



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



Tesis

Evaluación comparativa de las propiedades físico - mecánicas y de conductividad térmica entre placas de fibrocemento y placas de fibrocemento adicionado con fibras de envases tetrabrik, fibras de aluminio y fibras de polietileno en el mes de diciembre en la ciudad del Cusco

(Línea de Investigación: Materiales de Construcción)

Presentado por:

Patiño Madueño, Luis Gustavo

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Heiner Soto Flórez

CUSCO – PERU

2021



Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi familia, quienes gracias a ellos soy lo que soy, no sería nada sin ellos, a mis amigos y compañeros de estudio, a mis maestros y a todas las personas que me apoyaron para el desarrollo de esta tesis, a cada uno de ellos mi agradecimiento.

Luis Gustavo Patiño Madueño



Agradecimientos

A mis padres: Grimaldo y Fortunata, quienes son mis mentores y guías en esta lucha llamada vida, agradecer por todo su conocimiento brindado en todos estos años, por su apoyo, gracias por todo lo brindado en esta vida, me faltarán vidas para pagarle todo lo que hicieron por mí.

A mis hermanos: Christian y Frezhia, por su compañía en todos los proyectos que tuve y tendré, muchas gracias.

Con inmensa gratitud agradecer al ingeniero Heiner Soto Flórez, quien gracias a su apoyo pude realizar este proyecto, muchas gracias.

A mis amigos: A quien la suerte me los puso en mi camino, con ellos pude tener las más gratas experiencias, muchas gracias a todos ellos.

A mis incondicionales: Sirius y Peluchin quienes siempre me llenan de alegría y me ayudaron a sobrellevar este proceso sin tanto estrés, muchas gracias por llenar mi vida de tanta felicidad.



Resumen

El fibrocemento está teniendo un protagonismo muy creciente a nivel constructivo dentro del sistema drywall utilizándose para: techos, tabiquería y revestimientos por su alta durabilidad, aislamiento térmico y fácil instalación, está conformado principalmente por cemento y fibras de origen vegetal.

En la presente tesis se planteó la adición de fibras de envases tetrabrik, fibras de aluminio y fibras de polietileno en la elaboración de placas de fibrocemento, evaluando su comportamiento y resistencia y reduciendo el uso de la celulosa en este tipo de materiales, las fibras fueron obtenidas por procesos mecánicos.

Se elaboraron tres placas de fibrocemento, se le añadió el 8 por ciento de fibras por total de mezcla a cada placa, se visualizó que las tres placas elaboradas presentaron un fraguado de 24 horas.

Con las placas de fibrocemento fabricadas por mi persona se procedió a realizar una evaluación de las propiedades físicas y mecánicas empleando la norma alemana DIN y la norma americana ASTM, las pruebas a las que se sometieron las muestras fueron de:

- Resistencia a la flexión
- Compresión del espesor
- Conductividad térmica

Finalmente se realizó una comparativa de los ensayos entre probetas preparadas únicamente con fibrocemento y las probetas de fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik, aluminio y polietileno los resultados obtenidos fueron favorables, contribuyendo con el desarrollo de un nuevo material con un potencial de uso, exceptuando los de resistencia a flexión los cuales tuvieron un bajo rendimiento, y no cumpliendo los parámetros de la normativa DIN.

Palabras clave: Propiedades mecánicas, aluminio, tetrabrik, polietileno, probetas, celulosa, flexión, compresión, conductividad térmica.



Abstract

The asbestos cement is having a very increasing level constructive prominence inside the system drywall being used for: Roofs, tabiquería and coatings for their high durability, thermal insulation and easy installation, is shaped principally by cement and fibers of vegetal origin.

In the present thesis the addition of fibers of containers proposed tetrabrik, fibers of aluminum and polyethylene fibers in the elaboration of plates of asbestos cement, evaluating your behavior and resistance and cutting down on the cellulose in this type of materials, fibers were gotten by mechanical processes.

They elaborated three asbestos cement plates, it added to 8 percent of fibers for total from mixture each plate, that the three elaborate plates presented a 24-hour setting visualized itself.

