió hidróxido de sodio con una concentración del 5% en “La casa de los químicos” ubicada en la Av. América N18-17 y Asunción, Quito - Ecuador.

Ventajas	Desventajas	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Las superficies rugosas de las fibras proporcionan un mejor enclavamiento mecánico y una mayor resistencia interfacial entre la fibra y la matriz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mas de un 6% de incremento de concentración alcalina y periodos de que 24 horas de remojo dañan las fibras y reducen la resistencia a la tracción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los tipos y la concentración de la solución alcalina, el tiempo de tratamiento y la temperatura utilizados para la modificación afectaron a la eficacia.

Figura 11: Ventajas, desventajas y observaciones en cuanto al uso del hidróxido de sodio.

Fuente:(Ahmad et al., 2019)

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 et al., 2020).

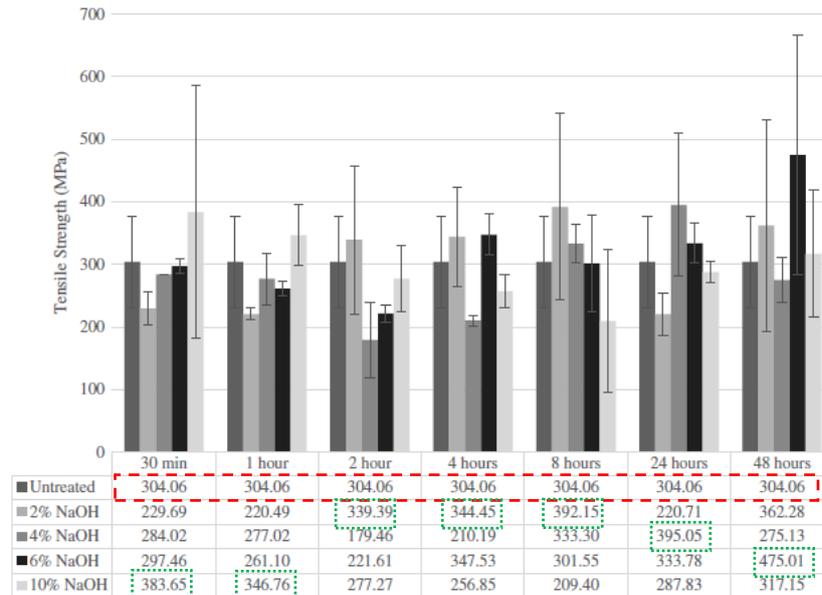


Figura 12: Resistencia a la tracción del OPBF sometido al tratamiento de NaOH con diferentes concentraciones y duraciones.
Fuente: (Momoh et al., 2020)

▪ **Tratamiento térmico**

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 (Ahmad et al, 2019).

Ventajas	Desventajas	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la estabilidad térmica, la cristalinidad y las propiedades físicas y mecánicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • La exposición térmica prolongada disminuye el contenido de humedad y cambia la composición física y química de la fibra. 	<ul style="list-style-type: none"> • La combinación de tratamiento químico y térmico puede aumentar la resistencia y mejorar la durabilidad de la fibra.

Figura 13: Ventajas, desventajas y observaciones en cuanto al tratamiento con agua caliente
Fuente: (Ahmad et al., 2019)

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

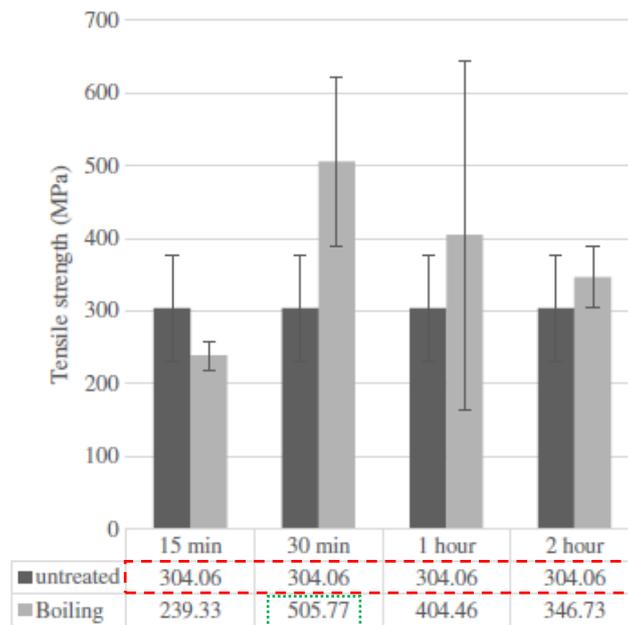


Figura 14: Resistencia a la tracción del OPBF sometido a tratamiento de agua caliente durante diferentes tiempos.

Fuente: (Momoh et al., 2020)

Posterior a realizar un tratamiento a las fibras naturales, en donde, se mejora las propiedades mecánicas y resistencia al impacto del hormigón. Alcanzando un comportamiento similar a las fibras sintéticas; dichos tratamientos no deben causar graves deterioros en la fibra (Machaka, Abou Chakra, & Elkordi Professor, 2014). Según (Sethunarayanan et al., 1989), el volumen recomendado está entre 0.6 y 0.8%; y es con este porcentaje que se logró obtener un aumento en la tenacidad y también la resistencia de impacto entre 3 y 18 veces más que cuando no se utiliza fibras.

2.6 PROBETAS Y ENSAYOS

2.6.1 PROBETAS

2.6.1.1 Forma de probetas

Se tiene las siguientes formas:

- Cubicas de aristas (a)
- Cilíndricas de diámetro (a) y altura (2a)
- Prismáticas de arista (a) y longitud ($l > 3.5 * a$)

Donde (a), debe ser mayor a 4 veces la dimensión nominal del árido, pero adoptando un valor entre (10 o 15)cm (Luna, 2014)

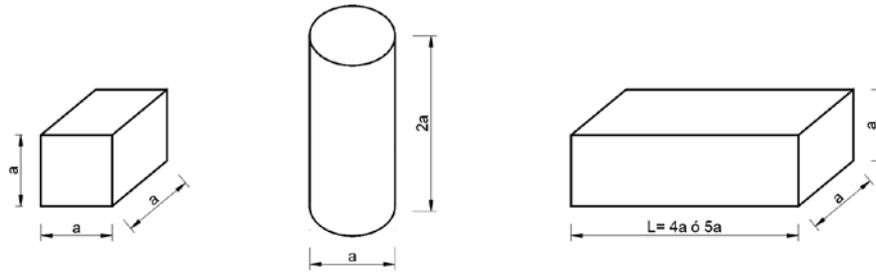


Figura 15: Tipos de probetas o especímenes de concreto.

Fuente: (Luna, 2014)

2.6.1.2 Material de las probetas

El material de los moldes no debe ser absorbente ni ser reactivo con el hormigón de cemento portland algo como: acero o hierro fundido. Garantizando impermeabilidad para que el agua de la mezcla se conserve (NTE INEN 1576, 2012).



Figura 16: Moldes de acero.

Fuente: (PINZUAR, 2019)

2.6.1.3 Dimensiones de Probetas

Los especímenes de hormigón deben realizarse en un molde recubierto ligeramente con aceite mineral o con un material desmoldable y su interior debe ser una superficie lisa y la variación en la sección transversal nominal no debe exceder de 3mm (ASTM C 31, 2019). El número de especímenes a ser moldeados son 3 o más especímenes por cada edad (ASTM C 192, 2016).

Para determinar la temperatura del hormigón fresco, cuando el tamaño nominal del supera los 75 mm puede necesitar de hasta 20min para la transferencia de calor del árido a la mezcla (ASTM C 1064, 2012).

La velocidad de carga que se aplica en el ensayo es una carga continua y sin impacto correspondiente entre 0.25 ± 0.05 MPa/s

Tabla 14:
Número de capas necesarias para las muestras.

Tipo de espécimen y tamaño	Modo de consolidación	Número de capas de aproximadamente igual profundidad
Cilindros		
Diámetro, pulg [mm]		
3 o 4 [75 a 100]	Varilla	2
6 [150]	Varilla	3
9 [225]	Varilla	4
hasta 9 [225]	Vibración	2
Prisma y fluencia horizontal		
Cilindros		
Profundidad, pulg[mm]		
hasta 8[200]	Varilla	2
más de 8[200]	Varilla	3 o más
hasta 8[200]	Vibración	1
más de 8[200]	Vibración	2 o más

Fuente: (ASTM C 192, 2016)

La **Tabla 14**, indica que en función del diámetro del espécimen y por el modo de consolidación se debe dividir en tres capas al momento de colocar la mezcla de hormigón con o sin fibra; como se indica en la **Figura 17**. Mientras que, la **Tabla 15** menciona el número de golpes que se debe realizar por capa que en este caso serían 25 golpes.

Tabla 15:
Diámetro varilla y número de golpes a utilizar en las probetas.

Cilindros		
Diámetro de cilindro, pulg [mm]	Diámetro de varilla, pulg [mm]	Numero de golpes por capa
2[50] < 6[150]	3/8 [10]	25
6[150]	5/8 [16]	25
8[200]	5/8 [16]	50
10[250]	5/8 [16]	75
Vigas y prisma		
Superficie superior del espécimen, pulg ² [cm ²]	Diámetro de varilla, pulg[mm]	Numero de varilladas por capa
25[160] o menor	3/8 [10]	25
26 a 49[165 a 310]	3/8 [10]	1 por cada 1pulg ² [7 cm ²]
50[320] o mas	5/8 [16]	2 por cada 1pulg ² [7 cm ²]
Cilindros horizontales de fluencia		
Diámetro de cilindro, pulg [mm]	Diámetro de varilla, pulg [mm]	Numero de varilladas por capa
6[150]	5/8 [16]	50 total, 25 a ambos lados del eje

Fuente: (ASTM C 192, 2016)

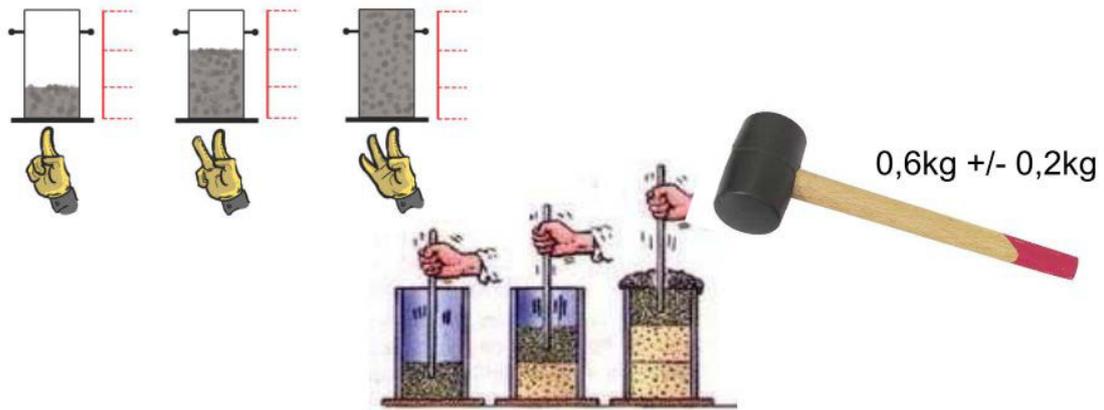


Figura 17: Colocación, compactación y eliminación de aire (maso de goma).
Fuente: (HOLCIM, 2016)

Tabla 16:
Precisión dentro del ensayo.

	Coeficientes de variación (ver nota 12)	Rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales (ver nota 12)	
		2 cilindros	3 cilindros
Cilindros de 150 por 300mm			
Condiciones de laboratorio	2.40%	6.60%	7.80%
Condiciones de campo	2.90%	8.00%	9.50%
Cilindros de 100 por 200mm			
Condiciones de laboratorio	3.20%	9.00%	10.60%

Fuente: (NTE INEN 1573, 2010)

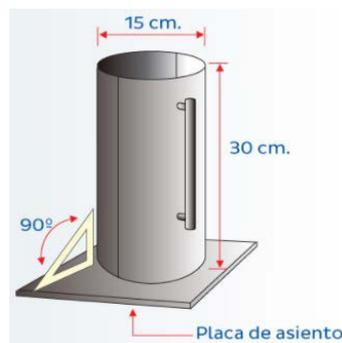


Figura 18: Dimensiones para especímenes.
Fuente: (ACEROS AREQUIPA, 2018)

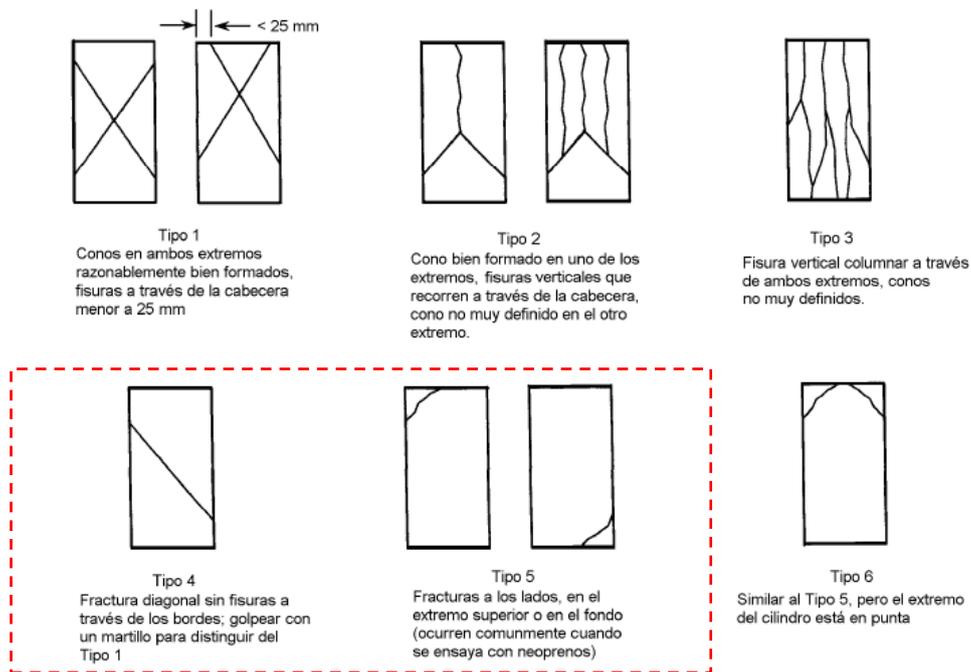


Figura 19: Esquema de los modelos típicos de fractura.
Fuente: (NTE INEN 1573, 2010)

2.7 DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

La dosificación deberá cumplir las exigencias mencionadas en las respectivas normativas, sean estas, nacionales o internacionales. La dosificación debe cumplir con una resistencia requerida según el propósito para un determinado proyecto, esto usualmente no se cumple cuando se realiza de manera artesanal (Rodríguez, 2014).

La calidad del hormigón estará ligada a la calidad de los materiales que lo componen, en donde el objetivo es que cada partícula (agregado) sea cubierta en su totalidad por pasta y eliminar el aire atrapado (mediante un vibrado de calidad).

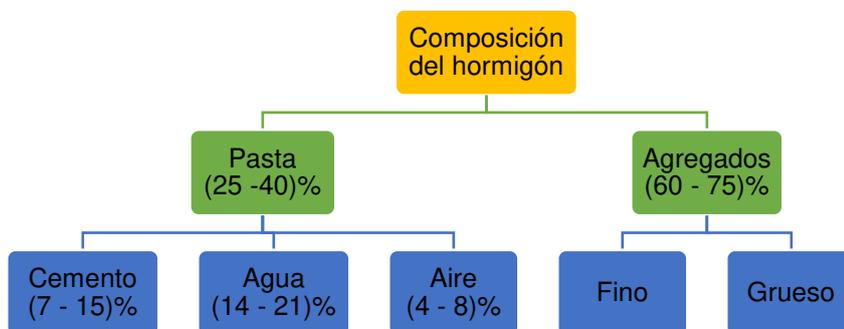


Figura 20: Composición del hormigón.
Fuente: (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, 2008)

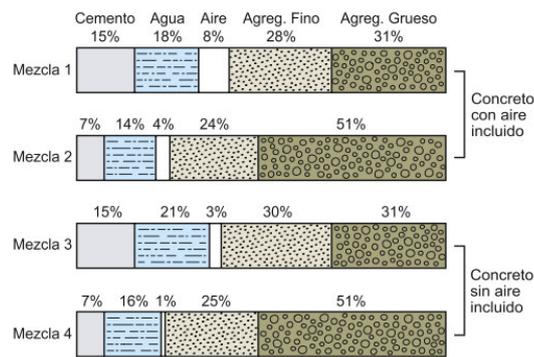


Figura 21: Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas en agregados pequeños mientras que las barras 2 y 4 representan mezclas pobres en materiales grandes.

Fuente: (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, 2008)

2.7.1 SELECCIÓN DE PROPORCIONES

Según (Luna, 2014), al realizar la mezcla se debe utilizar el volumen adecuado de agua para que la trabajabilidad sea acorde a los propósitos de una determinada en obra y obteniendo la máxima resistencia adecuada, mayor durabilidad y otras propiedades beneficiosas. Se debe seleccionar las proporciones de los componentes con las siguientes características:

- Resistencia requerida:** Que tenga la capacidad de soportar la demanda causada por las cargas y que no haya peligro de falla.
- Durabilidad:** Resistir factores climáticos de la intemperie y cualquier agente destructivo al que está expuesto la estructura.
- Consistencia rígida:** lograr el asentamiento óptimo y a su vez, la mezcla sea homogénea.
- Tamaño del agregado:** Sea el máximo y así lograr una mezcla económica teniendo en cuenta su fácil colocación en obra.

2.7.1.1 Asentamiento

Se debe considerar las siguientes limitaciones en base al tipo de construcción que se desea realizar, evitando mezclas muy húmedas para evitar hormigones pobres, porosos y con baja durabilidad. Y el tamaño máximo del agregado para reducir la cantidad de pasta, pero el tamaño máximo no debe ser mayor $\frac{1}{5}$ (Menor dimensión de la escritura), $\frac{3}{4}$ (Menor espacio entre varillas de la armadura del elemento; se pueden usar los

valores mínimos para mejorar las condiciones de economía o existencias del material (Luna, 2014).

Tabla 17:

Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.

Tipos de construcción	Revenimiento, cm (pulg)	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	7,5 (3)	2,5 (1)
Zapatas, campanas y muros de subestructura	7,5 (3)	2,5 (1)
Vigas y muros reforzados	10 (4)	2,5 (1)
Columnas para edificios	10 (4)	2,5 (1)
Pavimentos y losas	7,5 (3)	2,5 (1)
Concreto masivos	5 (2)	2,5 (1)

Fuente: (ACI 211.1, 2006)

2.7.1.2 Tamaño nominal de los agregados

Mediante la determinación del análisis granulométrico del agregado grueso, se define según el espaciamiento libre del refuerzo de acero.

Tabla 18:

Tamaño máximo del agregado recomendado para varias obras.

DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN cm (pulg)	Paredes, Vigas y Columnas		Muros sin refuerzo	Losas fuertemente armadas		Losas ligeramente armadas o sin refuerzo	
	mín.	máx.		mín.	máx.	mín.	máx.
6.4 a 12.7 (2.5 a 5.0)	1,27 1/2	1,90 3/4	1,90 3/4	1,90 3/4	2,50 1	1,90 3/4	3,80 1 1/2
15.2 a 28.0 (6 a 11)	1,90 3/4	3,80 3/2	3,80 3/2	3,80 1 1/2		3,80 1 1/2	7,60 3
30.5 a 73.7 (12 a 29)	3,80 1 1/2	7,60 3	7,60 3	3,80 1 1/2	7,60 3/1	7,60 3	
76.2 o más (30 o más)	3,80 1 1/2	7,60 3	15,20	3,80 1 1/2	7,60 3	7,60 3	15,20 6

Fuente: (Luna, 2014)

2.7.1.3 Estimación de la cantidad de agua necesaria

La consistencia requerida depende de la cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón (usualmente m³) y sus otros componentes. Entre ellos los agregados deben cumplir una buena gradación de acuerdo al tamaño nominal.

Tabla 19:

Cantidad de agua mezclada, (litros/m) de hormigón, requerida en función del tamaño máximo del agregado utilizado en la obra, para diferentes asentamientos.

ASENTAMIENTO cm (pulg)	0,95	1,27	1,90	2,54	3,81	5,08	7,62	15,24
	3/8	1/2	3/4	1	3/2	2	3	6

HORMIGÓN SIN INCLUSIÓN DE AIRE

2.5 a 5.1 (1 a 2)	208 (350)	198 (335)	183 (315)	178 (300)	163 (275)	153 (260)	144 (220)	124 (190)
7.6 a 10.2 (3 a 4)	228 (385)	218 (365)	203 (340)	193 (325)	178 (300)	168 (285)	158 (245)	139 (210)
15.2 a 17.8 (6 a 7)	243 (410)	228 (385)	213 (360)	203 (340)	188 (315)	178 (300)	168 (270)	149 -
Porcentaje de Aire Atrapado %	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2

HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE AIRE

2.5 a 5.1 (1 a 2)	183 (305)	178 (295)	163 (280)	153 (270)	144 (250)	134 (240)	124 (205)	109 (180)
7.6 a 10.2 (3 a 4)	203 (340)	193 (325)	178 (305)	168 (295)	158 (275)	149 (265)	139 (225)	119 (200)
15.2 a 17.8 (6 a 7)	213 (365)	203 (345)	188 (325)	178 (310)	168 (290)	158 (280)	149 (260)	129 -

CONTENIDO TOTAL DE AIRE %

Suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	
Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	
Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	

a) Cuando se especifica hormigón con aire incorporado.

b) Si las condiciones de exposición dictaminan lo contrario, entonces los valores pueden reducir hasta un 1% en hormigones de resistencias a la compresión específica $f'c = 35$ MPa o mayores.

Fuente: (ACI 211.1, 2006) & (Luna, 2014) & (Gutierrez, 2020)

2.7.1.4 Selección de la relación agua – cemento

Este parámetro influye en el esfuerzo a la compresión simple. Y se determina con el tipo de agregado y cemento, mencionando las resistencias mínimas esperadas según la relación a/c utilizada en la dosificación. La resistencia no debe superar la cantidad de aire atrapado (máximo 8%), como se menciona en tabla 20.

Tabla 20:*Relación a/c recomendada.*

RELACIÓN AGUA-CEMENTO (a/c) RECOMENDADA, EN litros/kg de cemento, PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, CON Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE.			
RELACIÓN (a/c) en litros/kg (psi) de cemento	LITROS DE AGUA POR CADA SACO DE 50 kg DE CEMENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBABLE A LOS 28 DÍAS (kgf/cm ²)	
		HORMIGÓN SIN INCLUSIÓN DE AIRE	HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE AIRE
0.265	15.0	425	325
0.353	19.0	350	280
0.445	22.5	280	210
0.530	26.5	210	180
0.623	30.0	180	140
0.705	34.0	140	110

Fuente: (ACI 211.1, 2006) , (Caizaguano & Terán, 2020) & (Luna, 2014)

2.7.1.5 Estimación de la cantidad de agregado grueso

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, permite la determinación de una correcta relación para los agregados graduados que se encuentre dentro de los límites convencionales. Este valor es representado en unidades de volumen aparente del agregado grueso compactado.

Tabla 21:*Volumen del agregado grueso por unidad de volumen.*

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO		VOLUMEN, M ³ , DE AGREGADO GRUESO SECO Y COMPACTADO, POR M ³ DE HORMIGÓN							
		MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO							
cm	pulg	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
1,00	3/8	0,470	0,460	0,450	0,440	0,430	0,420	0,410	0,400
1,25	1/2	0,560	0,550	0,540	0,530	0,520	0,510	0,500	0,490
1,90	3/4	0,660	0,650	0,640	0,630	0,620	0,610	0,600	0,590
2,54	1	0,710	0,700	0,690	0,680	0,670	0,660	0,650	0,640
3,81	1 1/2	0,770	0,760	0,750	0,740	0,730	0,720	0,710	0,700
5,08	2	0,800	0,790	0,780	0,770	0,760	0,750	0,740	0,730
7,62	3	0,850	0,840	0,830	0,820	0,810	0,800	0,790	0,780
15,24	6	0,910	0,900	0,890	0,880	0,870	0,860	0,850	0,840

Fuente: (ACI 211.1, 2006) , (Caizaguano & Terán, 2020) & (Luna, 2014)

2.7.2 CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Los materiales pueden estar demasiado secos o húmedos, lo cual, dependerá del clima en donde se encuentran, y al momento de ser utilizados en una mezcla pueden alterar la relación agua – cemento seleccionado para la dosificación. La cantidad que absorban dependerá del contenido de humedad que presente el agregado y su porcentaje de absorción para alcanzar la condición de S.S.S.; y si se

encuentra muy húmedo al añadir la cantidad de agua determina por la dosificación la mezcla estará suelta (Luna, 2014).

$$W = \frac{W_{wn}}{W_s} \text{ donde } W_{wn} = W_s * W \quad \text{Ec.(6)}$$

$$Ab = \frac{W_{w \text{ sat}}}{W_s} \text{ donde } W_{w \text{ sat}} = W_s * Ab \quad \text{Ec.(7)}$$

$$\Delta W = W_{w \text{ sat}} - W_{wn} \quad \text{Ec.(8)}$$

$$\Delta W = W_s * Ab - W_s * W$$

$$\Delta W = W_m * \left(\frac{100 + \%Ab}{100 + \%W} - 1 \right) \quad \text{Ec.(9)}$$

Donde:

ΔW : Diferencia del contenido del agua entre los estados saturados 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 %.

Por lo tanto, según sea el caso se debe aplicar de la siguiente manera (Luna, 2014).

- Si ΔW es *positiva* quiere decir que el agregado está demasiado seco y, por ende, se le suma el valor obtenido de ΔW a la cantidad determinada de agua para la dosificación.
- Si ΔW es *negativa* quiere decir que el agregado está demasiado húmedo y, por ende, se le resta el valor obtenido de ΔW a la cantidad determinada de agua para la dosificación.

2.7.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD - AGREGADOS.

Se toma como base (NTE INEN 862, 2011), el contenido de humedad se define como una relación entre el peso de agua y el peso seco que está contenido en una muestra, y esta expresado en porcentaje.

$$P = 100 * \frac{(W - D)}{D} \quad \text{Ec.(10)}$$

Donde:

P: contenido total de humedad evaporable de la muestra, en %.

W: masa de la muestra original, en gr.

D: masa de la muestra seca, en gr.

2.7.4 RESISTENCIA REQUERIDA

La resistencia a la compresión (f'_c): Es la máxima resistencia medida en un espécimen de concreto aplicando carga axial sobre el área transversal y es una propiedad física fundamental. Esta propiedad es considerada dentro del diseño de una obra (González, 2005).

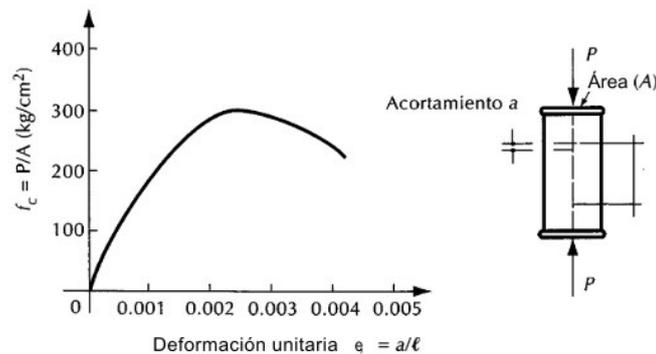


Figura 22: Curva esfuerzo-deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración.

Fuente: (González, 2005)

La resistencia a la compresión se determina mediante falla de cilindros (ensayo destructivo) 15cm de diámetro y 30cm de altura a los 28 días, ya que, a esa edad de curado los cilindros deben alcanzar el 100% de la resistencia requerida (McCormac & Brown, 2018).

La resistencia a la compresión simple se puede clasificar en los siguientes grupos:

Tabla 22:

Resistencia a compresión simple del hormigón endurecido.

Hormigón de resistencia	Rango de resistencia (kgf/cm ²)	
Baja	<180	
Normal	180	400
Alta	400	1000
Ultra alta	>1000	

Fuente: (Luna, 2014)

La resistencia a la compresión está ligada a la relación agua/cemento, siendo contraproducente el exceso de agua porque esa cantidad adicional que no es necesaria será la que no reaccione con el cemento generando hormigones porosos con baja resistencia. Y si no existe el agua necesaria el cemento no podrá hidratarse por completo impidiendo el endurecimiento en conjunto (Luna, 2014).

Otros factores que influyen en la resistencia a la compresión son las condiciones ambientales y temperatura durante el fraguado. El curado se debe realizar por lo menos 7 días, a una temperatura que oscile entre 10°C y 32°C, caso contrario la resistencia será menor que la lograda con el curado debido a una hidratación incompleta (Luna, 2014).

Tabla 23:

Influencia del curado en el hormigón.

Días	Humedad permanente	7 días de curado	3 días de curado	Al aire permanente
0	0	0	0	0
3	32	28	27	20
7	75	72	68	45
14	90	85	76	53
28	100	90	78	55
56	110	95	80	58

Fuente: (Luna, 2014)

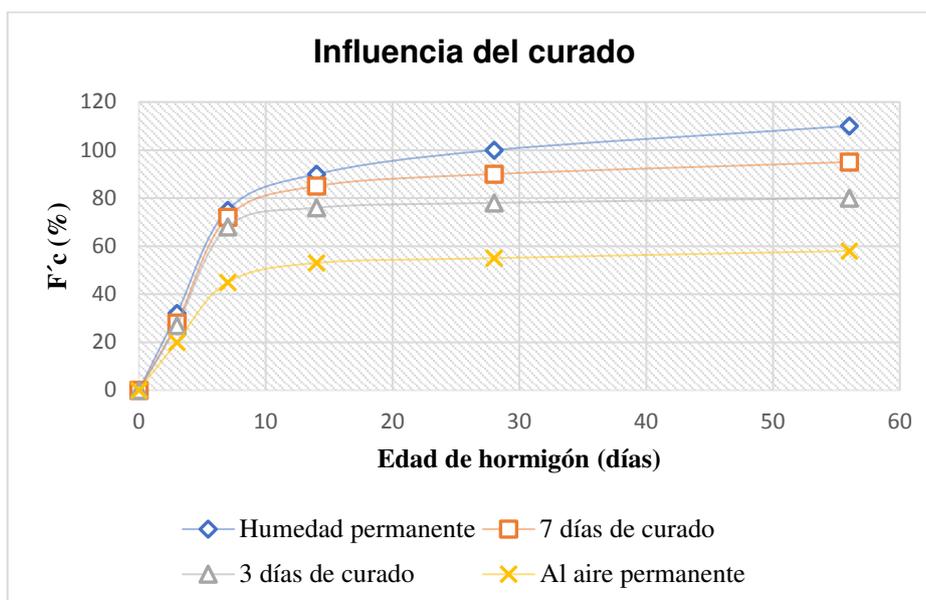


Figura 23: Influencia de curado en el hormigón.

Fuente: (Luna, 2014)

En la siguiente figura se observa como los especímenes de concreto a diferentes edades de curado y bajo las mismas condiciones da como resultado una variación en su resistencia.

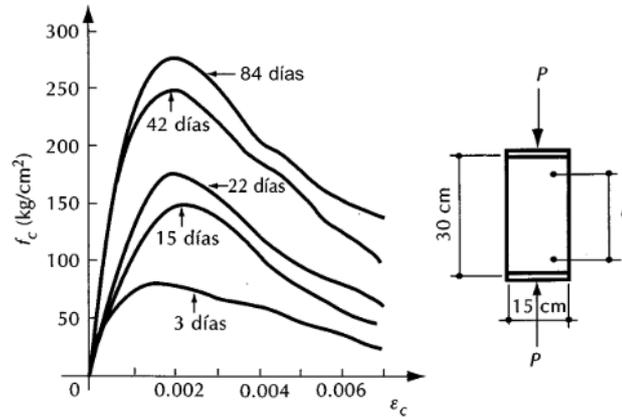


Figura 24: Efecto de la edad al ensayar en la resistencia.

Fuente: (González, 2005)

Según (McCormac & Brown, 2018), para la aceptación de la resistencia del hormigón deben satisfacer los siguientes criterios

1. La resistencia a la compresión promedio de 3 pruebas consecutivas sean mayor o igual a f'_c .

$$\frac{f'_{cE1} + f'_{cE2} + f'_{cE3}}{3} \geq f'_c \quad \text{Ec.(11)}$$

Donde: E1, E2 y E3 son ensayos consecutivos.

2. Que ninguna prueba de resistencia este por debajo de f'_c por más de 500 psi (35 kgf/cm²). Para valores que sobrepasan 5000 psi (35 kgf/cm²) ninguna prueba deberá ser menor a $0.10 \cdot f'_c$.

Para: $f'_c < 35\text{MPa}$, se debe cumplir que: $f'_{cE} \geq f'_c - 3.5\text{ MPa}$

Donde: f'_{cE} : es la resistencia a la compresión de ensayo.

Se debe tener en cuenta que la resistencia a la compresión no es una propiedad que depende de material, sino que está en función del tamaño y forma de especímenes, procedimientos de mezclado, métodos de muestreo, moldes y edad, temperatura y condición de humedad durante el curado (NTE INEN 1573, 2010). El curado debe durar 24 ± 8 horas después extraer el espécimen del molde (ASTM C 192, 2016).

Tabla 24:

Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes.

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0.5 horas + 2.1%
3 días	2 horas o 2.8%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas o 3.0%
90 días	2 días o 2.2%

Fuente: (NTE INEN 1573, 2010)

2.7.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad en el concreto no está definido, porque su valor varío respecto a la resistencia requerida, la edad, tipo de carga, características y propiedades del cemento y agregados. Existen algunas definiciones de módulos (McCormac & Brown, 2018):

- **Módulo inicial:** es la pendiente que se encuentra en el origen de la curva del diagrama esfuerzo vs deformación.
- **Módulo por tangente:** es la pendiente de una tangente en un punto de la curva en un 50% de la resistencia ultima.
- **Pendiente por secante:** es la pendiente de una línea trazada a un punto de la curva dentro del 25 a 50 % de la resistencia ultima a compresión; es usado en ensayos de deformación y así determinar la deformabilidad del espécimen.
- **Módulo aparente o módulo a largo plazo:** se determina usado los esfuerzos y deformaciones unitarias obtenidas posterior haber aplicado una carga en un intervalo de tiempo.

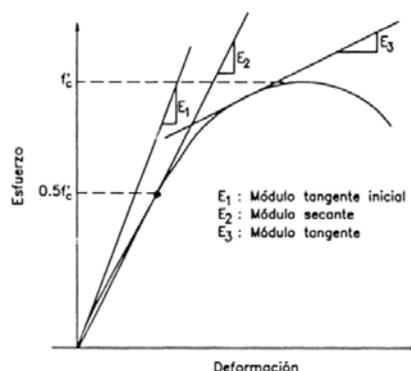


Figura 25: Modulo de elasticidad del concreto.

Fuente: (Ottazzi, 2004)

En (ASTM C 469, 2002), se tiene los parámetros que se debe considerar para determinar el módulo de Young.

- El método mencionado en la (ASTM C 469, 2002), obteniendo la deformación tanto longitudinal y trasversal del elemento a una determinada edad de curado
- El módulo de elasticidad y los valores de la relación de Poisson aplican dentro de un rango de 0 a 50% de la resistencia última del hormigón, que son utilizados en elementos estructurales reforzados y no reforzados estableciendo la cantidad de refuerzo.
- Los valores del módulo de elasticidad obtenidos serán menores a los módulos derivados bajo la aplicación de una carga aplicada, y generalmente serán mayores para aplicación de carga lenta.

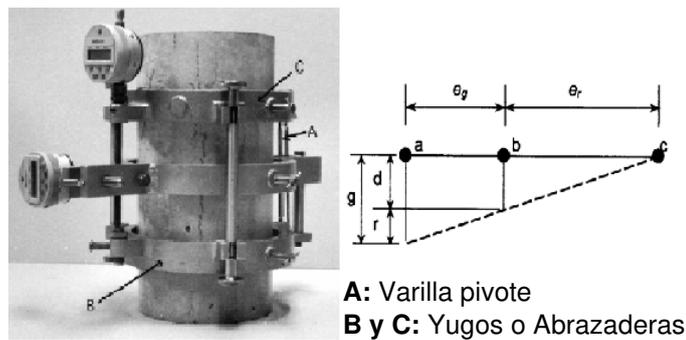
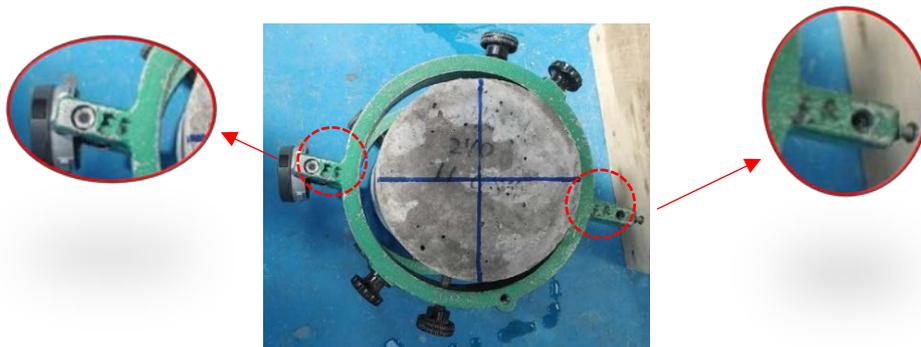


Figura 26: Compresión adecuada (izq.) y Diagrama de desplazamiento.
Fuente: (ASTM C 469, 2002)



Fotografía 11: Vista en planta, se visualiza el e_r y e_g
Fuente: Chiquito, J & Eras, G

Donde:

- d:** desplazamiento debido a la formación de la lectura.
- r:** desplazamiento debido a la formación de la muestra.
- a:** ubicación del calibre
- b:** punto de apoyo del yugo giratorio.

c: ubicación de la varilla del pivote.

g: lectura del medidor

En caso de que, las distancias de la varilla de pivote y el calibre desde el plano vertical que pasa a través de los puntos de soporte del yugo giratorio son iguales, la deformación de la muestra es igual a la mitad de la lectura del calibre. En caso de que las distancias no sean iguales, se calcula la deformación con la siguiente ecuación (ASTM C 469, 2002).

$$d = \frac{g * e_r}{(e_r + e_g)} \quad \text{Ec.(12)}$$

d: deformación total de la probeta a lo largo de la longitud efectiva del calibre (μm)

g: lectura del calibrador (μm)

e_r : la distancia perpendicular, medida en pulgadas (milímetros) con una precisión de 0.01 pulg (0.254 mm) desde la varilla del pivote al plano vertical que pasa por los dos puntos de apoyo del yugo giratorio.

e_g : la distancia perpendicular, medida en pulgadas (milímetros) con una precisión de 0.01 pulg (0.254 mm) desde el plano vertical que pasa por los puntos de apoyo del yugo giratorio.



Fotografía 12: Puntos de calibre (Puntos de sujeción), se incrustan en el espécimen.

Fuente: Chiquito, J & Eras, G

Y para el cálculo del módulo de elasticidad, al más cercano 50000psi (344.74 MPa) se usa la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050(\text{mm/mm})} \quad \text{Ec.(13)}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad de la cuerda, en MPa

S₂: Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última.

S₁: Esfuerzo correspondiente a una deformación longitudinal, ϵ_1 , de 50 millonésimas, MPa

ϵ_2 : Deformación longitudinal producida por la tensión **S₂**

El (ACI 318, 2019) indica como determinar E_c , para ello se debe tener en cuenta dos casos. W_c : Densidad del hormigón en kg/cm.

- **Caso I**: Para valores entre ($1440 \leq w_c \leq 2560$). (ACI 318S, 2011)
- **Caso II**: Para hormigón de densidad normal.

Ec.(14)

Tabla 25:

Ec específica.

E_c	MPa	$\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
Caso I	$E_c = w_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f_c'}$	$E_c = w_c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f_c'}$
Caso II	$E_c = 4700 * \sqrt{f_c'}$	$E_c = 15,100 * \sqrt{f_c'}$

Fuente: (ACI 318-19, 2019)

2.7.6 CARGA AXIAL

Cuando un elemento se estira por la acción de una fuerza P, se presentan esfuerzos de tensión y cuando la fuerza de acción se invierte están presentes los esfuerzos de compresión. Y como estos esfuerzos son perpendiculares a la sección transversal toman el nombre de esfuerzos normales (Gere & Goodno, 2009).

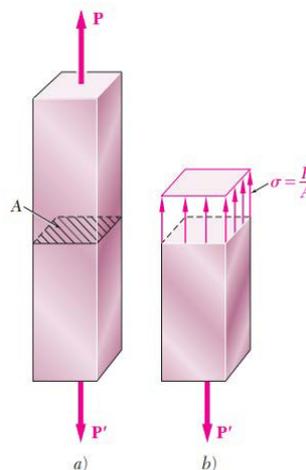


Figura 27: Carga axial aplicada en la sección transversal.

Fuente: (Beer, Johnston, Dewolf, & Mazurek, 2020)

Un elemento que está bajo carga axial presenta un esfuerzo normal σ , el mismo que se define como la relación entre la resultante de las fuerzas internas distribuidas en la sección transversal P y el área transversal A , (Beer, Johnston, Dewolf, & Mazurek, 2020).

$$\sigma = \frac{P}{A} ; \frac{N}{m^2} = Pa \quad \text{Ec.(15)}$$

CAPÍTULO III: METOLOGÍA

3.1 DEGRADACION DE LAS FIBRAS NATURALES EMBEBIDAS EN EL HORMIGON SIMPLE

La utilización del raquis de palma africana con tratamientos químicos como fibra natural en el refuerzo del hormigón, con ayuda de la maquina universal se determina la compresión para posteriormente observar las resistencias alcanzadas por las probetas. El experimento se realizó en la PUCE.



Fotografía 13: Maquina universal de Cargas
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Para el estudio de durabilidad de las fibras naturales se planteó someterlas a un proceso químico antes de añadir las fibras al hormigón simple.

Las fibras presentan en su composición celulosa la cual contienen elementos, los mismos que retardan el endurecimiento del hormigón y presentan un efecto negativo en la resistencia de compresión. En este estudio tratamos de combatir el ataque biológico a las cuales están sometidas las fibras naturales en el hormigón evitando así su degradación.

En este estudio planteamos que la durabilidad de las fibras de ranquin de palma africana puede ser mejorada, por tratamientos químicos o físicos que se les pueden aplicar a las fibras. La resistencia del hormigón se ve afecta por la durabilidad de la fibra que se utiliza dado que, al deteriorarse produce cambios de volumen y este proceso se puede ver más afectado cuando existen variaciones de temperatura y

humedad del medio ambiente. Seleccionar el tratamiento químico más favorable el cual permita reducir la absorción de agua en la fibra y así ayude con la conservación de la misma en el medio alcalino que presenta el cemento por sus propiedades.

En el ensayo aplicado a la fibra de raquis de palma africana se notó su alta capacidad para absorber agua lo cual es un punto desfavorable para la conservación de la fibra, por otro lado, el medio alcalino donde la fibra va ser embebida es otro factor que influye en la degradación.

Teniendo en cuenta estos dos importantes factores, se buscaron dos tratamientos químicos las cuales actúen como repelente al agua y al mismo tiempo que no sean perjudiciales al hormigón y que no sean tóxicas durante el proceso de colocación en las fibras. Estos tratamientos químicos descritos a continuación son económicos y de fácil disposición.

- a. **Hidróxido de Sodio (NaOH):** Sus principales usos son para fabricar jabones, rayón, papel, explosivos, tinturas y productos de petróleo y el procesamiento de textiles de algodón. En las últimas décadas ha sido utilizado en diferentes concentraciones siendo las más recomendables al 4% y 3% en la construcción para proteger las diferentes fibras naturales las cuales son embebidas en el hormigón y así alargar su vida útil.
- b. **Agua Caliente:** El punto de ebullición del agua provoca lixiviación, que es la separación de una o varias sustancias. Es importante tener en cuenta la composición química de la fibra donde se tiene en conocimiento la necesidad de reducir o bajar los niveles de composición de la lignina y hemicelulosa; presenciando una mejora en las propiedades mecánicas de un 200% a 170% aportando a la resistencia a compresión y flexión (Momoh et al., 2020).

3.2 ENSAYOS PLANTEADOS Y CANTIDAD DE PROBETAS

3.2.1 ENSAYOS PLANTEADOS

La cantidad de probetas a ensayar se determinó mediante un cálculo estadístico explicado en la **sección 1.5.2**, seguidamente fue necesario analizar los ensayos aplicados a las probetas los mismos que son explicados detalladamente en el capítulo 4 y se enlistan a continuación.

Ensayos a realizar:

- **Ensayo 1:** Compresión de probetas cilíndricas de hormigón simple (H.S) realizados en el Laboratorio.
Se ensaya probetas cilíndricas de Hormigón Simple (H.S) fabricadas con fibras y sin fibras de raquis de palma africana para hallar las resistencias a compresión y verificar la durabilidad de las fibras.
- **Ensayo 2:** Módulo de Elasticidad a probetas cilíndricas de hormigón simple (H.S) realizados en el Laboratorio.
Se realiza el ensayo de módulo de Young a los especímenes de hormigón simple (H, S) fabricadas con fibras y sin fibras de raquis de palma africana y así determinar el módulo de elasticidad de las mismas.
- **Ensayo 3:** Tracción de las fibras de raquis de palma africana en el Laboratorio de ingeniería Química Centro Textil Politécnico - EPN.
Se ensaya a tracción muestras de fibra de palma africana sometidas a dos tratamientos químicos para hallar su tenacidad y elongación a la ruptura de la fibra.

3.2.2. CANTIDAD DE PROBETAS CON Y SIN FIBRAS DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA

Para el manejo de los resultados y validar la metodología aplicada en el estudio, se requiere realizar promedios de las probetas en cada ensayo. En base a diferentes estudios realizados a ensayos de compresión de cilindros con fibras, y tomando como referencia la (NTE INEN 1855-2, 2015), que indica que se debe promediar dos probetas en el ensayo de compresión. La (ASTM C 42, 2018), plantea que para ensayos de compresión a probetas de hormigón simple se debe promediar mínimo tres probetas.

A continuación, se presenta la **Tabla 26**, en la que se indica el número mínimo de cilindros patrones que se deben promediar como recomiendan las normas descritas anteriormente.

Tabla 26:
Cilindros patrones a ensayar

	Esfuerzo de diseño sin fibra kgf/cm ²	Días de ensayo			
		3	5	7	
	210	2	2	2	6
	240	2	2	2	6
	Esfuerzo de diseño con fibra kgf/cm ²	Días de ensayo			
		3	5	7	
Tratamiento 1	210+0,5%F	2	2	2	6
	210+1,0%F	2	2	2	6
	240+0,5%F	2	2	2	6
	240+1,0%F	2	2	2	6
Tratamiento 2	210+0,5%F	2	2	2	6
	210+1,0%F	2	2	2	6
	240+0,5%F	2	2	2	6
	240+1,0%F	2	2	2	6
Total					60

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Donde:

F: fibra de raquis palma africana.

3.2.1.1 Probetas con fibras naturales

Tabla 27:
Número de probetas cilíndricas por cada resistencia.

Tratamiento	Fibra Natural	f'c (kgf/cm ²)	% Fibra Natural	# Probetas
-----	-----	210	0,00%	42
		240		
Hidróxido de Sodio	Palma Africana	210	0,50%	42
			1,00%	
		240	0,50%	42
			1,00%	
Agua Caliente a 100°C	Palma Africana	210	0,50%	42
			1,00%	
		240	0,50%	42
			1,00%	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Mediante un cálculo estadístico de prueba y error planteado en la **sección 1.5.2** se determinó el número de probetas cilíndricas a ensayar con hormigón simple sin

fibras y con fibras sometidas a los dos tratamientos (un térmico y uno químico) como se muestra en la **Tabla 27**.

A continuación, se explica el número de probetas con hormigón simple y fibras expuestas a los dos tratamientos químicos para cada ensayo y el porcentaje en fibra que debe cumplir el número mínimo de probetas que se tiene para promediar. El ensayo 1, ensayo 2 y ensayo 3 son mencionados en la **sección 3.2.1**.

Ensayo 1:

- 6 cilindros de H.S sin fibra con resistencias de diseño 210 y 240 kgf/cm² (6 probetas a promediar por resistencia).
- 6 cilindros de H.S con fibra sometida hidróxido de sodio con resistencias de diseño 210 y 240 kgf/cm² (6 probetas a promediar por resistencia y porcentaje en fibra).
- 6 cilindros de H.S con fibra tratadas con agua caliente, resistencias de diseño 210 y 240 kgf/cm² (6 probetas a promediar por resistencia y porcentaje en fibra).

Ensayo 2:

- 3 cilindros de H.S sin fibra con resistencias de diseño 210 y 240 kgf/cm² (3 probetas a promediar por resistencia).
- 3 cilindros de H.S con fibra tratadas con hidróxido de sodio con resistencias de diseño 210 y 240 kgf/cm² (3 probetas a promediar por resistencia y porcentaje en fibra).
- 3 cilindros de H.S con fibra tratadas con agua caliente, resistencias de diseño 210 y 240 kgf/cm² (3 probetas a promediar por resistencia y porcentaje en fibra).

Ensayo 3:

- 50 fibras de raquis de palma africana sin tratamiento sometidas a tracción (50 fibras a promediar).
- 50 fibras de raquis de palma africana tratadas con hidróxido de sodio sometidas a tracción (50 fibras a promediar).
- 50 fibras de raquis de palma africana tratadas con agua caliente sometidas a tracción (50 fibras a promediar).

3.2.1.2 Cantidad total de probetas cilíndricas para los respectivos ensayos.

El número total de probetas cilíndricas de hormigón simple sin fibra es igual a 42 probetas y 168 probetas cilíndricas con fibra expuestas a dos tratamientos para evitar su degradación en el hormigón, dando un total de 210 probetas cilíndricas a ensayar.

En la siguiente tabla se resume la cantidad total de probetas cilíndricas de hormigón simple para cada ensayo y edad a la cual las probetas serán ensayadas.

Tabla 28:

Número de probetas cilíndricas a ensayar.

Tratamiento Químico	Fibra Natural	f'c kgf/cm ²	% Fibra Natural	Ensayo 1			Ensayo 2	# Muestras
				14d	28d	56d		
-----	-----	210	0,00%	6	6	6	3	21
		240	0,00%	6	6	6	3	21
Hidróxido de Sodio	Palma africana	210	0,50%	6	6	6	3	21
			1,00%	6	6	6	3	21
		240	0,50%	6	6	6	3	21
			1,00%	6	6	6	3	21
Agua Caliente	Palma africana	210	0,50%	6	6	6	3	21
			1,00%	6	6	6	3	21
		240	0,50%	6	6	6	3	21
			1,00%	6	6	6	3	21
Total, de muestras a ensayar								210

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.3 DISEÑO DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN SIMPLE

3.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE

El esfuerzo a la compresión (f'c) del hormigón simple a los 28 días alcanza o supera el 100% de la resistencia requerida, al no disponer registros de ensayos de los materiales que forman parte de la mezcla (Rodríguez, 2013) es necesario utilizar un esfuerzo a la resistencia promedio a la compresión requerida (f'cr), la cual sirve como base para calcular las porciones a utilizar en la mezcla de hormigón, dicho valor debe ser superior al f'c donde existe una probabilidad del 1.0% que el promedio de los ensayos den por debajo del f'c.

3.3.2 SELECCIÓN DEL ENCOFRADO.

Teniendo en cuenta que las probetas a ensayar servirán para el estudio de hormigón simple con fibras naturales, se procede a escoger las probetas cilíndricas

cuyas dimensiones son de 150x300 mm, las mismas que se encuentran en el laboratorio de Hormigón de la Facultad de Ingeniería Civil – PUCE.

Mediante la práctica, la Norma Ecuatoriana de la Construcción, (NTE INEN 1573, 2010) plantea que las probetas cilíndricas escogidas no deben variar más del 2% de su diámetro individual de los cilindros escogidos, también establece que el número mínimo de probetas a promediar deben ser tres.



Fotografía 14: Moldes cilíndricos – metálicos.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.4 ENSAYOS A COMPONENTES DEL HORMIGÓN SIMPLE Y DE LAS FIBRAS

Para los ensayos de los agregados del hormigón se tomó como base la (ASTM C 670, 2013), donde se menciona ensayar como mínimo dos muestras del material que componen la mezcla de hormigón y promediar para obtener resultados representativos de los ensayos.

Cabe señalar que el material se obtuvo de la empresa HOLCIM - Pifo. Se adquirió un solo lote de agregados los mismos que fueron utilizados para los ensayos preliminares de las muestras patrones y poderlos caracterizar y así elaborar la dosificación final.

3.4.1 ENSAYOS AL CEMENTO

Los ensayos aplicados al cemento utilizado para el presente estudio se realizaron en el laboratorio de suelos, arrojaron las características necesarias para obtener una adecuada dosificación y la cantidad requerida para el volumen total que se necesita para la fabricación de las probetas cilíndricas. Dichos ensayos se

deben repetir por lo menos tres veces y así obtener un valor promedio representativo.



Fotografía 15: Cemento Holcim Fuerte Tipo GU.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Las características y requisitos mínimos que debe cumplir el cemento para la dosificación del hormigón se encuentran estipulados en la (NTE INEN 152, 2005), las cuales se describen a continuación:

- Excelente resistencia mecánica al esfuerzo de la compresión.
- Mejora la trabajabilidad de las mezclas.
- Proporciona resistencia química al ataque de sulfatos.
- Alta impermeabilidad.
- Reduce la segregación y exudación.
- Reduce el calor de hidratación y por consiguiente la tendencia a la fisuración.

3.4.1.1 DENSIDAD REAL.

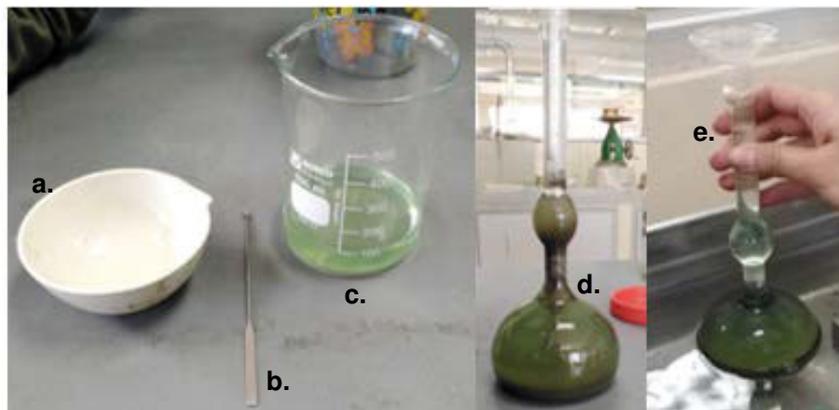
Según (NTE INEN 156, 2009), El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Tener las condiciones ambientales a una temperatura de 23 ± 2 °C y con un porcentaje de humedad de 65% en el laboratorio de ensayo.
- Tomar 64 gramos de cemento.
- Llenar el frasco con el reactivo entre las marcas 0 cm^3 y 1 cm^3 en el punto. bajo de cuello del frasco, tomar la primera lectura y registrarlo después de sumergirlo en un baño de agua.
- Se introduce el cemento en porciones pequeñas a la misma temperatura que el líquido (evitar que el cemento se atasque en el cuello del frasco).

- Eliminar las burbujas de aire que se producen por la introducción del cemento en el frasco con movimientos circulares suaves.
- Después de realizar los pasos anteriores se procede a sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura constante, con el fin de evitar variaciones de temperaturas entre uno a dos minutos se toman las lecturas finales de masa y volumen.



Fotografía 16: Ensayo de densidad real del cemento
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 17: Ensayo de densidad real del cemento.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Mortero de porcelana.
- Espátula.
- Vaso de precipitación.
- Frasco volumétrico de Le Chatelier.
- Recipiente para baño de agua.

La densidad real del cemento, (ρ), se calcula de la siguiente manera:

$$\rho \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = \left(\frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{masa del cemento. gr}}{\text{volumen desplazado . cm}^3} \quad \text{Ec.(16)}$$

El volumen desplazado es la diferencia entre las lecturas iniciales y finales por la masa del cemento utilizado en el ensayo. Para una adecuada dosificación y control de la mezcla de hormigón se recomienda que la densidad real debe ser expresada como gravedad específica del cemento (Gr. esp), lo cual, representa un número adimensional y la manera de expresarlo es la siguiente:

$$\text{Gr. esp} = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua a } 4^{\circ}\text{C}} \quad \text{Ec.(17)}$$

3.4.1.2 DENSIDAD APARENTE (SUELTA Y COMPACTADA)

La densidad aparente suelta del cemento se calcula de la siguiente manera:

$$\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) = \left(\frac{\text{Mg}}{\text{m}^3}\right) = \frac{\text{masa suelta}}{\text{volumen del recipiente}} \quad \text{Ec.(18)}$$

3.4.1.3 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO.

En base a la (NTE INEN 157, 2009) se siguen los siguientes pasos para determinar esta característica:

- Tomar una muestra de cemento y dejarla secar por un periodo de 10 minutos, para que el cemento empleado para el ensayo debe estar frío y seco.
- Tomar en un recipiente 500 gramos de cemento.
- Poner en la probeta una cierta cantidad de agua la cual debe estar en condiciones normales de temperatura (se debe empezar con un porcentaje de agua menor al valor indicado en la norma).
- Mezclar el agua con el cemento durante un periodo de 30 segundos y dejarla reposar durante 20 segundos.
- Con ayuda de los guantes amasar la mezcla durante un periodo de un minuto y medio formando así una bola con la mezcla, después pasarla de una mano a otra seis veces para que se uniformice la mezcla.
- Enraizar la mezcla con la espátula (procurar hacer una sola pasada).
- Poner la bola de pasta en el anillo del aparato de Vicat y presionarlo hacia abajo sobre una placa de vidrio y retirar el exceso de pasta que se encuentra en el anillo.

- Colocar el anillo con la pasta en el aparato de Vicat, aflojar la aguja y tomar la lectura final después de un periodo de 30 segundos.

El ensayo termina cuando la aguja del aparato de Vicat penetra 10 ± 1 mm durante un periodo de 30 segundos.



Fotografía 18: Ensayo de consistencia normal del cemento.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 19: Ensayo de consistencia normal del cemento
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.4.1.4 RESULTADOS: ENSAYOS REALIZADOS AL CEMENTO

La siguiente tabla muestran los resultados obtenidos de los diferentes ensayos que se aplicaron al cemento Holcim Fuerte tipo GU.

Tabla 29:*Resultados de los ensayos aplicados al cemento.*

Propiedad	Unidad	Valor obtenido	Valor requerido	Norma del ensayo	Norma del requisito
Densidad Real	gr/cm ³	2,68	Entre 3.00 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 157	NTE INEN 2380
Cemento Holcim - Fuerte					

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.4.2 ENSAYOS A LOS AGREGADOS

La caracterización de los agregados finos o gruesos, ya sean, físicas o mecánicas sirven para saber la trabajabilidad, consistencia y resistencia que la mezcla de hormigón simple puede presentar.

Los agregados finos y gruesos fueron obtenidos de la cantera de Pifo, ya que, sus agregados presentan las mejores características. Los ensayos aplicados en el laboratorio a los agregados sirven para poderlos caracterizar y así poder emplearlos para una adecuada dosificación y poder determinar el volumen total requerido para la fabricación de las probetas. Igual que al cemento se debe repetir tres veces cada ensayo para obtener promedios representativos.

La importancia de llevar acabo estos ensayos a los agregados finos y gruesos es con la finalidad de controlar la calidad de los agregados y así poder aceptarlos o rechazarlos, los cuales serán usados para la preparación del hormigón simple para el presente estudio.

3.4.2.1 Ensayos al agregado gruesos

A continuación, se presenta una tabla donde se presenta el tamaño máximo nominal que establece la NTE INEN 872 la misma que se tomó como referencia la Norma (ASTM C 33, 2016). El tamaño debe escogerse de acuerdo a la estructura u obra civil a construirse procurando utilizar el tamaño más grande del agregado, teniendo así una mayor resistencia y estabilidad volumétrica.

Tabla 30:*Tamaño de las muestras de agregados.*

Tamaño de 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

Fuente: (NTE INEN 695, 2010)

3.4.2.1.1 Análisis granulométrico

Preparación de la Muestra

- Una vez determinado el tamaño nominal del agregado, se procede a dividir la muestra de acuerdo a la (NTE INEN 696, 2014) para posteriormente dejarla secar en el horno por un tiempo de 24±4 horas a una temperatura de 110°C±5°C y se toma el primer dato como peso inicial de la muestra.
- Con la ayuda de la torre de tamices, se introduce la masa de la muestra y se agita de 3 a 5 minutos y se observa la masa retenida en cada tamiz.

Tabla 31:*Tamices para agregado Grueso.*

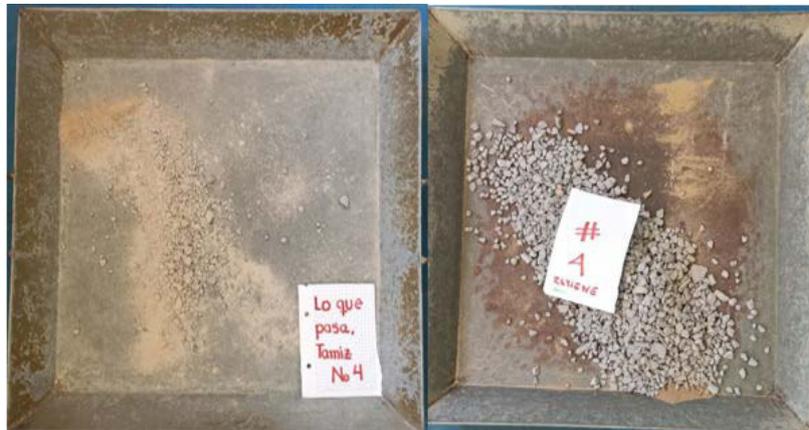
# Tamices	Abertura (mm)
2"	50
1 2/2"	37,50
1"	25,00
3/4"	19,00
1/2"	12,50
3/8"	9,50
#4	4,75
#8	2,36

Fuente: (Luna, 2014)

- Se procede a determinar la masa retenida en cada tamiz.



Fotografía 20: Agregado que pasa el tamiz 1/2”
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 21: Agregado que pasa el tamiz No 4
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Luego de determinar la masa que se retiene en los diferentes tamices se procede a calcular la serie módulo de finura, (**MF**), con las fórmulas que establecen la (NTE INEN 696, 2014) donde se estipula que dicha serie módulo se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar descritos anteriormente y dividiendo la suma total para 100, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Retenido acumulado en los tamices}}{100} \quad \text{Ec.(19)}$$

Este ensayo se puede aceptar o rechazar siempre y cuando las pérdidas no superen el 0.3% del total de la muestra del agregado.

3.4.2.1.2 Densidad relativa y absorción

El procedimiento a seguir para calcular esta propiedad es la siguiente:

- Se procede a cuartear la muestra de agregado hasta obtener el peso requerido que se indica en la (NTE INEN 857, 2010) para posteriormente sumergir la muestra en agua por un periodo de 24 ± 4 horas y así lograr el estado saturado.
- Retirar el agregado del agua y ponerlo sobre una franela para poder secar el agua que se encuentra en la superficie del agregado grueso y así poderlo llevar al estado saturado (SSS).
- Después de tener al agregado grueso en estado saturado se procede a ponerlo en un recipiente y pesarlo.
- Poner el agregado grueso en una canastilla (peso determinado), posteriormente sumergirlo en agua y pesarlo obteniendo la masa aparente en agua (SSS).
- Por último, poner a secar el agregado en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 ± 4 horas, y pesar la muestra.



Fotografía 22: Secado de la superficie del agregado grueso.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 23: masa del agregado en estado saturado.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 24: Densidad SSS del agregado grueso.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Con ayuda de las siguientes ecuaciones se calcula la densidad y absorción del agregado grueso.

$$\text{Densidad relativa} = \frac{997.5 * A}{B - C} \quad \text{Ec.(20)}$$

$$\text{Densidad relativa S. S. S} = \frac{997.5 * b}{B - C} \quad \text{Ec.(21)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{997.5 * A}{A - C} \quad \text{Ec.(22)}$$

$$\text{Absorción} = \frac{(B - A)}{A} * 100 \quad \text{Ec.(23)}$$

Unidades en las que se expresan las densidades

- La densidad relativa se expresa en kg/m³.
- La densidad relativa S.S.S se expresa en kg/m³.
- La densidad relativa aparente se expresa en kg/m³.
- La absorción se expresa en %.

Donde:

A: Muestra del agregado secado al horno, se expresa en gr.

B: Muestra del agregado en estado saturado S.S, S, se expresa en gr.

C: Muestra aparente del agua, se expresa en gr.

3.4.2.1.3 Densidad aparente suelta y compactada

La Densidad suelta y compacta se define como la relación entre la masa del agregado (Arena o ripio) y el volumen del recipiente que ocupan las partículas de los agregados. La principal diferencia que existe entre la Densidad aparente suelta es que presentan gran cantidad de espacios vacíos dejados por las partículas, mientras que la Densidad aparente compacta no existen espacios vacíos dejados por las partículas debido que el agregado es compactado por apisonamiento.

Los pasos a seguir para determinar la densidad suelta y compacta de los agregados se describen a continuación los mismos que están descritos en la (NTE INEN 858, 2002) teniendo como referencia la (ASTM C 29, 2017).

3.4.2.1.3.1 Procedimiento: Densidad aparente suelta

- Seleccionar un recipiente y proceder a determinar su volumen y su peso (P1).
- Se procede a colocar el agregado en el recipiente desde una altura que sea menor o igual a 50mm, evitando así la compactación y vibración o impacto del agregado.
- Se enrasa el recipiente procurando retirar el material de exceso.
- Por último, se pesa el recipiente más el material suelto (P2).

3.4.2.1.3.2 Procedimiento: Densidad aparente compactada

- Seleccionar un recipiente y proceder a determinar su volumen y su peso (P1).
- Se procede a llenar el recipiente con el agregado en tres capas iguales, las mismas que deben ser compactadas con 25 golpes y con ayuda de la barra de compactación.
- Se enrasa el recipiente procurando retirar el material de exceso.
- Por último, se pesa el recipiente más el material suelto (P2).

La ecuación que se usa para la determinación de las densidades aparente suelta y compacta se presenta a continuación:

$$\text{Densidad aparente}_{(\text{Suelta o compactada})} = \frac{P2 - P1}{V} \quad \text{Ec.(24)}$$

Donde:

La densidad se expresa en: kg/m^3 .

P1: Masa del recipiente vacío expresado en kg.

P2: Masa del recipiente más el agregado expresado en kg.

V: Volumen del recipiente expresado en m^3 .

3.4.2.1.4 Ensayo abrasión o desgaste

El proceso que se debe seguir es el siguiente:

- Con los resultados de Granulometría, se escoge la gradación en base a las masas retenidas en los tamices hasta alcanzar la masa necesaria para la realización del ensayo. La muestra debe ser agregado limpio por tal motivo se procede a lavarlos y de ser necesario se pone al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ para secarlos y retirar el polvo y eliminar los finos que se encuentran en el material. La Gradación de la muestra se escoge de acuerdo a la siguiente **Tabla 32**.

Tabla 32:

Gradación de la Muestra, de ensayo.

Tamaño de la abertura de tamiz (mm)		Masa por tamaños (gr)			
		Gradación			
Pasante	Retenido	A	B	C	D
37,5	25	1250±25	---	---	---
25,0	19	1250±25	---	---	---
19	12,5	1250±10	1250±10	---	---
12,5	9,5	1250±10	1250±10	---	---
9,5	6,3	---	---	1250±10	---
6,3	4,8	---	---	1250±10	---
4,8	2,4	---	---	---	5000±10
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: (NTE INEN 860, 2011)

- En base a la siguiente tabla se escoge la carga abrasiva, la misma que se introduce en Máquina de los Ángeles conjuntamente con la muestra del agregado.

Tabla 33:*Especificaciones para la carga abrasiva.*

Gradación	Numero de esferas	Masa de la carga (gr)
A	12	5000±10
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±215

Fuente: (NTE INEN 860, 2011)

- Una vez que la muestra y la carga abrasiva estén dentro de la Máquina de los Ángeles, se precede hacer girar el cilindro con una velocidad que debe estar entre 30 a 33 rpm logrando que el cilindro de 500 vueltas logrando tener como resultado el coeficiente de uniformidad.
- Retirar la muestra del cilindro, proceder hacer pasar por el tamiz #12 y pesar la muestra retenida y anotar su valor.
- Repetir los pasos anteriores y determinar el porcentaje de abrasión y el coeficiente de uniformidad.

**Fotografía 25:** Máquina de los Ángeles y carga de Abrasión

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Con la ecuación que se describe a continuación se determina el porcentaje de abrasión y el coeficiente de uniformidad (CU) la misma que se encuentra descrita en la (NTE INEN 860, 2011):

$$\text{Abrasion al desgaste} = \frac{M_0 - M_{500}}{M_0} \quad \text{Ec.(25)}$$

$$\text{CU} = \frac{M_0 - M_{100}}{M_0 - M_{500}} \quad \text{Ec.(26)}$$

Donde:

M_0 : Masa inicial, expresada en gr.

M_{100} : Masa tomada en las 100 revoluciones, expresada en gr.

M_{500} : Masa tomada en las 500 revoluciones, expresada en gr.

3.4.2.1.5 Resumen de resultados

Las características del agregado grueso que se describen a continuación son los resultados que se obtuvieron en cada ensayo realizado al agregado los mismos que se necesitan para realizar una buena dosificación del hormigón simple.

Tabla 34:

Resultados de los ensayos agregado grueso.

Propiedad	Unidad	Valor obtenido	Norma del ensayo	Norma del 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 696	NTE INEN 872

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 35:

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 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	95 a 100		25 a 60		0 a 10	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.4.2.2 Ensayos al agregado fino

3.4.2.2.1 Ensayo granulométrico

El análisis granulométrico al agregado fino se procede en base a la norma y procedimientos que se describieron en la **sección 3.4.2.1.1**. Granulometría del agregado grueso. El cálculo del módulo de finura se realiza con el número de tamices que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 36:

Tamices usados 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	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.4.2.2.2 Densidad relativa y absorción del agregado fino

El procedimiento a seguir para la determinación de estos parámetros se sigue el procedimiento que se encuentra descrito en la (NTE INEN 856, 2010). Densidad Relativa y Absorción del Agregado Fino teniendo como referencia la (ASTM C 128, 1997).

- Tomar en un recipiente 1kg de agregado fino y sumergirlo en agua por un periodo de 24±4 horas consiguiendo así una masa constante y llenando sus poros con agua consiguiendo la saturación de la muestra.
- Se procede a sacar la muestra del agua, se seca el agua superficial y se procede a determinar su masa.
- Poner el agregado en una bandeja y secarla en el horno a una temperatura de 110°C±5°C, hasta tener una masa firme y dejarlo secar a temperatura ambiente (aproximadamente 50°C), cubrirlo con agua por inmersión o por adición de agua dejarlo reposar por un periodo de 24±4 horas procurando alcanzar al menos 6% de humedad (NTE INEN 856, 2010).
- Coger un molde cónico, donde el diámetro mayor debe estar en contacto en una superficie lisa no absorbente. Ir poniendo agregado fino parcialmente

seco en el molde el cual debe ser compactado con 25 golpes, el compactador debe caer desde una altura no superior a 5mm y libremente. Retirar el agregado que se encuentra en el exterior molde y levantar suavemente el mismo. El agregado debe mantener la forma del molde el cual indica que la humedad superficial aún se mantiene. Si el agregado se desmorona suavemente nos indica que alcanzo el estado superficial seco (NTE INEN 856, 2010).

- En el picnómetro llenar con agregado hasta tener un peso de 500 ± 10 gramos saturado superficialmente seco, poner agua evitando sobrepasar el cuello de picnómetro y agitarlo suavemente.
- Agitar hasta eliminar el aire contenido en la muestra, Determinar la masa de la muestra más el picnómetro.
- Sacar la muestra del picnómetro y ponerlo en una bandeja para posteriormente colocarlo en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Una vez secada la muestra se retira del horno se deja enfriar y se pesa.
- Por último, se pesa el picnómetro vacío y también con agua.

Con ayuda de las siguientes ecuaciones se procede a determinar la densidad y la absorción del agregado fino:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{997.5 + S}{(B + S - C)} \quad \text{Ec.(27)}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(S - A)}{A} * 100 \quad \text{Ec.(28)}$$

Donde:

La densidad relativa S.S.S se expresa en kg/cm^3

La absorción se expresa en %

A: masa de la muestra seca en el horno expresado en gr.

B: masa del picnómetro lleno con agua expresado en gr.

C: masa del picnómetro lleno con agua expresado en gr.

S: masa de la muestra superficie saturada seca expresado en gr.

3.4.2.2.3 Densidad aparente suelta y compactada

Los pasos a seguir para la determinación de estos parámetros se encuentran descritos en la **sección 3.4.2.1.3** ya que se calcula de manera similar al agregado

grueso teniendo en cuenta que el molde utilizado para el agregado fino tiene dimensiones menores.

3.4.2.2.4 Contenido orgánico del agregado fino

Este ensayo nos ayuda a determinar de una manera aproximada la presencia de impurezas orgánicas presentes en los agregados finos los cuales son perjudiciales para la mezcla ya sean para morteros o concretos de cemento hidráulico disminuyendo su resistencia y durabilidad. También permite hacer una aceptación o no del agregado en base de los requisitos especificados en la (ASTM C 40, 2011).

Para la determinación de este parámetro se puede usar dos procedimientos siendo uno de ellos la utilización de una solución estándar y el segundo procedimiento y el cual se realizó en el presente estudio fue con la utilización de un vidrio de color estándar.

La norma permite calcular Impurezas Orgánicas en el Árido Fino para Hormigón tomando como referencia la (ASTM C 40, 2011), en el cual los pasos a seguir para determinar este parámetro son los siguientes:

- Poner agregado fino en un recipiente de vidrio hasta un volumen aproximado de 130cm³.
- Se procede a verter la solución (Hidróxido de Sodio) hasta el volumen indicado en el paso anterior, luego llenarlo hasta un volumen aproximado de 200cm³.
- Cubrir el recipiente para posteriormente agitarla con fuerza y dejar reposar durante un periodo de 24 horas.

La escala de Gardner nos permite determinar el color en la muestra, la cual presenta vidrios de color normalizados como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 37:
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: (NTE INEN 855, 2010)

3.4.2.2.5 Resumen de resultados

Las características del agregado fino que se describen a continuación son los resultados que se obtuvieron en cada ensayo realizado al agregado los mismos que se necesitan para realizar una buena dosificación del hormigón simple.

Tabla 38:

Resultados obtenidos de los ensayos al agregado fino.

Propiedad	Unidad	Valor obtenido	Valor requerido	Norma del ensayo	Norma del requisito
Densidad (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	gr/cm ³	2,357		NTE INEN 856	
Absorción	%	2,07		NTE INEN 856	
Contenido de humedad	%	1,52		NTE INEN 862	
Módulo de finura	%	2,76	Entre 2.3 - 3.1	NTE INEN 696	NTE INEN 872
Contenido orgánico	Placa Gardner	#0	#0, #1, #2 o #3	NTE INEN 855	NTE INEN 855
Arena: Agregado fino, tipo de roca Andesita					

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 39:

Gradación Obtenida de la arena.

Tamaño N°	Tamiz (pulg)	N.4	N.8	N.16	N.30	N.50	N.100	Bandeja
	Tamiz (mm)	4,76	2,36	1,19	0,6	0,3	0,15	-
100	Porcentaje (masa) que pasa 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	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.4.3 ENSAYO DE 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 (MORENO M, TRUJILLO, & OSORIO, 2007).

Aunque existen diversos estudios de la caracterización física de la Palma África, existen pocos estudios acerca de la caracterización físicas de fibra de raquis de palma africana y se desconoce por completo las características físicas que estas pueden presentar después de ser sometidas algún tratamiento químico como se lo va realizar en este presente estudio. Por esta razón se emplearon diferentes técnicas para poder caracterizar la fibra.

La fibra de ranquin de palma africana traída de la palmicultora la Joya se procedió almacenarla en un taller “Tecni - Cerrajería David” ubicado en la ciudad de Quito donde se contaba con espacio suficiente para poder lavar y dejarla secar al aire libre para posteriormente empezar sacando la fibra como tal.



Fotografía 26: Fibra de Raquis de Palma Africana
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.4.3.1 Preparación de la muestra

Previo a la aplicación de los ensayos a la fibra de raquis de palma africana se siguió los pasos siguientes para poder preparar la muestra:

- Se procedió a lavar la fibra de raquis de palma africana evitando así la presencia de hogos y microorganismos para posteriormente dejarla secar al aire libre.
- Manteniendo la humedad del lavado del ranquin se procede a desfibrar ya que en ese estado la desfibrada resulta ser fácil que en estado seco.
- Se procedió a desfibrar formando haces de fibra para posteriormente ser pesados hasta obtener la cantidad adecuada requerida para el presente estudio.
- Después de desfibrar se procedió almacenarlo en cartones.



Fotografía 27: Desfibramiento y almacenamiento de la fibra.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.4.3.2 Contenido de humedad

Este ensayo se realizó usando la técnica de diferencia de masa. Para la determinación del porcentaje del contenido de humedad de la fibra se usó el material que fue traído de la palmicultora “La Joya” el mismo que estaba parcialmente seco, se extrajo una muestra y se procedió a tomar su masa en una balanza electrónica que cuenta con una capacidad de 0.0001gr, luego se sometieron al horno y posteriormente pesados nuevamente.

Para este ensayo se procedió de la misma manera que plantea la norma de los agregados la cual es (NTE INEN 862, 2011) y el procedimiento fue el siguiente:

- Se coloca la fibra en el recipiente Tomar el peso del recipiente más la fibra de raquis de palma africana.
- Se toma la masa de la fibra más el recipiente.
- al horno a una temperatura de $70\text{C}^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 ± 2 horas.
- Luego de transcurrido el tiempo se saca la fibra del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente.
- Se retira la fibra del horno para dejar enfriar a temperatura ambiente.



Fotografía 28: Masa de la Fibra de Raquis de Palma Africana.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Con la siguiente ecuación se determina el contenido de humedad en unidades de porcentaje.

$$C. H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad \text{Ec.(29)}$$

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 Cálculo del porcentaje de humedad de la fibra

Los datos que se obtiene para el cálculo de humedad se presentan a continuación

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 húmedo= 325 gr

Cálculo de contenido de humedad

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

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

Aplicando la fórmula del porcentaje de contenido de humedad se tiene:

$$\% \text{ C. H} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad \text{Ec.(30)}$$

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

$$\% \text{ C. H} = 83.33 \%$$

Por lo tanto:

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

3.4.3.4 Absorción de la fibra de raquis de palma africana

El comportamiento de absorción de agua en las fibras sin tratar y tratadas químicamente se investigó de acuerdo a la (ASTM D 570, 1998) la cual plantea el siguiente procedimiento para la determinación de este parámetro:

- Secar la muestra de fibra de raquis de palma africana en horno a una temperatura de 53°C.
- Se retira la fibra del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente, posteriormente se procede a pesarlas con una balanza de precisión de 0.0001 gr.
- Se procede a sumergir en agua de grifo a temperatura ambiente la muestra de fibra de ranquin de palma africana por un periodo de 24±2 horas.

- Se procede a pesar la fibra que se encuentra en estado superficie saturada seca.



Fotografía 29: Proceso de ensayo de absorción.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Se determina antes de transcurrir 1 minuto desde que se secaron del agua. Las muestras se pesaron a los 30 minutos de inmersión. La absorción de humedad se calculó como la diferencia de peso (en porcentaje) antes y después de la inmersión. La siguiente ecuación nos permite determinar el porcentaje de absorción.

$$\text{Absorción} = \frac{m_0 - m_i}{m_i} * 100\% \quad \text{Ec.(31)}$$

Donde:

La absorción se expresado en %.

m_i : masa de la fibra seca al horno expresada en gr.

m_0 : masa de la fibra en estado superficie saturada seca expresada en gr.

Cálculo del contenido de absorción

Para obtener los datos necesarios para el cálculo de dicho parámetro se emplearon instrumentos del Laboratorio.

Datos

$m_i = 25 \text{ gr}$

$m_0 = 75\text{gr}$

Cálculo de la absorción

$$\text{absorción} = \frac{m_o - m_i}{m_o} * 100\% \quad \text{Ec.(31)}$$

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

$$\text{absorción} = 66.67\%$$

Por lo tanto:

El porcentaje de absorción presente en la fibra de raquis de Palma Africana sin ningún tratamiento es 66.67%.

3.4.3.5 Densidad superficie saturada seca de la fibra de raquis 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 (MORENO M, TRUJILLO, & OSORIO, 2007).

El cálculo de este parámetro es muy importante puesto que para el uso correcto de la fibra embebida en el hormigón esta debe estar en su estado de superficie saturada seca conocido también por sus siglas S.S.S. este estado de la fibra impide que exista absorción del agua en la mezcla de hormigón.

El Método conocido como desplazamiento de volumen también fue utilizado 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 a la (NTE INEN 3066, 2016)” en dicho trabajo se planteó un procedimiento bien detallado para calcular este parámetro que es la densidad superficie saturada seca del cual se describe a continuación:

- Sumergir la fibra en agua por un periodo de 24±4 horas y tapar el recipiente donde la fibra fue sumergida evitando así que se pierda humedad.
- Retirar la fibra de raquis de Palma Africana del agua y proceder a secar el agua de la superficie con una tela absorbente, logrando así el estado de superficie saturada seca de la fibra.

- Conseguir un recipiente de vidrio o de plástico que es aforado y tenga capacidad de 15 litros o más, en el cual se pondrá agua a una temperatura ambiente de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta un volumen de 10 litros (V_1) y tomar el peso del recipiente más el agua.
- Luego de los pasos anteriores se procede a colocar fibra aumentando así el volumen (V_1), tomar el peso del recipiente más el agua y la fibra (M_2).



Fotografía 30: Proceso de ensayo de la densidad en la fibra
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 31: Proceso de ensayo de la densidad en la fibra.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Para el cálculo del de la densidad superficie saturada seca de la fibra se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad S.S.S} = \frac{(M_2 - M_1)}{(V_2 - V_1)} \quad \text{Ec.(32)}$$

Donde:

La densidad S.S.S., expresada en kg/m^3 .

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 superficial superficie saturada seca

Para obtener los datos necesarios para el cálculo de dicho parámetro se emplearon instrumentos del Laboratorio

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

$$\text{Densidad S. S. S} = \frac{(M_2 - M_1)}{(V_2 - V_1)} \quad \text{Ec.(33)}$$

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

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

Por lo tanto:

La densidad en estado superficie saturada seca presente en la fibra de raquis de Palma Africana sin ningún tratamiento es 1030 kg/m^3 .

3.5 TRATAMIENTO QUÍMICO APLICADOS A LA FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA

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 (Obi Reddy, Shukla, Uma Maheswari, & Varada Rajulu, 2012).

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 (Meheddene, Hisham, Hadi Abou, & Adel, 2014).

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 (Meheddene, Hisham, Hadi Abou, & Adel, 2014).

Los tratamientos que se aplicaron a la superficie de la fibra se describen en los siguientes capítulos.



Fotografía 32: Almacenamiento y transporte de la fruta de palma africana en la palmicultora “La Joya”

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.5.1 HIDRÓXIDO DE SODIO

El uso de este tratamiento se conoce como método alcalino. Se tomó como base el estudio de fibras finas de Barassus en el cual se usó hidróxido de sodio a diferentes concentraciones (2%, 5%, 10%,15%,20%) y se introdujo la fibra durante 30 minutos posteriormente se lavó la fibra con agua en condiciones normales y se

puso en el horno durante un periodo de 24 horas (Obi Reddy, Shukla, Uma Maheswari, & Varada Rajulu, 2012).

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 pérdidas en la adherencia de la fibra con la matriz de cemento y reducir la porosidad de la fibra disminuir la absorción del agua (Juárez Alvarado & Rodríguez López, 2004).

3.5.1.1 Paso de la concentración de 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** (Heras, 2001).

Previo al tratamiento químico de la fibra se procedió a baja la concentración del hidróxido de sodio del 5% de concentración al 4% de concentración para lograr esto se usó la siguiente ecuación mencionada en (Heras, 2001) de soluciones químicas la cual se describe a continuación:

$$C_i * V_i = C_f * V_f \quad \text{Ec.(34)}$$

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

$C_i=5\%$

$C_f=4\%$

$V_f=1000 \text{ ml}$

$$5\% \cdot V_i = 4\% \cdot 1000 \text{ ml}$$

$$V_i = 800 \text{ ml}$$

Este resultado nos indica que para bajar la concentración del hidróxido de sodio es mezclar 800 ml de NaOH más 200 ml de agua destilada.

Materiales

- Recipiente graduado para medir líquidos.
- Agua destilada.
- Hidróxido de Sodio al 4% de concentración.
- Guantes.
- Cintas para medir el pH.



Fotografía 33: Materiales para bajar la concentración de NaOH del 5% al 4%.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.5.1.3 Procedimiento: Reducción de concentración al NaOH

- En un recipiente aforado tomar 800 mililitros de hidróxido de sodio.