With the plates of asbestos cement manufactured by my person it was proceeded to accomplish an evaluation of the physical properties and mechanics using the German standard DIN and the American standard ASTM, the proofs you show them the ones they submitted to they were of:

- Bending strength
- Compression of thickness
- Thermal conductivity

Finally came true a comparison of the essays between test tubes prepared only with asbestos cement and the test tubes of asbestos cement added with fibers of tetrabrik, aluminum and polyethylene the obtained results were favorable, contributing with the development of a new material with a potential of use, excepting the ones of resistance to push-up which they had a low performance, and not keeping the normative DIN'S parameters.

Passwords: Mechanical properties, aluminum, tetrabrik, polyethylene, test tubes, cellulose, push-up, compression, thermal conductivity.



Introducción

La fabricación de placas de fibrocemento está ampliamente utilizada a nivel nacional e internacional, la producción de estas placas se hace cada vez en mayores cantidades y están fabricadas con los controles más estrictos y estándares de calidad internacional. La construcción con placas de fibrocemento resuelve hoy los requerimientos especiales para el diseño de edificios modernos y recibe amplia aceptación en el sector de la construcción.

La ciudad del Cusco no es ajena al uso del fibrocemento en sus construcciones. Debido a los altos costos que demanda construir una vivienda de concreto armado, obliga a optar y emplear estilos con tecnologías nuevas que hagan frente a las demandas de edificaciones más económicas. Y es aquí donde encaja el uso de placas de fibrocemento, debido al abanico de ventajas que esta presenta, al ser más económico, brinda mayor rapidez en su construcción o armado, funciona como aislante térmico y acústico, y cuenta con un excelente nivel de acabado.

En mérito a su importancia, es necesario conocer a detalle las características y ventajas que ofrece el fibrocemento, un material bastante empleado. Por ello se planteó realizar una evaluación y comparación de dicho material, al que se le añadió fibras de tetrabrik, aluminio y polietileno. Para la realización de dicha evaluación, se realizaron ensayos establecidos en la norma alemana DIN y en la norma estadounidense ASTM, las placas fueron sometidas a ensayos de compresión, flexión y conductividad térmica.

En el presente trabajo investigativo que se desarrolla a continuación, se evaluó el comportamiento de las fibras obtenidas de los envases de tetrabrik, fibras de aluminio y fibras de polietileno para la elaboración de placas de fibrocemento. Para tener la evaluación de dicho comportamiento se realizó una caracterización de sus propiedades física – mecánicas para después elaborar probetas y analizar los resultados obtenidos.



Índice

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen	4
Abstract	5
Introducción	6
Índice	7
Índice de figuras	15
Índice de tablas	19
Capítulo I	22
Planteamiento del problema	22
1.1. Identificación del problema.....	22
1.1.1. Descripción del problema.....	22
1.1.2. Problema interrogativo del problema general.....	23
1.1.3 Problemas interrogativa de los problemas específicos.....	23
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	23
1.2.1. Justificación técnica.....	23
1.2.2. Justificación social.....	24
1.2.3. Justificación por viabilidad.....	24
1.2.4. Justificación por relevancia.....	25
1.3. Limitaciones de la investigación.....	25
1.3.1. Limitaciones de materiales.....	25
1.3.2. Limitaciones de instrumentos.....	26
1.3.3. Limitaciones de pruebas.....	26
1.3.4. Limitaciones de normas.....	26
1.4. Objetivo de la investigación.....	26
1.4.1. Objetivo general.....	26
1.4.2. Objetivos específicos.....	27
1.5. Hipótesis.....	27
1.5.1. Hipótesis general.....	27
1.5.2 Sub – hipótesis.....	27
1.6. Definición de variables.....	28