Fotografía 34: Separación de los 800 ml de NaOH
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- En un segundo recipiente aforado tomar 200 mililitros de agua destilada.



Fotografía 35: Separación de los 200ml de agua destilada.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- En un tercer recipiente introducir los 800 mililitros de hidróxido de sodio y los 200 mililitros de agua destilada.



Fotografía 36: 0.8L de NaOH y 0.2L de Agua destilada.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Dejar reposar la mezcla por un periodo de 2 horas para poderlo usar en el tratamiento de la fibra.



Fotografía 37: Mezcla de NaOH y Agua destilada.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.5.1.4 Aplicación de NaOH al 4% de concentración a las fibras de raquis de palma africana.

El proceso para tratar a la fibra de raquis de palma africana con NaOH al 4% de concentración se detalla a continuación:

- Se procedió a lavar la fibra para retirar el material extraño que estaban en la superficie externa de la fibra.
- Se colocó la fibra en una bandeja para secarla al horno a una temperatura de $100\pm 2^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 ± 2 horas.
- Luego de transcurrido el tiempo se retiró la fibra del horno y se las puso en baldes.



Fotografía 38: Lavada y puesta al horno de la fibra.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Una vez que las fibras estaban en los baldes se procedió a introducir el NaOH al 4% de concentración procurando cubrir toda la fibra que estaba en los baldes, posterior a esto se lo cubrió para evitar que se pierda la humedad y se la dejó por un periodo de 24 ± 2 horas.
- Después se procede a retirar la fibra del NaOH y se lava la fibra con agua destilada las veces que sean necesarias hasta logra que la fibra presente un pH neutro para poderlo manipular.



Fotografía 39: Aplicación del NaOH a la fibra.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Una vez obtenido un pH neutro en la fibra se procede a secar la fibra a temperatura ambiente y así poderla usar en la mezcla de hormigón.



Fotografía 40: Medición del PH a las Fibras.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.5.2 AGUA CALIENTE A 100°C

Este tratamiento es conocido como tratamiento térmico el cual se habla en la **sección 2.5.2**, a más de ser económico resulta ser amigable con el medio ambiente y es fácil de ser aplicado a las fibras.

Procedimiento a seguir para aplicarlo en las fibras de raquis de palma africana es el siguiente:

- Agua hirviendo a 100°C.
- Colocar las fibras durante 30 min en el agua hervida.



Fotografía 41: Fibras sumergidas en agua caliente

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Se enjuaga las fibras en abundante agua.
- Secado en un horno de 60°C \pm 3°C, durante 8 horas.



Fotografía 42: Lavado y puesta al horno de la fibra
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.5.3 RESUMEN: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA

A continuación, se presentan tablas de las características físicas de la fibra no tratada y fibra tratada. Resultados de los ensayos aplicados a la fibra sin ningún tratamiento previo.

Tabla 40:

Características físicas 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	%

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Para la caracterización física de la fibra tratada se procedió de la misma manera que se explicó en la **sección 3.4.3** para fibra no tratada y los resultados obtenidos para las fibras tratadas se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 41:

Características físicas de la fibra con NaOH.

Fibra de palma africana con NaOH		
Propiedades	Valor	Unidad
Densidad S.S. S	1020	Kg/m ³
Absorción	55,56	%
%W	40	%

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 42:*Características físicas de la fibra en Agua Caliente a 100°C.*

Fibra de palma africana - Agua caliente		
Propiedades	Valor	Unidad
Densidad S.S.S	1010	Kg/m ³
Absorción	51,72	%
%W	37	%

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.6 FIBRA DE PALMA AFRICANA A TRACCIÓN PURA

Previo a enviar las muestras al Laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional Departamento de Ingeniería Química Centro Textil Politécnico para realizar el ensayo de tracción de la fibra se procedió a preparar la muestra de fibras tratadas y no tratadas como se describe a continuación:

3.6.1 PREPARACIÓN: MUESTRA DE FIBRA SIN TRATAMIENTO

- Seleccionar cincuenta fibras de longitud 25 ± 10 cm.

**Fotografía 43:** Selección de fibras.**Elaborado por:** Chiquito, J & Eras, G

- Limpiar las fibras seleccionadas, retirando las pequeñas ramificaciones que están presentes en la fibra.
- Una vez limpiadas las fibras proceder a pesarlas en una balanza electrónica de precisión de 0.0001 gr.



Fotografía 44: Masa (g) de las fibras para determinar propiedades mecánicas.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.6.2 PREPARACIÓN: MUESTRA TRATADA CON HIDRÓXIDO DE SODIO

Los pasos a seguir para preparar la muestra de fibra tratada con NaOH se describen a continuación:

- Seleccionar cincuenta fibras de longitud 25 ± 10 cm.
- Limpiar las fibras seleccionadas, retirando las pequeñas ramificaciones que están presentes en la fibra.
- Pesar las fibras en la balanza electrónica y anotar (masa de la fibra sin tratamiento).
- Tomar una bandeja y poner las fibras para aplicar el tratamiento de con NaOH como se muestra en la **Fotografía 45**. Donde, Hidróxido de sodio es (NaOH).



Fotografía 45: Colocando NaOH a las fibras de palma africana.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Al sumergir la fibra en NaOH durante 24 ± 2 hora.



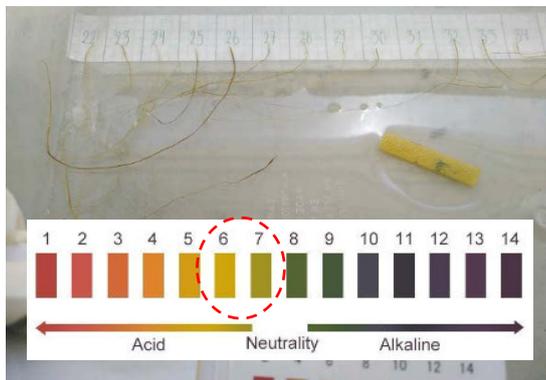
Fotografía 46: Sumergir las fibras en NaOH.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Lavar la fibra con abundante agua destilada.



Fotografía 47: Buscar el pH neutro.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Lavar con agua destilada las veces que sean necesarias hasta obtener el pH neutro de las fibras para poderlas manipular.



Fotografía 48: Medir el pH de las fibras con tratamiento de NaOH.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 49: pH neutro del agua destilada.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Luego de aplicado el tratamiento a las fibras con NaOH se toma nuevamente el peso (masa de la fibra con el tratamiento).

3.6.3 PREPARACIÓN: MUESTRA TRATADA CON AGUA CALIENTE

Los pasos a seguir para preparar la muestra de fibra tratada con agua caliente es la siguiente:

- Seleccionar cincuenta fibras de longitud 25 ± 10 cm.
- Limpiar las fibras seleccionadas, retirando las pequeñas ramificaciones que están presentes en la fibra.
- Pesar las fibras en la balanza electrónica y anotar (masa de la fibra sin tratamiento).
- Hirviendo agua a 100°C y sumergir la fibra en el agua hervida durante 30 minutos.
- Se enjuaga las fibras en abundante agua.
- Secado en un horno de $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, durante 8 horas.



Fotografía 50: Tratamiento de las fibras con agua caliente.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

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 (CAMPAÑA, REMACHE, & RE, 2020).

3.6.4.1 Metodología aplicada

En el presente estudio de investigación se extrajo manualmente fibras de raquis de palma africana. El cálculo de la densidad lineal de la fibra se hizo en base a la ASTM D 2256-02 standard test method for tensile properties of yarns by single-strand method, también en base a esta norma se pudo obtener las propiedades como: esfuerzo a la ruptura y tenacidad.

Una vez preparada las muestras se llevó al Departamento de Ingeniería Química Centro Textil Politécnico y aplicar el ensayo de tracción de hilos en base al método de hebra simple con el cual se puede determinar la tracción y tenacidad de hilos hilados, ya sea sola, plegados, o cableados (CAMPAÑA, REMACHE, & RE, 2020), en este ensayo se usó la maquina universal de ensayos Instron, modelo 3345.



Fotografía 51: Maquina universal de ensayos Instron, modelo 3345.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 52: Ubicación de la fibra en la maquina universal
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.6.5 RESUMEN: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización mecánica de la fibra en su estado natural y sometida a los dos tratamientos químicos.

- **Fibra Africana sin ningún tratamiento previo**

Tabla 43:

Resultados caracterización mecánica de la fibra sin tratamiento.

Longitud [cm]	Masa [gr]	Velocidad de Prueba [mm/min]	Fuerza de Ruptura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [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

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **Fibra Africana tratada con hidróxido de sodio**

Tabla 44:

Resultados caracterización mecánica de la fibra con hidróxido de sodio.

Longitud [cm]	Masa [gr]	Velocidad de Prueba [mm/min]	Fuerza de Ruptura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [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

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **Fibra Africana tratada con agua caliente**

Tabla 45:

Resultados caracterización mecánica de la fibra en agua caliente.

Longitud [cm]	Masa [gr]	Velocidad de Prueba [mm/min]	Fuerza de Ruptura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [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

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.6.6 CORTADO DE LA FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA

Para la determinación de la longitud de la fibra de palma africana que se añade al hormigón simple se tomó la (ACI 544 1R, 1984) en el que se establece una longitud mínima igual a 1.5pulg (3.8 cm).

Equipo

- Cizalla manual para metal



Fotografía 53: Cizalladura manual
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.6.6.1 Procedimiento

- Desenredar manualmente la fibra y extenderla.



Fotografía 54: Estiramiento de las fibras
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- Proceder a corta la fibra en la cizalla manual a una longitud de 3.8 cm.



Fotografía 55: Cortada de la fibra.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.7 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE

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 (Luna, 2014).

El método del (ACI 211.1, 2006) propone el uso de tablas con valores de diseño los mismos que están dependiendo de los materiales a usar en la mezcla (cemento y agregados) y sobre todo el tipo de estructura en la cual se va a emplear la mezcla de hormigón.

3.7.1 DISEÑO DE PATRONES DE HORMIGÓN SIMPLE CON Y SIN FIBRAS NATURALES DE RESISTENCIA 210kgf/cm² Y 240 kgf/cm² PARA UN SACO DE CEMENTO PARA LA COMPROBACION DE RESISTENCIAS

Previo al diseño de hormigón se procede a determinar la resistencia a la compresión requerida (f'_{cr}) como lo establece el ACI 211.1 debido a que no se conoce la desviación estándar, y esta se encuentra en el rango de 21 a 35 MPa. Tomando en cuenta nuestra resistencia base de diseño f'_c igual a 210 kgf/cm² y 240 kgf/cm². La determinación de la f'_{cr} se hace en base de la siguiente tabla:

Tabla 46:
Resistencia a la compresión requerida.

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	325

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Debido a esta resistencia a la compresión requerida se opta por establecer una nomenclatura para poder referirnos a nuestras resistencias bases de 210 kgf/cm² y 240 kgf/cm² las cuales quedan de la siguiente manera:

- El Diseño hormigón de 210 kgf/cm² estará establecido por el esfuerzo a la resistencia a la compresión de $f'cr$ de 295 kgf/cm².
- El Diseño hormigón de 240 kgf/cm² estará establecido por el esfuerzo a la resistencia a la compresión de $f'cr$ de 325 kgf/cm².

Los patrones a elaborar se tomaron en base a la NTE INEN 1763 el cual establece que se deben tomar probetas cilíndricas en el tercio medio de la mezcla de hormigón. También se tomó como referencia la (NTE INEN 1855-2, 2015) para determinar el número de patrones a ser ensayados y mediante un cálculo estadístico de prueba y error (ASTM E 122, 2009) se determinó que el número de patrones a ser ensayados son 6 cilindros de 15 x 30 cm para cada mezcla y así obtener un promedio más cercano a la realidad de la resistencia a la compresión de diseño los cuales serán ensayados a los 7 días.

3.7.2 RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN EL HORMIGON SIMPLE

Con los datos de la siguiente tabla se realiza una pre-dosificación del diseño del hormigón 210kgf/cm² y 240kgf/cm² para determinar la resistencia a compresión esperada y si se cumple proceder en la elaboración de las probetas de ensayo.

Tabla 47:

Resumen de resultados a los materiales que componen la mezcla de hormigón.

CEMENTO	
MARCA	Holcim Fuerte
DENSIDAD REAL (kg/m ³)	2680
AGREGADO GRUESO	
DENSIDAD SUELTA (kg/m ³)	2190
DENSIDAD COMPACTA (kg/m ³)	2230
DENSIDAD REAL S.S.S. (kg/m ³)	2240
ABSORCIÓN (%)	24
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (pulg)	1"
MÓDULO DE FINURA	3,95
AGREGADO FINO	
DENSIDAD SUELTA (kg/m ³)	1893
DENSIDAD COMPACTA (kg/m ³)	1840
DENSIDAD REAL S.S.S. (kg/m ³)	2350
ABSORCIÓN	2,07
MÓDULO DE FINURA	2,76

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Los resultados que muestra la **Tabla 47** de los agregados cumplen con los parámetros de diseño que están establecidos en la norma, por ende, es confiable el uso de estos agregados para la preparación de la mezcla de hormigón simple.

3.8 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³ DE HORMIGÓN SIN FIBRA

Para determinar la dosificación en peso de hormigón de 210 kgf/cm² y 240kgf/cm², se hace uso de la densidad real del cemento, para los agregados se empleó las densidades reales en estado S.S.S y se obtuvo las siguientes dosificaciones.

3.8.1 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 210 kgf/cm² SIN FIBRA

Tabla 48:

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

Componente	Volumen Real	Densidad Real	Masa	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
	m³	kg/m³	kg	
Agua	193	1	193	0,53
Cemento	135,88	2,68	364,15	1
Arena	314,56	2,23	701,48	1,93
Ripio	356,56	2,24	798,69	2,19

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Como se puede ver en la **Tabla 48** se propuso trabajar con una relación de la dosificación agua cemento (a/c) igual a 0.53 para posteriormente con la corrección por humedad de los agregados esta tienda a subir y obtener una relación agua cemento óptima para las resistencias de diseño teniendo siempre presente la optimización del diseño.

0.53: 1: 1.93: 2.19

La relación (Agua: Cemento: Arena: Ripio) debe ser corregida debido al estado que encuentren los agregados para lo cual existen diferentes métodos, En el presente estudio se empleó el método de corrección por humedad el cual se detalla a continuación.

3.8.1.1 Corrección de la dosificación: Método de humedad de los agregados

Para corregir la dosificación por el método de humedad de los agregados se hace uso de la **Ec.(9)**:

$$\Delta W = W_m * \left(\frac{100 + \%Ab}{100 + \%W} - 1 \right)$$

Donde:

ΔW = Diferencia del contenido del agua entre los estados saturados 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 agua contenido del agua es positiva el agregado se encuentra seco y si dicha diferencia es negativa el agregado está húmedo.

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 (Luna, 2014)

- **RIPIO**

$\Delta W = 798.69$ kg

$$\%Ab = 1,99 \%$$

$$\%W = 0,50 \%$$

Solución

$$\Delta W = 798.69 * \left(\frac{100 + 1.99}{100 + 0.50} - 1 \right)$$

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

▪ **ARENA**

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

$$\%Ab = 2,0 \%$$

$$\%W = 1,52 \%$$

Solución

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

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

Luego de obtener la diferencia del agua tanto del ripio y de la arena se realizan las siguientes operaciones para obtener los pesos definitivos de la dosificación

Calculo definitivo de la masa del agua y de los agregados para la dosificación

$$\text{Masa del agua} = 193 \text{ kg} + 11.84 \text{ kg} + 3.80 \text{ kg} = 208.64 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa del ripio} = 798.69 \text{ kg} - 11.84 \text{ kg} = 786.85 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa de la arena} = 701.48 \text{ kg} - 3.80 = 697.68 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 49:

Dosificación corrección por humedad de los agregados.

Componente	Masa	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
	kg	
Agua	208,64	0,57
Cemento	364,15	1,00
Arena	697,68	1,92
Ripio	786,85	2,16

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

▪ DOSIFICACIÓN EN PESO PARA UN SACO DE CEMENTO

Para obtener las proporciones adecuadas para la mezcla de hormigón para la concretera con capacidad de un saco de cemento se procede a realizar una división de las cantidades en peso de la **Tabla 49** para un factor de cemento de 7.28 $\frac{\text{saco}}{\text{m}^3 \text{ de hormigon}}$ obteniendo finalmente la siguiente dosificación para un saco de cemento.

Tabla 50:

Dosificación en peso para un saco de cemento.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
Agua	28,648	0,573
Cemento	50,000	1,000
Arena	95,795	1,916
Ripio	108,039	2,161

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Prueba de asentamiento



Fotografía 56: Prueba de asentamiento del hormigón

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.8.1.2 Resistencia a la compresión del patrón de diseño

La resistencia a la compresión de los cilindros patrones se realizó en el Laboratorio, las edades a las cuales fueron ensayadas a los 3, 5 y 7 días y así comprobar la resistencia de diseño y la trabajabilidad del hormigón simple y así obtener la dosificación final para las probetas cilíndricas.



Fotografía 57: Prueba de compresión cilindros patrones
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Los resultados de asentamiento y resistencia a compresión de los cilindros patrones de resistencia de diseño 210 kgf/cm² se presentan a continuación:

Tabla 51:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones.

Edades de ensayo	Asentamiento	Diseño 210		Comentario
	mm	MPa	kgf/cm ²	
3	110	5,46	55,677	Rediseñar
5	110	8,69	88,614	Rediseñar
7	110	9,97	101,67	Rediseñar

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Como se puede ver en la **Tabla 51** la prueba de asentamiento es igual a 110 mm el cual sobrepasa al asentamiento de diseño, la pasta está muy granular y muy húmeda y no presenta una trabajabilidad adecuada. También se observó que las resistencias de compresión son muy bajas debido a esto se desecha esta primera dosificación y se procede a rediseñarla tomando en cuenta los siguientes puntos:

- Debido a que la mezcla estaba muy húmeda se procedió a disminuir el agua y de esta manera disminuir la relación agua cemento (a/c) para este segundo pre-diseño de dosificación, y así comprobar si se alcanza la resistencia de diseño a la compresión, teniendo siempre presente la optimización de la mezcla.
- Para evitar que la mezcla sea muy granular debido a que el módulo de finura de nuestro ripio es muy alto se procede a aumentar la cantidad de arena en un 70%, evitando modificar el peso total de la dosificación debido a la corrección por humedad de los agregados, quedando así el peso del ripio en porcentaje en un 30%.

Tomando en cuenta estos puntos se procede a realizar una segunda dosificación y así poder proceder a comprobar sus propiedades físicas y mecánicas:

- **SEGUNDA PRUEBA DE DOSIFICACION RESISTENCIA DE DISEÑO 210kgf/cm²**

Tabla 52:

Segunda dosificación hormigón 210 kgf/cm².

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa Kg	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
Agua	180	1	180	0,44
Cemento	152,65	2,68	409,09	1
Arena	366,46	2,23	817,21	2,00
Ripio	300,89	2,24	674,00	1,65

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Al igual como se procedió en la primera dosificación se realiza la corrección por humedad de los agregados para tener la dosificación en peso requerida para emplearlas en los cilindros patrones.

▪ RIPIO

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

$$\%Ab = 1,99 \%$$

$$\%W = 0,50 \%$$

Solución, uso de la **Ec.(9)**.

$$\Delta W = 674 * \left(\frac{100 + 1.99}{100 + 0.50} - 1 \right)$$

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

▪ ARENA

$$\Delta W = 817.21 \text{ kg}$$

$$\%Ab = 2,07 \%$$

$$\%W = 1,52 \%$$

Solución, uso de la **Ec.(9)**.

$$\Delta W = 817.21 * \left(\frac{100 + 2.07}{100 + 1.52} - 1 \right)$$

$$\Delta W = 4.43 \text{ kg (Arena seca)}$$

Calculo definitivo de la masa del agua y de los agregados para la dosificación

Masa del agua = 180 kg +9.99kg+4.43 kg = 194.42kg/m³

Masa del ripio = 674kg-9.99kg= 664.01 kg/m³

Masa de la arena =817.21 kg – 4.43 kg =812.78 kg/ m³

Tabla 53:

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

Componente	Masa Kg	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
Agua	194,42	0,48
Cemento	409,09	1,00
Arena	812,78	1,99
Ripio	664,01	1,62

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Con esta corrección por humedad de los agregados se obtuvo una nueva relaciona agua/cemento (a/c) igual a 0.48.

Dividiendo la **Tabla 53** para el factor de cemento $8.1 \frac{\text{saco}}{\text{m}^3 \text{ de hormigon}}$ se obtiene finalmente la siguiente dosificación para un saco de cemento:

Tabla 54:

Dosificación en peso para un saco de cemento.

Componente	Masa Kg	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
Agua	23,762	0,48
Cemento	50,000	1,00
Arena	99,340	1,99
Ripio	81,156	1,62

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Prueba de asentamiento



Fotografía 58: Prueba de asentamiento del hormigón

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.8.1.3 Resistencia a la compresión del patrón de diseño

las edades a las cuales fueron ensayadas fueron a los 3, 5 y 7 días y así comprobar la resistencia de diseño y la trabajabilidad del hormigón simple con la nueva dosificación realizada, los resultados de esta segunda dosificación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 55:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones.

Edades de ensayo	Asentamiento	Diseño 210		Comentario
	mm	MPa	Kgf/cm ²	
3	90	12,58	128,28	OK
5	90	16,48	168,05	OK
7	90	19,96	203,43	OK

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 59: Tipo de falla del cilindro patrón (Falla 5)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

En esta nueva dosificación pasa las resistencias de diseño y el asentamiento de diseño y presenta un tipo de falla 5 por tal motivo se usa esta segunda dosificación para la fabricación de las probetas cilíndricas de hormigón simple

3.8.2 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 240 kgf/cm² SIN FIBRA

Para esta dosificación se tomó como base la relación de los agregados de la **Tabla 48** y la relación agua cemento (a/c) igual a 0.47.

Tabla 56:

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

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa Kg	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
Agua	190,00	1	190	0,47
Cemento	153,79	2,68	412,15	1
Arena	355,32	2,23	792,37	1,92
Ripio	300,89	2,24	674,00	1,64

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Con esta pre dosificación se procede a realizar la corrección por humedad de los agregados empleando la ecuación 18

▪ **RIPIO**

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

$$\%Ab = 1,99 \%$$

$$\%W = 0,50 \%$$

Solución, uso de la **Ec.(9)**.

$$\Delta W = 674 * \left(\frac{100 + 1.99}{100 + 0.50} - 1 \right)$$

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

▪ **ARENA**

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

$$\%Ab = 2,07 \%$$

$$\%W = 1,52 \%$$

Solución, uso de la **Ec.(9)**.

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

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

Calculo definitivo de la masa del agua y de los agregados para la dosificación

$$\text{Masa del agua} = 190\text{kg} + 9.99 \text{ kg} + 4.29 \text{ kg} = 204.29\text{kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Masa del ripio} = 4674 \text{ kg} - 9.99\text{kg} = 664.01\text{kg} / \text{m}^3$$

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

Tabla 57:

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

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
Agua	204,29	0,50
Cemento	412,15	1,00
Arena	788,07	1,91
Ripio	664,01	1,61

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

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

Se procede a dividir los resultados de la tabla 54 para el factor de cemento $8.2 \frac{\text{saco}}{\text{m}^3 \text{ de hormigón}}$ obteniendo finalmente la siguiente dosificación para un saco de cemento.

Tabla 58:

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

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
Agua	24,8	0,50
Cemento	50,0	1,00
Arena	95,6	1,91
Ripio	80,6	1,61

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Prueba de asentamiento



Fotografía 60: Prueba de asentamiento del hormigón

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.8.2.1 Resistencia a la compresión del patrón de diseño

Al igual que el capítulo anterior las edades de ensayo fueron 3, 5 y 7 días y así comprobar la resistencia de diseño y la trabajabilidad del hormigón simple:

Tabla 59:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones.

Edades de ensayo	Asentamiento	Diseño 240		Comentario
	mm	MPa	kgf/cm ²	
3	85	14,76	144,72	OK
5	85	17,62	179,60	OK
7	85	21,73	221,49	OK

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 61: Tipo de falla del cilindro patrón (Falla 5)
 Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Esta dosificación pasa las resistencias de diseño y el asentamiento de diseño y presenta un tipo de falla 5 por tal motivo se usa en la dosificación en la producción de las probetas cilíndricas de hormigón simple de resistencia 240 kgf/cm².

3.9 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³ DE HORMIGÓN CON FIBRA TRATADA CON NaOH

Para esta dosificación de tomo como base la dosificación de la **Tabla 52**. Como no se tiene muchos estudios sobre el porcentaje de fibra de raquis de palma africana adecuado que se puedan añadir al hormigón, mediante la bibliografía revisada se optó por usar un porcentaje de fibra 0.5% y 1.0 % del volumen total de hormigón.

Para determinar el peso de fibra que se debe añadir a la fibra en el hormigón se debe sacar el 1.0 % de 1m³ de hormigón teniendo como resultado 0.01m³ del volumen del hormigón, este valor se procede a multiplicarlo por la densidad superficie saturada seca (S.S.S) de la fibra obteniendo finalmente la porción en kilogramos de fibra que se necesita para la mezcla de hormigón. Se procede de la misma manera con el 0.5% de fibra para obtener la porción en kilogramos necesaria para la mezcla en el hormigón.

3.9.1 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 210 kgf/cm² CON 0.5 % DE FIBRA

Tabla 60:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa Kg	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
Agua	180	1	180	0,44
Cemento	152,65	2,68	409,09	1
Arena	367,06	2,23	818,55	2,00
Ripio	300,29	2,24	672,65	1,64
Fibra 0.5%			5,50	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Como se realizó en los capítulos anteriores la corrección por humedad de los agregados se procedió de la misma manera para poder corregir la porción de la fibra de raquis de palma africana para la mezcla del hormigón simple la cual se detalla a continuación

3.9.1.1 Corrección por humedad de la fibra de raquis de palma africana

Para la determinación de este valor se utiliza la **Ec.(9)** para la corrección por humedad de los agregados, al no tener mucha información sobre la fibra de palma africana se optó por tratarla como un agregado y así poder hacer uso de la ecuación 9.

- **FIBRA**

$$\Delta W = 5.50 \text{ kg}$$

$$\%Ab = 55.56 \%$$

$$\%W = 40 \%$$

Solución

$$\Delta W = 5.50 * \left(\frac{100 + 2.07}{100 + 1.52} - 1 \right)$$

$$\Delta W = 0.61 \text{ kg (fibra seca)}$$

Con esta corrección de los agregados se calculó la masa definitiva del agua y de los agregados teniendo la siguiente tabla para la dosificación:

Tabla 61:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	195,02	0,48
Cemento	409,09	1,00
Arena	814,12	1,99
Ripio	662,68	1,62

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

▪ DOSIFICACION EN PESO PARA UN SACO DE CEMENTO

Para obtener las proporciones adecuadas para la mezcla de hormigón se procede a dividir las cantidades en peso de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para un factor de cemento $8.1 \frac{\text{saco}}{\text{m}^3 \text{ de hormigón}}$ obteniendo finalmente la siguiente dosificación para un saco de cemento.

Tabla 62:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones 210kgf/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	23,83	0,48
Cemento	50,00	1,00
Arena	99,50	1,99
Ripio	80,80	1,62
Fibra 0.5%	4,89	0,10

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.

3.9.2 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN 210 kgf/cm² CON 1.0 % DE FIBRA

Tabla 63:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	180	1	180	0,44
Cemento	152,65	2,68	409,09	1
Arena	367,97	2,23	820,56	2,01
Ripio	299,39	2,24	670,63	1,64
Fibra 1%			10,30	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Se procede a realizar la corrección por humedad de la fibra:

- **FIBRA**

$$\Delta W = 10.30 \text{ kg}$$

$$\%Ab = 55.56 \%$$

$$\%W = 40 \%$$

Solución, uso de la **Ec.(9)**.

$$\Delta W = 10.30 * \left(\frac{100 + 2.07}{100 + 1.52} - 1 \right)$$

$$\Delta W = 1.14 \text{ kg (fibra seca)}$$

Se tiene el cálculo definitivo de la dosificación en peso para 1m³ de hormigón:

Tabla 64:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	195,53	0,48
Cemento	409,09	1,00
Arena	816,12	1,99
Ripio	660,69	1,62

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

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

Dividiendo para el factor de cemento $8.1 \frac{\text{saco}}{\text{m}^3 \text{ de hormigón}}$ la **Tabla 64** se obtiene

finalmente la siguiente dosificación para un saco de cemento.

Tabla 65:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones 210kgf/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	23,898	0,48
Cemento	50,000	1,00
Arena	99,748	1,99
Ripio	80,751	1,62
Fibra 0.5%	9,16	0,18

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.9.3 HORMIGÓN 240 kgf/cm² CON 0.5 % DE FIBRA

La dosificación de la **Tabla 56** fue optima, por tal motivo se usó como base para la dosificación de diseño de 240 kg/cm² añadiendo el 0.5% de fibra natural a la mezcla

Tabla 66:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	190,00	1	190	0,461
Cemento	153,79	2,68	412,15	1
Arena	355,62	2,23	793,04	1,92
Ripio	300,59	2,24	673,33	1,63
Fibra 0.5%			5,5	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Realizando la corrección por humedad de los agregados se tiene:

Tabla 67:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	204,89	0,50
Cemento	412,148	1,00
Arena	788,740	1,91
Ripio	663,343	1,61

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

▪ DOSIFICACIÓN EN MASA PARA UN SACO DE CEMENTO

Dividiendo para el factor de cemento $8.23 \frac{\text{saco}}{\text{m}^3 \text{ de hormigón}}$ la **Tabla 67** se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 68:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones 240kgf/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	24,86	0,50
Cemento	50,000	1,00
Arena	95,687	1,91
Ripio	80,474	1,61
Fibra 0.5%	4.89	0.10

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.9.4 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 240 kgf/cm² CON 1.0% DE FIBRA

Tabla 69:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	190,00	1	190	0,461
Cemento	153,79	2,68	412,15	1
Arena	355,34	2,23	792,40	1,92
Ripio	300,88	2,24	673,97	1,64
Fibra 1%			10,3	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.9.4.1 Corrección por humedad

Tabla 70:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	204,90	0,50
Cemento	412,15	1,00
Arena	788,11	1,91
Ripio	663,97	1,61

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

▪ DOSIFICACION EN MASA PARA UN SACO DE CEMENTO

Dividiendo para el factor de cemento $8.23 \frac{\text{saco}}{\text{m}^3 \text{ de hormigón}}$ la **Tabla 67** se obtiene:

Tabla 71:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones 240kgf/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	24,86	0,50
Cemento	50,000	1,000
Arena	95,610	1,912
Ripio	80,551	1,611
Fibra 1%	4,889	0,10

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.9.5 ENSAYO DE ASENTAMIENTO Y COMPRESIÓN A LOS CILINDROS PATRONES

El asentamiento del hormigón debe estar en 70 y 100 mm, y las edades de ensayo de todos los cilindros patrones fueron a los 3.5 y 7 días comprobando que

tengan el porcentaje de resistencia a dichos días como muestra la tabla 21 y así poder aceptar o rachar la mezcla de hormigón.

- **DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³ DE HORMIGÓN 210 kgf/cm² CON 0.5 % Y 1.0% DE FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA TRATADA CON NaOH**
- **PRUEBA DE ASENTAMIENTO**



Fotografía 62: Prueba de asentamiento del hormigón 210kgf/cm² al 0.5% y 1.0% de fibras
Fuente: Chiquito, J & Eras, G

- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL PATRÓN DE DISEÑO**

Tabla 72:

Resultados del hormigón simple 210 kgf/cm² al 0.5 % y 1.0% de fibra.

Edades de ensayo	Asentamiento	Diseño 210 +0,5% fibra		Asentamiento	Diseño 210 +1% fibra	
	mm	MPa	kgf/cm ²	mm	MPa	kgf/cm ²
3	90	13,43	136,88	85	11,57	117,91
5	90	17,95	182,95	85	14,83	151,12
7	90	21,30	217,09	85	16,83	171,60

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m DE HORMIGÓN 240 kgf/cm² CON 0.5 % Y 1.0% DE FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA TRATADA CON NaOH**
- **PRUEBA DE ASENTAMIENTO**



Fotografía 63: Prueba de asentamiento del hormigón 240kgf/cm² al 0.5% y 1% de fibras
Fuente: Chiquito, J & Eras, G.

▪ RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL PATRÓN DE DISEÑO

Tabla 73:

Resultados del hormigón simple 240 kgf/cm² al 0.5 % y 1% de fibra.

Edades de ensayo	Asentamiento	Diseño 240 +0,5% fibra		Asentamiento	Diseño 240 +1.0% fibra	
	mm	MPa	kgf/cm ²	mm	MPa	kgf/cm ²
3	100	14,89	151,82	90	11,77	120,02
5	100	16,34	166,53	90	13,99	142,65
7	100	20,40	207,91	90	18,79	191,57

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.10 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³ DE HORMIGÓN CON FIBRA TRATADA CON AGUA CALIENTE

Para las siguientes dosificaciones se procedió de la misma manera como se explica en la **sección 3.9**, tomando en cuenta las propiedades de la fibra que se muestran en la **Tabla 42** para realizar la corrección por humedad de la dosificación.

3.10.1 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 210 kgf/cm² CON 0.5% DE FIBRA

Tabla 74:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	180	1	180	0,44
Cemento	152,65	2,68	409,09	1
Arena	367,06	2,23	818,55	2,00
Ripio	300,29	2,24	672,65	1,64
Fibra 0.5%			5,00	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G.

▪ FIBRA

$$\Delta W = 5 \text{ kg}$$

$$\%Ab = 51.72 \%$$

$$\%W = 37 \%$$

Solución, uso de la **Ec.(9)**.

$$\Delta W = 5 * \left(\frac{100 + 2.07}{100 + 1.52} - 1 \right)$$

$$\Delta W = 0.54 \text{ kg (fibra seca)}$$

Realizando la corrección por humedad de los agregados se tiene:

Tabla 75:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 210 kg/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	194,94	0,48
Cemento	409,09	1,00
Arena	814,12	1,99
Ripio	662,68	1,62

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

▪ DOSIFICACION EN PESO PARA UN SACO DE CEMENTO

Tabla 76:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones 210kg/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	23,83	0,48
Cemento	50,00	1,00
Arena	99,51	1,99
Ripio	80,95	1,62
Fibra 0.5%	4,46	0,09

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.10.2 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 210 kgf/cm² CON 1.0% DE FIBRA

Tabla 77:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 210 kg/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	180	1	180	0,44
Cemento	152,65	2,68	409,09	1
Arena	367,97	2,23	820,56	2,01
Ripio	299,39	2,24	670,63	1,64
Fibra 1%			10,00	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Realizando la corrección por humedad de los agregados se tiene:

- FIBRA

$$\Delta W = 10 \text{ kg}$$

$$\%Ab = 51.72 \%$$

$$\%W = 37 \%$$

Solución, uso de la **Ec.(9)**.

$$\Delta W = 10 * \left(\frac{100 + 2.07}{100 + 1.52} - 1 \right)$$

$$\Delta W = 1.07 \text{ kg (fibra seca)}$$

Tabla 78:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 210 kg/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	195,46	0,48
Cemento	409,09	1,00
Arena	816,12	1,99
Ripio	660,69	1,62

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

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

Tabla 79:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones 210kgf/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	23,890	0,48
Cemento	50,000	1,00
Arena	99,748	1,99
Ripio	80,751	1,62
Fibra 0.5%	8,93	0,18

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.10.3 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 240 kgf/cm² CON 0.5% DE FIBRA

Tabla 80:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	190,00	1	190	0,461
Cemento	153,79	2,68	412,15	1
Arena	355,62	2,23	793,04	1,92
Ripio	300,59	2,24	673,33	1,63
Fibra 0.5%			5	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Realizando la corrección por humedad de los agregados se tiene:

Tabla 81:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kg/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	204,82	0,50
Cemento	412,148	1,00
Arena	788,740	1,91
Ripio	663,343	1,61

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

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

Tabla 82:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones 240kg/cm² con 0.5% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	24,85	0,50
Cemento	50,000	1,000
Arena	95,687	1,914
Ripio	80,474	1,609
Fibra 0.5%	4,463	0,1

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.10.4 DOSIFICACIÓN HORMIGÓN 240 kgf/cm² con 1.0% DE FIBRA

Tabla 83:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón de 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Volumen Real m ³	Densidad Real kg/m ³	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	190,00	1	190	0,461
Cemento	153,79	2,68	412,15	1
Arena	355,34	2,23	792,40	1,92
Ripio	300,88	2,24	673,97	1,64
Fibra 1%			10	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Realizando la corrección por humedad de los agregados se tiene:

Tabla 84:

Dosificación en peso para 1m³ de hormigón 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	205,36	0,50
Cemento	412,15	1,00
Arena	788,11	1,91
Ripio	663,97	1,61

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 85:

Resultados del hormigón simple cilindros patrones 240kg/cm² con 1.0% de fibra.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	24,91	0,50
Cemento	50,000	1,000
Arena	95,610	1,912
Ripio	80,551	1,611
Fibra 1.0%	8,926	0,18

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.10.5 ENSAYO DE ASENTAMIENTO Y COMPRESIÓN A LOS CILINDROS PATRONES

HORMIGÓN 210 kgf/cm² CON 0.5 % Y 1.0% DE FIBRA TRATADA CON AGUA CALIENTE

- PRUEBA DE ASENTAMIENTO



Fotografía 64: Prueba de asentamiento del hormigón 210kgf/cm² al 0.5% y 1% de fibras

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL PATRÓN DE DISEÑO

Tabla 86:

Resultados del hormigón simple 210 kg/cm² al 0.5 % y 1.0% de fibra.

Edades de ensayo	Asentamiento	210 +0,5% F		Asentamiento	210 +1% F	
	mm	MPa	kgf/cm ²	mm	MPa	kgf/cm ²
3	85	11,88	121,12	100	11,40	116,17
5	85	15,53	158,28	100	13,27	135,30
7	85	20,70	211,00	100	15,31	153,18

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

HORMIGÓN 240 kgf/cm² CON 0.5 % Y 1.0% DE FIBRA TRATADA CON AGUA CALIENTE

▪ PRUEBA DE ASENTAMIENTO



Fotografía 65: Prueba de asentamiento del hormigón 240kgf/cm² al 0.5% y 1.0% de fibras
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

▪ RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL PATRÓN DE DISEÑO

Tabla 87:

Resultados del hormigón simple 240 kg/cm² al 0.5 % y 1.0% de fibra.

Edades de ensayo	Asentamiento		240 +0,5% F		Asentamiento		240 +1.0% F	
	mm	MPa	kgf/cm ²	mm	MPa	kgf/cm ²	mm	MPa
3	75	13,38	136,39	85	12,71	129,61	85	129,61
5	75	16,53	168,55	85	15,59	158,95	85	158,95
7	75	20,86	212,64	85	20,72	211,23	85	211,23

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Los resultados arrojados por los cilindros patrones con fibra de raquis de palma africana cumplen con los requisitos de asentamiento y resistencia a la compresión en todos los casos. Al añadir fibra a la mezcla de hormigón la trabajabilidad no fue afectada por tal motivo se descartó el uso de algún aditivo.

Los ensayos hechos a los cilindros patrones se lo hacen con el propósito de establecer la dosificación final para el hormigón simple sin fibra y con fibra al 0.5% y 1% expuesta a dos tratamientos químico en base al esfuerzo de resistencia a la compresión, para estos ensayos se tomaron en cuenta las propiedades físicas de la fibra debido a sus respectivos tratamientos aplicados y así se corrigió por humedad de los agregados obteniendo finalmente las dosificación para realizar las probetas cilíndricas.

3.11 RESUMEN DE LAS DOSIFICACIONES FINALES PARA LA ELABORACION DE LAS PROBETAS CILINDRICAS

A continuación, se presenta en resumen las dosificaciones a usar para la elaboración de las probetas cilíndricas.

3.11.1 SIN FIBRA

- **Hormigón de diseño 210 kgf/cm² - SIN FIBRA**

Tabla 88:

Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm².

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	23,762	0,48
Cemento	50,000	1,00
Arena	99,340	1,99
Ripio	81,156	1,62

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **Hormigón de diseño 240 kgf/cm² - SIN FIBRA**

Tabla 89:

Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm².

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	24,8	0,50
Cemento	50,0	1,00
Arena	95,6	1,91
Ripio	80,6	1,61

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.11.2 HIDRÓXIDO DE SODIO

- **Hormigón de 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratada con NaOH**

Tabla 90:

Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratadas con NaOH.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	23,83	0,48
Cemento	50,00	1,00
Arena	99,50	1,99
Ripio	80,80	1,62
Fibra 0.5%	4,89	0,10

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **Hormigón de 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratada con NaOH**

Tabla 91:

Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratadas con NaOH.

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	23,898	0,48
Cemento	50,000	1,00
Arena	99,748	1,99
Ripio	80,751	1,62
Fibra 1%	9,16	0,18

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **Hormigón de diseño 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratada con NaOH**

Tabla 92:

Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratadas con NaOH.

Componente	Masa Kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	24,86	0,50
Cemento	50,000	1,00
Arena	95,687	1,91
Ripio	80,474	1,61
Fibra 0.5%	4.89	0.10

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **Hormigón de diseño 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratada con NaOH**

Tabla 93:

Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratadas con NaOH.

Componente	Masa Kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	24,91	0,50
Cemento	50,000	1,000
Arena	95,610	1,912
Ripio	80,551	1,611
Fibra 1%	8,926	0,18

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.11.3 AGUA CALIENTE

- **Hormigón de 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratada con agua caliente**

Tabla 94:

Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratada con agua caliente.

Componente	Masa Kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	23,83	0,48
Cemento	50,00	1,00
Arena	99,51	1,99
Ripio	80,95	1,62
Fibra 0.5%	4,46	0,09

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **Hormigón de 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratada con agua caliente**

Tabla 95:

Dosificación hormigón simple 210 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratada con agua caliente.

Componente	Masa Kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	23,890	0,48
Cemento	50,000	1,00
Arena	99,748	1,99
Ripio	80,751	1,62
Fibra 0.5%	8,93	0,18

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **Hormigón de 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratada con agua caliente**

Tabla 96:

Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm² con 0.5% de fibra tratada con agua caliente.

Componente	Masa Kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	24,85	0,50
Cemento	50,000	1,000
Arena	95,687	1,914
Ripio	80,474	1,609
Fibra 0.5%	4,463	0,1

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

- **Hormigón de 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratada con agua caliente**

Tabla 97:

Dosificación hormigón simple 240 kgf/cm² con 1.0% de fibra tratada con agua caliente.

Componente	Masa Kg	Cantidad Relativa en Masa (Cemento=1)
Agua	24,91	0,50
Cemento	50,000	1,000
Arena	95,610	1,912
Ripio	80,551	1,611
Fibra 1%	8,926	0,18

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.12 VOLUMEN REQUERIDO DE HORMIGÓN

Una vez obtenida el volumen neto de obra se necesita determinar las probetas cilíndricas que serán ensayados a compresión a los 14, 28 y 56 días, comprobando así la resistencia de diseño del hormigón, A dicho volumen neto calculado se le mayor en un 10% el cual es el volumen necesario para las pruebas del hormigón simple en estado fresco y contenido de aire como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 98:

Volumen general requerido para la fabricación de las 210 probetas cilíndricas.

	Valor	Unidad
Sección circular diámetro	15	cm
Altura del cilindro	30	cm
Área del cilindro	176,71	cm ²
Volumen unitario de cada cilindro	0,0053	m ³
Numero de cilindros	210	Unidad
Volumen neto	1,11	m ³
Volumen mayorado 10%	1,22	m ³

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Volumen requerido para la fabricación de las 21 probetas cilíndricas por cada variable.

Tabla 99:

Volumen general requerido para la fabricación de las 21 probetas cilíndricas por cada variable.

	Valor	Unidad
Sección circular diámetro	15	cm
Altura del cilindro	30	cm
Área del cilindro	176,71	cm ²
Volumen unitario de cada cilindro	0,0053	m ³
Numero de cilindros	21	Unidad
Volumen neto	0,11	m ³
Volumen mayorado 10%	0,12	m ³

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Los valores de la **Tabla 99**, es el volumen requerido que se necesita para la fabricación de 21 probetas cilíndricas por cada variable analizada en el presente estudio.

Las probetas cilíndricas de hormigón se elaboran con las mismas dimensiones de los cilindros patrones, y el número de especímenes a ensayar son 6 por cada variable de dimensiones 150x300mm.

3.13 ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS

3.13.1 ENCOFRADO

Para la fabricación de las probetas fueron usados moldes cilíndricos de acero de espesor 0.5cm y ajustables con pernos lo cual asegura que el encofrado no se deforme o se rompa al momento de introducir el hormigo (ASTM C 470, 2002). Antes de hormigonar las probetas es necesario engrasar las superficies internas y externas de los moldes cilíndricos con aceite vegetal y así evitar que se adhiera el hormigón con el molde y su desencofrado sea rápido y fácil.



Fotografía 66: Moldes cilíndricos
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.13.2 MEZCLA Y HORMIGÓN

Se usó una concretera eléctrica con capacidad para un saco de cemento, y se mezclaron los pesos de las tablas del capítulo 3.11, que corresponden a la dosificación en peso para un saco de cemento de 50 kg por cada variable.

El proceso de mezclado que se lleva a cabo para mantener la homogeneidad del hormigón simple sin fibras y con fibras es la siguiente:

Tabla 100:

Orden de los componentes para la mezcla del hormigón simple sin fibras naturales.

1	Mitad del agua
2	Toda la masa del ripio
3	Todo el saco de cemento
4	Toda la masa de la arena
5	Todo el sobrante del agua

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 101:

Orden de los componentes para la mezcla del hormigón simple con fibras naturales.

1	Mitad del agua
2	Mitad de la fibra
3	Toda la masa del ripio
4	Todo el sobrante de la fibra
5	Todo el saco de cemento
6	Toda la masa de la arena
7	Todo el sobrante del agua

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Para la mezcla del hormigón simple sin fibras una vez que se introduzca todo el peso de la arena se deja en la concreteira 3 minutos para que los agregados se hidratan antes de poner todo el peso del agua y finalmente dejar 10 minutos y así conseguir una mezcla homogénea entre todos los agregados del hormigón simple.

Para la mezcla de hormigón con fibras, una vez colocado la mitad de agua, la mitad de fibra y todo el peso del ripio se deja 5 minutos para que se mezclen los agregados y a los 2 minutos hacer una parada y separar la fibra ya que al estar en la concreteira la fibra tiende a enredarse y a formar bolas de fibras lo cual no permite una distribución adecuada de la fibra, después colocar todo el sobrante de la fibra y dejarlo en la concreteira 3 minutos y realizar una nueva parada a los 2 minutos para desenredar la fibra teniendo finalmente una distribución adecuada de la fibra con los agregados, colocar todo el resto de los agregados y dejarlo en la concreteira 15 minutos para tener una mezcla homogénea del hormigón con fibras. Se sabe que el 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 (Luna, 2014).

Para la colocación y compactación del hormigón se tomó como referencia la (ASTM C 31, 2019), en la que se detalla el procedimiento a seguir para probetas

cilíndricas verticales de ensayo. También se tomó la (NEC - SE - HM, 2015) en el cual indican criterios para una buena colocación y compactación del hormigón simple o armado en los elementos estructurales en obra.

La forma de colocar el hormigón simple con y sin fibras en las probetas cilíndricas fue mediante 3 capas colocadas horizontalmente con un espesor mínimo de 20 cm. Dichas capas se deben colocar sucesivamente para evitar que la masa se seque y el hormigón comience a fraguar, ya que para obtener una buena unión entre las capas no debe trascurrir mucho tiempo entre la colocación de las capas (Luna, 2014).

Para el presente estudio el asentamiento que se usó para la elaboración de la mezcla de hormigón estaba en 7 y 10 cm, y el método de comparación fue por varillado como indica la (ASTM C 31, 2019). La compactación se realizó mediante 25 golpes que se le aplicó a cada capa horizontal, con una varilla de acero la misma que debe cubrir toda la altura del encofrado cilíndrico. Se empleó un mazo de caucho para realizar golpes ligeros en la superficie exterior del encofrado cilíndrico para eliminar el aire que se encuentra en el hormigón finalmente enraizar la superficie.

3.14 ENSAYO AL HORMIGÓN FRESCO

3.14.1 ASENTAMIENTO

La trabajabilidad de la mezcla de hormigón es calificada visualmente dado que hasta el día de hoy no hay un ensayo que mida las características y propiedad de la mezcla directamente. Por otra parte, existen varios ensayos que pueden ayudar a determinar las propiedades de la mezcla de hormigón en su estado plástico (fresco) debido a la consistencia, fluidez, cohesión y grado de compactación, uno de los ensayos más usados para determinar las características del hormigón es el ensayo de asentamiento.

La muestra que se toma para el ensayo de asentamiento se lo hace del tercio medio de toda la mezcla, este ensayo se lo realiza en base la (NTE INEN 1578, 2010) mediante el uso del “Cono de Abrams” y se lo hace en hormigones que presentan un tamaño nominal del agregado grueso menor o igual a 3.81cm.

Una vez que se haya mezclado por completo el hormigón en la concreteira se procede a sacar la mezcla de la concreteira y con ayuda de una pala se uniformiza la mezcla para coger la muestra del tercio medio y proceder a introducirlo en el cono de Abrams en tres capas de igual volumen y espesor, y varillar con 25 golpes cada capa para dejar salir el aire encerrado en la mezcla, luego de introducir la última capa enrazar con la varilla y retirar los excesos que estén alrededor del cono de Abrams, levantar el cono luego de un periodo de 5 ± 2 segundos. Dar la vuelta al cono de Abrams, colocar la varilla y con ayuda de un flexómetro medir la distancia existente entre la varilla hasta el punto más bajo del hormigón.

Este ensayo se realiza para comprobar la trabajabilidad que hay en la mezcla de hormigón en función de su consistencia ya que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez que presenta el asentamiento del cono de Abrams y así controlar la calidad de la mezcla de hormigón.

3.14.1.1 Asentamiento del hormigón simple sin fibra



Fotografía 67: Asentamiento del hormigón simple
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.14.1.2 Asentamiento del hormigón simple con fibra



Fotografía 68: Asentamiento del hormigón simple con fibras
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.14.2 DENSIDAD Y CONTENIDO DE AIRE

Para determinar la Densidad del hormigón se pesa el recipiente cilíndrico y se toman las medidas del diámetro y altura, luego introducir el hormigón en tres capas se procede a compactar cada capa con 25 golpes y enrazar el recipiente retirar los excesos y pesar el recipiente más el hormigón.

Para el contenido de aire se procede hacer uso del medidor tipo B y se procede de la misma manera a introducir el hormigón en el medidor en tres capas, se compacta cada capa con 25 golpes y de enraza el medidor para proceder a taparlo cerrando la válvula de aire manteniendo abiertas las llaves de purga para colocar agua con una pipeta hasta que el agua salga por las llaves de purga apuesta. Bombear aire hasta cerrar el manómetro y abrir la válvula principal, esperar que el manómetro se estabilice y proceder a tomar la lectura (ASTM C 231, 2014).



Fotografía 69: Ensayo de contenido de aire
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.14.3 ENSAYO DE TEMPERATURA

La necesidad de realizar este ensayo en el hormigón fresco es garantizar la trabajabilidad del hormigón y que la temperatura no exceda los 70°C, y este ensayo se lo hace en base al (ASTM C 1064, 2012) donde se detalla el procedimiento a seguir para tomar la temperatura, el cual se lo hace con un termómetro digital sumergiendo al menos 75 milímetros en la mezcla de hormigón durante 5 minutos y proceder a notar la lectura.

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 C 1064, 2012).



Fotografía 70: Toma de temperatura al hormigón fresco
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.14.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS APLICADOS AL HORMIGÓN FRESCO

A continuación, se presenta una tabla de los resultados obtenidos a las diferentes mezclas de hormigón simple con sus respectivas variables.

Tabla 102:*Resultados ensayos al hormigón fresco.*

	Tratamiento	Fibra %	Diseño kgf/cm ²	Asentamiento mm	Densidad kg/cm ³	Contenido de aire %	Temperatura del Hormigón °C
Hormigón simple sin fibra	-----	---	210	90	2248,24	2	18,5
			240	95	2293,18	2.3	17,8
Hormigón simple con fibra	Hidróxido de sodio	0.5% 1.0%	210	85	2247,72	2,5	17,6
				80	2220,34	2	18,3
		0.5% 1.0%	240	90	2220,05	2,6	19
				85	2217,90	3	17,5
	Agua caliente a 100°C	0.5% 1.0%	210	80	2257,64	2,4	18,9
				75	2189,20	3.2	19,5
		0.5% 1.0%	240	90	2212,07	2,5	16,7
				80	2183,30	3.1	17,5

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.15 ELABORACIÓN DESENCOFRADO Y CURADO DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS.

3.15.1 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS

Las probetas cilíndricas de hormigón simple con fibra y sin fibras fueron elaboradas todas con las mismas dimensiones de 150x300mm, para cada variable se usó una sola mezcla que cubra el volumen completo que se necesitaba por las 21 probetas cilíndricas. Se procedió ajustar los moldes cilíndricos para engrasarlos y ubicarlos en una parte plana que se encuentra en el laboratorio de suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Después de preparar la mezcla se empezó a introducir el hormigón en los moldes cilíndricos en tres capas cada una de ellas compactadas por 25 golpes dadas con una varilla y a su vez para eliminar los espacios vacíos que se generan al introducir el hormigón en el molde se le dio de 10 a 15 golpes con un mazo la superficie exterior del molde cilíndrico, finalmente se enraza y se limpia el exceso del hormigón. Ubicar los cilindros en el área del laboratorio de suelos de curado inicial y procurar no moverlos durante las próximas 24±8 hasta que pasen a la cama de curado final.



Fotografía 71: Elaboración de las probetas cilíndricas de hormigón sin fibra
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Fotografía 72: Elaboración de las probetas cilíndricas de hormigón con fibra
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

3.15.2 DESENCOFRADO Y CURADO DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS

El desencofrado de las probetas cilíndricas de hormigón simple sin fibra y con fibra se lo hizo a las 24 ± 8 horas posterior a su fundición (NEC-SE-HM, 2015) para lograr así un fraguado completo.

El curado de las probetas cilíndricas para nuestro estudio, se propuso colocarlas en las cámaras de curado del laboratorio de suelos de la PUCE durante 14, 28 y 56 días, ya que a mayor cantidad de humedad retenida la eficiencia del curado será optima (NEC-SE-HM, 2015) y mientras más tiempo pasen las probetas de hormigón en las cámaras de curado se podrá a determinar de mejor manera la durabilidad o degradación de la fibra sometidas a los 2 tratamientos químicos y así comprobar la efectividad de dichos tratamientos.



Fotografía 73: Curado de las probetas de hormigón simple con fibras y sin fibras
Elaborado: Chiquito, J & Eras, G

CAPÍTULO IV: ETAPA EXPERIMENTAL

4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS

Para determinar la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de hormigón simple sin fibra y con fibra se recurrió a la ecuación del parámetro mecánico (Resistencia) y la ecuación que se empleó para calcular la resistencia mecánica a compresión es la siguiente mencionada en (Luna, 2014):

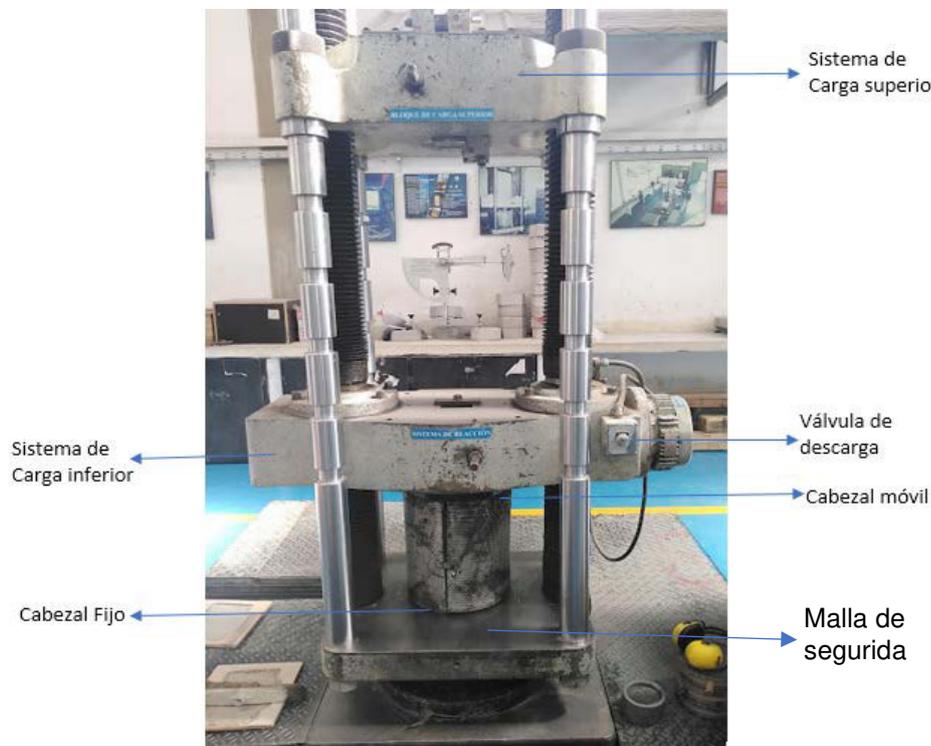
$$f'c = \frac{\text{Carga máxima a compresión(kgf)}}{\text{Área transversal de la sección del cilindro (cm}^2\text{)}} \quad \text{Ec.(35)}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a la compresión, expresada en kgf/cm^2

4.1.1 EQUIPO DE ENSAYO

Se empleó la maquina universal de ensayo a compresión de cilindros del Laboratorio la cual se puede ver en la siguiente figura:



Fotografía 74: Maquina universal de cargas
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

El procedimiento a seguir para determinar la resistencia a compresión se describe a continuación:

- Se procede a pesar los cilindros.
- Se miden dos diámetros y tres alturas y obtener un promedio de dichas medidas como se visualiza en la tabla.
- Se obtiene el área de la sección circular en la cual se aplicará la carga.
- Se procede a multiplicar la altura promedio por el área de la sección y así obtener la masa específica del hormigón por cada variable que se tiene.
- Para ubicar el cilindro en la máquina de ensayo universal se coloca un neopreno en la cara que se aplica la carga para que esta quede nivelada y liza y la carga se distribuya uniformemente y perpendicular sobre la sección.
- Se procede a ubicar el cilindro en la parte central de la maquina universal de ensayo.
- Bajar el plato superior hasta hacer contacto con el cilindro poner la malla de seguridad para evitar algún accidente cuando el cilindro falle por carga vertical.
- Aplicar la carga hasta que el cilindro falle y anotar la carga resistida.

4.1.1.1 Resistencia a la compresión ($f'c$)

Para determinar la resistencia promedio de hormigón simple con fibras y sin fibras se realizó ensayos destructivos de compresión en las probetas cilíndricas como indica la (NTE INEN 1855-2, 2015), se ensayaron 6 probetas cilíndricas por cada variable y edades para obtener una resistencia promedio por cada variable estudiada.

Se identifica los cilindros con fecha de elaboración, fecha de ensayo, resistencia y nombre de tratamiento recibido la fibra, dimensiones para así obtener los pesos específicos de las probetas cilíndricas por cada variable a estudiar las mismas que se detallan en las tablas que se muestran a continuación.



Fotografía 75: Toma de dimensiones de las probetas cilíndricas
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

4.1.1.2 Nomenclatura usada para los ensayos

Para nombrar a los especímenes usados en los ensayos, se utiliza la nomenclatura mencionada en la **Tabla 103**.

Donde:

T1: Tratamiento 1 (Hidróxido de sodio, NaOH).

T2: Tratamiento 2 (Agua caliente a 100°C).

0.5%F o 1.0%F: *F es Fibra*, donde indica el porcentaje de fibra que se utiliza en los respecto al volumen total.

210 y 240: Son las resistencias, 21MPa y 24MPa, respectivamente.

Tabla 103:

Descripción de la nomenclatura usada al nombrar a los especímenes según sus características.

Nomenclatura	Descripción
210-SF	Hormigón simple, $f'c = 21\text{MPa}$ sin fibra.
240-SF	Hormigón simple, $f'c = 24\text{MPa}$ sin fibra.
T1-210-0.5%F	Tratamiento 1, $f'c = 21\text{MPa}$, hormigón simple con fibra al 0.5% respecto del volumen total
T1-210-1.0%F	Tratamiento 1, $f'c = 21\text{MPa}$, hormigón simple con fibra al 1.0% respecto del volumen total
T2-210-0.5%F	Tratamiento 2, $f'c = 21\text{MPa}$, hormigón simple con fibra al 0.5% respecto del volumen total
T2-210-1.0%F	Tratamiento 2, $f'c = 21\text{MPa}$, hormigón simple con fibra al 1.0% respecto del volumen total
T1-240-0.5%F	Tratamiento 1, $f'c = 24\text{MPa}$, hormigón simple con fibra al 0.5% respecto del volumen total
T1-240-1.0%F	Tratamiento 1, $f'c = 24\text{MPa}$, hormigón simple con fibra al 1.0% respecto del volumen total
T2-240-0.5%F	Tratamiento 2, $f'c = 24\text{MPa}$, hormigón simple con fibra al 0.5% respecto del volumen total
T2-240-1.0%F	Tratamiento 2, $f'c = 24\text{MPa}$, hormigón simple con fibra al 1.0% respecto del volumen total

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

• **TABLAS DE DIMENSIONES Y PESOS DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS**

Tabla 104:

Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kg/cm² sin fibra.

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico Promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
1	210- SF	14	24-ago-21	06-sep-21	15,15	15,19	15,17	30,00	30,05	30,06	30,04	12,12	180,75	5429,33	2,2	2,3
2					14,97	15,02	14,99	29,92	29,86	30,10	29,96	11,92	176,57	5289,49	2,3	
3					15,16	15,00	15,08	30,61	30,62	30,63	30,62	12,56	178,58	5468,15	2,3	
4					15,28	15,11	15,20	29,99	29,99	30,06	30,01	12,96	181,37	5443,91	2,4	
5					15,29	15,11	15,20	29,95	30,02	30,02	30,00	12,10	181,35	5439,86	2,2	
6					15,33	15,32	15,32	30,49	30,53	30,55	30,52	12,65	184,40	5628,47	2,2	
7	210- SF	28	24-ago-21	20-sep-21	15,40	15,34	15,37	30,38	30,48	30,38	30,41	12,75	185,53	5641,66	2,3	2,3
8					15,41	15,43	15,42	30,58	30,48	30,63	30,56	12,78	186,68	5705,70	2,2	
9					15,11	15,23	15,17	30,00	29,99	30,11	30,03	12,24	180,75	5428,25	2,3	
10					14,97	15,02	14,99	30,57	30,79	30,59	30,65	12,33	176,53	5411,06	2,3	
11					15,41	15,29	15,35	30,59	30,43	30,55	30,52	12,77	184,96	5645,44	2,3	
12					15,20	15,22	15,21	30,36	30,37	30,44	30,39	12,43	181,64	5519,72	2,3	
13	210- SF	56	24-ago-21	18-oct-21	14,83	14,95	14,89	30,03	30,12	30,03	30,06	11,93	174,04	5231,02	2,3	2,3
14					14,94	14,99	14,97	30,12	30,08	30,07	30,09	12,09	175,89	5292,91	2,3	
15					15,10	15,13	15,12	30,28	30,16	30,15	30,20	12,32	179,48	5419,82	2,3	
16					15,31	15,13	15,22	30,67	30,74	30,90	30,77	12,68	181,97	5599,16	2,3	
17					15,15	15,18	15,17	30,40	30,44	30,40	30,41	12,45	180,68	5495,18	2,3	
18					15,09	15,04	15,06	30,23	30,23	30,25	30,24	12,13	178,24	5389,25	2,3	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 105:*Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kg/cm² sin fibra.*

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
1	240- SF	14	26-ago-21	06-sep-21	14,90	15,00	14,95	30,00	29,80	30,06	29,95	11,96	175,54	5258,20	2,3	2,3
2					14,90	15,00	14,95	29,70	30,00	30,10	29,93	11,97	175,54	5254,16	2,3	
3					15,00	15,00	15,00	29,80	29,80	30,63	30,08	12,08	176,71	5314,99	2,3	
4					15,10	15,30	15,20	29,70	29,80	30,06	29,85	12,08	181,46	5417,14	2,2	
5					15,40	15,00	15,20	30,60	30,20	30,02	30,27	12,83	181,46	5493,47	2,3	
6					14,80	15,00	14,90	30,00	30,00	30,55	30,18	12,23	174,37	5263,01	2,3	
7	240- SF	28	26-ago-21	22-sep-21	15,46	15,29	15,38	30,41	30,20	30,00	30,20	12,51	185,67	5607,94	2,2	2,3
8					15,16	15,12	15,14	30,10	30,00	29,90	30,00	12,34	180,04	5401,22	2,3	
9					15,09	15,25	15,17	29,90	30,10	29,80	29,93	12,34	180,72	5409,52	2,3	
10					15,17	15,49	15,33	30,30	30,30	30,20	30,27	12,65	184,53	5585,03	2,3	
11					15,21	15,36	15,28	29,90	29,90	29,70	29,83	12,31	183,43	5472,43	2,2	
12					15,11	15,02	15,07	30,00	29,70	29,80	29,83	12,30	178,25	5317,77	2,3	
13	240- SF	56	26-ago-21	09-nov-21	15,1	15,1	15,10	29,95	30,04	30,11	30,03	12,51	179,17	5381,18	2,3	2,3
14					15,4	15,5	15,44	30,56	30,70	30,73	30,66	12,34	187,25	5741,46	2,1	
15					15,1	15,3	15,19	30,00	30,10	30,33	30,14	12,34	181,28	5464,55	2,3	
16					15,1	15,1	15,11	30,01	30,09	29,99	30,03	12,65	179,32	5384,62	2,3	
17					15,2	15,2	15,17	30,64	30,74	29,99	30,46	12,31	180,67	5502,71	2,2	
18					15	15,1	15,05	29,98	30,04	30,74	30,25	12,30	177,79	5378,45	2,3	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 106:

Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de NaOH.

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
1	T1-210- 0,5% F	14	24-ago-21	06-sep-21	15,10	15,20	15,15	30,35	30,26	30,24	30,28	12,34	180,20	5456,61	2,3	2,2
2					15,12	15,00	15,06	30,41	30,35	30,22	30,33	12,11	178,04	5398,96	2,2	
3					14,91	14,97	14,94	30,26	30,21	30,28	30,25	12,03	175,27	5301,76	2,3	
4					15,10	15,28	15,19	30,20	30,45	30,31	30,32	12,33	181,26	5495,43	2,2	
5					15,12	15,15	15,13	30,37	30,30	30,31	30,32	12,21	179,90	5455,04	2,2	
6					15,15	15,13	15,14	29,90	29,87	30,50	30,09	12,03	179,99	5415,75	2,2	
7	T1-210- 0,5% F	28	24-ago-21	20-sep-21	15,20	15,08	15,14	29,99	30,09	30,00	30,03	12,16	180,00	5405,37	2,2	2,2
8					15,14	15,09	15,12	30,25	30,28	30,38	30,30	12,31	179,46	5438,43	2,3	
9					15,09	15,15	15,12	30,20	30,17	30,18	30,18	12,10	179,51	5417,79	2,2	
10					15,46	15,38	15,42	30,69	30,79	30,19	30,56	12,87	186,80	5707,91	2,3	
11					15,24	15,26	15,25	30,04	30,03	30,19	30,09	12,23	182,56	5492,51	2,2	
12					15,07	15,05	15,06	29,84	30,03	29,99	29,95	11,95	178,05	5332,61	2,2	
13	T1-210- 0,5% F	56	24-ago-21	18-oct-21	14,96	15,01	14,98	30,07	30,03	30,02	30,04	11,85	176,35	5297,36	2,2	2,2
14					15,44	15,40	15,42	31,03	31,06	31,09	31,06	13,04	186,71	5799,24	2,2	
15					15,13	15,07	15,10	30,18	30,08	30,12	30,12	12,29	179,09	5394,56	2,3	
16					15,16	15,13	15,14	30,21	30,15	30,14	30,17	12,23	180,10	5432,96	2,3	
17					15,15	15,35	15,25	30,12	30,06	30,14	30,10	12,35	182,68	5499,34	2,2	
18					14,92	15,19	15,06	29,77	29,93	29,96	29,88	11,82	178,07	5321,33	2,2	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 107:

Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kgf/cm² al 1% de fibra con tratamiento de NaOH.

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
1	T1-210- 1,0% F	14	31-ago-21	13-sep-21	15,39	15,25	15,32	30,60	30,61	30,70	30,64	12,40	184,32	5646,73	2,2	2,2
2					15,20	15,30	15,25	30,33	30,38	30,36	30,36	12,32	182,75	5547,74	2,2	
3					15,00	15,17	15,09	30,26	30,38	30,46	30,37	11,98	178,81	5429,50	2,2	
4					15,09	15,17	15,13	30,32	30,45	30,29	30,35	12,19	179,84	5458,82	2,2	
5					15,41	15,42	15,41	30,57	30,83	30,29	30,56	12,77	186,57	5701,88	2,2	
6					15,07	15,06	15,06	30,18	30,17	30,77	30,37	12,00	178,21	5413,13	2,2	
7	T1-210- 1,0% F	28	31-ago-21	27-sep-21	15,35	15,23	15,29	30,33	30,28	30,37	30,32	12,05	183,58	5566,68	2,2	2,2
8					15,11	15,03	15,07	30,22	30,15	30,24	30,20	11,93	178,36	5386,53	2,2	
9					15,01	15,01	15,01	30,73	30,48	30,61	30,61	12,14	176,88	5414,05	2,2	
10					15,17	15,16	15,16	30,33	30,21	30,29	30,28	12,21	180,58	5467,66	2,2	
11					15,27	15,19	15,23	30,63	30,65	30,29	30,52	12,49	182,12	5558,96	2,2	
12					15,18	14,88	15,03	29,92	30,36	30,61	30,30	11,87	177,39	5374,46	2,2	
13	T1-210- 1,0% F	56	31-ago-21	25-oct-21	15,16	15,15	15,15	30,55	30,54	30,54	30,54	12,43	180,36	5508,79	2,3	2,2
14					15,05	14,99	15,02	30,17	30,28	30,03	30,16	11,77	177,12	5341,74	2,2	
15					15,13	15,18	15,15	30,35	30,25	30,31	30,30	12,12	180,35	5464,96	2,2	
16					15,51	15,34	15,42	30,72	30,78	30,79	30,76	12,84	186,86	5748,63	2,2	
17					15,04	15,23	15,13	30,14	30,23	30,79	30,38	12,02	179,86	5464,99	2,2	
18					14,99	15,07	15,03	30,30	30,21	30,21	30,24	12,20	177,45	5366,02	2,3	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 108:

Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de NaOH.

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
1	T1-240- 0,5% F	14	31-ago-21	13-sep-21	15,39	15,00	15,20	30,68	30,69	30,61	30,66	12,54	181,35	5559,80	2,3	2,2
2					15,44	15,53	15,48	30,54	30,67	30,46	30,56	12,34	188,27	5752,60	2,1	
3					15,10	15,16	15,13	30,06	29,98	29,98	30,01	11,94	179,77	5394,69	2,2	
4					15,16	15,10	15,13	30,16	30,15	29,91	30,07	11,92	179,85	5408,40	2,2	
5					15,40	15,38	15,39	30,37	30,36	29,91	30,21	12,95	186,02	5619,89	2,3	
6					15,08	15,28	15,18	30,32	30,21	30,51	30,35	12,17	180,98	5492,18	2,2	
7	T1-240- 0,5% F	28	31-ago-21	27-sep-21	15,13	15,11	15,12	30,50	30,55	30,30	30,45	12,34	179,54	5467,04	2,3	2,2
8					14,86	15,12	14,99	29,90	29,94	29,72	29,85	11,78	176,41	5266,44	2,2	
9					15,19	15,12	15,16	30,28	30,20	30,11	30,20	12,09	180,39	5447,22	2,2	
10					15,12	15,15	15,14	30,52	30,79	30,71	30,67	12,54	179,92	5518,62	2,3	
11					15,40	15,42	15,41	30,65	30,61	30,71	30,65	12,66	186,53	5718,05	2,2	
12					15,14	15,17	15,15	30,20	30,60	30,62	30,47	12,22	180,27	5493,32	2,2	
13	T1-240- 0,5% F	56	31-ago-21	25-oct-21	15,06	15,08	15,07	30,18	30,27	30,19	30,22	12,45	178,45	5391,95	2,3	2,2
14					15,05	15,02	15,03	30,42	30,75	30,53	30,57	12,12	177,50	5425,43	2,2	
15					15,05	15,02	15,03	30,27	30,28	30,14	30,23	12,02	177,52	5366,45	2,2	
16					15,27	15,11	15,19	30,55	30,57	30,67	30,59	12,18	181,32	5547,28	2,2	
17					15,26	15,22	15,24	30,25	30,22	30,67	30,38	12,36	182,38	5540,24	2,2	
18					15,07	14,93	15,00	29,81	29,87	30,24	29,97	11,85	176,69	5295,31	2,2	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 109:

Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 1% de fibra con tratamiento de NaOH.

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
1	T1-240- 1,0% F	14	31-ago-21	13-sep-21	15,20	15,16	15,18	30,13	30,07	30,01	30,07	12,04	180,98	5442,10	2,2	2,2
2					15,38	15,39	15,39	30,70	30,78	30,54	30,67	12,65	185,90	5702,24	2,2	
3					15,25	15,00	15,13	30,20	30,35	30,40	30,32	12,12	179,67	5447,06	2,2	
4					15,35	15,40	15,38	30,60	30,54	30,60	30,58	12,50	185,66	5677,51	2,2	
5					15,19	15,19	15,19	30,27	30,25	30,60	30,37	12,08	181,22	5504,37	2,2	
6					15,04	15,10	15,07	30,15	30,25	30,16	30,19	12,12	178,37	5384,39	2,3	
7	T1-240- 1,0% F	28	31-ago-21	27-sep-21	15,28	15,34	15,31	30,83	30,99	30,92	30,91	12,55	184,09	5690,72	2,2	2,2
8					15,17	15,12	15,14	30,08	30,10	30,09	30,09	12,06	180,06	5417,78	2,2	
9					15,07	15,26	15,17	30,76	30,66	30,70	30,71	12,59	180,62	5546,71	2,3	
10					15,19	14,95	15,07	30,35	30,40	30,41	30,38	12,06	178,32	5418,21	2,2	
11					15,04	15,12	15,08	30,14	30,21	30,41	30,25	11,96	178,52	5401,11	2,2	
12					15,17	14,91	15,04	30,32	30,29	30,08	30,23	11,40	177,66	5370,55	2,1	
13	T1-240- 1,0% F	56	31-ago-21	25-oct-21	15,05	15,16	15,11	30,09	30,20	30,16	30,15	12,05	179,21	5402,98	2,2	2,2
14					15,01	15,02	15,01	30,20	30,21	30,26	30,22	11,96	177,01	5349,51	2,2	
15					15,20	15,45	15,33	30,80	30,73	30,73	30,75	12,73	184,50	5673,85	2,2	
16					15,44	15,40	15,42	30,59	30,61	30,56	30,59	12,64	186,75	5711,78	2,2	
17					15,38	15,40	15,39	30,67	30,52	30,56	30,58	12,62	186,06	5690,32	2,2	
18					15,28	15,23	15,26	30,72	30,72	30,54	30,66	12,44	182,77	5603,42	2,2	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 110:

Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
1	T2-210- 0,5% F	14	02-sep-21	15-sep-21	15,13	15,18	15,16	30,81	30,80	30,89	30,83	12,62	180,45	5563,12	2,3	2,2
2					15,33	15,51	15,42	30,62	30,69	30,62	30,64	12,86	186,75	5722,43	2,2	
3					15,13	15,03	15,08	30,10	30,11	30,09	30,10	12,07	178,52	5373,38	2,2	
4					14,96	15,15	15,05	30,15	30,17	30,07	30,13	12,22	177,98	5362,40	2,2	
5					15,14	15,29	15,21	30,66	30,69	30,07	30,47	12,60	181,76	5538,74	2,3	
6					15,29	15,19	15,24	30,49	30,61	30,66	30,59	12,51	182,34	5577,26	2,2	
7	T2-210- 0,5% F	28	02-sep-21	29-sep-21	14,93	15,24	15,09	30,75	30,87	30,85	30,82	12,20	178,75	5509,15	2,2	2,2
8					15,28	15,16	15,22	30,17	30,18	30,16	30,17	12,16	181,90	5487,99	2,2	
9					15,10	15,13	15,12	30,47	30,56	30,57	30,53	12,25	179,43	5477,96	2,2	
10					15,29	15,14	15,21	30,59	30,50	30,46	30,52	12,51	181,77	5547,41	2,3	
11					15,40	15,24	15,32	30,15	30,14	30,46	30,25	12,42	184,38	5578,20	2,2	
12					15,08	15,47	15,28	30,54	30,53	30,19	30,42	12,59	183,27	5575,18	2,3	
13	T2-210- 0,5% F	56	02-sep-21	27-oct-21	15,31	15,49	15,40	30,56	30,57	30,68	30,60	12,61	186,27	5699,71	2,2	2,2
14					15,23	15,42	15,32	30,91	30,91	30,88	30,90	12,83	184,44	5699,60	2,3	
15					14,97	15,10	15,04	31,03	31,03	30,89	30,98	12,82	177,56	5501,05	2,3	
16					15,11	15,16	15,14	30,33	30,36	30,34	30,34	12,19	179,97	5461,11	2,2	
17					15,12	15,22	15,17	30,57	30,48	30,34	30,46	12,20	180,74	5506,21	2,2	
18					15,22	15,06	15,14	30,24	30,26	30,48	30,33	12,25	180,02	5459,07	2,2	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 111:Dimensiones y pesos de los cilindros 210 kgf/cm² al 1.0% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
1	T2-210- 1,0% F	14	08-sep-21	22-sep-21	15,00	14,83	14,91	30,35	30,34	30,30	30,33	11,63	174,69	5298,65	2,2	2,2
2					14,91	15,09	15,00	30,32	30,29	30,33	30,31	11,62	176,77	5358,71	2,2	
3					15,13	15,06	15,09	30,06	30,07	30,07	30,07	11,79	178,92	5379,84	2,2	
4					15,03	15,19	15,11	30,06	29,98	30,03	30,02	11,83	179,22	5380,63	2,2	
5					15,19	15,20	15,20	30,68	30,70	30,03	30,47	12,15	181,35	5525,40	2,2	
6					15,25	15,29	15,27	30,95	30,98	30,69	30,87	12,46	183,11	5653,26	2,2	
7	T2-210- 1,0% F	28	08-sep-21	05-oct-21	15,23	15,07	15,15	30,40	30,30	30,70	30,47	12,29	180,23	5491,03	2,2	2,2
8					15,24	15,29	15,26	30,30	30,30	30,50	30,37	12,11	182,95	5555,69	2,2	
9					15,09	15,22	15,15	29,90	30,00	30,00	29,97	11,81	180,29	5402,70	2,2	
10					15,27	15,59	15,43	31,00	30,70	30,70	30,80	12,63	186,98	5758,96	2,2	
11					15,38	15,42	15,40	30,40	30,50	30,70	30,53	12,52	186,35	5689,88	2,2	
12					15,38	15,44	15,41	30,60	30,70	30,50	30,60	12,64	186,43	5704,89	2,2	
13	T2-210- 1,0% F	56	08-sep-21	02-nov-21	15,39	15,42	15,40	30,29	30,44	30,37	30,37	12,21	186,36	5659,19	2,2	2,2
14					15,04	15,01	15,02	30,39	30,34	30,28	30,34	12,00	177,27	5377,74	2,2	
15					15,07	15,07	15,07	30,31	30,30	30,22	30,28	12,00	178,40	5401,64	2,2	
16					15,48	15,14	15,31	30,30	30,30	30,21	30,27	12,00	184,09	5572,35	2,2	
17					15,14	15,12	15,13	30,47	30,57	30,21	30,41	12,00	179,81	5468,88	2,2	
18					15,06	15,09	15,07	29,99	30,00	30,51	30,17	12,00	178,45	5383,14	2,2	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 112:

Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
1	T2-240- 0,5% F	14	02-sep-21	15-sep-21	15,12	15,20	15,16	30,71	30,75	30,75	30,74	12,49	180,47	5546,83	2,3	2,2
2					15,00	15,25	15,12	30,43	30,39	30,42	30,41	12,05	179,62	5462,38	2,2	
3					15,16	15,25	15,20	30,19	30,20	30,18	30,19	12,00	181,53	5480,88	2,2	
4					15,26	15,19	15,23	30,24	30,22	30,14	30,20	12,06	182,06	5498,33	2,2	
5					15,49	15,49	15,49	30,21	30,95	30,14	30,43	12,62	188,41	5734,19	2,2	
6					15,14	15,10	15,12	30,12	30,14	31,08	30,45	12,14	179,55	5466,56	2,2	
7	T2-240- 0,5% F	28	02-sep-21	29-sep-21	15,02	15,03	15,02	30,46	30,43	30,42	30,44	12,19	177,27	5395,29	2,2	2,2
8					15,20	15,02	15,11	30,57	30,41	30,34	30,44	12,44	179,27	5457,05	2,2	
9					15,33	15,32	15,33	30,63	30,60	30,66	30,63	12,78	184,47	5650,60	2,3	
10					15,00	15,01	15,00	30,39	30,40	30,37	30,39	12,11	176,81	5372,40	2,2	
11					15,16	15,08	15,12	30,20	30,25	30,37	30,27	12,16	179,61	5437,54	2,2	
12					15,12	15,09	15,10	30,56	30,56	30,28	30,46	12,39	179,08	5455,39	2,3	
13	T2-240- 0,5% F	56	02-sep-21	27-oct-21	15,26	15,15	15,20	30,61	30,61	30,54	30,58	12,42	181,55	5552,40	2,2	2,2
14					14,96	15,08	15,02	30,49	30,41	30,45	30,45	12,15	177,17	5394,84	2,3	
15					15,04	15,07	15,06	30,24	30,26	30,23	30,24	12,03	178,07	5385,43	2,2	
16					15,16	15,15	15,15	29,98	29,97	30,07	30,01	11,88	180,36	5411,93	2,2	
17					15,18	15,22	15,20	29,94	30,03	30,07	30,01	12,15	181,41	5444,92	2,2	
18					15,21	15,13	15,17	30,12	30,14	30,01	30,09	12,17	180,75	5438,85	2,2	

Tabla 113: Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 0.5% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 114:

Dimensiones y pesos de los cilindros 240 kgf/cm² al 1.0% de fibra con tratamiento de Agua Caliente.

# Cilindros	Descripción	Edad	Fecha de Fabricación	Fecha de Ruptura	Diámetro		Diámetro Promedio	Altura			Altura Promedio	Peso	Área	Volumen	Peso específico	Peso específico promedio
			dd/mm/aa	dd/mm/aa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	cm ²	cm ³	g/cm ³	gr/cm ³
1	T2-240- 1,0% F	14	08-sep-21	22-sep-21	15,13	15,20	15,17	30,34	30,11	30,31	30,25	11,95	180,67	5465,97	2,19	2,2
2					15,08	15,02	15,05	30,34	30,36	30,28	30,33	11,77	177,87	5394,83	2,18	
3					15,19	15,24	15,21	30,43	30,34	30,49	30,42	12,18	181,77	5529,35	2,20	
4					15,24	15,18	15,21	30,50	30,58	30,52	30,53	12,19	181,75	5549,34	2,20	
5					15,13	15,18	15,15	30,35	30,19	30,52	30,35	11,87	180,36	5474,64	2,17	
6					15,25	15,15	15,20	30,13	30,19	30,14	30,16	11,80	181,51	5473,38	2,16	
7	T2-240- 1,0% F	28	08-sep-21	05-oct-21	15,39	15,46	15,42	30,60	30,50	30,50	30,53	12,56	186,81	5703,92	2,20	2,2
8					15,25	15,16	15,21	29,80	29,90	30,00	29,90	12,11	181,67	5432,03	2,23	
9					15,49	15,23	15,36	30,50	30,50	30,40	30,47	12,31	185,24	5643,60	2,18	
10					15,35	15,25	15,30	30,49	30,66	30,63	30,60	12,20	183,83	5624,33	2,17	
11					15,18	15,09	15,14	30,26	30,18	30,63	30,36	11,96	179,93	5462,12	2,19	
12					14,93	14,96	14,94	30,19	30,01	30,13	30,11	11,28	175,34	5279,16	2,14	
13	T2-240- 1,0% F	56	08-sep-21	02-nov-21	15,17	15,26	15,22	30,39	30,39	30,33	30,37	11,74	181,82	5522,50	2,13	2,2
14					15,22	15,21	15,21	30,54	30,59	30,56	30,56	12,31	181,79	5556,13	2,22	
15					15,30	15,23	15,26	30,55	30,65	30,76	30,65	12,24	182,99	5609,18	2,18	
16					15,09	15,02	15,05	30,10	30,09	30,05	30,08	11,78	177,98	5353,86	2,20	
17					15,28	15,23	15,26	30,17	30,09	30,05	30,11	11,81	182,85	5504,70	2,15	
18					14,97	15,15	15,06	30,36	30,41	30,14	30,30	11,97	178,18	5399,58	2,22	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

El peso específico del hormigón en condiciones normales oscila entre 2.30 y 2.50 gr/cm³ (Luna, 2014). Los resultados obtenidos en el hormigón simple de resistencias de diseño 210 kgf/cm² y 240 kgf/cm² sin fibras arrojaron un valor promedio igual a 2.30 gr/cm³ respectivamente lo cual es correcto.