1.6.1. Variable independiente.....	28
1.6.2. Variables dependientes.....	28
1.6.3. Cuadro de operacionalización de variables	30
Capítulo II.....	31
Marco teórico.....	31
2.1. Antecedentes de la tesis.....	31
2.1.1. Antecedentes a nivel local.....	31
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional	32
2.1.3. Antecedentes a nivel internacional.....	35
2.2. Bases teóricas - científicas	36
2.2.1. Sistema constructivo drywall	36
2.2.2. Usos del drywall.....	36
2.2.3. Ventajas de drywall.....	36
2.2.4. Proceso constructivo del sistema drywall	37
2.2.4.1. Perfiles metálicos galvanizados	37
2.2.4.2. Ventajas de los perfiles	37
2.2.4.3. Usos y aplicaciones de los perfiles.....	38
2.2.5. Fibrocemento.....	38
2.2.5.1. Historia del fibrocemento.....	39
2.2.5.2. Características de las placas de fibrocemento	39
2.2.5.3. Usos de las placas de fibrocemento.....	40
2.2.5.4. Fabricación del fibrocemento.....	40
2.2.5.5. Materias primas para la fabricación del fibrocemento	41
2.2.5.6. El cemento Portland	42
2.2.5.6.1. Definición.....	42
2.2.5.6.2. Fabricación	43
2.2.5.6.3. Tipos de cemento Portland.....	44
2.2.5.6.4. Composición química.....	44
2.2.5.6.5. Hidratación	45
2.2.5.6.6. Reacciones al concreto	46
2.2.5.6.7. Curado	47
2.2.5.6.8. Tiempo de mezclado	47



2.2.5.6.9. Propiedades físicas	48
2.2.5.6.10. Propiedades mecánicas.....	51
2.2.5.7. Celulosa.....	53
2.2.5.7.1. Fibras de celulosa	53
2.2.5.7.2. Origen y características	54
2.2.5.7.3. Propiedades de la celulosa.....	55
2.2.5.7.4. Propiedades mecánicas y físicas	55
2.2.5.7.5. Carboximetil celulosa sódica (CMC).....	55
2.2.5.8. Fibras sintéticas PVA (Poliacetato de vinilo)	56
2.2.5.9. Orden de procesamiento de las placas de fibrocemento	57
2.2.5.10. Medidas y tipos de placas.....	57
2.2.6. Comportamiento acústico.....	58
2.2.7. Tetrabrik	59
2.2.7.1. Composición del tetrabrik	60
2.2.8. Aluminio.....	61
2.2.8.1. Aluminio en la industria farmacéutica	62
2.2.9. Polietileno.....	63
2.2.9.1. ¿Para qué se utiliza el polietileno?	63
2.2.10. Obtención de fibras	64
2.2.10.1 Fibras de tetrabrik.....	65
2.2.10.2. Fibras metálicas.....	65
2.2.10.3. Fibras de polietileno	66
2.2.11. Energía eléctrica.....	67
2.2.11.1. Resistencia eléctrica	67
2.2.11.2. Corriente eléctrica	67
2.2.11.3. Potencial eléctrico	68
2.2.11.4. Potencia eléctrica1	68
2.2.11.5. Convección.....	69
2.2.11.6. Radiación.....	70
2.2.12. Conductividad térmica	70
2.2.12.1. Definición de la conductividad térmica	70
2.2.12.2. Coeficiente de la conductividad térmica	70



2.2.12.3. Sensor de temperatura	71
2.2.12.4. Termocupla tipo k	72
2.2.12.5. Equipo eléctrico para ensayo de conductividad térmica de placas de fibrocemento	72
2.2.12.6. Acondicionamiento del equipo eléctrico.....	73
2.2.12.7. Unidad calefactora.....	74
2.2.12.8. Sistema de control de temperatura	75
2.2.13. Normas	75
2.2.14. Moldeo de probetas	76
2.2.15. Elaboración de placas de fibrocemento.....	78
2.3. Propiedades mecánicas.....	80
2.3.1. Resistencia a compresión	80
2.3.2. Determinación de la compresión.....	80
2.3.2.1. Expresión de resultados.....	80
2.3.3. Compresión de espesor.....	81
2.3.3.1. Expresión de resultados.....	81
2.3.4. Resistencia a flexión.....	81
2.3.4.1. Determinación de la resistencia a flexión	82
2.3.4.2. Expresión de resultados.....	82
2.4. Dosificación de los materiales a utilizar	82
Capítulo III	84
Metodología.....	84
3.1. Metodología de la investigación	84
3.1.1. Tipo de investigación	84
3.1.1.1. Investigación cuantitativa.....	84
3.1.2. Nivel de la investigación	85
3.1.3. Método de investigación	85
3.1.3.1. Hipotético-deductivo.....	85
3.2. Diseño de la investigación.....	85
3.2.1. Diseño metodológico.....	86
3.2.2. Diseño de ingeniería.....	87
3.3. Población y muestra	88
3.3.1. Población.....	88



3.3.1.2. Descripción de la población	88
3.3.2. Muestra.....	88
3.3.2.1. Descripción de la muestra	88
3.3.2.2. Cuantificación de la muestra	90
3.3.2.3. Método de muestreo	91
3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra	91
3.3.3. Criterios de inclusión	91
3.4. Instrumentos	91
3.4.1. Instrumentos de recolección de datos (IRD)	91
3.4.1.1. IRD Contenido de humedad	92
3.4.1.2. IRD Hinchamiento volumétrico	93
3.4.1.3. IRD Absorción volumétrica	94
3.4.1.4. IRD Densidad	95
3.4.1.5. IRD Ensayo de flexión	96
3.4.1.6. IRD Ensayo de compresión	97
3.4.1.7. IRD Ensayo de conductividad térmica	98
3.4.2 Instrumentos de ingeniería	99
3.4.2.1. Máquina de compresión Accutek	99
3.4.2.2. Equipo universal para ensayos de materiales	100
3.4.2.3. Equipo eléctrico para determinar la conductividad térmica	100
3.4.2.4. Termómetro industrial con termocuplas tipo K	101
3.4.2.5. Multímetro.....	102
3.4.2.6. Balanza	102
3.4.2.7. Vernier.....	103
3.5. Recolección de datos (RD).....	103
3.5.1. RD Ensayo de contenido de humedad.....	103
3.5.1.1. Equipos y materiales – CH.....	103
3.5.1.2. Procedimiento.....	105
3.5.1.3. Toma de datos de CH de las placas de fibrocemento.....	112
3.5.1.4. Toma de datos de CH de las placas de fibrocemento con fibras de tetrabrik.	113
3.5.1.5. Toma de datos de CH de las placas de fibrocemento con fibras de aluminio.....	114
3.5.1.6. Toma de datos de CH de las placas de fibrocemento con fibras de polietileno.	115



3.5.2. RD Ensayo de hinchamiento volumétrico.....	116
3.5.2.1. Equipos y materiales – HV.....	116
3.5.2.2. Procedimiento – HV.....	117
3.5.2.3. Toma de datos – HV fibrocemento	124
3.5.2.4. Toma de datos – HV fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik	125
3.5.2.5. Toma de datos – HV fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik	126
3.5.2.6. Toma de datos – HV fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik	127
3.5.3. RD ensayo de absorción volumétrica.....	128
3.5.3.1. Equipos y materiales – AV.....	128
3.5.3.2. Procedimiento – AV.....	130
3.5.3.2.1. Toma de datos – AV Fibrocemento	136
3.5.3.2.2. Toma de datos – AV Fibrocemento adicionado con fibras tetrabrik	137
3.5.3.2.3. Toma de datos – AV Fibrocemento adicionado con fibras de aluminio.....	138
3.5.3.2.4. Toma de datos – AV Fibrocemento adicionado con fibras de polietileno.....	139
3.5.4. RD ensayo de densidad	140
3.5.3.1. Equipos y materiales – Densidad	140
3.5.3.2. Procedimiento – Densidad	141
3.5.3.2.1. Toma de datos – Densidad del fibrocemento	147
3.5.3.2.2. Toma de datos – Densidad del fibrocemento con tetrabrik.....	148
3.5.3.2.3. Toma de datos – Densidad del fibrocemento con aluminio	149
3.5.3.2.4. Toma de datos – Densidad del fibrocemento con polietileno.....	150
3.5.3.3. RD ensayo de resistencia a la flexión.....	151
3.5.3.3.1. Equipos y materiales – RF	151
3.5.3.3.2. Procedimiento - RF	152
3.5.3.3.3. Datos obtenidos de RF de fibrocemento	159
3.5.3.3.4. Datos obtenidos de RF de fibrocemento con envases tetrabrik	160
3.5.3.3.5. Datos obtenidos de RF de fibrocemento con aluminio	161
3.5.3.3.6. Datos obtenidos de RF de fibrocemento con polietileno	162
3.5.4. RD Ensayo de resistencia a la compresión del espesor (RC).....	163
3.5.4.1. Equipos y materiales	163
3.5.4.2. Procedimientos – RCE	165
3.5.4.2.1. Ensayo de RCE del fibrocemento	165