Mientras que para el hormigón simple con fibras naturales la masa específica promedio en todas las variables fue 2.20 gr/cm³ lo cual era de esperarse una reducción del peso respecto al hormigón sin fibras ya que al reducir el agregado grueso por el 0.5% y 1.0 % de fibra se redujo el peso de la probeta cilíndrica. Teniendo las dimensiones de las probetas cilíndricas se obtuvo el área de la sección travesar y con la carga máxima que soporta la probeta patrón se procede a calcular las resistencias a compresión de cada variable a estudiar haciendo uso de la f_c . Los resultados obtenidos se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 115:

Resistencia de cilindros de f_c 210 kgf/cm² sin fibra.

RESISTENCIA DE CILINDROS – 210 kgf/cm ² - SIN FIBRA								
# Cilindro	Descripción	Edad	Carga máxima aplicada	Área de la sección	Resistencia a la compresión		Resistencia a la compresión	
			kN	cm ²	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa
1	210-SF	14	394.2	180.75	222.31	21.81	199.27	19.55
2			301.3	176.57	173.94	17.06		
3			378.2	178.58	215.88	21.18		
4			352.7	181.37	198.23	19.45		
5			316.5	181.35	177.90	17.45		
6			375.1	184.40	207.36	20.34		
7	210-SF	28	448.8	185.5	246.60	24.19	264.33	25.93
8			473.5	186.7	258.57	25.37		
9			483.5	180.8	272.68	26.75		
10			482.8	176.5	278.80	27.35		
11			495.6	185.0	273.11	26.79		
12			456.5	181.6	256.21	25.13		
13	210-SF	56	572.24	174.04	335.17	32.88	371.31	36.43
14			674.35	175.89	390.81	38.34		
15			670.50	179.48	380.81	37.36		
16			694.30	181.97	388.93	38.15		
17			646.75	180.68	364.88	35.79		
18			642.15	178.24	367.26	36.03		

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

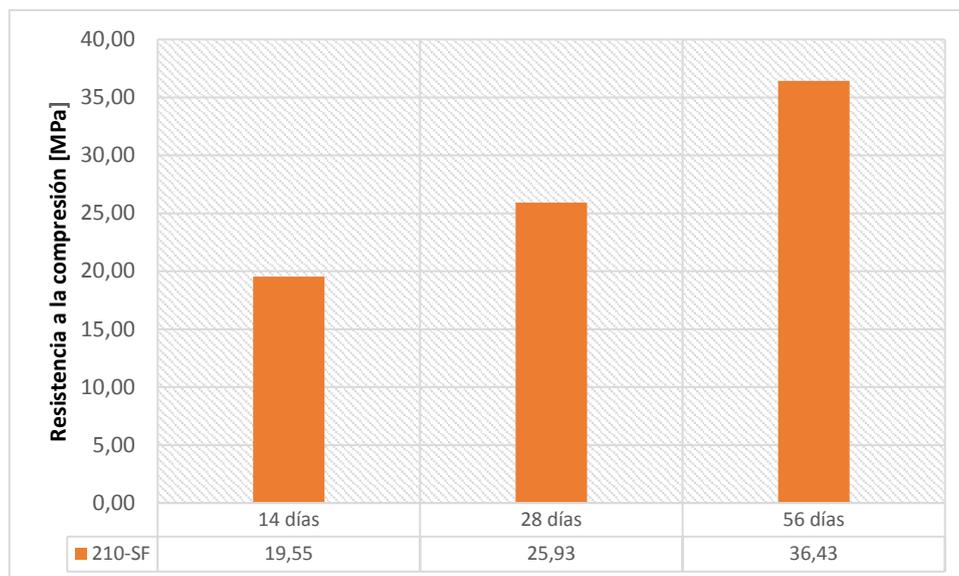


Figura 28: Resistencia a la compresión del hormigón sin fibra $f'c$ 210 kgf/cm² en 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 116:

Resistencia de cilindros de $f'c$ 240 kgf/cm² sin fibra.

RESISTENCIA DE CILINDROS – 240 kgf/cm ² - SIN FIBRA								
# Cilindro	Descripción	Edad	Carga máxima aplicada kN	Área de la sección cm ²	Resistencia a la compresión		Resistencia a la compresión	
					kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa
1	240-SF	14	374.8	175.5	209.39	21.35	205.00	20.90
2			378.7	175.5	211.56	21.57		
3			377.7	176.7	209.59	21.37		
4			363.4	181.5	196.39	20.03		
5			376.2	181.5	203.31	20.73		
6			355.2	174.4	199.77	20.37		
7	240-SF	28	495.7	185.7	272.15	26.70	272.89	26.77
8			485.4	180.0	274.83	26.96		
9			487.9	180.7	275.21	27.00		
10			483.5	184.5	267.10	26.20		
11			486.5	183.4	270.36	26.52		
12			485.6	178.2	277.70	27.24		
13	240-SF	56	580.6	179.2	330.32	32.40	337.30	33.09
14			598.1	187.2	325.61	31.94		
15			596.6	181.3	335.48	32.91		
16			587.5	179.3	333.98	32.76		
17			634.6	180.7	358.05	35.12		
18			593.6	177.8	340.37	33.39		

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

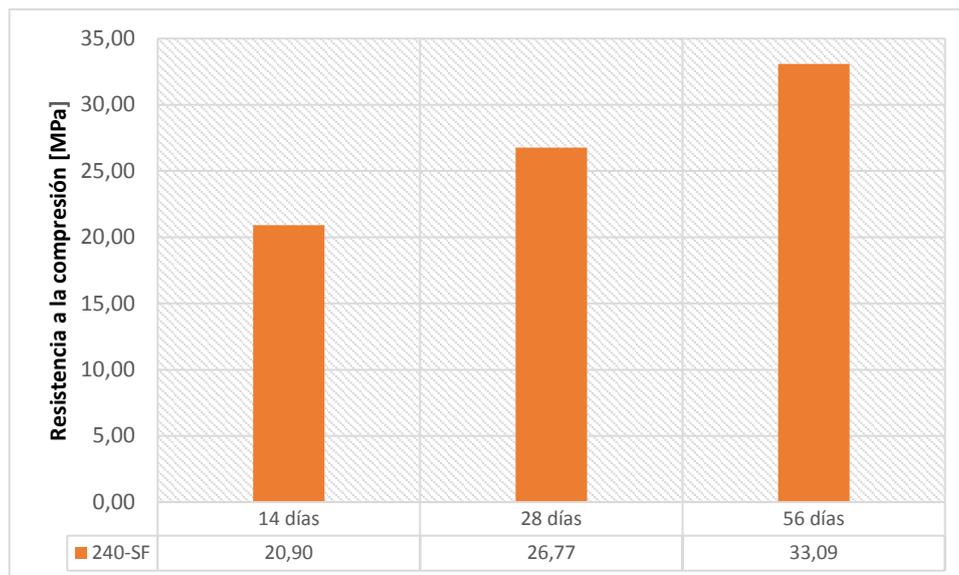


Figura 29: Resistencia a la compresión del hormigón sin fibra $f'c$ 240 kgf/cm^2 en 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 117:

Resistencia de cilindros de $f'c$ 210 kgf/cm^2 con fibra al 0.5% - T1: NaOH.

RESISTENCIA DE CILINDROS – 210 kgf/cm^2 CON FIBRA (0.5%) - T1: NaOH						
# Cilindro	Descripción	Edad	Carga máxima aplicada kN	Área de la sección cm^2	Resistencia a la compresión kgf/cm^2 MPa	Resistencia a la compresión kgf/cm^2 MPa
1	T1-210-0.5%F	14	371.4	180.2	210.10 20.61	201.48 19.76
2			338.0	178.0	193.53 18.98	
3			384.7	175.3	223.74 21.95	
4			350.2	181.3	196.95 19.32	
5			346.5	179.9	196.34 19.26	
6			332.3	180.0	188.19 18.46	
7	T1-210-0.5%F	28	401.2	180.0	227.18 22.29	265.81 26.08
8			492.2	179.5	279.58 27.43	
9			560.4	179.5	318.24 31.22	
10			521.5	186.8	284.59 27.92	
11			407.8	182.6	227.71 22.34	
12			449.9	178.0	257.56 25.27	
13	T1-210-0.5%F	56	665.3	176.3	384.54 37.72	377.17 37.00
14			674.6	186.7	368.31 36.13	
15			657.4	179.1	374.20 36.71	
16			658.7	180.1	372.81 36.57	
17			661.5	182.7	369.12 36.21	
18			688.4	178.1	394.05 38.66	

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

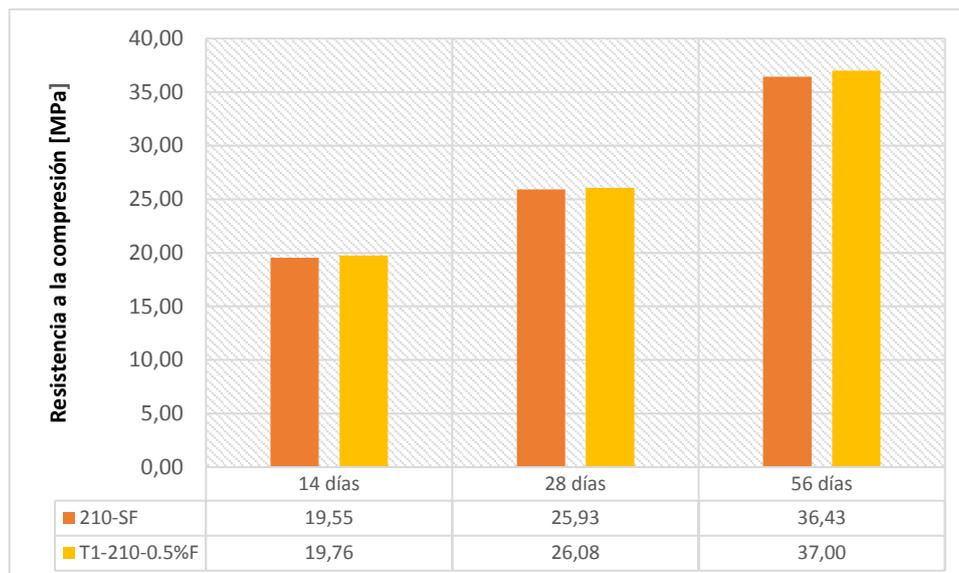


Figura 30: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 210kgf/cm² 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 118:

Resistencia de cilindros de $f'c$ 210 kgf/cm² con fibra al 1.0% - T1: NaOH.

RESISTENCIA DE CILINDROS – 210 kgf/cm ² CON FIBRA (1.0%) - T1: NaOH								
# Cilindro	Descripción	Edad	Carga máxima aplicada kN	Área de la sección cm ²	Resistencia a la compresión		Resistencia a la compresión	
					kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa
1	T1-210-1.0%F	14	338.6	184.3	187.26	18.37	165.13	16.20
2			306.6	182.7	171.02	16.78		
3			234.5	178.8	133.69	13.11		
4			297.8	179.8	168.80	16.56		
5			328.1	186.6	179.27	17.59		
6			263.6	178.2	150.78	14.79		
7	T1-210-1.0%F	28	486.0	183.6	269.87	26.47	258.07	25.32
8			414.1	178.4	236.66	23.22		
9			424.1	176.9	244.40	23.98		
10			519.3	180.6	293.15	28.76		
11			487.3	182.1	272.76	26.76		
12			403.0	177.4	231.59	22.72		
13	T1-210-1.0%F	56	520.2	180.4	293.99	28.84	316.78	31.08
14			508.0	177.1	292.36	28.68		
15			553.4	180.3	312.79	30.68		
16			621.8	186.9	339.21	33.28		
17			618.3	179.9	350.42	34.38		
18			543.0	177.4	311.92	30.60		

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

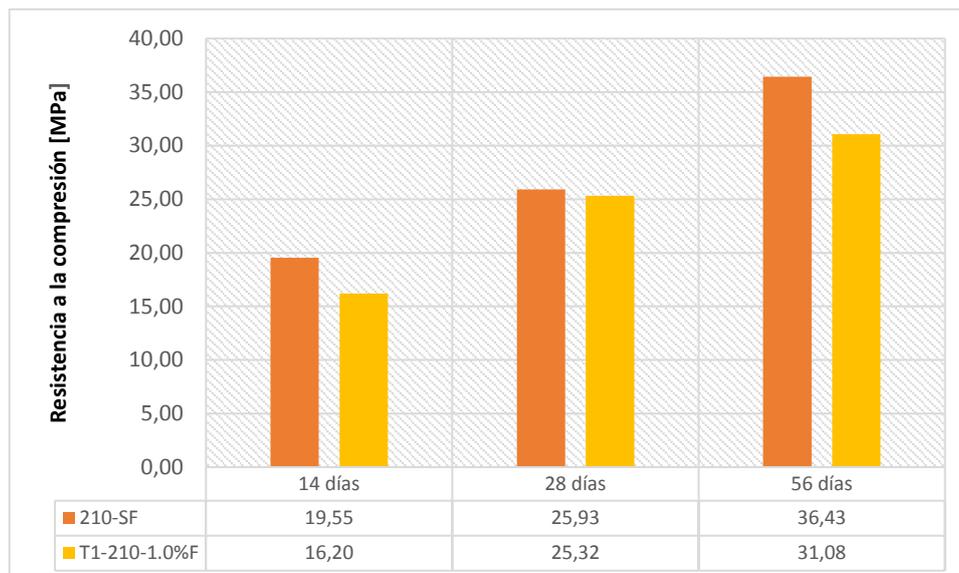


Figura 31: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 210 kgf/cm² en 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 119:

Resistencia de cilindros de $f'c$ 240 kgf/cm² con fibra al 0.5% - T1: NaOH.

RESISTENCIA DE CILINDROS – 240 kgf/cm ² CON FIBRA (0.5%) - T1: NaOH								
# Cilindro	Descripción	Edad	Carga máxima aplicada kN	Área de la sección cm ²	Resistencia a la compresión		Resistencia a la compresión	
					kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa
1	T1-240-0.5%F	14	372.0	181.4	209.10	20.51	206.84	20.29
2			340.8	188.3	184.53	18.10		
3			382.9	179.8	217.12	21.30		
4			363.1	179.9	205.80	20.19		
5			370.9	186.0	203.25	19.94		
6			392.8	181.0	221.24	21.70		
7	T1-240-0.5%F	28	479.1	179.5	272.01	26.68	274.36	26.91
8			489.5	176.4	282.86	27.75		
9			490.8	180.4	277.35	27.21		
10			476.7	179.9	270.08	26.49		
11			487.5	186.5	266.41	26.14		
12			490.6	180.3	277.42	27.22		
13	T1-240-0.5%F	56	593.0	178.5	338.75	33.23	338.89	33.25
14			581.4	177.5	333.91	32.76		
15			584.8	177.5	335.81	32.94		
16			596.1	181.3	335.15	32.88		
17			621.2	182.4	347.21	34.06		
18			593.7	176.7	342.51	33.60		

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

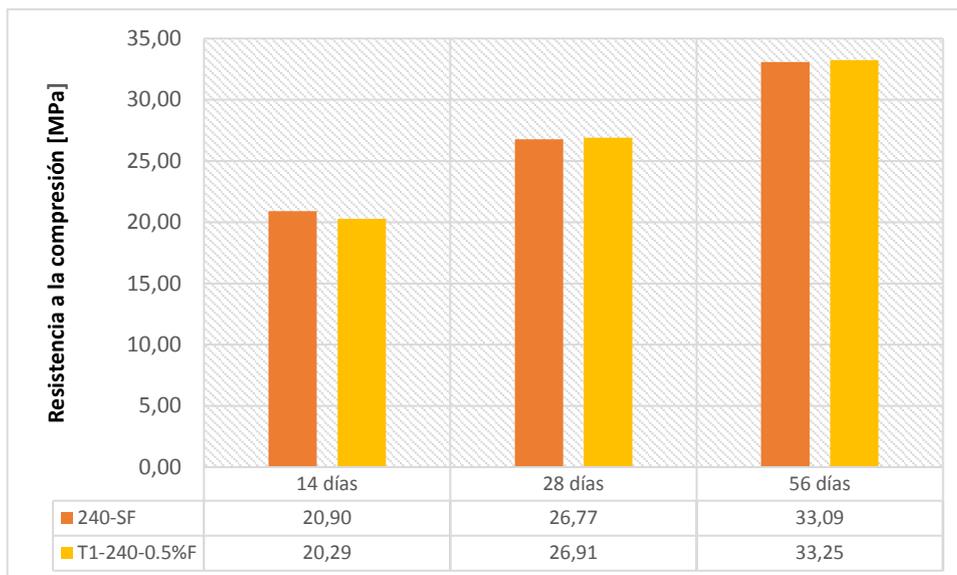


Figura 32: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 240kgf/cm² en 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 120:

Resistencia de cilindros de $f'c$ 240 kgf/cm² con fibra al 1.0% - T1: NaOH.

RESISTENCIA DE CILINDROS – 240 kgf/cm ² CON FIBRA (1.0%) - T1: NaOH								
# Cilindro	Descripción	Edad días	Carga máxima aplicada kN	Área de la sección cm ²	Resistencia a la compresión		Resistencia a la compresión	
					kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa
1	T1-240-1.0%F	14	293.9	181.0	165.54	16.24	167.40	16.42
2			331.7	185.9	181.90	17.84		
3			285.3	179.7	161.86	15.88		
4			278.6	185.7	152.96	15.01		
5			293.5	181.2	165.09	16.20		
6			309.8	178.4	177.06	17.37		
7	T1-240-1.0%F	28	535.3	184.1	296.40	29.08	266.17	26.11
8			466.2	180.1	263.92	25.89		
9			429.4	180.6	242.34	23.77		
10			462.0	178.3	264.10	25.91		
11			452.5	178.5	258.38	25.35		
12			473.8	177.7	271.86	26.67		
13	T1-240-1.0%F	56	516.3	179.2	293.70	28.81	299.76	29.41
14			478.4	177.0	275.49	27.03		
15			614.5	184.5	339.52	33.31		
16			521.2	186.7	284.51	27.91		
17			603.3	186.1	330.53	32.43		
18			492.7	182.8	274.77	26.96		

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

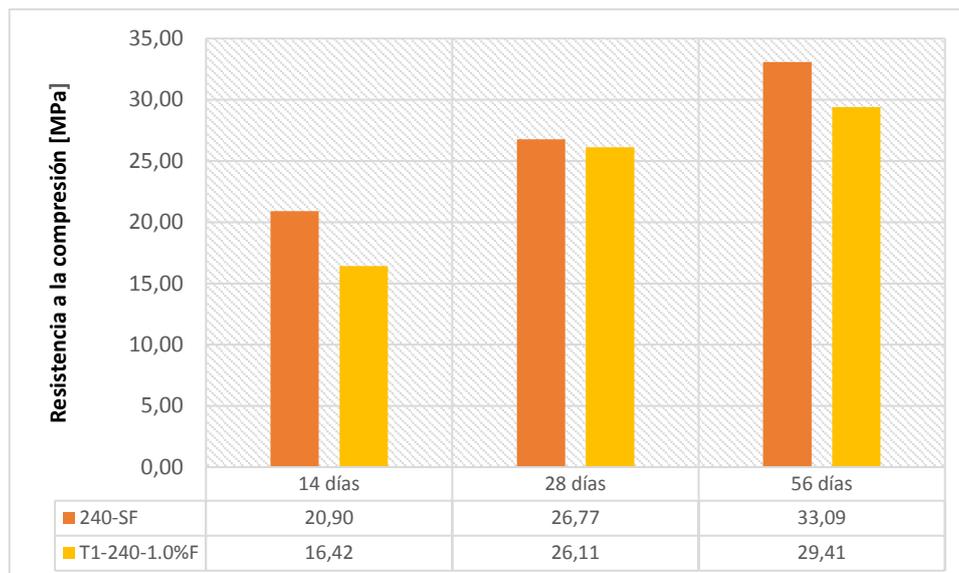


Figura 33: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 240kgf/cm² en 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 121:

Resistencia de cilindros de $f'c$ 210 kgf/cm² con fibra al 0.5% - T2: Agua caliente 100°C

RESISTENCIA DE CILINDROS - 210 kgf/cm ² CON FIBRA (0.5%) - T2: Agua caliente 100°C								
# Cilindro	Descripción	Edad	Carga máxima aplicada kN	Área de la sección cm ²	Resistencia a la compresión		Resistencia a la compresión	
					kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa
1	T2-210-0.5%F	14	364.4	180.4	205.86	20.19	227.97	22.36
2			419.7	186.7	229.09	22.47		
3			398.8	178.5	227.72	22.34		
4			411.0	178.0	235.40	23.09		
5			401.8	181.8	225.35	22.11		
6			437.2	182.3	244.41	23.98		
7	T2-210-0.5%F	28	446.4	178.7	254.55	24.97	255.86	25.10
8			490.4	181.9	274.80	26.96		
9			461.8	179.4	262.36	25.74		
10			423.2	181.8	237.32	23.28		
11			476.9	184.4	263.66	25.87		
12			435.9	183.3	242.46	23.79		
13	T2-210-0.5%F	56	634.0	186.3	346.98	34.04	333.35	32.70
14			620.9	184.4	343.18	33.67		
15			601.6	177.6	345.37	33.88		
16			567.7	180.0	321.54	31.54		
17			586.7	180.7	330.90	32.46		
18			551.2	180.0	312.11	30.62		

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

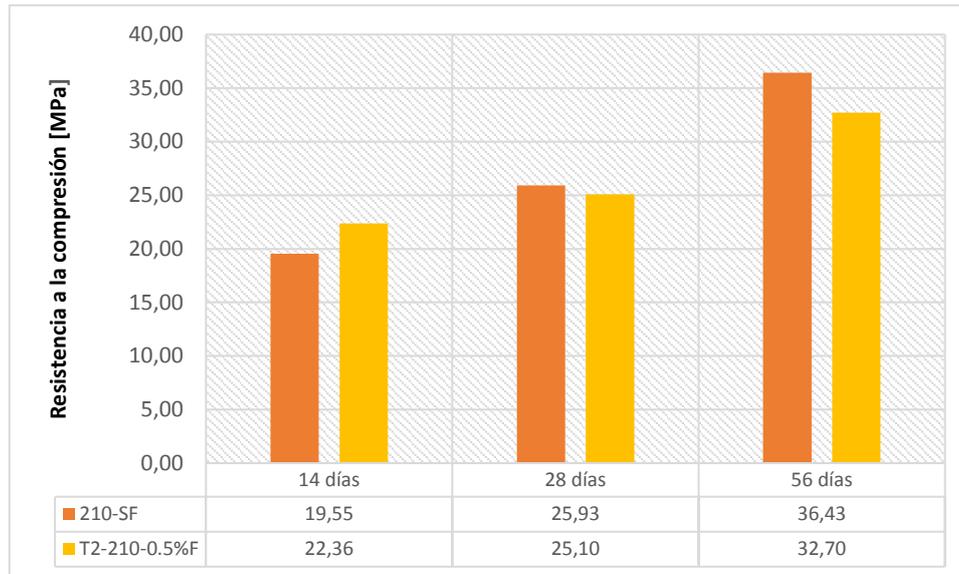


Figura 34: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 210 kgf/cm² en 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 122:

Resistencia de cilindros de $f'c$ 210 kgf/cm² con fibra al 1.0% - T2: Agua caliente 100°C

RESISTENCIA DE CILINDROS - 210 CON FIBRA (1.0%) - T2: Agua caliente 100°C						
# Cilindro	Descripción	Edad	Carga máxima aplicada kN	Área de la sección cm ²	Resistencia a la compresión kgf/cm ² MPa	Resistencia a la compresión kgf/cm ² MPa
1	T2-210-1.0%F	14	225.1	174.7	131.37	12.89
2			259.2	176.8	149.45	14.66
3			261.9	178.9	149.18	14.63
4			217.7	179.2	123.85	12.15
5			399.2	181.4	224.39	22.01
6			303.2	183.1	168.77	16.56
7	T2-210-1.0%F	28	355.5	180.2	201.09	19.73
8			334.4	183.0	186.34	18.28
9			289.5	180.3	163.66	16.06
10			337.8	187.0	184.17	18.07
11			344.2	186.3	188.27	18.47
12			356.7	186.4	195.03	19.13
13	T2-210-1.0%F	56	573.6	186.4	313.77	30.78
14			454.1	177.3	261.14	25.62
15			410.7	178.4	234.67	23.02
16			471.5	184.1	261.10	25.61
17			378.4	179.8	214.51	21.04
18			336.6	178.5	192.30	18.86

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

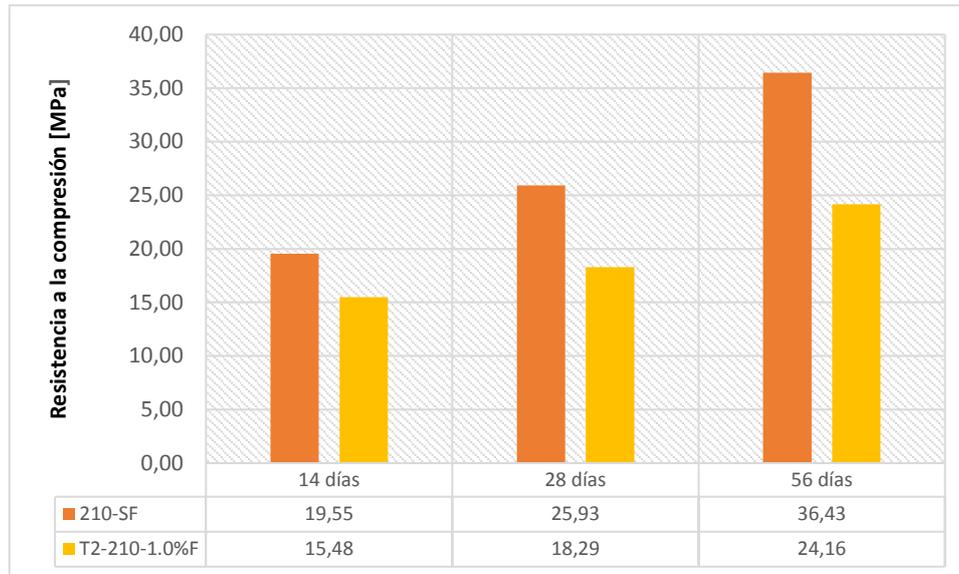


Figura 35: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 210 kgf/cm² en 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 123:

Resistencia de cilindros de $f'c$ 240 kgf/cm² con fibra al 0.5% - T2: Agua caliente 100°C

RESISTENCIA DE CILINDROS - 240 kgf/cm ² CON FIBRA (0.5%) - T2: Agua caliente 100°C						
# Cilindro	Descripción	Edad	Carga máxima aplicada kN	Área de la sección cm ²	Resistencia a la compresión kgf/cm ²	Resistencia a la compresión MPa
1	T2-240-0.5%F	14	333.8	180.5	188.54	18.50
2			356.9	179.6	202.54	19.87
3			330.0	181.5	185.31	18.18
4			375.2	182.1	210.08	20.61
5			403.4	188.4	218.25	21.41
6			318.0	179.6	180.54	17.71
7	T2-240-0.5%F	28	525.8	177.3	302.36	29.66
8			498.9	179.3	283.68	27.83
9			547.5	184.5	302.54	29.68
10			543.3	176.8	313.23	30.73
11			454.6	179.6	257.98	25.31
12			487.6	179.1	277.54	27.23
13	T2-240-0.5%F	56	570.5	181.6	320.29	31.42
14			543.2	177.2	312.52	30.66
15			571.0	178.1	326.86	32.07
16			540.5	180.4	305.48	29.97
17			571.3	181.4	321.02	31.49
18			557.6	180.8	314.48	30.85

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

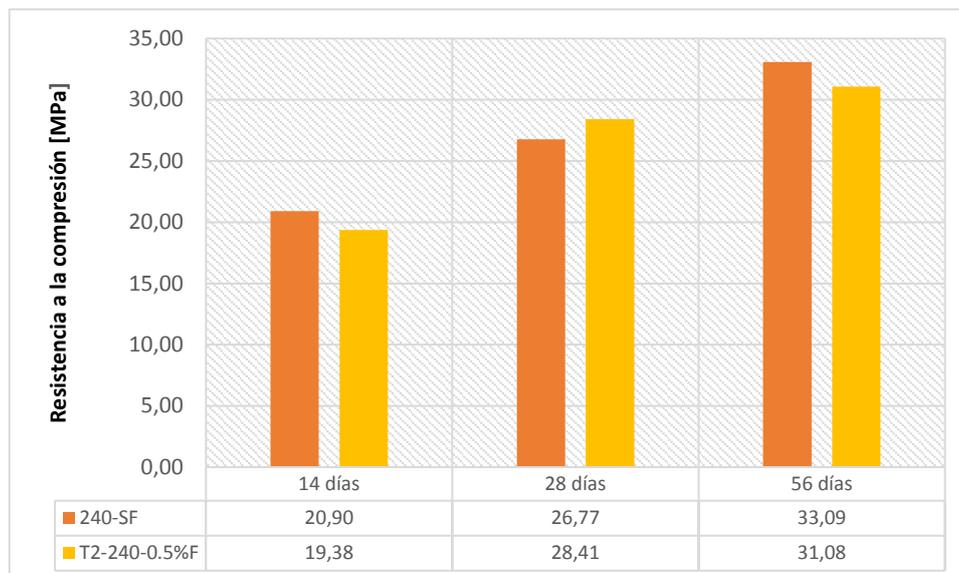


Figura 36: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 240 kgf/cm² en 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Tabla 124:

Resistencia de cilindros de $f'c$ 240 kgf/cm² con fibra al 1.0% - T2: Agua caliente 100°C

RESISTENCIA DE CILINDROS - 240 kgf/cm ² CON FIBRA (1.0%) - T2: Agua caliente 100°C								
# Cilindro	Descripción	Edad	Carga máxima aplicada kN	Área de la sección cm ²	Resistencia a la compresión		Resistencia a la compresión	
					kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa
1	T2-240-1.0%F	14	205.0	180.7	115.66	11.35	155.88	15.29
2			286.4	177.9	164.11	16.10		
3			319.0	181.8	178.87	17.55		
4			292.5	181.7	164.03	16.09		
5			283.8	180.4	160.40	15.74		
6			271.0	181.5	152.19	14.93		
7	T2-240-1.0%F	28	391.0	186.8	213.34	20.93	227.47	22.31
8			410.0	181.7	230.08	22.57		
9			402.1	185.2	221.27	21.71		
10			381.9	183.8	211.79	20.78		
11			406.8	179.9	230.48	22.61		
12			443.5	175.3	257.85	25.30		
13	T2-240-1.0%F	56	585.5	181.8	328.28	32.20	267.69	26.26
14			463.5	181.8	259.90	25.50		
15			461.3	183.0	256.98	25.21		
16			484.3	178.0	277.38	27.21		
17			414.3	182.8	230.98	22.66		
18			441.6	178.2	252.65	24.79		

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

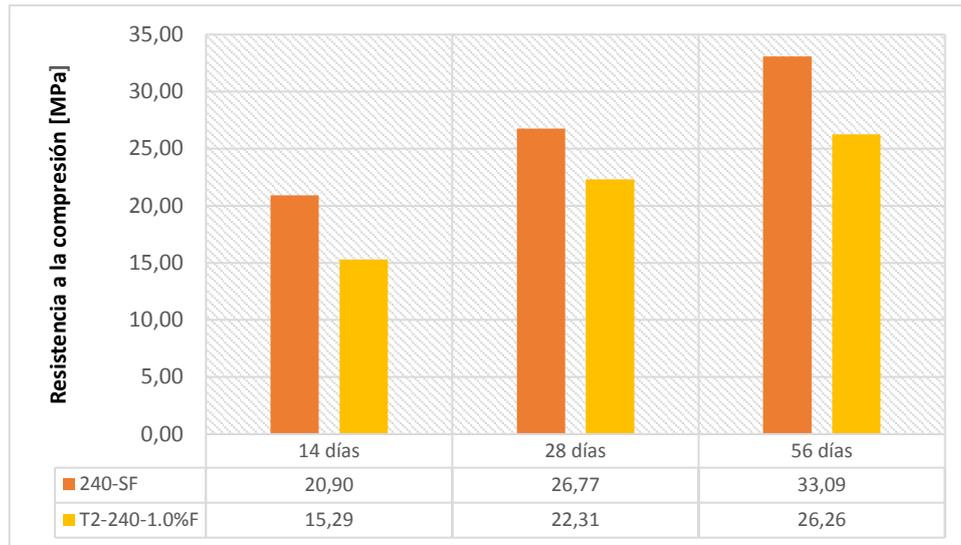


Figura 37: Comparación de resistencia a la compresión del hormigón sin fibra y con fibra $f'c$ 240 kgf/cm² en 14, 28 y 56 días.

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

4.1.2 CONTROL DE CALIDAD DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS

Para que se cumpla ente control de calidad en las probetas cilíndricas, se debe mayorar la resistencia a la compresión ($f'c$) a una resistencia de diseño requerido y así se evalúan las resistencias obtenidas experimentalmente en función de la resistencia teórica diseñada, Para evaluar con más precisión las resistencias teóricas se recurrió a un proceso estadístico el cual permite evaluar de una manera general todas las resistencias obtenidas lo cual se detalla a continuación.

4.1.2.1 Control de calidad en función de la variación de la resistencia del hormigón.

4.1.2.1.1 Desviación estándar

Este parámetro estadístico es el mayor utilizado por permitir conocer la dispersión de resultados que existe entre pruebas aplicadas individualmente con respecto del promedio de los resultados de toda la muestra.

Para el presente estudio se utilizó el análisis de la desviación estándar por muestra de la población como indica el (AC1 214, 2011), puesto que este parámetro mide la dispersión de resistencias que se puede tener entre probetas y su ecuación de cálculo es la siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Ec.(36)}$$

Donde:

S: Desviación estándar de la muestra expresada en (kg/cm²)

x_i : Resultado de cada probeta cilíndrica expresada en (kg/cm²)

\bar{x} : Promedio de todas las probetas cilíndricas expresada en (kg/cm²)

n: Número total de probetas cilíndricas ensayadas

4.1.2.1.2 Coeficiente de variación

Es el porcentaje que existe por la variación de resultados en otras palabras este porcentaje representa la desviación estándar, y la ecuación que describe el (AC1 214, 2011) es la siguiente:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} * 100 \quad \text{Ec.(37)}$$

Donde

V : Coeficiente de variación expresada en %

S : Desviación estándar del hormigón expresado en kg/cm²

\bar{x} : Promedio de todas las probetas cilíndricas expresadas en kg/cm²

Para evaluar este control de calidad de la resistencia a la compresión del hormigón con los parámetros descritos anteriormente se procedió a dar rangos a la mezcla de hormigón desde deficiente hasta excelente como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 125:

Estándares de control de calidad del concreto .

Variación Global (Todas las probetas cilíndricas)					
Tipo de prueba	Desviación estándar "s" para diferentes estándares de control (kgf/cm²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Deficiente
Prueba en Construcciones Generales	Menos de 29	29 a 35	35 a 42	42 a 49	Más de 49
Variación dentro de la mezcla (Entre las probetas de la mezcla)					
Tipo de prueba	Coeficiente de variación "v" para diferentes estándares de control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Deficiente
Prueba en Construcciones Generales	Menos de 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	Más de 6

Fuente: (AC1 214, 2011)

Control de calidad en la variación de la resistencia de las probetas cilíndricas de hormigón simple con fibra y sin fibra sometidas a sus diferentes tratamientos

Tabla 126:

Control de calidad de la variación de la resistencia.

# Mezcla	Descripción	Edad	Promedio f'_c dentro de la mezcla kgf/cm^2	Desviación estándar (s) de la mezcla kgf/cm^2	Coefficiente de variación (V) de la mezcla (%)	Califica como
1	210-SF	14	199,27	12,41	2,69	Excelente
		28	264,33			
		56	371,31			
2	240-SF	14	205,00	3,82	1,40	Excelente
		28	272,89			
		56	337,30			
3	T1-210-0.5%F	14	201,48	15,50	2,68	Excelente
		28	265,81			
		56	377,17			
4	T1-210-1,0%F	14	165,13	24,21	5,38	Aceptable
		28	258,07			
		56	316,78			
5	T1-240-0,5%F	14	206,84	5,96	5.23	Aceptable
		28	274,36			
		56	338,89			
6	T1-240-1,0%F	14	167,40	17,80	4,69	Bueno
		28	266,17			
		56	299,76			
7	T2-210-0,5%F	14	227,97	14,05	5,49	Aceptable
		28	255,86			
		56	333,35			
8	T2-210-1,0%F	14	157,83	12,77	3.93	Muy Bueno
		28	186,43			
		56	246,25			
9	T2-240-0,5%F	14	197,54	20,34	4,03	Bueno
		28	289,55			
		56	316,78			
10	T2-240-1,0%F	14	155,88	39,25	5,80	Aceptable
		28	227,47			
		56	267,69			

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

El control de calidad hechas a las probetas cilíndricas, se puede concluir que para el hormigón simple sin fibras la calidad de variación en la resistencia para el ensayo es excelente mientras que para los hormigones con fibras al 0.5% de su volumen varía según su resistencia a la compresión entre excelente y bueno, y los

hormigones con el 1.0% de fibra dependiendo de su resistencia se encuentran entre bueno y aceptable.

4.1.3 ENSAYO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS

El módulo de elasticidad se determinó en sus respectivas edades 14, 28 y 56 días para visualizar la variación del módulo de elasticidad por la introducción de la fibra al hormigón y así comprobar en cuál de estas edades presenta una mayor $f'c$ y ver si funciona los tratamientos de la fibra para evitar su degradación funcionan correctamente.

Se procedió a determinar la carga máxima para calcular el $f'c$ a la compresión. Para determinar la curva esfuerzo deformación la deformación fue tomada en ciclos de carga de 25 kN y al igual que el ensayo de compresión se tomaron las dimensiones de las probetas y así sacar el área transversal para así determinar su esfuerzo en sus respectivas edades.