3.5.4.3. Datos obtenidos de RCE	171
3.5.4.3.1. Datos obtenidos de RCE de fibrocemento	171
3.5.4.3.2. Datos obtenidos de RCE de fibrocemento con envases tetrabrik.....	172
3.5.4.3.3. Datos obtenidos de RCE de fibrocemento con aluminio	173
3.5.4.3.4. Datos obtenidos de RCE de fibrocemento con polietileno	174
3.5.5. RD Ensayo de conductividad térmica (CT).....	175
3.5.5.1. Equipos y materiales	175
3.5.5.2. Procedimientos – CT	176
3.5.5.3. Datos obtenidos de CT	183
3.5.5.3.1. Datos obtenidos de CT de fibrocemento	183
3.5.5.3.2. Datos obtenidos de CT de fibrocemento con envases tetrabrik	184
3.5.5.3.3. Datos obtenidos de CT de fibrocemento con aluminio	185
3.5.5.3.4. Datos obtenidos de CT de fibrocemento con polietileno	186
3.6. Procesamiento de análisis de datos	187
3.6.1. Ensayo de contenido de humedad	187
3.6.1.1. Procesamiento y cálculos	187
3.6.1.2. Diagramas y tablas	188
3.6.1.3. Análisis de prueba	188
3.6.2. Ensayo Hinchamiento volumétrico	190
3.6.2.1. Procesamiento y cálculos	190
3.6.2.2. Diagramas y tablas	191
3.6.2.3. Análisis de prueba	191
3.6.3. Ensayo absorción volumétrica	193
3.6.3.1. Procesamiento y cálculos	193
3.6.3.2. Diagramas y tablas	194
3.6.3.3. Análisis de prueba	194
3.6.4. Ensayo de densidad	196
3.6.4.1. Procesamiento y cálculos	196
3.6.4.2. Diagramas y tablas	197
3.6.4.3. Análisis de prueba	197
3.6.5. Ensayo de resistencia a la flexión	199
3.6.5.1. Procesamiento y cálculos	199



3.6.5.2. Diagramas y tablas	200
3.6.5.3. Análisis de prueba	200
3.6.6. Ensayo de resistencia a la compresión del espesor	202
3.6.6.1. Procesamiento y cálculos	202
3.6.7 Ensayo de conductividad térmica.....	204
3.6.7.1 Procesamiento y cálculos	204
3.6.7.2. Diagramas.....	205
3.6.7.3. Análisis de prueba	205
Capítulo IV.....	207
Resultados	207
4.1. Diagramas resumen	207
4.1.1. Diagrama resumen de contenido de humedad.....	207
4.1.2. Diagrama resumen de hinchamiento volumétrico.....	208
4.1.3. Diagrama resumen de absorción volumétrica	209
4.1.4. Diagrama resumen de densidad.....	210
4.1.5. Diagrama resumen de resistencia a la flexión	211
4.1.6. Diagrama resumen de resistencia a la compresión del espesor.....	213
4.1.7. Diagrama resumen de la evaluación de conductividad térmica	214
4.1.8. Tabla y diagrama general	215
Capítulo V	218
Discusión	218
Glosario	221
Conclusiones	223
Recomendaciones	227
Bibliografía	229
Anexos	231
Matriz de consistencia.....	268



Índice de figuras

Figura 1. Estructura metálica galvanizada.	37
Figura 2. Tableros de fibrocemento.	38
Figura 3. Fibras sintéticas.	40
Figura 4. Proceso de fabricación del fibrocemento.....	41
Figura 5. Proceso de mezclado de pulpa de celulosa con cemento.....	42
Figura 7. Proceso de fabricación del cemento Portland.....	43
Figura 8. Rango de evolución del calor del cemento Portland con la relación agua/cemento.....	45
Figura 9. Diagrama indicativo de la resistencia (en %) que adquiere el concreto a los 28 días..	46
Figura 10. Tiempo de mezclado, segundos.....	47
Figura 11. Estructura fibrosa de la celulosa, (a) región amorfa, (c) región cristalina.....	53
Figura 12. Componentes químicos principales de las fibras vegetales	54
Figura 13. Monómero de celulosa.....	54
Figura 14. Carboximetil celulosa Sódica (CMC).....	56
Figura 15. Fibras sintéticas PVA.	56
Figura 16. Tipos de placas de fibrocemento.	58
Figura 17. Panel tipo sándwich de aluminio para aislamiento acústico.....	59
Figura 18. Composición del envase de tetrabrik.....	61
Figura 19. Placa de aluminio.....	62
Figura 20. Medicamentos en envases de aluminio.....	63
Figura 21. Usos del polietileno.	64
Figura 22. Obtención de fibras de tetrabrik mediante el uso de molidos de bolas.	65
Figura 23. Tipos de fibras metálicas	66
Figura 24. Fibras de polietileno obtenidos de botellas PET.....	67
Figura 25. Señal sinusoidal de voltaje alterna.....	68
Figura 26. Sensor de temperatura digital – termocupla tipo K.	72
Figura 27. Modelo de acondicionamiento para el ensayo de la conductividad térmica.....	73
Figura 28. Flujo de calor generado por la placa caliente	74
Figura 29. Control de temperatura con termocuplas tipo K.....	75
Figura 30. Modelo de moldes para probetas según norma DIN 1101.	76
Figura 31. Distribución de las probetas que se obtendrán de la placa de fibrocemento	77
Figura 32. Modelo de molde según la norma ASTM.....	77



Figura 33. Flujograma de la producción industrial de placas de fibrocemento	79
Figura 34. Dosificación y tipos de probeta a utilizar en la investigación.	83
Figura 35. Fases del proceso cuantitativo.	84
Figura 36. Proceso de investigación cuantitativa.....	85
Figura 37. Flujograma de investigación.....	87
Figura 38. Modelo no probabilístico.....	91
Figura 39. Máquina de Flexión	99
Figura 40. Equipo universal para ensayos de materiales	100
Figura 41. Modelo eléctrico para la determinación de la conductividad térmica	101
Figura 42. Termómetro industrial con termocuplas tipo k.....	101
Figura 43. Multímetro convencional.....	102
Figura 44. Balanza de precisión de 0.01	102
Figura 45. Vernier convencional.....	103
Figura 46. Materiales y equipos – Ensayo Contenido de humedad:	103
Figura 47. Materiales y equipos - CH	105
Figura 48. Proceso de mezcla – Ensayo Contenido de humedad:.....	107
Figura 49. Pasta de fibrocemento – Ensayo Contenido de humedad:.....	107
Figura 50. Colocación a moldes – Ensayo Contenido de humedad:	108
Figura 51. Pasta adherida al molde de madera – Ensayo Contenido de humedad:.....	109
Figura 52. Corte de placas de fibrocemento 1cm x 1cm – Ensayo Contenido de humedad:.....	110
Figura 53. Determinación del peso de probetas húmedas – Ensayo Contenido de humedad:...	110
Figura 54. Secado de probetas de fibrocemento – Ensayo Contenido de humedad:	111
Figura 55. Materiales – HV.....	116
Figura 56. Materiales y equipos – HV	118
Figura 57. Proceso de mezclado – HV.....	120
Figura 58. Mezclado y formación del mortero – HV.....	120
Figura 59. Colocación del mortero en los moldes de madera – HV	121
Figura 60. Secado de la mezcla en los moldes de madera – HV	121
Figura 61. Corte de las probetas de fibrocemento 5cm x 5cm – HV	122
Figura 62. Medición de la probeta con el vernier electrónico – HV	123
Figura 63. Medición de la probeta con el vernier electrónico 24 horas después – HV	123
Figura 64. Materiales y equipos – absorción volumétrica	128