Procedimiento:

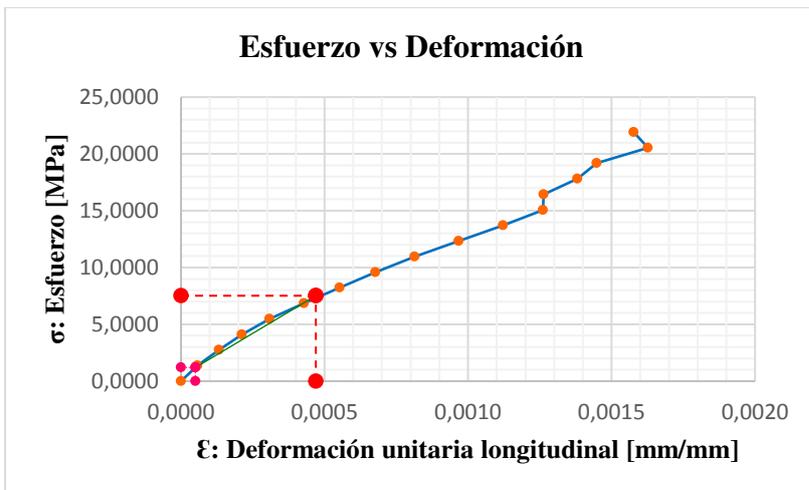
Luego de tomar los datos de dimensiones y masas a las probetas se procede a colocar el cilindro en el deformímetro y llevarlo a la máquina universal aplicando una carga a una velocidad constante de 0.24MPa/s hasta llegar a la ruptura. Se tabulan los valores registrados por el deformímetro a cada 25 kN y se procede a graficar las curvas esfuerzo deformación así se determina el módulo de Young



Fotografía 76: Determinación del módulo de elasticidad
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

A continuación, se presentan las gráficas esfuerzo vs deformación de las probetas en cada edad ensayada:

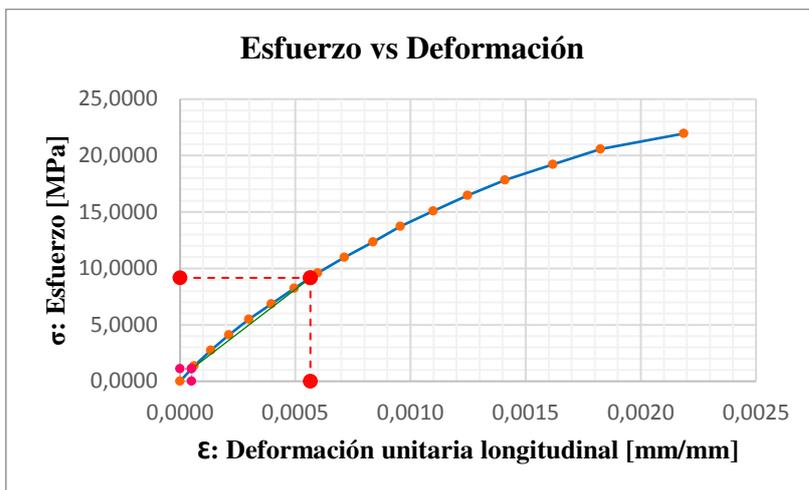
4.1.3.1 Hormigón Simple 210 kgf/cm² sin fibras



Área (mm ²)	18249.85
S2 (MPa)	7.52
S1 (MPa)	1.20
ε1	0.00005
ε2	0.0005
σ máx (MPa)	21.92
Ec (MPa)	15058

Figura 34: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-SF (Edad de curado: 14 días)

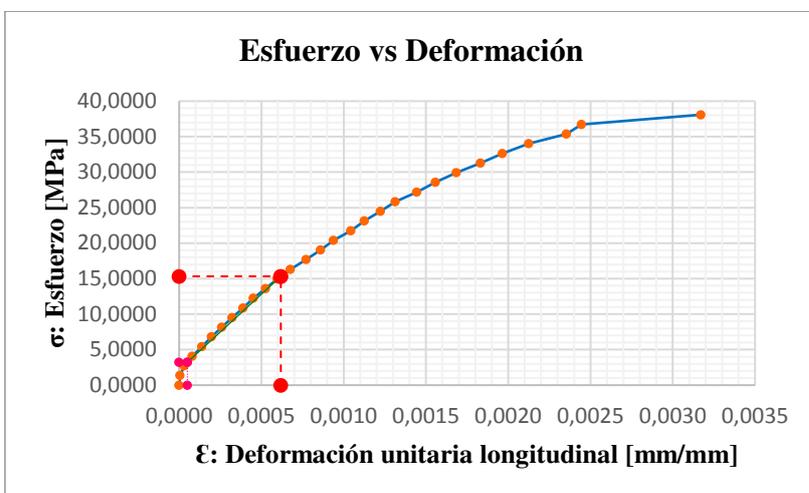
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	18223.52
S2 (MPa)	9.1637
S1 (MPa)	1.1003
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	15.1
Ec (MPa)	15635

Figura 38: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²--SF. (Edad de curado: 28 días)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	18378.18
S2 (MPa)	15.3310
S1 (MPa)	3.2282
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	38.1
Ec (MPa)	21307

Figura 39: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210-SF. (Edad de curado: 56 días)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

4.1.3.2 Tratamiento I: Hidróxido de sodio.

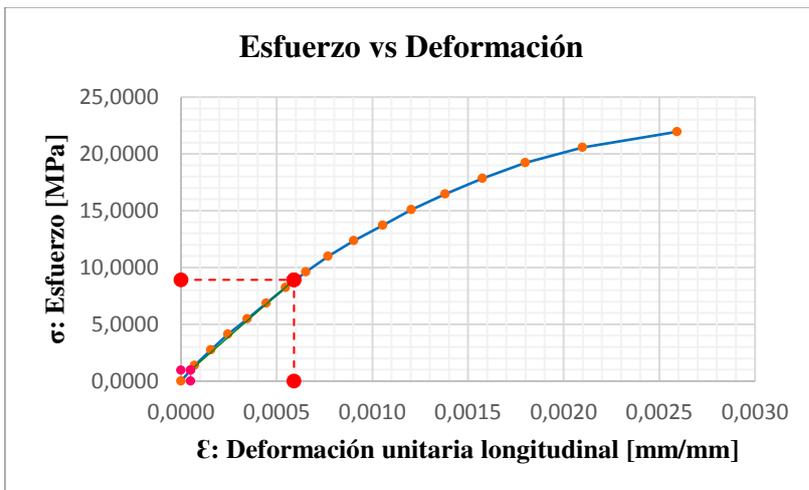


Figura 40: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 28 días)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

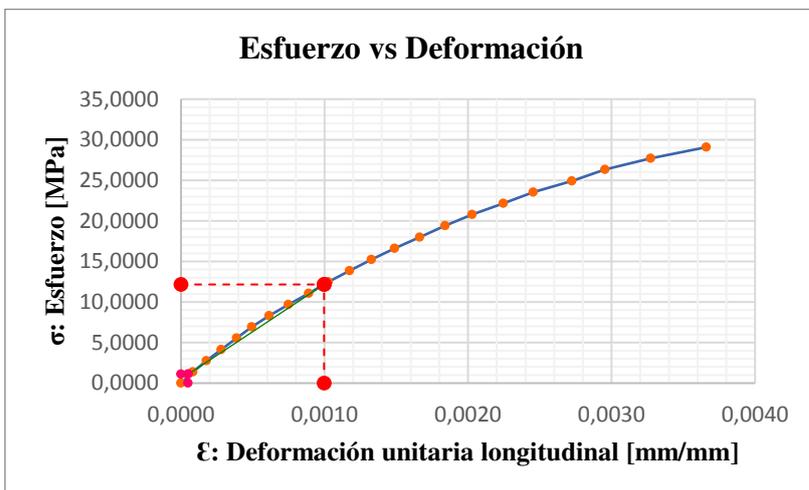


Figura 41: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 56 días)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

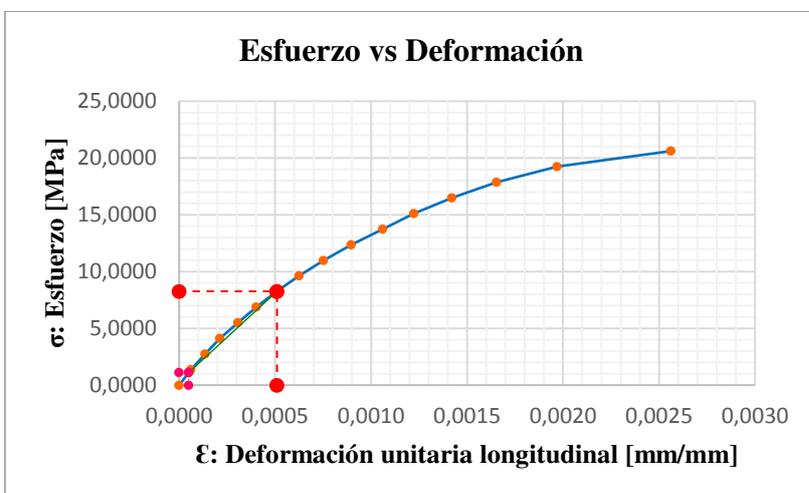
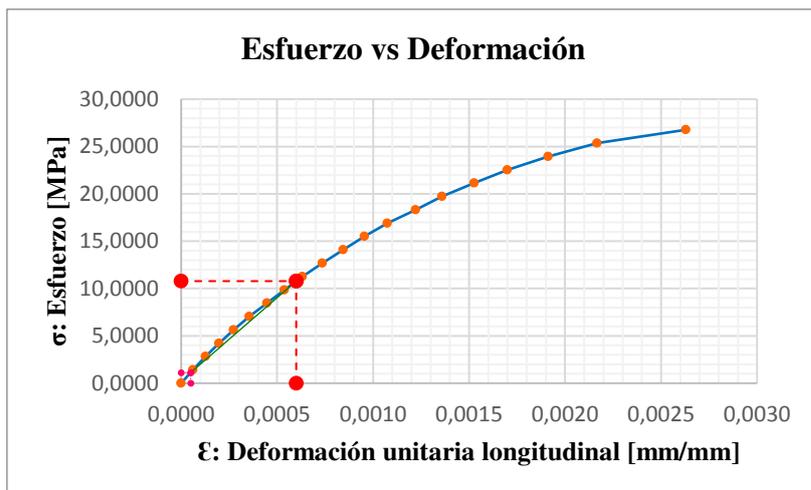


Figura 42: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 14 días)

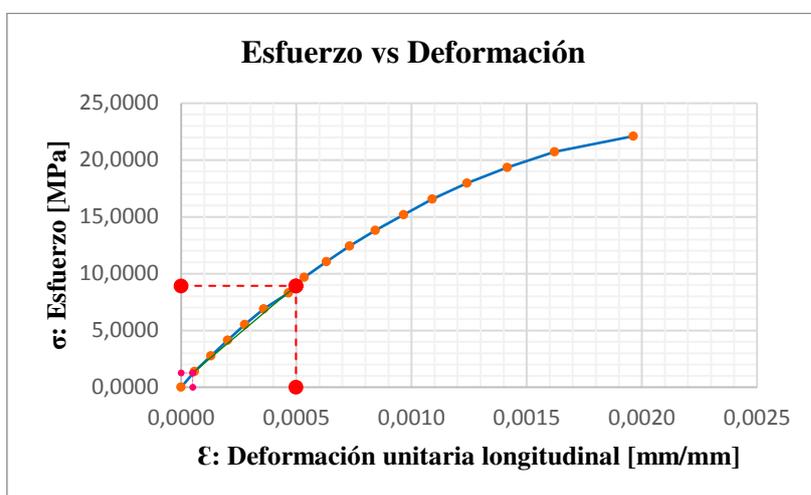
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	17743.40
S2 (MPa)	10.7833
S1 (MPa)	1.1274
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	26.8
Ec (MPa)	17574

Figura 43: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 28 días)

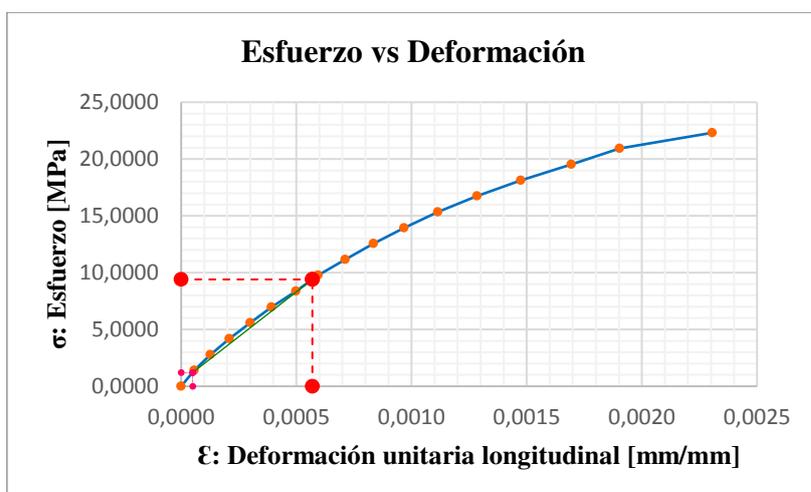
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	18096.93
S2 (MPa)	8.9237
S1 (MPa)	1.2640
ε1	0.00005
ε2	0.0005
σ máx (MPa)	22.1
Ec (MPa)	17080

Figura 44: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 56 días)

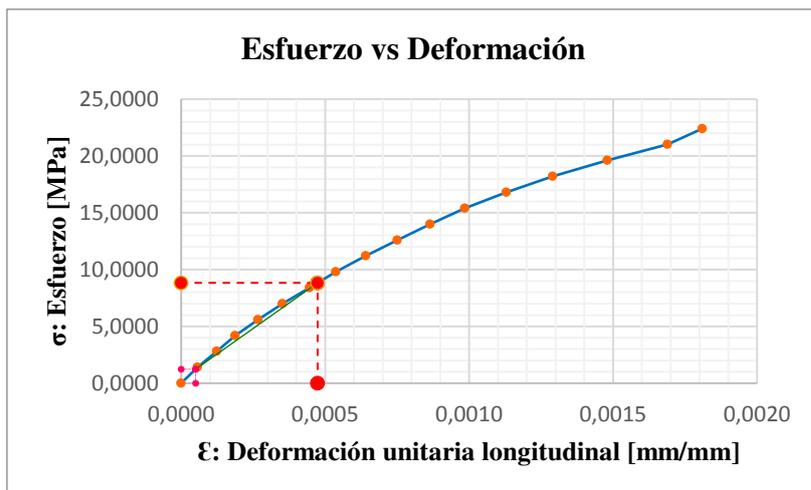
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	17926.84
S2 (MPa)	9.4043
S1 (MPa)	1.2074
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	22.3
Ec (MPa)	15774

Figura 45: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-1.0% F. (Edad de curado: 14 días)

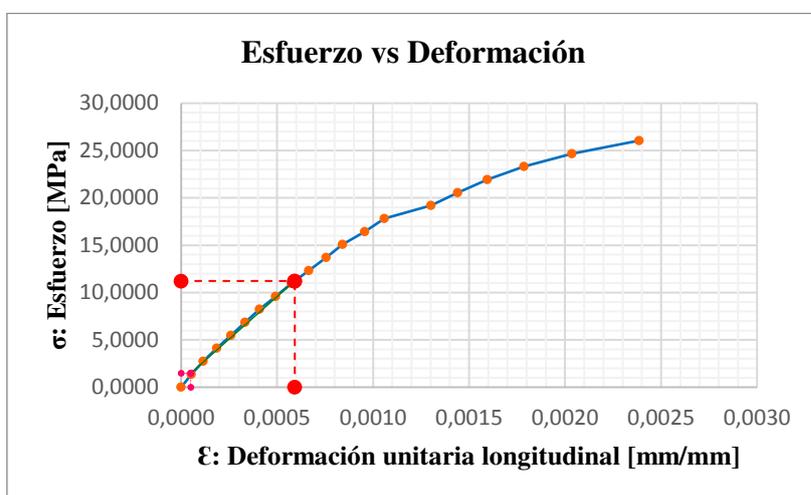
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	17850.98
S2 (MPa)	8.8354
S1 (MPa)	1.2296
ε1	0.00005
ε2	0.0005
σ máx (MPa)	22.4
Ec (MPa)	17939

Figura 46: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-1.0% F. (Edad de curado: 28 días)

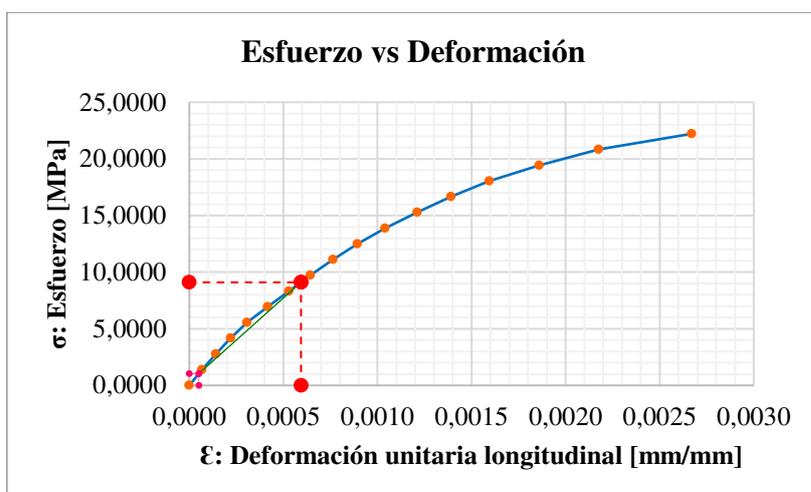
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	18233.09
S2 (MPa)	11.2264
S1 (MPa)	1.4863
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	26.1
Ec (MPa)	17971

Figura 47: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-1.0% F. (Edad de curado: 56 días)

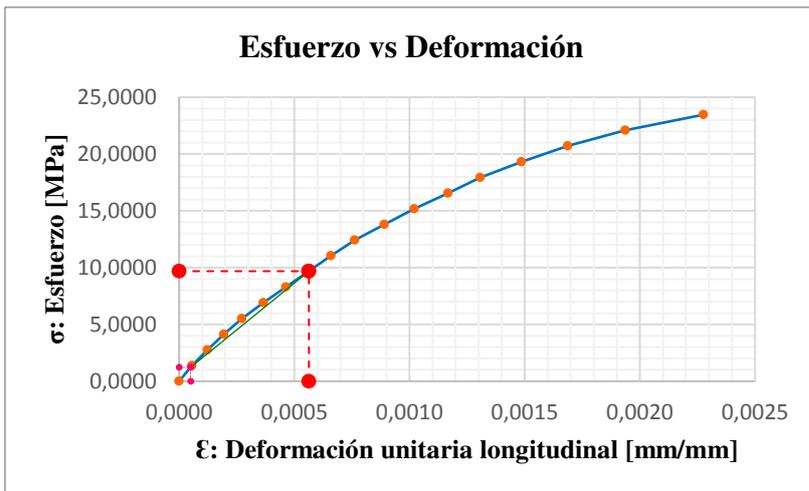
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	18007.62
S2 (MPa)	9.1033
S1 (MPa)	1.0382
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	22.2
Ec (MPa)	14842

Figura 48: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-1.0% F. (Edad de curado: 14 días)

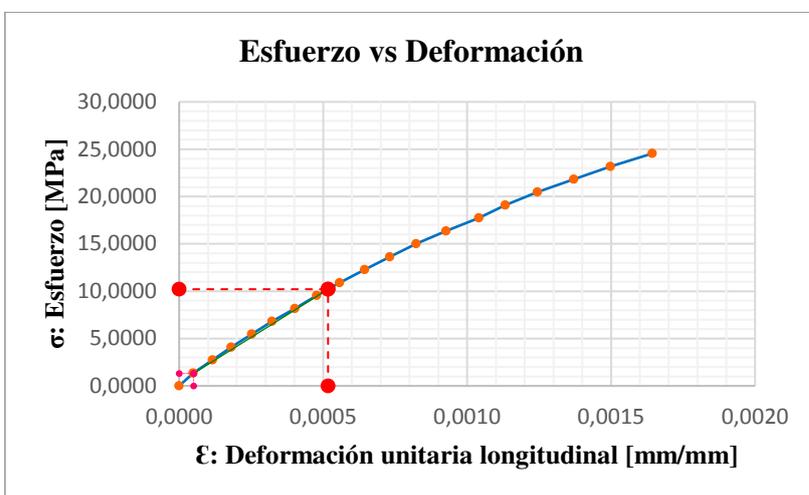
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	18116.01
S2 (MPa)	9.6846
S1 (MPa)	1.2232
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	23.5
Ec (MPa)	16482

Figura 49: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-1.0% F. (Edad de curado: 28 días)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

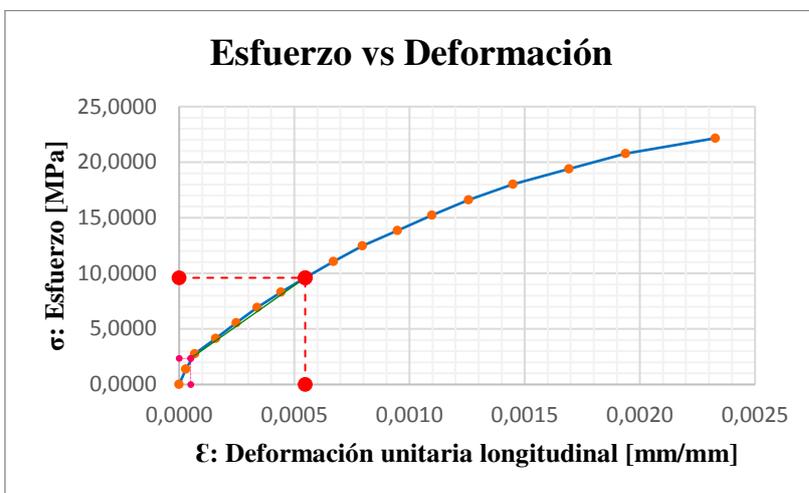


Área (mm ²)	18325.35
S2 (MPa)	10.2139
S1 (MPa)	1.3204
ε1	0.00005
ε2	0.0005
σ máx (MPa)	24.6
Ec (MPa)	19037

Figura 50: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-1.0% F. (Edad de curado: 56 días)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

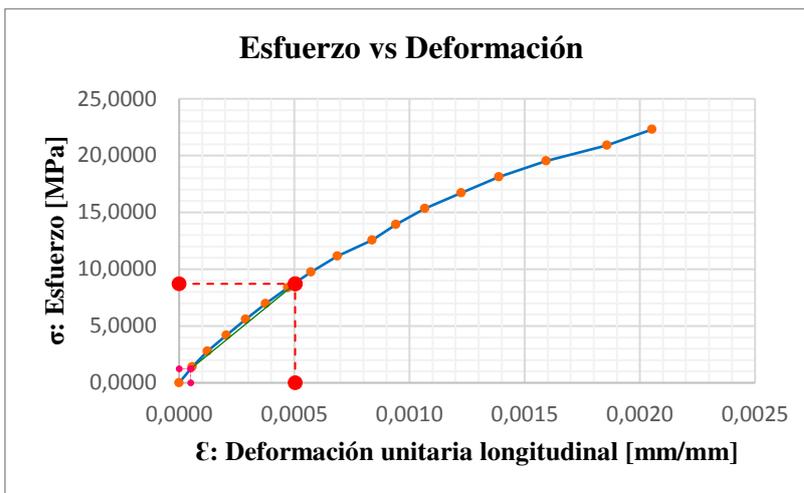
4.1.3.3 Tratamiento II: Agua caliente a 100°C



Área (mm ²)	18051.65
S2 (MPa)	9.5984
S1 (MPa)	2.3496
ε1	0.00005
ε2	0.0005
σ máx (MPa)	22.2
Ec (MPa)	14579

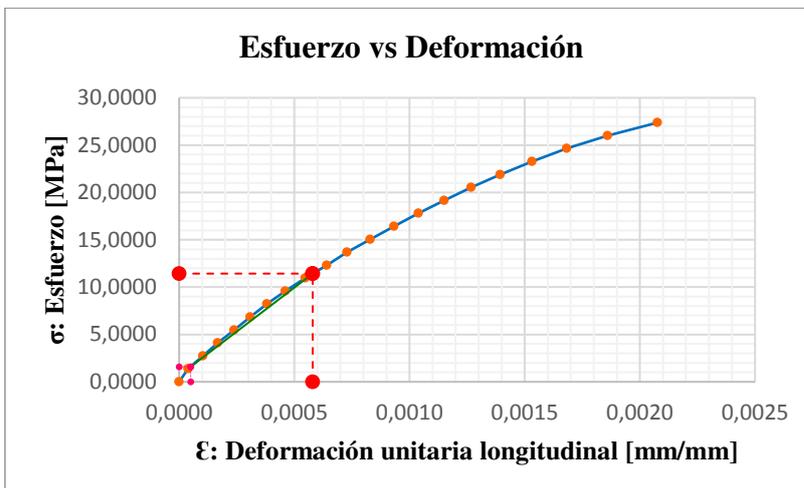
Figura 51: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 14 días)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



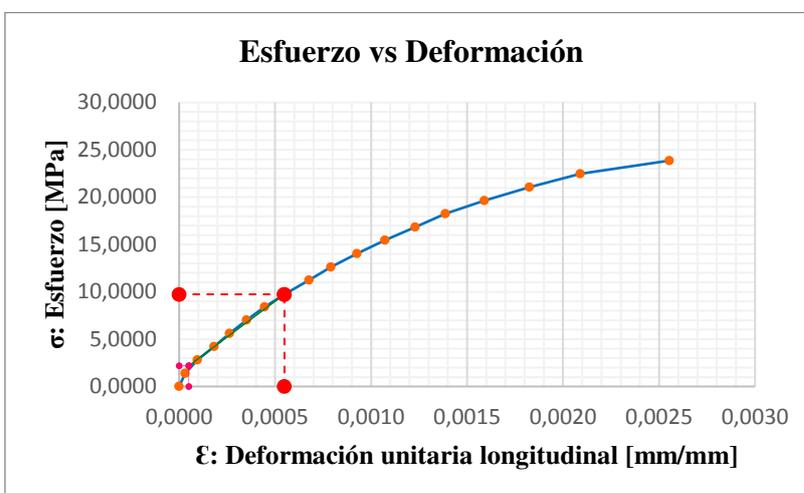
Área (mm ²)	17936.34
S2 (MPa)	8.7123
S1 (MPa)	1.2267
ε1	0.00005
ε2	0.0005
σ máx (MPa)	22.3
Ec (MPa)	16506

Figura 52: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 28 días)
Elaborado por: Chiquito, J & Eras,



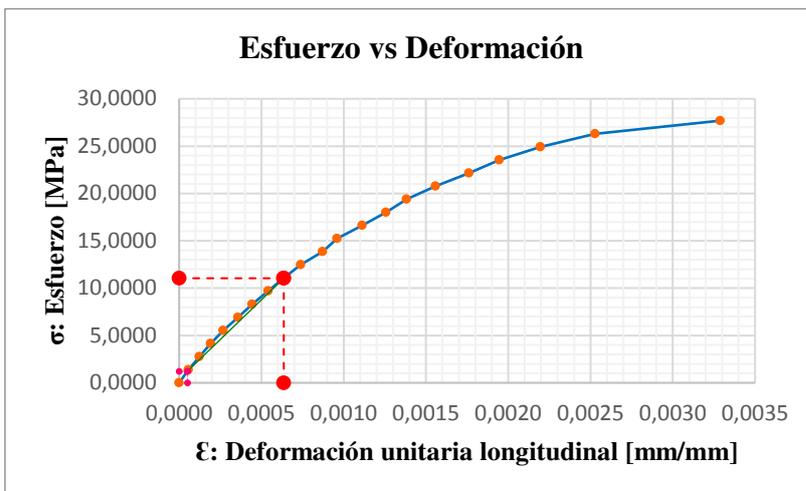
Área (mm ²)	18264.22
S2 (MPa)	11.4310
S1 (MPa)	1.5952
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	27.4
Ec (MPa)	18570

Figura 53: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 56 días)
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



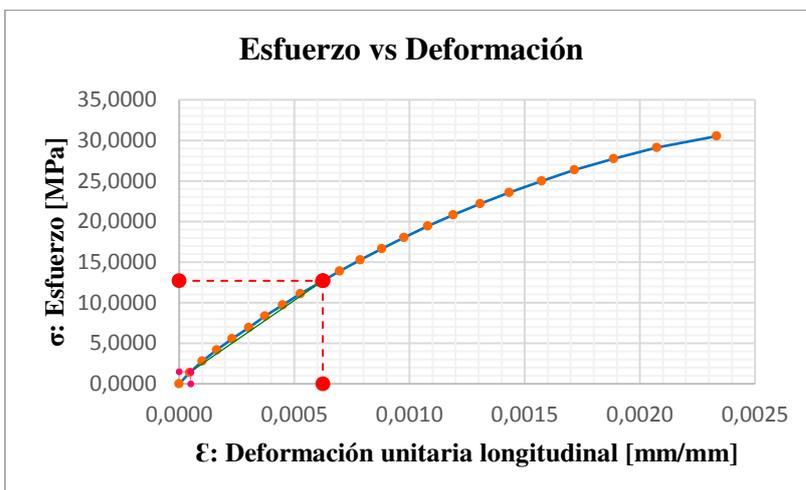
Área (mm ²)	17810.75
S2 (MPa)	9.7372
S1 (MPa)	2.1957
ε1	0.00005
ε2	0.0005
σ máx (MPa)	23.9
Ec (MPa)	15122

Figura 54: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 14 días)
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



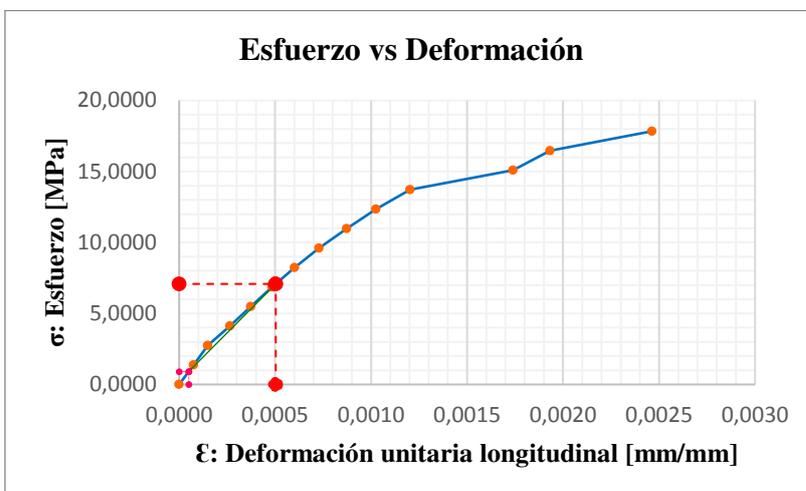
Área (mm ²)	18057.61
S2 (MPa)	11.0475
S1 (MPa)	1.2219
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	27.7
Ec (MPa)	16767.84

Figura 55: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 28 días)
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



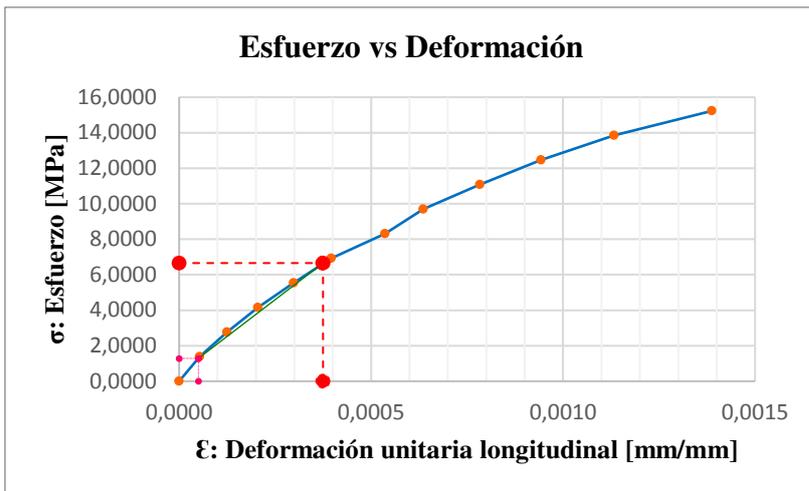
Área (mm ²)	18020.71
S2 (MPa)	12.6936
S1 (MPa)	1.4960
ε1	0.00005
ε2	0.0006
σ máx (MPa)	27.7
Ec (MPa)	19525.43

Figura 56: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-0.5% F. (Edad de curado: 56 días)
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	18222.32
S2 (MPa)	7.0829
S1 (MPa)	0.9162
ε1	0.00005
ε2	0.0005
σ máx (MPa)	17.8
Ec (MPa)	13606.19

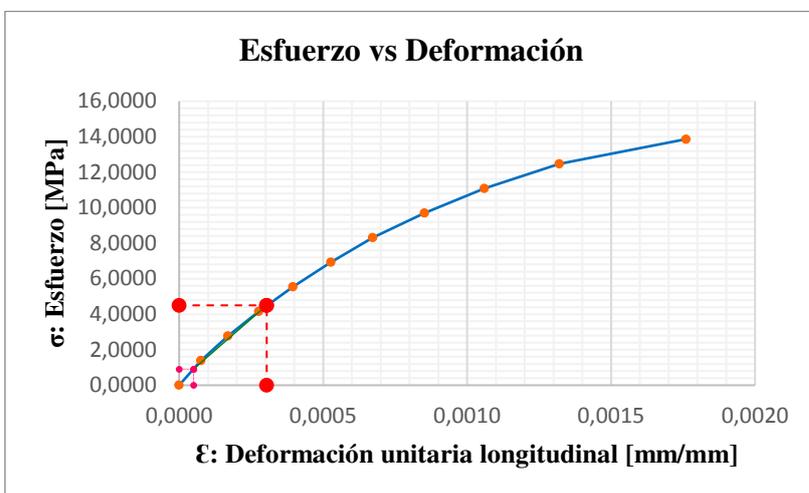
Figura 57: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-1.0% F. (Edad de curado: 14 días)
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	17947.02
S2 (MPa)	6.6565
S1 (MPa)	1.2856
ε1	0.00005
ε2	0.0004
σ máx (MPa)	15.2
Ec (MPa)	16535.31

Figura 58: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 210 kgf/cm²-1.0%. (Edad de curado: 56 días)

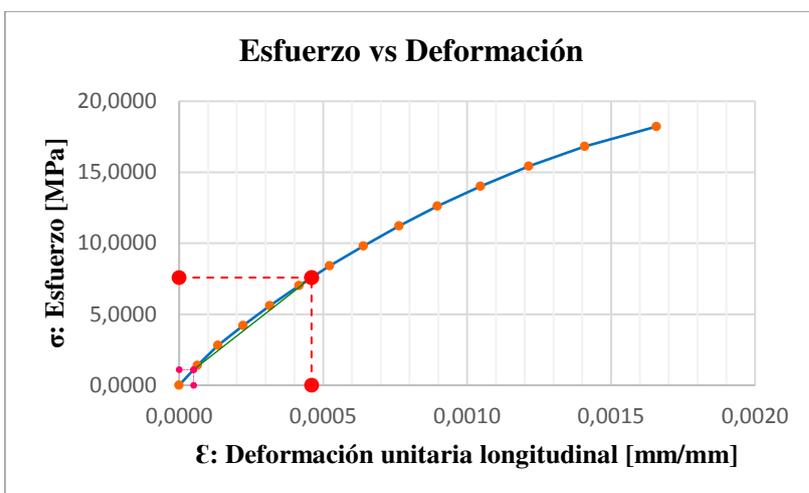
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	18033.79
S2 (MPa)	4.5027
S1 (MPa)	0.9108
ε1	0.00005
ε2	0.0003
σ máx (MPa)	13.9
Ec (MPa)	14130.33

Figura 59: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-1.0%. (Edad de curado: 14 días)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G



Área (mm ²)	17837.96
S2 (MPa)	7.5818
S1 (MPa)	1.0940
ε1	0.00005
ε2	0.0005
σ máx (MPa)	15.4
Ec (MPa)	15833.09

Figura 60: Diagrama σ vs ϵ . $f'c$ 240 kgf/cm²-1.0%. (Edad de curado: 28 días)

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

CAPITULO V: ÁNÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizan los resultados de la presente investigación mediante el análisis de tablas y gráficos de cada característica presente en el hormigón simple en estado fresco y endurecido de resistencias 210 y 240 kgf/cm², en donde se evaluó la influencia que tuvo el tratamiento químico y térmico que se aplicaron a la fibra para introducirlas a la mezcla de hormigón en distintas proporciones y así comprobar la durabilidad de la misma a diferentes edades de endurecimiento del hormigón simple.

5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE PALMA AFRICANA CON Y SIN TRATAMIENTO QUÍMICO.

Los siguientes datos se obtuvieron de los ensayos de las fibras sometidas a sus respectivos tratamientos los cuales se presentan a continuación para poder compararlos y tener una a precisión más adecuada de sus cambios luego de sus respectivos tratamientos.

Tabla 127:

Cuadro comparativo de las propiedades de la fibra.

Tipo de fibra	Tratamiento	Densidad S.S. S	Absorción %	%W	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	Tenacidad de ruptura estándar [N/tex]
Raquis de Palma africana	-----	1030	66,67	60,13	0,03958	55,94197	0,118
	NaOH	1020	55,56	40	0,04225	44,7466	0,146
	Agua caliente	1010	51,72	37	0,02668	59,25857	0,097

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Con el tratamiento del hidróxido de sodio la densidad se reduce un 0.97%, la absorción 16.66%; mientras que la tenacidad de ruptura aumente en un 23.73% respecto a sus propiedades iniciales. En cambio, con el tratamiento de agua caliente a 100°C la densidad, la absorción y tenacidad de ruptura se reducen 1.94%, 22.42% y 17.80% respectivamente como se puede visualizar en el siguiente grafica;

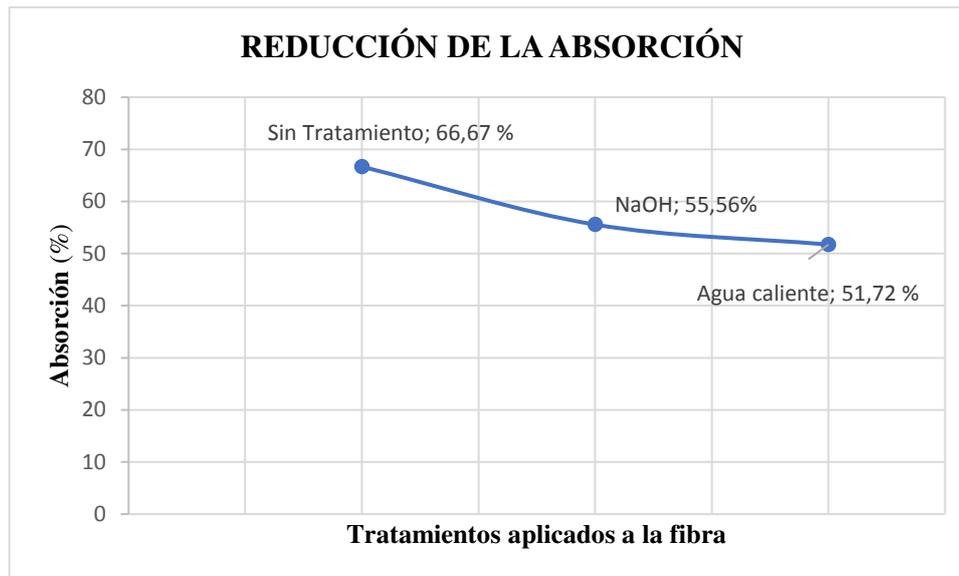


Figura 61: Disminución de la absorción
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

La densidad lineal es una propiedad que presentan las cadenas, cables entre otros, al tratar de caracterizar la fibra se lo hace mediante la densidad lineal ya que es la masa por unidad de longitud, como se puede ver la tabla 126 la densidad de la fibra tratada con NaOH tiende a disminuir en un 20.02 % con respecto a la fibra no tratada. Mientras que la fibra tratada con agua caliente tiende a aumentar dicha densidad en un 5.16% lo que implica que la tenacidad de ruptura aumente en un caso y disminuya en el otro.

5.2 ENSAYOS AL HORMIGÓN SIMPLE FRESCO CON Y SIN FIBRAS

En base a las normas ASTM se realiza un estudio comparativo del hormigón con fibras.

5.2.1 ASENTAMIENTO

Los resultados obtenidos al realizar este ensayo en el laboratorio de suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, y cumpliendo con el asentamiento que propone la (ASTM C 143, 2015) se obtuvo los siguientes resultados comparando el hormigón con fibras naturales con el hormigón simple (Sin fibras naturales).

Tabla 128:

Resultados de asentamiento hormigón sin y con fibras.

Diseño	Asentamiento	Variación
kgf/cm ²	mm	%
210-SF	90	
240-SF	95	
T1-210-0.5% F	85	5,56
T1-210-1.0% F	80	11,11
T1-240-0.5% F	90	5,26
T1-240-1.0% F	85	10,53
T2-210-0.5% F	80	16,67
T2-210-1.0% F	75	11,11
T2-240-0.5% F	90	5,26
T2-240-1.0% F	80	5,26

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

El hormigón se diseñó para tener asentamiento entre 70 y 100 mm como lo estipula la tabla 18 (ACI 211.1, 2006), se sabe que la tolerancia recomendada es de ± 12 mm, por tal motivo los asentamientos obtenidos en el laboratorio son aceptables.

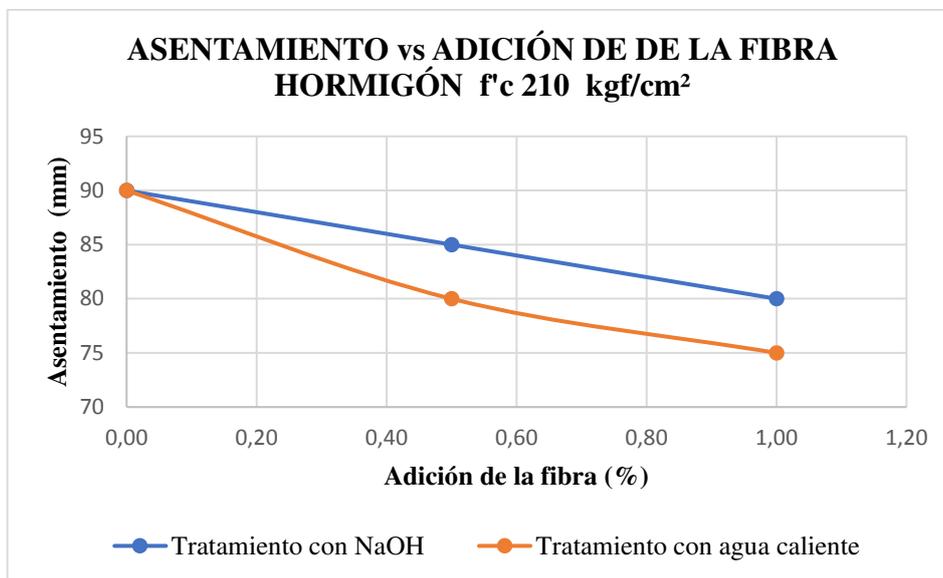


Figura 62: Disminución del asentamiento hormigón f'c 210kgf/cm²

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Como se puede ver en la gráfica para el hormigón de resistencia 210 kgf/cm² con la adición de la fibra de 0.5 % y 1.0 % tratada con NaOH es directamente proporcional, mientras que el tratamiento con agua caliente el asentamiento no es

lineal y baja más en comparación con el tratamiento de NaOH en las adiciones de 0.5% y 1.0% en fibra bajando de 80 mm a 75 mm respectivamente.

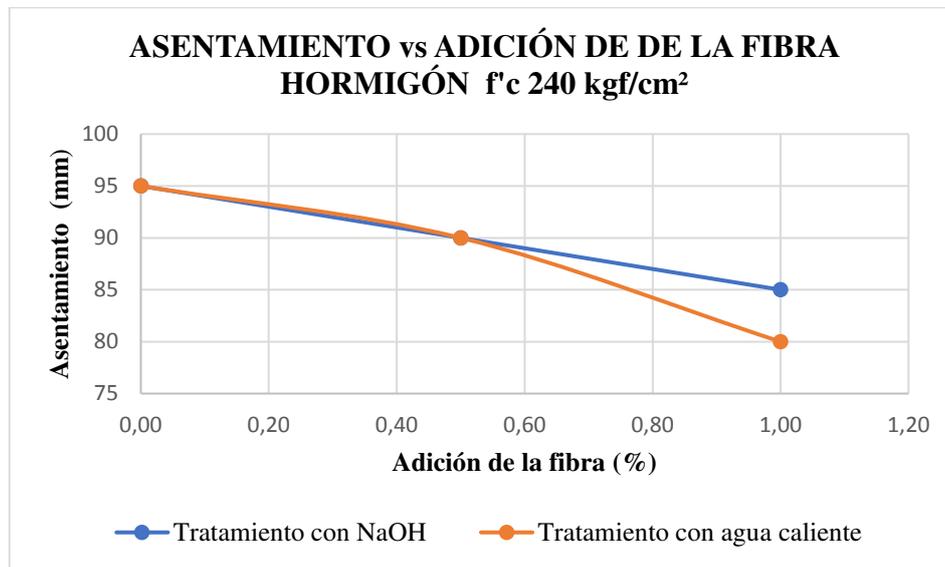


Figura 63: Disminución del asentamiento hormigón f'c 240kgf/cm²
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

En el caso del hormigón de resistencia de 240 kgf/cm² en los mismos porcentajes de adición de fibra y tratada con NaOH y Agua caliente, en el primer caso tiende a bajar directamente mientras que con el segundo tratamiento el asentamiento llega a bajar a un valor de 80mm en comparación con el NaOH que registra un asentamiento de 85mm.

5.2.2 CONTENIDO DE AIRE

Los resultados obtenidos al realizar este ensayo en el laboratorio, cumpliendo con el contenido de aire que propone la se obtuvo los siguientes resultados comparando el hormigón con y sin fibras.

Tabla 129:
Contenido de aire.

Diseño	Contenido de Aire	Variación
kgf/cm ²	%	%
210-SF	2	
240-SF	2,3	
T1-210-0,5%	2,2	10,00
T1-210-1,0%	2,5	25,00
T1-240-0,5%	2,6	13,04
T1-240-1,0%	3	30,43
T2-210-0,5%	2,4	20,00
T2-210-1,0%	2,8	40,00
T2-240-0,5%	2,5	8,70
T2-240-1,0%	3,1	34,78

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

La (ASTM C 94, 2017) indican que, si el diseño de hormigón tiene incorporación de fibras naturales, el valor máximo que debe tener es de 3.5% por tal razón las probetas cilíndricas sin fibra y con fibras naturales son aceptadas ya que su contenido de aire está por debajo del máximo valor

Las gráficas siguientes muestra que el contenido de aire es directamente proporcional a la dosis y tratamiento que está sometidos, ya que como se ve en la gráfica el incremento de la dosis de fibra de raquis de palma africana es directamente proporcional al incremento del contenido de aire en la mezcla. En la **Tabla 129** se puede ver la variación del contenido de aire de acuerdo a cada variable analizada.

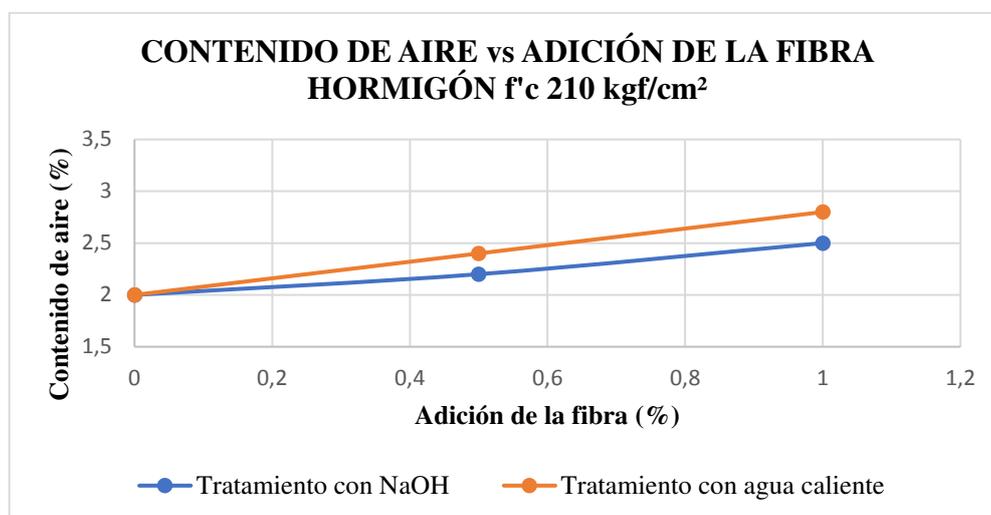


Figura 64: Contenido de aire vs adición de la fibra hormigón f'c 210 kgf/cm²

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

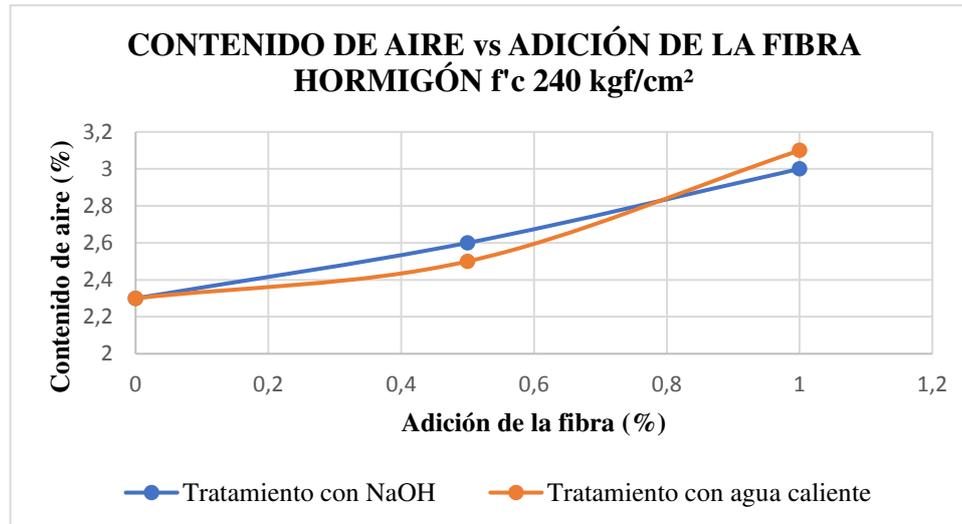


Figura 65: Contenido de aire vs adición de la fibra hormigón f'c 240 kgf/cm²

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

5.2.3 PESO ESPECÍFICO

Los resultados y variaciones que se obtuvieron en el laboratorio para hormigones simples y con la adición de fibra se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 130:

Resultados del peso específico.

Diseño kgf/cm ²	Peso Específico gr/cm ³	Variación %
210-SF	2,3	
240-SF	2,3	
T1-210-0,5%	2,2	4,34
T1-210-1,0%	2,2	4,34
T1-240-0,5%	2,2	4,34
T1-240-1,0%	2,2	4,34
T2-210-0,5%	2,2	4,34
T2-210-1,0%	2,2	4,34
T2-240-0,5%	2,2	4,34
T2-240-1,0%	2,2	4,34

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Los resultados obtenidos muestran que el hormigón sin fibras naturales es aceptado, ya que el rango que debe tener un hormigón normal de peso específico esta entre 2.3 y 2.5 gr/cm², teniendo una relación directamente proporcional con la adición de la fibra a la mezcla de hormigón, ya que, al aumentar la dosis de fibra natural el peso específico tiende a disminuir como se muestran en las gráficas siguientes:

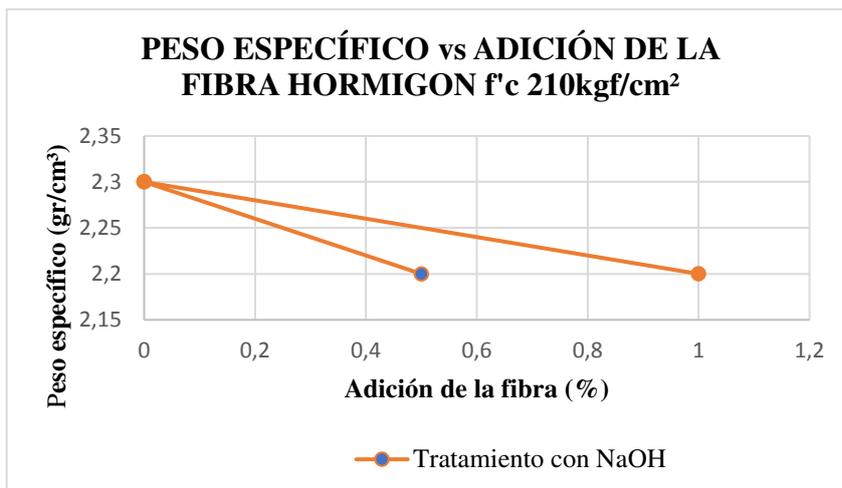


Figura 66: Peso específico y adición de la fibra 210 kgf/cm² tratamiento con NaOH
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

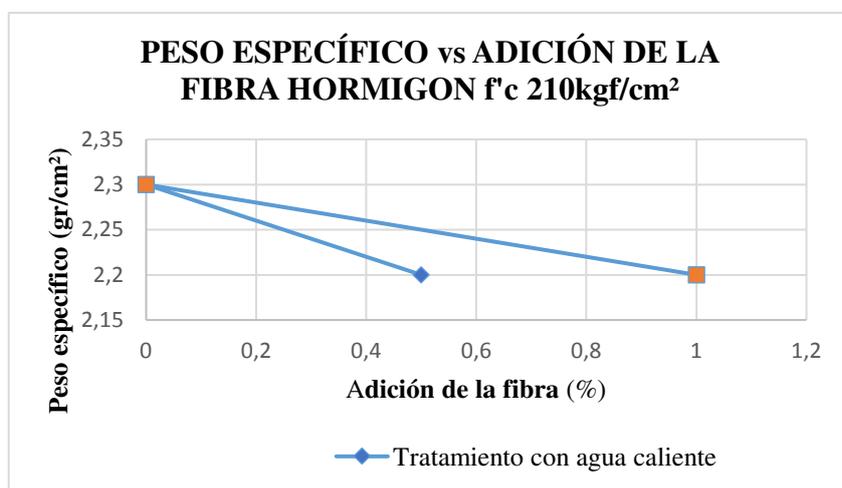


Figura 67: Peso específico y adición de la fibra 210kg/cm² tratamiento con agua caliente
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

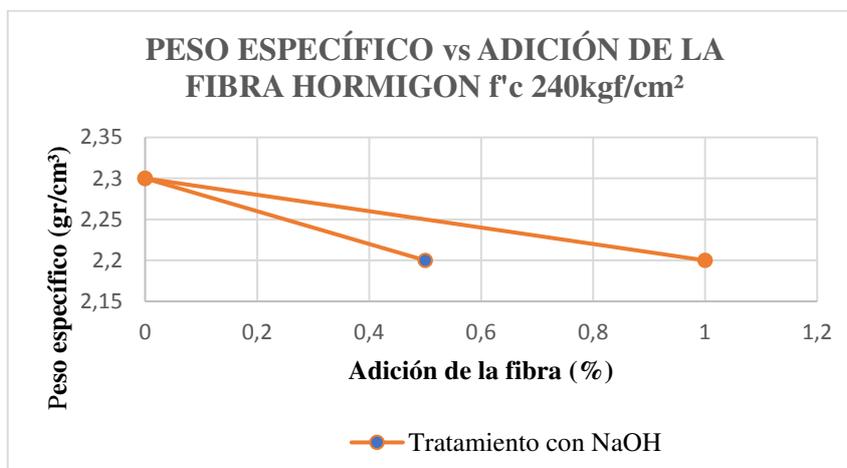


Figura 68: Peso específico y adición de la fibra 2140 kg/cm² tratamiento con NaOH
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

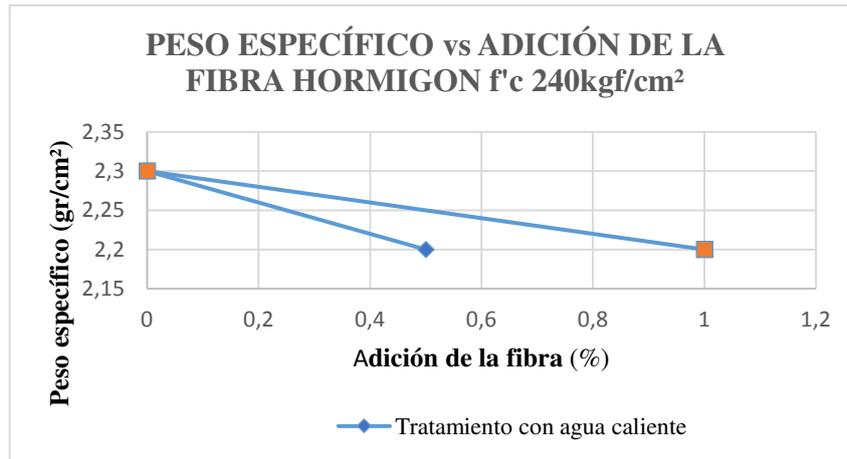


Figura 69: Peso específico y adición de la fibra 240kg/cm² tratamiento con agua caliente
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

5.3 ENSAYOS AL HORMIGÓN ENDURECIDO

Se presentan los resultados mediante tablas y gráficas de cada propiedad del hormigón endurecido y se evaluará la influencia que tuvo en su resistencia a la compresión la adición de la fibra en diferentes proporciones.

5.3.1 ENSAYO A LA COMPRESIÓN

A continuación, en la **Tabla 131**, se muestra el resumen de las resistencias promedios del hormigón simple con todas sus variables estudiadas

Tabla 131:
Resultados de la resistencia a la compresión.

Descripción	Edad	Resistencia a la compresión		Desviación %
		kg/cm ²	MPa	
210-SF	14	199,27	19,55	
210-SF	28	264,33	25,93	
210-SF	56	371,31	36,43	
240-SF	14	205,00	20,90	
240-SF	28	272,89	26,77	
240-SF	56	337,30	33,09	
T1-210-0.5%F	14	201,48	19,76	-1,11
T1-210-0.5%F	28	265,81	26,08	-0,56
T1-210-0.5%F	56	377,17	37,00	-1,58
T1-210-1.0%F	14	165,13	16,20	17,13
T1-210-1.0%F	28	258,07	25,32	2,37
T1-210-1.0%F	56	316,78	31,08	14,69
T1-240-0.5%F	14	206,84	20,29	-0,90
T1-240-0.5%F	28	274,36	26,91	-0,54
T1-240-0.5%F	56	338,89	33,25	-0,47
T1-240-1.0%F	14	167,40	16,42	18,34
T1-240-1.0%F	28	266,17	26,11	2,46
T1-240-1.0%F	56	299,76	29,41	11,13
T2-210-0.5%F	14	227,97	22,36	-14,40
T2-210-0.5%F	28	255,86	25,10	3,20
T2-210-0.5%F	56	333,35	32,70	10,22
T2-210-1.0%F	14	157,83	15,48	20,79
T2-210-1.0%F	28	186,43	18,29	29,47
T2-210-1.0%F	56	246,25	24,16	33,68
T2-240-0.5%F	14	197,54	19,38	3,64
T2-240-0.5%F	28	289,55	28,41	-6,11
T2-240-0.5%F	56	316,78	31,08	6,08
T2-240-1.0%F	14	155,88	15,29	23,96
T2-240-1.0%F	28	227,47	22,31	16,64
T2-240-1.0%F	56	267,69	26,26	20,64

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Para entender de mejor manera la tabla de la variación de la resistencia se presentan a continuación graficas de la variación a la resistencia con cada variable a estudiar. Cabe señalar que los valores en negativo de la **Tabla 131** indican el incremento que tuvo el hormigón en la resistencia a la compresión y los números en positivo la disminución en la resistencia a la compresión que presento en cada variable analizada.

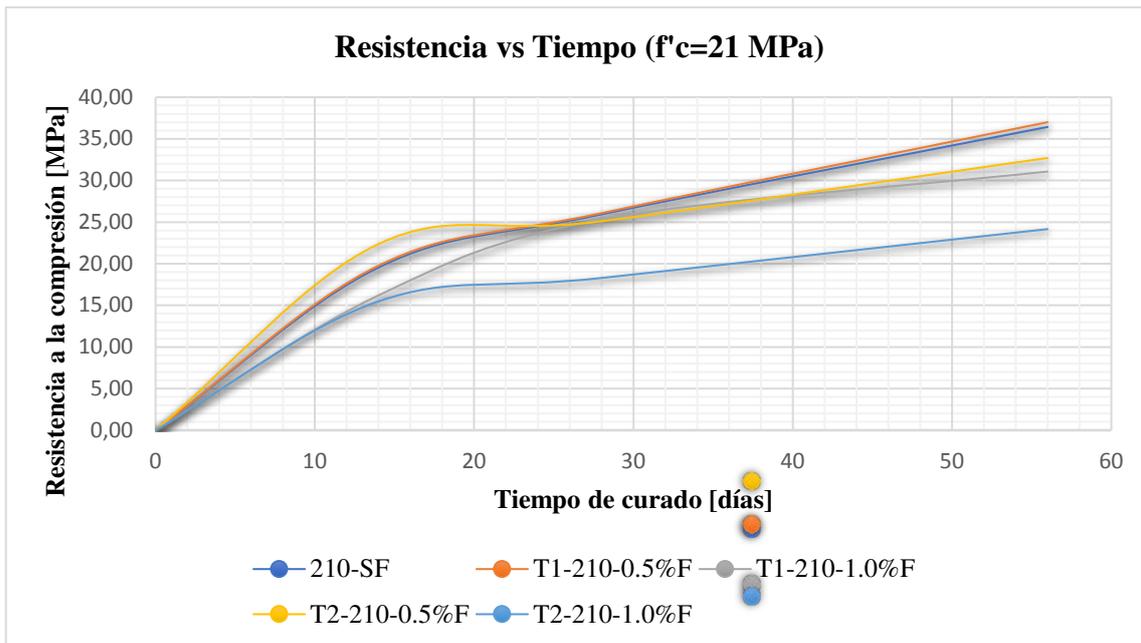


Figura 70 Curvas de resistencia de compresión vs tiempo de curado - $f'c$ 21MPa
 Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Como se puede visualizar en la figura la fibra sometida a un tratamiento con NaOH en una porción del 0.5% del volumen total presenta un aumento en la resistencia a la compresión 1.11% respecto a la probeta cilíndrica sin fibras, en cambio con una porción del 1.0% de fibra del total de su volumen sometidas al tratamiento con NaOH y Agua Caliente esta tiende a disminuir el esfuerzo de compresión en condiciones normales de la mezcla en 14.40 % como se visualiza en el siguiente grafico de barras.



Figura 71: Comparación de $f'c$ 21MPa, respecto a la inmersión de 0.5 y 1.0% de fibra con tratamiento 1.
 Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Como se ve en la **Figura 71**, la variación de la resistencia a la compresión al añadir la fibra al 0.5% esta tiende a subir mientras que si se añade al 1.0% esta baja.

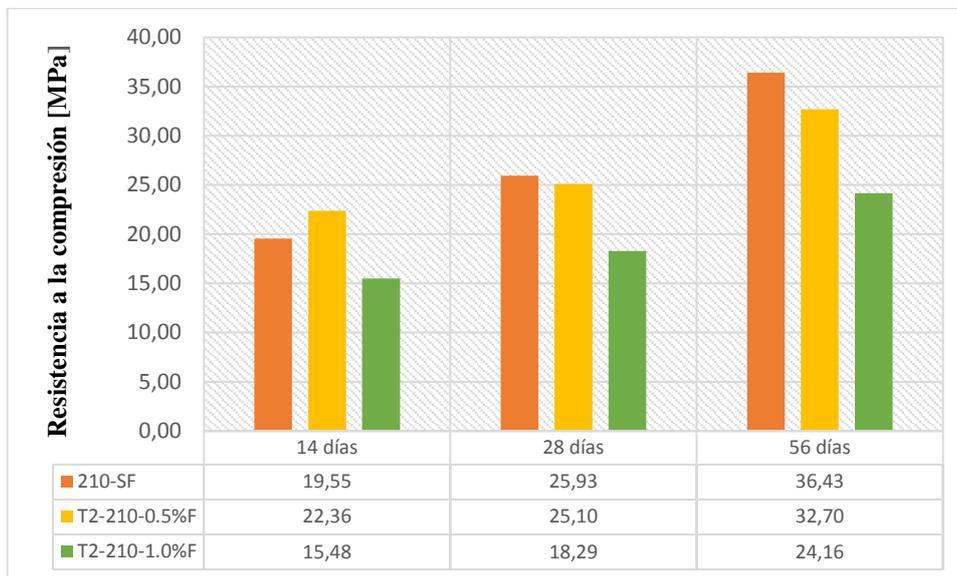


Figura 72: Comparación de f'_c 21MPa, respecto a la inmersión de 0.5 y 1.0% de fibra con tratamiento 2.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Como se ve en la **Figura 72**, la variación de la resistencia a la compresión al añadir la fibra al 0.5% con tratamiento del agua caliente esta tiende a bajar y lo mismo ocurre al poner el 1.0% de fibra esta baja.

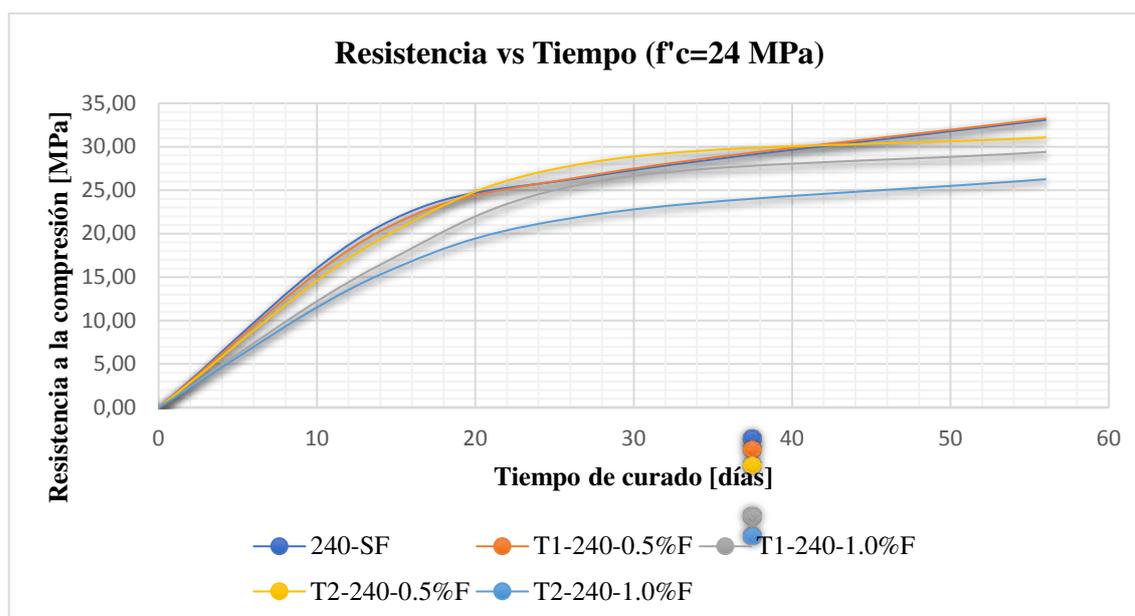


Figura 73: Curvas de resistencia de compresión vs tiempo de curado - f'_c 24MPa
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Para este diseño se pudo ver que al añadir fibra al 0.5% en volumen total esta presenta un aumento del 0.94% en comparación de su resistencia de diseño, mientras que si aumentamos la porción de fibra a 1.0% esta disminuye hasta en un 33.68% de la resistencia diseñada. A continuación, se presentan unas graficas de barras para visualizar esta reducción de resistencia.



Figura 74: Comparación de f'_c 24MPa, respecto a la inmersión de 0.5 y 1.0% de fibra con tratamiento 1.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Como se ve en la **Figura 74** al tratar la fibra con NaOH esta mejora las propiedades de la fibra y al ser añadía en un 0.5% en volumen tiende a subir la resistencia a la cual fue diseñada, lo que no pasa con el tratamiento con agua caliente ya que este tratamiento tiende a bajar la resistencia de diseño como se puede visualizar en la siguiente grafica de barras



Figura 75: Comparación de f'_c 24MPa, respecto a la inmersión de 0.5 y 1.0% de fibra con tratamiento 2.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

5.3.2 RESUMEN DE RESISTENCIAS OBTENIDAS EN EL ENSAYO A COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS

A continuación, se presenta de mejor manera los resultados de las resistencias obtenidas con sus respectivas variantes analizadas en los anteriores capítulos



Figura 76: Hormigón simple de f'_c 21Mpa con y sin fibras expuestas a los tratamientos.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

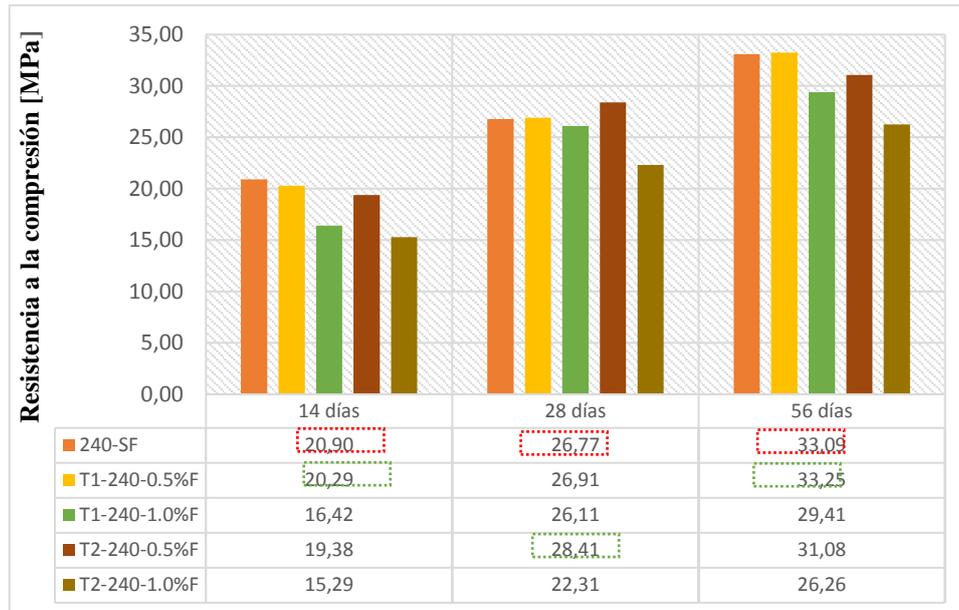


Figura 77: Hormigón simple de $f'c$ 24Mpa con y sin fibras expuestas a los tratamientos.
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

En base a los resultados obtenidos se comprobó que el tratamiento químico en las fibras con hidróxido de sodio esta tiende a mejorar las propiedades de la fibra y a su vez aumenta la durabilidad de la fibra, ya que al aplicar este tratamiento este tiende a eliminar parte de la lignina la cual conforma la fibra de palma africana y es una de las causantes para su degradación. Con el tratamiento de agua caliente ocurre todo lo contrario con esta se presenta mayor asentamiento y la resistencia tiende a disminuir independientemente de la porción que se ponga en el hormigón

5.3.3 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LOS HORMIGONES

El módulo de elasticidad que se tomó para el análisis fue el obtenido a los 56 días para así tener una apreciación más real si aumenta o disminuye por la adición de las fibras con sus respectivos tratamientos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

5.3.3.1 Módulo de elasticidad diseño 210 kgf/cm²

Tabla 132:*Módulo de Elasticidad 210 kgf/cm².*

Diseño kg/cm ²	Edad de ensayo días	Modulo Promedio MPa
210-SF	56	21307
T1-210-0,5%	56	11693
T1-210-1%	56	17971
T2-210-0,5%	56	18570
T2-210-1%	56	-

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

Como se puede ver en la **Tabla 132** el módulo de elasticidad tiende a bajar por la adición de la fibra sometidas al tratamiento de hidróxido de sodio en 39.48%, mientras que la fibra con sometida al agua caliente esta baja con un porcentaje de 25.45%

**Figura 78:** Resumen valores de módulos de elasticidad respecto a f'c 210 kgf/cm².**Elaborado por:** Chiquito, J & Eras, G

5.3.3.2 Módulo de Elasticidad diseño 240 kgf/cm²

Tabla 133:

Modulo de elasticidad 240 kgf/cm².

Diseño kg/cm ²	Edad de ensayo días	Modulo Promedio MPa
240	56	20218
T1-240-0,5%	56	17080
T1-240-1%	56	19037
T2-240-0,5%	56	19525
T2-240-1%	56	-

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

En base a los datos obtenidos en la **Tabla 133** se puede ver que el módulo de elasticidad de acuerdo al porcentaje y tratamiento que la fibra sea sometida esta tiende a subir en un porcentaje de 18.45%

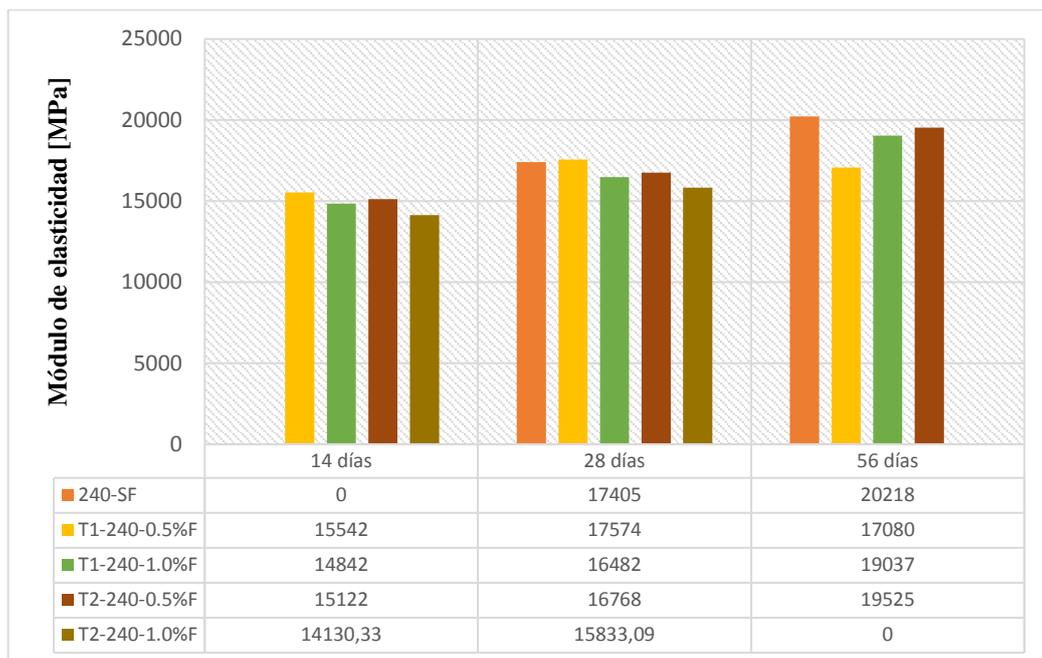


Figura 79: Resumen valores de módulos de elasticidad respecto a f'c 240 kgf/cm²

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

5.4 SELECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN (HORMIGÓN SIMPLE MÁS FIBRA NATURAL) PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS SOSTENIBLES

En base a los resultados obtenidos se puede recomendar la siguiente dosificación para construcciones de casas de un piso la cual se detalla a continuación. La dosificación teórica que se recomienda en peso para 1 m³ de hormigón es de diseño 210 kgf/cm² con 0.5% de fibra de raquis de palma africana tratada con Hidróxido de sodio:

Tabla 134:

Dosificación en peso óptima para 1m³ de hormigón f'c 210kgf/cm².

Componente	Masa kg	Cantidad Relativa en Peso (Cemento=1)
Agua	23,83	0,48
Cemento	50,00	1,00
Arena	99,50	1,99
Ripio	80,80	1,62
Fibra 0.5%	4,89	0,10

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

5.5 DURABILIDAD DE LA FIBRA

La durabilidad de la fibra se pudo estimar visualmente ya que se dejó cilindros patrones de hormigón simple con fibra desde 30 de agosto del 2021 y se le fue dando seguimiento antes, durante y después del ensayo de compresión hasta la presentación de este estudio. A continuación, se presentan imágenes de las fibras embebidas en el hormigón.



Fotografía 77: Fibra tratada con NaOH

Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

La durabilidad de la fibra al mes de estar expuesta con el hormigón no presenta cambios en su estructura externa.



Fotografía 78: Fibra tratada con NaOH (25/11/2021)
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

La **Fotografía 78** tomada el 25 de noviembre del 2021 en la cual se puede apreciar que la fibra no presenta ningún cambio en su estructura y se sigue manteniendo en óptimas condiciones. A continuación, se presenta una foto de la fibra embebida en el hormigón sometida al tratamiento de agua caliente.



Fotografía 79: Fibra tratada con Agua Caliente
Elaborado por: Chiquito, J & Eras, G

La **Fotografía 79** se tomó el 15 de diciembre del 2021 en la cual también se puede visualizar que la fibra no presenta cambios en su estructura. Aún conserva su aspecto inicial al agregarle al hormigón simple.

En base a estos resultados, la fibra tratada si presenta mayor durabilidad, ya que la fibra que no fue tratada a los pocos días de estar expuesta a la intemperie empezó a degradarse produciendo una especie de hongo blanco (perdió el color y dureza) y conforme pasaban los días este hongo empezó a aumentar y a expandirse en toda la fibra que se tenía almacenada.

CAPÍTULO VI:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Dependiendo del porcentaje de adición de fibra de raquis de palma africana esta tiende a disminuir el asentamiento del hormigón simple, ya que, si se trabaja con porcentajes en fibra altos se tendrá valores de asentamientos bajos lo que implica una pérdida de agua en la mezcla de hormigón; lo cual, puede afectar en la resistencia del hormigón y su trabajabilidad debido a la reducción en la relación agua cemento.
- El hormigón simple de $f'c$ 210 kgf/cm² sin adicción de fibra al realizar el ensayo de compresión en estado endurecido arroja un valor de la resistencia a la compresión igual a 371.31 kgf/cm² a los 56 días, mientras que al añadir fibras tratadas con hidróxido de sodio en una dosis de 0.5% en 1m³ de volumen de hormigón esta incrementa la resistencia a la compresión del hormigón a 377.17kgf/cm² a los 56 días lo que implica tener un material ecológico el cual puede ser empleado en las futuras construcciones.
- Al añadir fibras en dosis de 1.0% tratadas con hidróxido de sodio en 1m³ de volumen de hormigón de $f'c$ 210kgf/cm², la resistencia a la compresión disminuye teniendo un valor de 316.78 kgf/cm² a los 56 días y esto es una desventaja en comparación del hormigón normal sin fibras ya que la resistencia que se registra es $f'c$ igual a 371.31kgf/cm² a los 56 días.
- El hormigón simple de $f'c$ 210 kgf/cm² con adicción de fibra en dosis de 0.5% y 1.0% en 1m³ de volumen de hormigón expuesta al tratamiento con agua caliente presenta resistencia a la compresión de 333.35 kgf/cm² y 256.25 kgf/cm² a los 56 días, respectivamente, lo que implica que el tratamiento con agua caliente aplicado a las fibras no es favorable ya que baja la resistencia a la compresión del hormigón en estado endurecido.
- El hormigón de resistencia 240 kgf/cm² fue el que presento resultados por debajo de las propiedades de un hormigón normal, siendo el más aceptable cuando se trabaja con dosis de 0.5% de adicción de fibra en 1m³ de volumen de hormigón tratada con hidróxido de sodio el cual tiene un valor de $f'c$ igual a 338.89 kgf/cm² a los 56 días y al ser tratada la fibra con agua caliente esta

tiene un valor de $f'c$ igual a 316.78 kgf/cm² a los 56 días, lo que implica tener un hormigón amigable con el medio ambiente pero desfavorable respecto al hormigón simple sin fibras de $f'c$ 240 kgf/cm² que presenta un valor a la resistencia de 337.30 kgf/cm² a los 56 días.

- El hormigón simple de $f'c$ 240 kgf/cm² con adición de fibra en dosis de 1.0% en 1m³ de volumen de hormigón expuesta al tratamiento con hidróxido de sodio y agua caliente presentan resistencia a la compresión de 299.76 kgf/cm² y 267.69 kgf/cm² a los 56 días respectivamente lo que implica que el tratamiento con agua caliente aplicado a las fibras no sea favorable en comparación con el hormigón simple sin fibras de $f'c$ 240 kgf/cm².
- La densidad superficie saturada seca de la fibra sin ningún tratamiento presenta un valor de 1030 kg/m³ el cual se redujo por la aplicación de los tratamientos con hidróxido de sodio y agua caliente teniendo valores de 1020 kg/m³ y 1010 kg/m³ respectivamente.
- El peso específico del hormigón sin fibras de $f'c$ 210 kgf/cm² y 240 kgf/cm² tiene un valor de 2.3 gr/cm² y muestra una relación con la dosis de fibra adicionada, independiente del tratamiento aplicado a las fibras, que la relación es directamente proporcional, porque el incremento de la dosis de fibra de 0.5% y 1.0% genera reducción en el peso específico teniendo valores de 2.23 gr/cm² respectivamente.
- El contenido de humedad de la fibra sin tratar y tratada químicamente con NaOH y térmicamente con agua caliente presentan valores: 83.33%, 40% y 37% respectivamente, siendo el tratamiento térmico el más óptimo para ser aplicado en las fibras.
- La fibra sin ningún tratamiento previo presenta una capacidad de absorción igual a 66.67% dicho valor pudo ser reducido aplicando el tratamiento químico con NaOH a la fibra obteniendo un valor igual a 55.56 %, aplicando un tratamiento térmico con agua caliente la absorción de la fibra baja a 51.72%.
- Pese a que el tratamiento por agua caliente reduce en un 22.42% la absorción de agua esto no implica que es el mejor tratamiento aplicable a la fibra ya que este tratamiento también reduce la tenacidad de ruptura en un 17.80% y esto hace que el hormigón falle más rápido, lo que no pasa con el

tratamiento por hidróxido de sodio aunque la reducción de la absorción es baja pero aumenta la tenacidad de ruptura en un 23.73% con respecto a la fibra en estado normal lo que hace que estos hormigones puedan soportar mayor carga, sin deformarse ni romperse bajo algunos esfuerzos bruscos que pueden ser aplicados.

- El tratamiento con hidróxido de sodio elimina la lignina y esto a su vez reduce la rápida degradación de la fibra lo que implica tener un material ecológico el cual puede ser utilizado en la construcción de casas de un piso, y así en un futuro generar plazas de trabajo debido a la extracción de la fibra de raquis de palma africana para ser uso en las mezclas de hormigón.
- Al aplicar los tratamientos con hidróxido de sodio y agua caliente se observó que estos si influyen en la durabilidad de la fibra, ya que la fibra sin ningún tratamiento a los pocos días de tenerla almacenada esta empezó a degradarse produciendo un hongo de color blanco en la superficie externa de la fibra.
- El módulo de elasticidad del hormigón simple de $f'c$ 210kgf/cm² sin fibras tiene un valor de 21307 Mpa a los 56 días, mientras con adición de la fibra en dosis de 0.5% y 1% tratadas con hidróxido de sodio el módulo de elasticidad tiene de a disminuir a valores de 11693 Mpa 17971 Mpa a los 56 días respectivamente.
- Al tratar las fibras con agua caliente y añadirlas en dosis de 0.5% en el hormigón de $f'c$ 210kgf/cm² el módulo de elasticidad este baja un valor de 18570Mpa a los 56 días en comparación al hormigón simple sin fibras.
- El módulo de elasticidad del hormigón simple de $f'c$ 240kgf/cm² sin fibras tiene un valor de 20218 Mpa a los 56 días, mientras con adición de la fibra en dosis de 0.5% y 1% tratadas con hidróxido de sodio el módulo de elasticidad tiene de a disminuir a valores de 17080 Mpa 19037 Mpa a los 56, si las fibras son tratadas con agua caliente y adicionadas al hormigón en dosis de 0.5% el módulo de elasticidad tiene de a subir a un valor de 19525 Mpa a los 56 días respecto al módulo de elasticidad de la fibra tratada con hidróxido de sodio en dosis de 0.5%

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir con este presente estudio, de las características que presenta la mezcla de hormigón por la adición de fibras de palma africana en estado endurecido a mayor tiempo (6 meses o 1 año) y así poder analizar y comprobar que fisuras este puede presentar,
- Realizar el estudio químico de la fibra al aplicar los tratamientos con hidróxido de sodio y agua caliente el cual permitirá conocer cómo cambia la estructura molecular de la fibra al aplicar dichos tratamientos.
- Se recomienda completar el presente estudio con adición de la fibra en dosis de 0.5% de 1m³ de volumen de hormigón y tratada con hidróxido de sodio con una concentración del 3% y así comprobar si mejora las condiciones de trabajabilidad de la mezcla y confirmar que a menor concentración de NaOH la fuerza de ruptura de la fibra aumenta.
- Si se desea trabajar con un mayor porcentaje de adición de la fibra en el hormigón se recomienda hacer un ajuste en la relación agua cemento o corregir el agua por el método de contenido de humedad de los agregados en función de la absorción que puede tener la fibra en el momento de usarla junto con el hormigón.
- Se recomienda buscar otro tratamiento térmico ya que el tratamiento con agua caliente realizada en esta investigación no solo afecta a la absorción y contenido de humedad, sino que también reduce la tenacidad de la fuerza de ruptura de la fibra lo que hace que la fibra se vuelva frágil y al añadirla al hormigón simple esta presenta valores de $f'c$ bajos igual 267.69 kgf/cm² en comparación con el hormigón normal que presenta un valor de 371.31 kgf/cm².

BIBLIOGRAFÍA

- Abdeldjebar, R., Hamouine, A., Fouchal, F., Labbaci, B., & Zebair, A. (2018). Effects of treated date palm fiber on durability of stabilized earth blocks (seb). *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(5), 293-305.
- ACI 214. (2011). *Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto*. Recuperado de <http://concrete.org/Publications/Documenterrata.asp>.
- ACEROS AREQUIPA. (2018). Aprende el procedimiento para elaborar probetas de concreto. Recuperado de CONSTRUYENDO SEGURO website: <https://www.construyendoseguro.com/aprende-el-procedimiento-para-elaborar-probetas-de-concreto/>
- ACI 116. (2019). Terminología del cemento y el hormigón. *American Concrete Institute*, (73 PP), 1-104.
- ACI 211.1. (2006). Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. *American Concrete Institute*, (9), 120-121.
- ACI 310. (1999). Specifications for structural concrete. *American Concrete Institute*, 1-49.
- ACI 318-19. (2019). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary. En *American Concrete Institute*. <https://doi.org/10.14359/51716937>
- ACI 318. (2019). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary. En *American Concrete Institute*. <https://doi.org/10.14359/51716937>
- ACI 318S. (2011). Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-11) y comentario. En *American Concrete Institute*. Recuperado de www.concrete.org
- ACI 544 1R. (1984). Fiber Reinforced Concrete. *American Concrete Institute*, 6(12), 15-27.

- Ahmad, R., Hamid, R., & Osman, S. A. (2019). Physical and chemical modifications of plant fibres for reinforcement in cementitious composites. *Advances in Civil Engineering*, 2019, 1-19.
<https://doi.org/10.1155/2019/5185806>
- Alario C, E. (2014, octubre 13). Cuidados del hormigón. Recuperado 19 de diciembre de 2021, de ALARIO Arquitectura Técnica website:
<https://enriquealario.com/curado-de-hormigon/>
- Alawar, A., Hamed, A. M., & Al-Kaabi, K. (2009). Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement. *Composites Part B: Engineering*, 40(7), 601-606. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2009.04.018>
- Arrondo, V. M. (2015). El tamaño de la muestra. *Chasqui. Revista Latinoamericana de Comunicación*, 0(68), 1-13.
<https://doi.org/10.16921/chasqui.v0i68.1334>
- ASTM C 1064. (2012). Standard test method for temperature of freshly mixed hydraulic-cement concrete. *American Society for Testing and Materials*, (c), 1-3. <https://doi.org/10.1520/C1064>
- ASTM C 1157. (2013). Standard performance specification for hydraulic cement. *American Society for Testing and Materials*, 1-6.
- ASTM C 125. (2013). Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. *American Society for Testing and Materials*, 1-8.
<https://doi.org/10.1520/C0125-13a.2>
- ASTM C 128. (1997). Standard test method for specific gravity and absorption of fine aggregate. *American Society for Testing and Materials*, 04, 1-5.
- ASTM C 143. (2015). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. *American Society for Testing and Materials*, (1), 1-4.
<https://doi.org/10.1520/C0143>
- ASTM C 192. (2016). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. *American Society for Testing and Materials*, 04, 1-8.

- ASTM C 231. (2017). Standard test method for air content of freshly mixed concrete. *American Society for Testing and Materials*, 1-9.
https://doi.org/10.1520/C0231_C0231M-17
- ASTM C 29. (2017). Standard Test Method for Bulk Density (“ Unit Weight ”) and Voids in Aggregate. *American Society for Testing and Materials*, i(c), 1-5.
- ASTM C 31. (2019). Standard Specification for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. *American Society for Testing and Materials*, 1-6.
<https://doi.org/10.1520/C0031>
- ASTM C 33. (2016). Standard specification for concrete aggregates. *American Society for Testing and Materials*, 1-11. <https://doi.org/10.1520/C0033>
- ASTM C 40. (2011). Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete 1. *American Society for Testing and Materials*, 1-2.
https://doi.org/10.1520/C0040_C0040M-11
- ASTM C 42. (2018). Standard Method of Test for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete. *American Society for Testing and Materials*, 23(11), 2841-2852.
- ASTM C 469. (2002). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression. *American Society for Testing and Materials*, 04, 1-5. Recuperado de [http://portales.puj.edu.co/wjfajardo/mecanica de solidos/laboratorios/astm/C469.pdf](http://portales.puj.edu.co/wjfajardo/mecanica%20de%20solidos/laboratorios/astm/C469.pdf)
- ASTM C 470. (2002). Especificaciones normalizadas para la fabricacion de los moldes para ensayos de hormigón. *American Society for Testing and Materials*, 4-9.
- ASTM C 670. (2013). Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods. *American Society for Testing and Materials*, 04, 1-12.
- ASTM C 94. (2017). Standard specification for ready-mixed concrete. *American Society for Testing and Materials*, 04, 2-4. <https://doi.org/10.1520/C0094>

- ASTM D 570. (1998). Método de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos. *American Society for Testing and Materials*.
- ASTM E 122. (2009). Calculating sample size to Estimate , with specified precision , the average for a characteristic of a lot or process. *American Society for Testing and Materials*, 1-5.
- Ávila R, A., & Albuquerque, J. (2018). Impactos socioambientales del cultivo de palma africana: Los casos mexicano y brasileño. *Enonomía & Sociedad*, 23, 62-83. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/eyes.23-53.4>
- Azwa, Z. N., Yousif, B. F., Manalo, A. C., & Karunasena, W. (2013). A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Materials and Design*, 47, 424-442. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.11.025>
- Beer, F., Johnston, R., Dewolf, J., & Mazurek, D. (2020). Mecánica de materiales. En E. Zuñiga (Ed.), *Mc Graw Hill* (5ta ed., Vol. 238). https://doi.org/10.1007/978-94-024-1771-5_7
- Bladimir. (2000). PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO. Recuperado 2 de enero de 2022, de Tecnología de concreto website: <https://uaptecnologiadeconcreto.blogspot.com/2019/04/8.html>
- Caizaguano, O., & Terán, G. (2020). *Caracterización del hormigon con fibras naturales del ranquis de la palma africana de aceite y la estopa del coco* (Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21247>
- Cardenas Ortega, O. (2016). Partes de Puentes. Recuperado 9 de octubre de 2019, de SlideShare website: <https://www.slideshare.net/EMANECERS/partes-de-un-puente-59442007>
- Chandramohan, D., & Marimuthu. (2011). A review on natural fibers. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 8(2), 194-206. Recuperado de http://www.arpapress.com/Volumes/Vol8Issue2/IJRRAS_8_2_09.pdf
- Distrito, V. (2016). *Propiedades y durabilidad de los hormigones Estado fresco y*

endurecido.

eltelegrafo. (2019, marzo 23). El Telégrafo - La Fabril genera energía a base de desechos de palma. *El Telégrafo*. Recuperado de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/lafabril-energia-desechos-palma-africana-montecristi>

Espinoza, J. (2015). Mother/pregnant Teen Communication & Depression. *Comportamiento Mecánico Del Concreto Reforzado Con Fibras De Bagazo De Caña De Azúcar*.

Forero H, D. C., Hormaza M, P. A., Moreno C, L. P., & Ruiz R, R. (2012). *Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite* (H. M. Romero Angulo, Ed.). Colombia: Cenipalma.

Gere, J., & Goodno, B. (2009). Mecánica de materiales. En S. Cervantes (Ed.), *CENGAGE Learning* (7ma ed.). <https://doi.org/10.47807/unison.43>

Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2020). A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications. En *Journal of Materials Science* (Vol. 55). <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03990-y>

Giatec Scientific Inc. (2017, julio 28). The History of Concrete. Recuperado 11 de septiembre de 2021, de Giatec Scientific Inc. website: <https://www.giatecscientific.com/education/the-history-of-concrete/>

González, Ó. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado* (4ta ed.; L. N. EDITORES, Ed.). México: LIMUSA.

González-Vallejo, P., Muntean, R., Solís-Guzmán, J., & Marrero, M. (2020). Carbon footprint of dwelling construction in Romania and Spain. A comparative analysis with the OERCO2 tool. *Sustainability (Switzerland)*, 12(17). <https://doi.org/10.3390/SU12176745>

Grafarend, E. W. (2006). *No Title Linear and nonlinear models : fixed effects, random effects, and mixed models* (Berlin ; N).

Gutierrez, S. (2020). *Cemento Portland - EcuRed*. 1-11. Recuperado de

https://www.ecured.cu/Cemento_Portland

Heras, E. (2001). Disoluciones, diluciones y densidad 9. *McGraw Hill*, 2(261545), 10-20. Recuperado de

<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448184491.pdf>

HOLCIM. (2016). Evolución de la normas. *Holcim*, 1-56.

Holcim Ecuador S.A. (2015). Ficha técnica - Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general. *Holcim*, 1, 17. Recuperado de

https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf

ICPA. (2015). *Materiales y propiedades del hormigón*. Argentina.

INKA. (2017, enero 7). Producción de cemento en el mundo. Recuperado 2 de febrero de 2022, de INKA website:

<http://www.cementosinka.com.pe/blog/produccion-cemento-mundo/>

Juárez Alvarado, C., Rodríguez López, P., Rivera Villarreal, R., & Rechy de Von Roth, M. (2004). Uso de las fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto. *Ingenierías*, 7(22), 7-19.

Juárez, C., Valdez, P., & Durán, A. (2004). Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 19 Nº2, Agosto del 2004 www.ing.puc.cl/ric*, 19(2), 83-92.

Kim, J. T., & Netravali, A. N. (2013). Fabrication of advanced «green» composites using potassium hydroxide (KOH) treated liquid crystalline (LC) cellulose fibers. *Journal of Materials Science*, 48(11), 3950-3957.

<https://doi.org/10.1007/s10853-013-7199-7>

Luna, G. (2014). *Estudio del Hormigon: Guía didáctica para el diseño de mezclas*. (1.ª ed.; G. Luna, Ed.). Ecuador, Quito: Editorial Edicumbre.

Machaka, M., Abou Chakra, H., & Elkordi Professor, A. (2014). Alkali Treatment of Fan Palm Natural Fibers for Use in Fiber Reinforced Concrete. *European Scientific Journal*, 10(12), 1857-7881.

Martín, A. (2020). Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigon. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1-80.

- McCormac, J., & Brown, R. (2018). *Diseño de concreto reforzado* (10.^a ed.; Alfaomega, Ed.). México: Alfaomega Grupo Editor.
- MCE, M. de C. E. (2017). *INFORME SOBRE EL SECTOR PALMICULTOR ECUATORIANO*. Ecuatoror, Quito.
- Mingorance, F., & Minelli, FlaminiaLe Du, H. (2018). El cultivo de la palma aceitera africana en el Chocó. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 0(72).
- Momoh, E. O., Osofero, A. I., & Menshykov, O. (2020). Physicomechanical Properties of Treated Oil Palm-Broom Fibers for Cementitious Composites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(10), 04020300. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003412](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003412)
- Monvaga. (2020). La producción mundial del acero aumentó un 3,4% en 2019. Recuperado 2 de febrero de 2022, de MONVAGA estructuras metálicas website: <https://monvaga.com/noticias/la-produccion-mundial-del-acero-aumento-un-34-en-2019>
- NEC - SE - HM. *Estructuras de hormigón armado*. , (2015).
- NTE INEN 152. (2005). Cemento portland. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 21.
- NTE INEN 156. (2009). Cemento hidráulico. Determinación de la densidad. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 0156.
- NTE INEN 157. (2009). Determinación de la consistencia normal - Método de Vicat. Cemento hidráulico. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1-5.
- NTE INEN 1573. (2010). Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 2165, 8. Recuperado de <https://archive.org/stream/ec.nte.1573.2010#page/n1/mode/2up>
- NTE INEN 1576. (2012). Hormigón De Cemento Hidráulico. Elaboración Y Curado En Obra De Especímenes Para Ensayo. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 12. Recuperado de <http://181.112.149.204/buzon/normas/1576.pdf>
- NTE INEN 1578. (2010). Determinación del asentamiento, cemento hidráulico.

- Norma Técnica Ecuatoriana, 2165, 8. Recuperado de <http://bit.ly/2P2iu4u>*
- NTE INEN 1579. (2013). Determinación de la densidad , rendimiento y contenido de aire (Método gravimétrico). *Norma Técnica Ecuatoriana, 1-6.*
- NTE INEN 1855-2. (2015). Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización.*
- NTE INEN 2380. (2011). *Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. 1973.*
- NTE INEN 2528. (2010). Cámaras De Curado, Gabinetes Húmedos, Tanques Para Almacenamiento En Agua Y Cuartos Para Elaborar Mezclas, Utilizados En Ensayos De Cemento Hidráulico Y Hormigón. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización.*
- NTE INEN 3066. (2016). *Bloques de hormigón, requisitos y métodos de ensayo. 27.*
- NTE INEN 3122. (2021). Determinación del contenido de aire en el hormigón fresco por el método de presión. *Norma Técnica Ecuatoriana, 1-17.*
- NTE INEN 3124. (2017). *Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio (Hormigón). 1-18.*
- NTE INEN 694. (2010). Hormigón y Áridos para elaborar hormigón terminología. *Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2007, 15. Recuperado de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000_extracto.pdf*
- NTE INEN 695. (2010). Áridos, Muestreo. *Norma técnica ecuatoriana., 1-6. Recuperado de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_695-1.pdf*
- NTE INEN 696. (2014). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. *Determinacion del tamaño de particulas en arido fino y grueso., 1(Primera Edición), 5.*
- NTE INEN 855. (2010). Áridos.Determinación de impurezas orgánicas en el arido

fino para hormigón 0855. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1, 2-4. Recuperado de <https://studylib.es/doc/4718570/n-te-inen-0855--áridos.-determinación-de-impurezas>

NTE INEN 856. (2010). Áridos. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 0856.

NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la Densidad Relativa(Gravedad Especifica) y Absorción del Arido Grueso. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1(Primera Edición), 1-14. Recuperado de <http://apps.normalizacion.gob.ec>

NTE INEN 858. (2002). Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. *Annual Book of ASTM Standards*, 1(Primera Edición), 5. Recuperado de <file:///C:/Users/braya/Desktop/858.pdf>

NTE INEN 860. (2011). Áridos. Determinación del Valor de la Degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 2602(1).

NTE INEN 862. (2011). Aridos Para Hormigon. Determinacion Del Contenido Total De Humedad. *Intituto Ecuatoriano de Normalizacion*, 1-8.

Ottazzi, G. (2004). *Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de diseño y comportamiento del concreto armado*. (Pontificia Universidad Católica de Perú). Recuperado de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1055/OT_TAZZI_PASINO_GIANFRANCO_MATERIAL_ENSEÑANZA_CONCRETO_ARMADO.pdf?sequence=1

Ozerkan, N. G., Ahsan, B., Mansour, S., & Iyengar, S. R. (2013). Mechanical performance and durability of treated palm fiber reinforced mortars. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2(2), 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.04.002>

Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2011). Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. *Construction and Building Materials*, 25(2), 575-581. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024>

- Perles, P. (2009). *Hormigón armado* (1era ed.; Nobuko, Ed.). Buenos Aires, Argentina.: ARQUIFUTURA.
- PINZUAR. (2019). MOLDE CILINDRICO PARA CONCRETO METÁLICO - PINZUAR. Recuperado 8 de febrero de 2022, de PINZUAR website: <https://www.pinzuar.com.co/pinzuar/es/productos/concretos/ensayos-de-hormigon-en-seco/moldes-metalico-cilindricos-concreto/>
- PROPALMA. (2020). *Anuario 2020* (p. 130). p. 130. Ecuador: PROPALMA.
- Ramakrishna, G., & Sundararajan, T. (2005). Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), 575-582.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.008>
- Rodgers, L. (2018, diciembre 17). La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías - BBC News Mundo. Recuperado 2 de febrero de 2022, de BBC NEWS website: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>
- Rodríguez, M. A. (2014). Dosificación de concretos. *Revista Ingeniería en Construcción*, 1(1), 24-29. Recuperado de <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/contruccion/article/view/1641>
- Rodriguez, S. C. (2013). *Tablas utilizadas para el diseño de mezclas, tecnología del concreto*.
- Ronald, K. (2019). Temperatura Del Concreto Fresco. Recuperado 16 de enero de 2022, de SCRIBD website: <https://es.scribd.com/document/417023978/Temperatura-del-concreto-fresco>
- Sahoo, S. K., Mohanty, J. R., Nayak, S., & Behera, B. (2021). Chemical Treatment on Rattan Fibers: Durability, Mechanical, Thermal, and Morphological Properties. *Journal of Natural Fibers*, 18(11), 1762-1771.
<https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1697995>
- Salas, A., & Barberlo, M. del M. (2018). Implementación de tecnologías constructivas con fibras vegetales que sean sostenibles en contextos de

precariedad. *IV Congreso Internacional de Estudios del Desarrollo Córdoba*, (December), 1-27.

Sánchez, M. L., Patiño, W., & Cárdenas, J. (2020). Métodos de tratamiento superficial y su efecto en las propiedades físico mecánicas de fibras de guadua. *Scientia et Technica*, 25(1), 183-189.
<https://doi.org/10.22517/23447214.20721>

Santillán, N. (2020). *Utilización de fibras naturales para el desarrollo de morteros reforzados con fibras*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Sethunarayanan, R., Chockalingam, S., & Ramanathan, R. (1989). Natural fiber reinforced concrete. En *Transportation Research Record*.
<https://doi.org/10.1533/9780857095583.2.154>

Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, W. C. (2008). *Diseño y control de mezclas de concreto*.

Torrent, R. (2020). *Ensayos de Consistencia de Hormigón Fresco Convencional*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=0uq5>

Velásquez, S., Pelaéz, G., & Giraldo, D. (2016). *Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica : una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos*. Colombia.

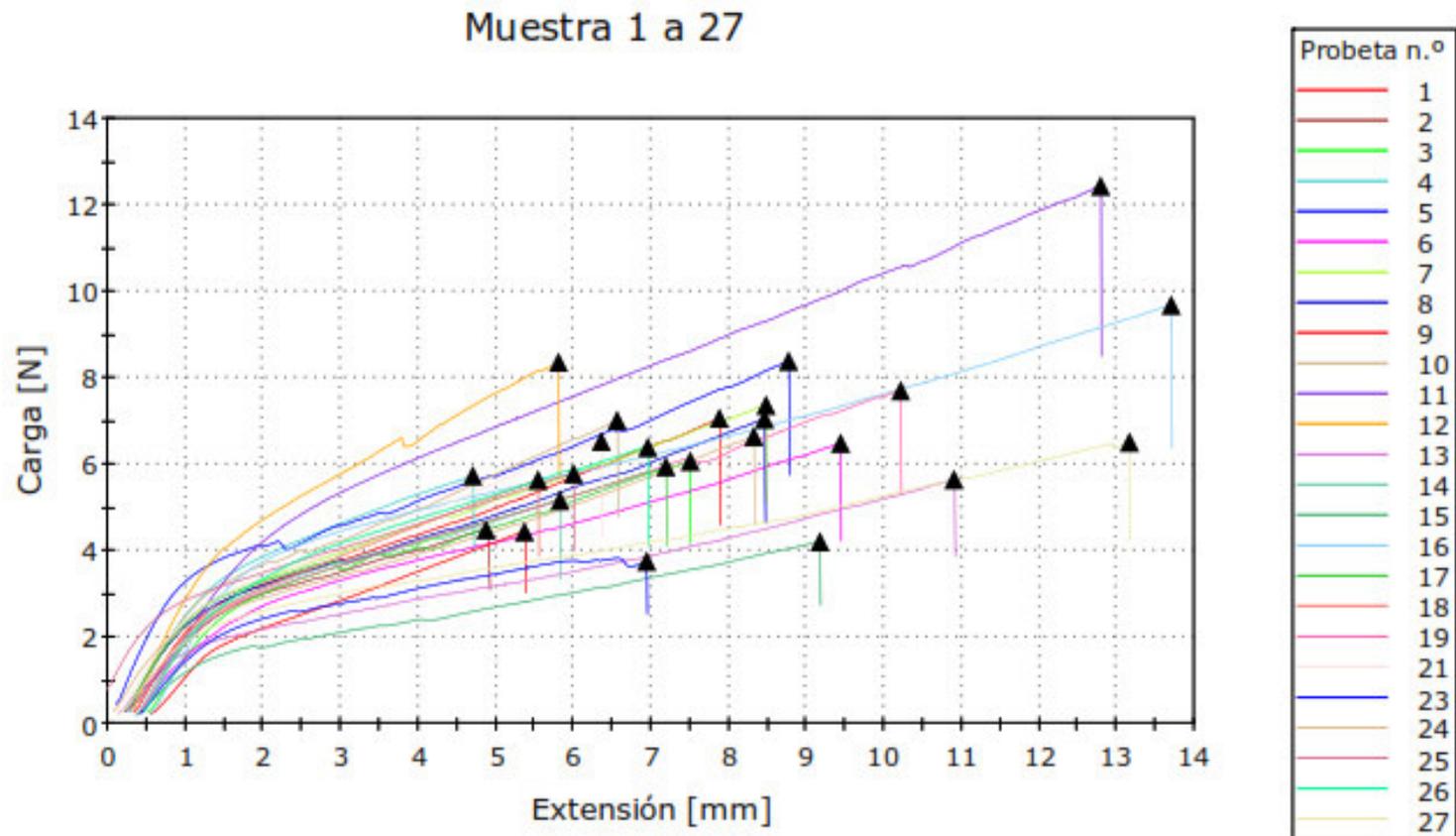
Vera D, E., & Orellana M, F. (1987). *INIAP-Estación Experimental Santo Domingo. 1993(223)*. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3551/9/iniapeesdbd195.pdf>

Vidal, G., & Hormazábal, S. (2016). Las fibras naturales y sus aplicaciones. Innovación en su generación a partir de la depuración de agua. *Universidad de Concepción.*, 100.

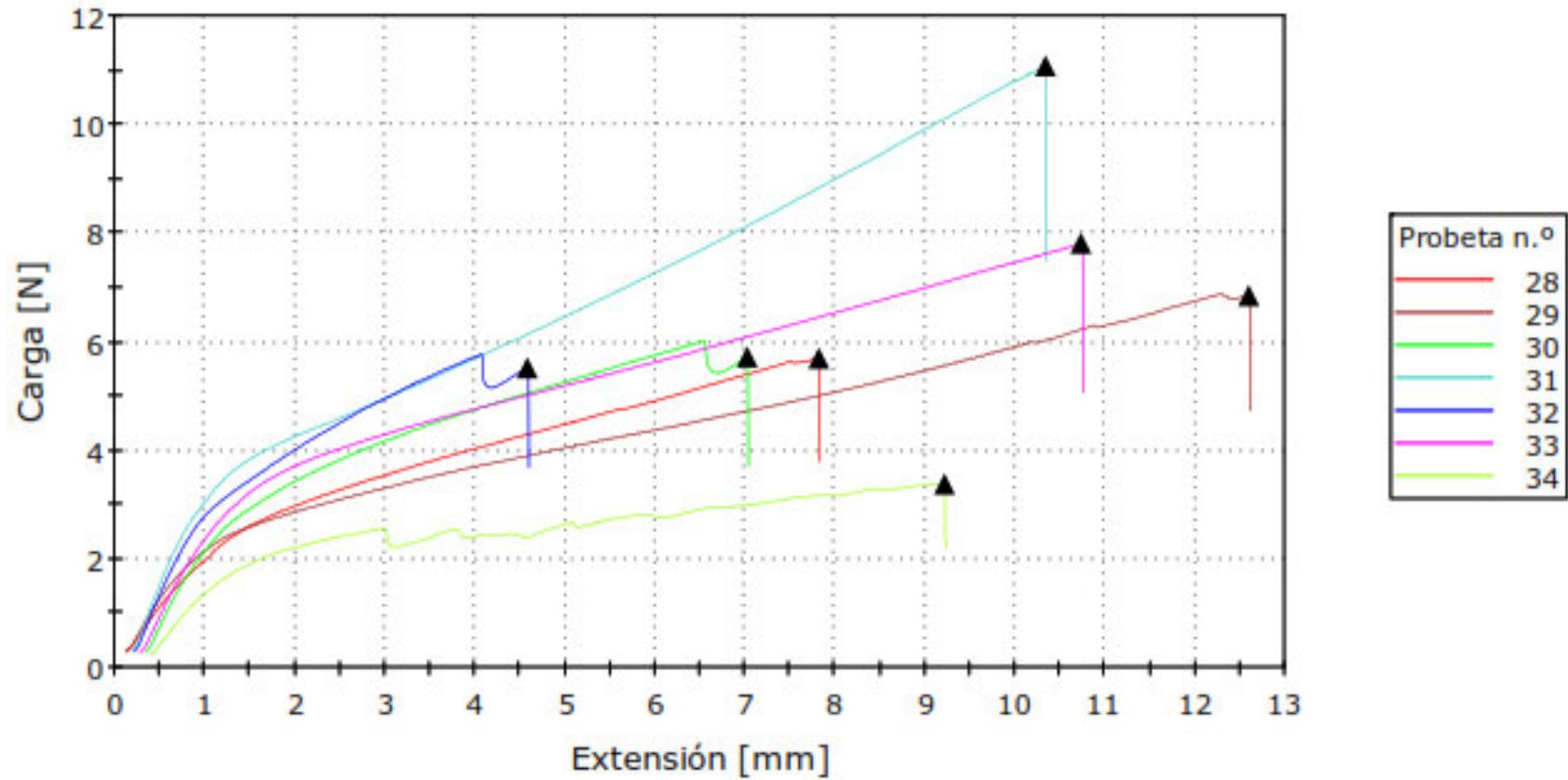
Westfall, P., & Henning, K. S. S. (2013). Understanding Advanced Statistical Methods. En *Understanding Advanced Statistical Methods*.
<https://doi.org/10.1201/b14398>

ANEXOS

Anexo 1: Tenacidad de muestras de la fibra sin tratamiento.



Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 2: Tenacidad de muestras de la fibra sin tratamiento.**Muestra 28 a 34**

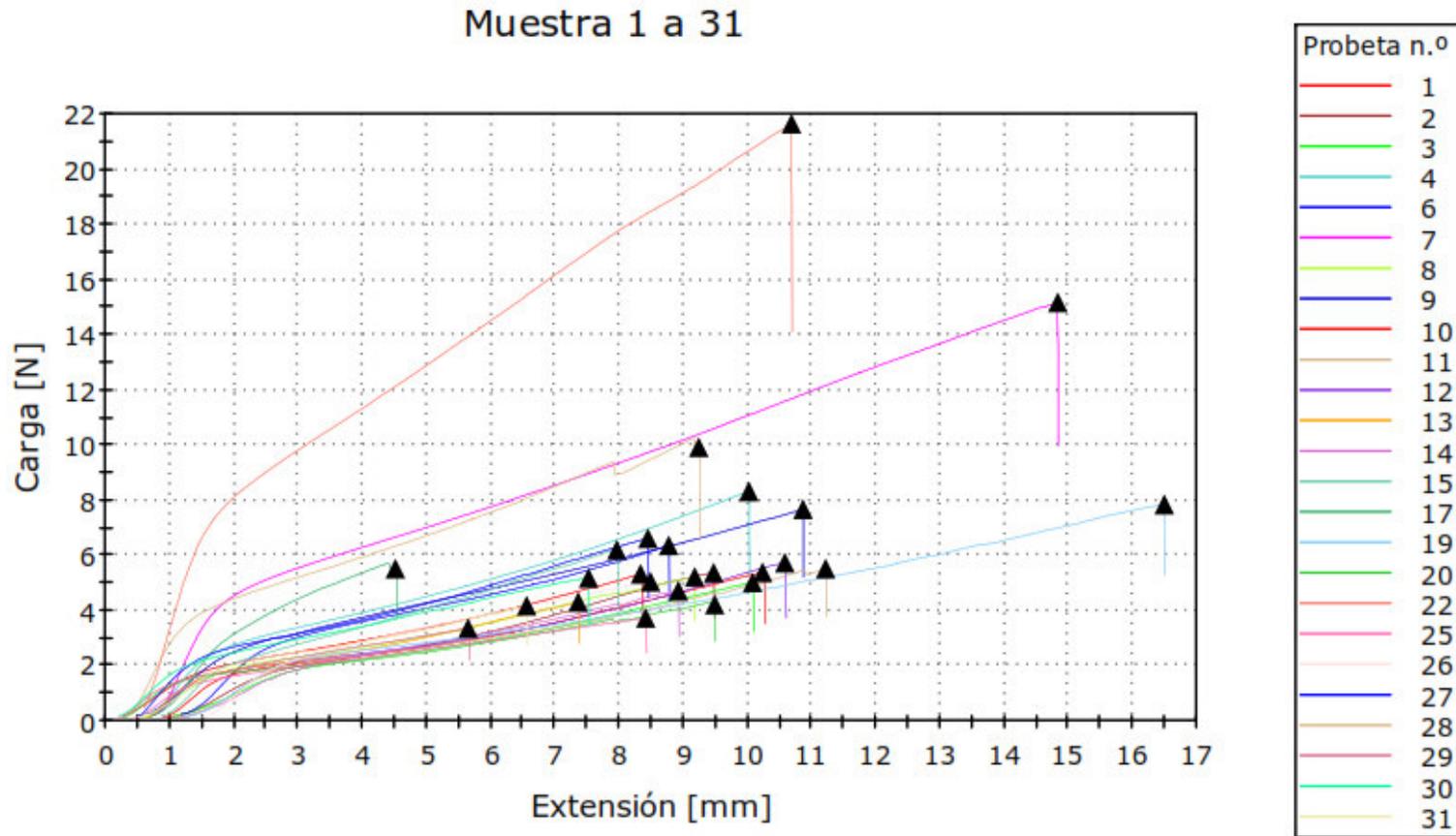
Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 3: Tabla de resultados de fibra sin tratamiento.

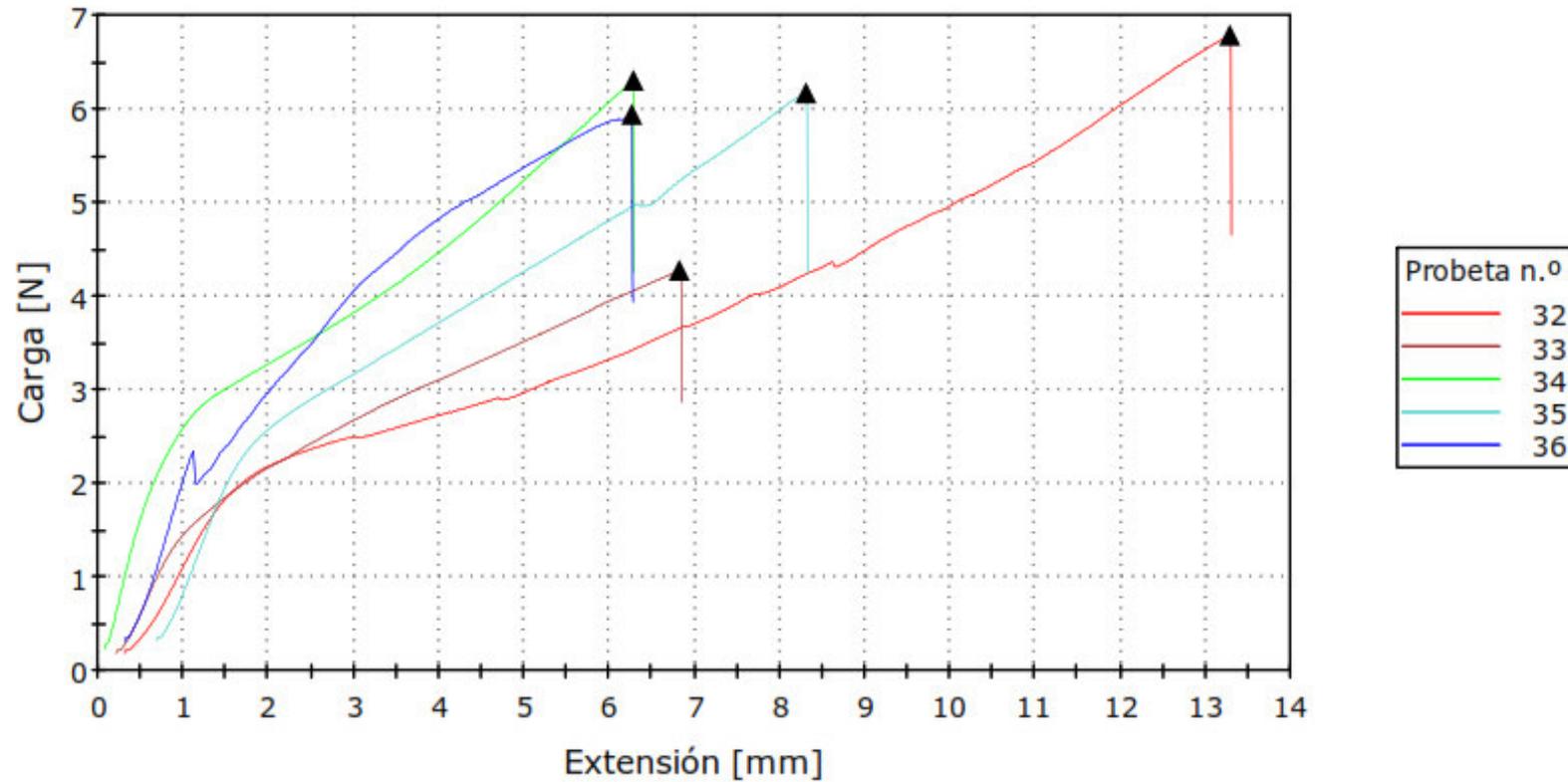
	Speed of Testing [mm/min]	Breaking Force [N]	Elongation [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	Tiempo al Break (Standard) [s]	Tenacidad al Break (Standard) [N/tex]
1	30,0	7,07	0,03759	53,61100	15,1	0,132
2	30,0	4,50	0,02320	58,76900	9,30	0,077
3	30,0	6,08	0,03479	51,78900	14,0	0,117
4	30,0	5,75	0,02197	58,64900	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

Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 4: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de hidróxido de sodio al 4% de concentración.



Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 5: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de hidróxido de sodio al 4% de concentración.**Muestra 32 a 36**

Fuente: (Trujillo, 2021)

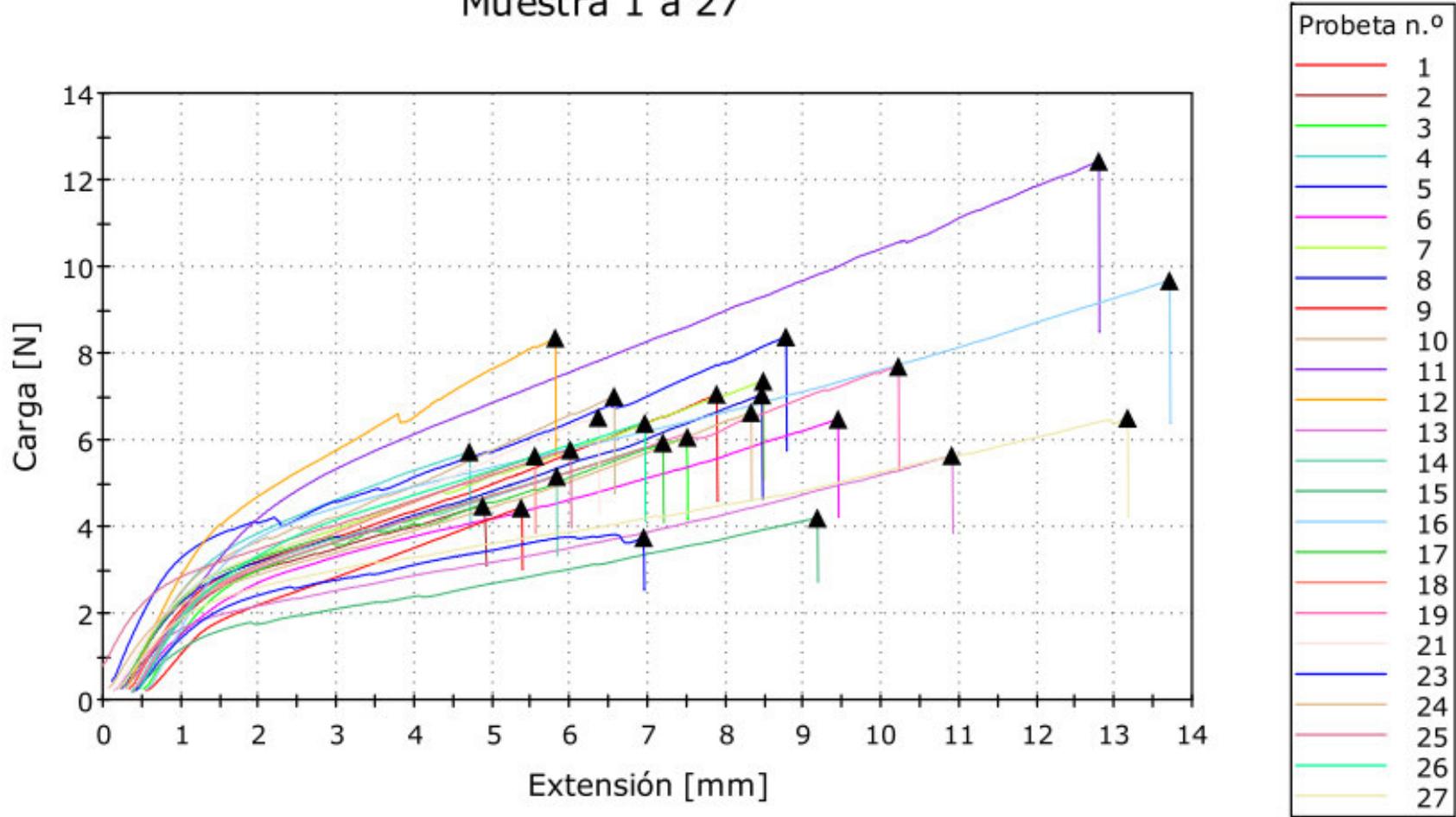
Anexo 6: Tabla de resultados de fibra con tratamiento de hidróxido de sodio.

	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

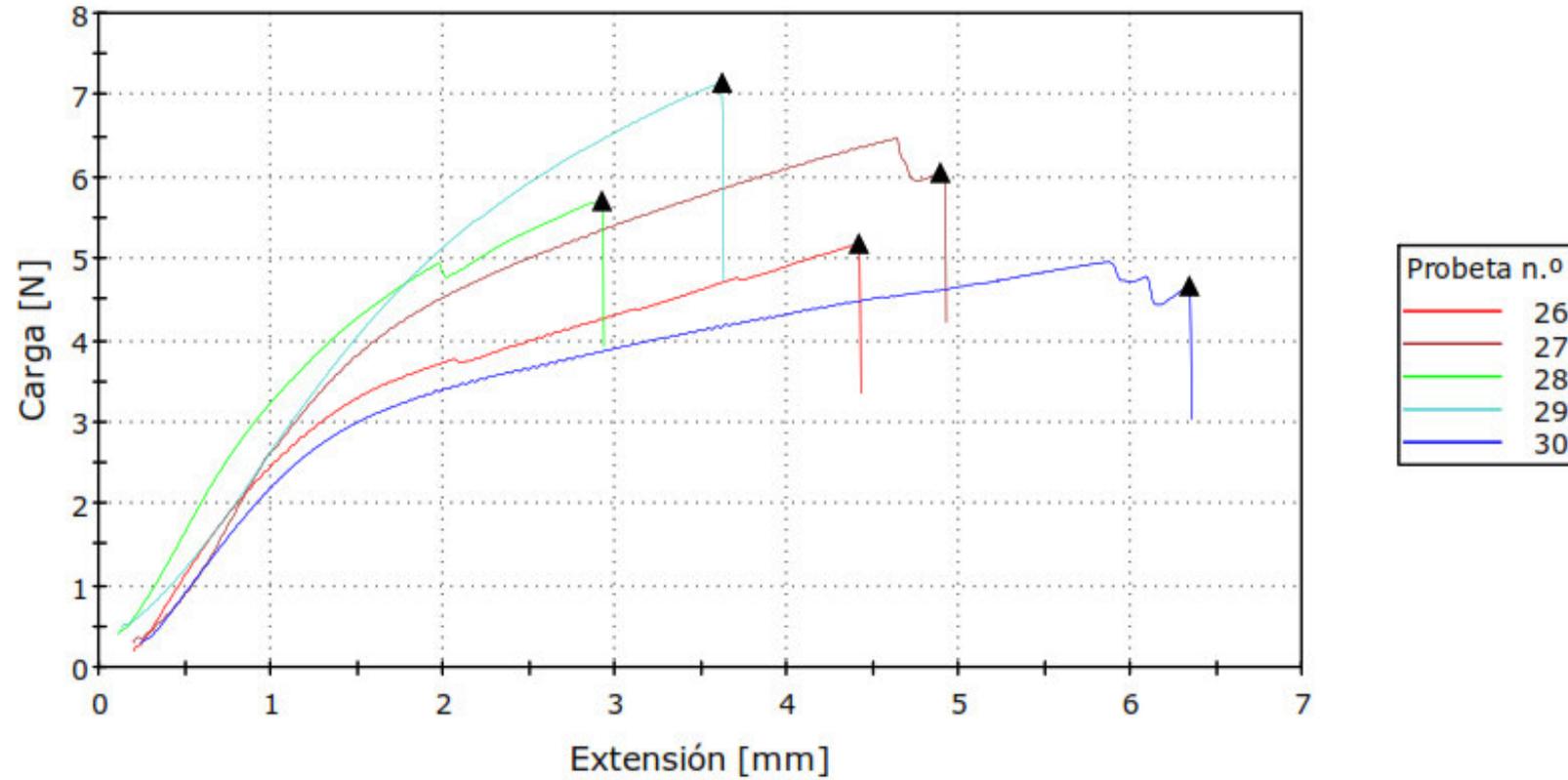
Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 7: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de agua caliente.

Muestra 1 a 27



Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 8: Tenacidad de muestras de la fibra con tratamiento de agua caliente.**Muestra 26 a 30**

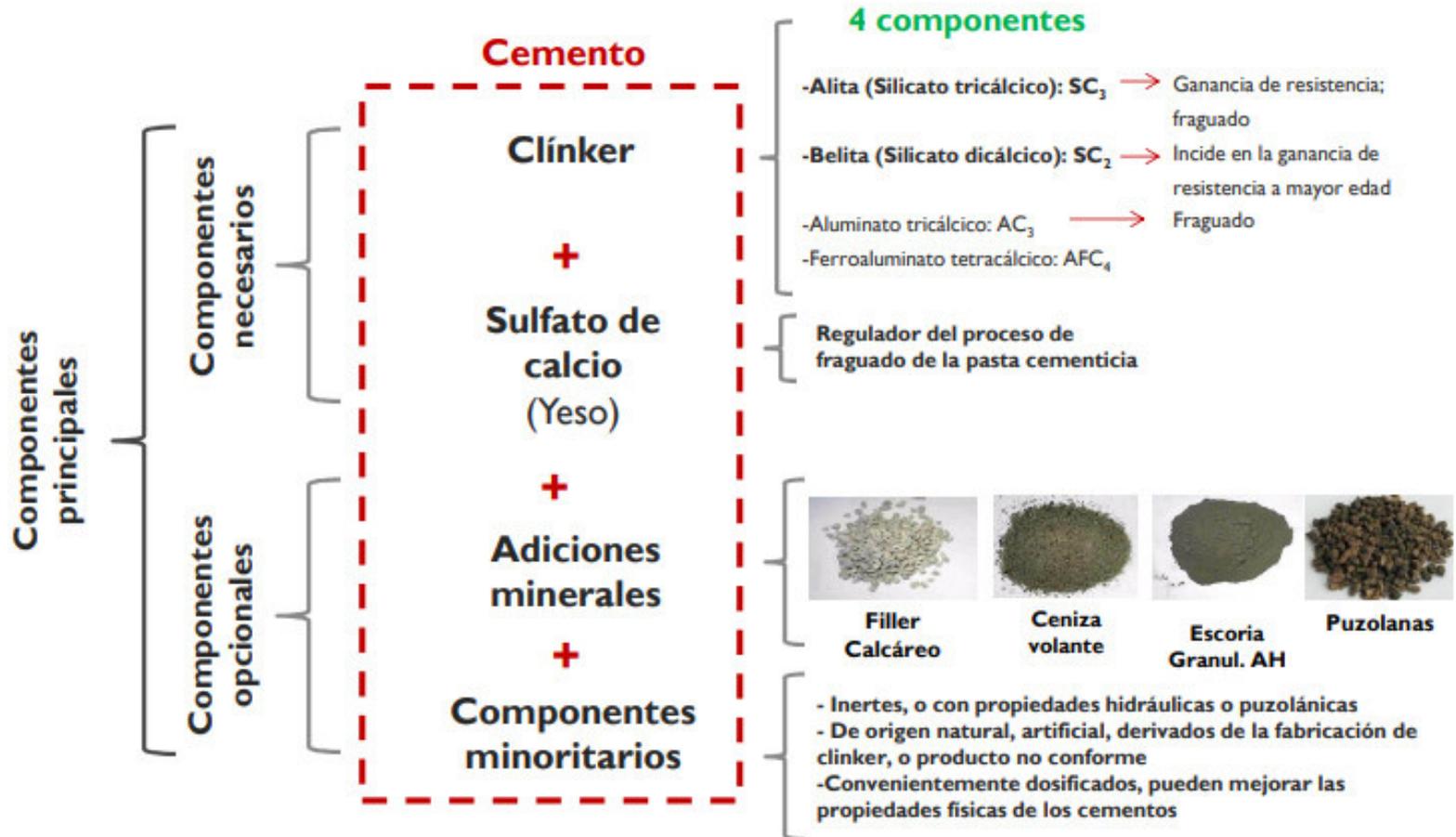
Fuente: (Trujillo, 2021)

Anexo 9: Tabla de resultados de fibras con tratamiento de agua caliente.

	Speed of Testing [mm/min]	Breaking Force [N]	Elongation [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	TiempoalBreak (Standard) [s]	TenacidadalBreak (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 10: Componentes principales del cemento.



Fuente: (ICPA, 2015)

Anexo 11: 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. Víctor Hugo Villacres O.
Lic. Profesional # 21
Laboratorios Químicos

Anexo 12: 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
W _i [gr]	0.0165	0.0203	0.0244	0.0302	0.0162
W _{i+T1} [gr]	0.0144	0.0171	0.0227	0.0279	0.0155
L [cm]	28.00	32.4	35.4	31.8	29.0



Elaborado por: Chiquito, J & Eras,