Figura 65. Materiales y equipos – AV	130
Figura 66. Proceso de mezclado del mortero – AV	132
Figura 67. Mezcla del mortero – AV	133
Figura 68. Colocación del mortero en el molde de madera – AV	133
Figura 69. Secado del mortero en el molde – AV	134
Figura 70. Corte de las probetas en 5cm x 5cm – AV	134
Figura 71. Medición de las muestras – AV	135
Figura 72. Probetas sumergidas 24 horas– AV	135
Figura 73. Materiales y equipos a usarse en el ensayo – Densidad	140
Figura 74. Materiales y equipos – Densidad	142
Figura 75. Proceso de mezclado – Densidad	143
Figura 76. Proceso de mezclado con ayuda de equipo mecánico – Densidad	144
Figura 77. Colocación de mezcla en molde de madera – Densidad.....	144
Figura 78. Desmoldado y secado de las probetas – Densidad	145
Figura 79. Corte de las muestras 5cm x 5cm – Densidad	145
Figura 80. Medición de las muestras – Densidad	146
Figura 81. Se toman la masa de las muestras – Densidad.....	146
Figura 82. Materiales y equipos – Ensayo de resistencia a la flexión.....	151
Figura 83. Materiales y equipos – RF	153
Figura 84. Proceso de mezclado – RF.....	154
Figura 85. Proceso de mezclado con ayuda de equipo mecánico – RF	155
Figura 86. Colocación de mezcla en molde de madera – RF.....	155
Figura 87. Secado de las muestras – RF	156
Figura 88. Cortes de las muestras en 25 cm x 5 cm – RF	156
Figura 89. Medición de las muestras – RF.....	157
Figura 90. Muestras sometidas a flexión – RF.....	157
Figura 91. Muestras de fibrocemento luego de flexión – RF.....	158
Figura 92. Materiales y equipos – Ensayo de resistencia a la compresión del espesor	163
Figura 93. Materiales y equipos – RCE	165
Figura 94. Mezclado de materiales – RCE.....	167
Figura 95. Mezcla de materiales con ayuda de equipo mecánico– RCE	167
Figura 96. Mezclado de materiales – RCE.....	168



Figura 97. Corte de muestras de 5cm x 5cm – RCE	169
Figura 98. Medicion de muestras – RCE	169
Figura 99. Proceso de compresión de las muestras - RCE.....	170
Figura 100. Materiales y equipos – Ensayo de conductividad térmica.....	175
Figura 101. Materiales y equipos – CT	177
Figura 102. Preparación de mortero – CT.....	178
Figura 103. Preparación de mortero con ayuda de equipo mecánico– CT	179
Figura 104. Colocación de mortero en molde de acero – CT	179
Figura 105. Secado del mortero – CT	180
Figura 106. Desmoldado de probetas – CT	180
Figura 107. Medición de voltaje en multímetro – CT.....	181
Figura 108. Medición de placa caliente y placa fría – CT	182
Figura 109. Ensayo de conductividad térmica – CT	182
Figura 110. Productos elaborados con aluminio, tetrabrik y polietileno	218
Figura 111. Planchas de fibrocemento en edificio	219



Índice de tablas

Tabla 01. Cuadro de variables independientes	28
Tabla 02. Cuadro de variables dependientes.....	29
Tabla 03. Cuadro de operacionalización de variables	30
Tabla 04. Componentes químicos del cemento Portland.	44
Tabla 05. Valores de humedad de paneles de fibrocemento	48
Tabla 06. Valores de densidad en de paneles de fibrocemento.....	49
Tabla 07. Valores de absorción de agua en paneles de fibrocemento.....	50
Tabla 08. Rango de hinchamiento volumétrico en paneles de fibrocemento.....	51
Tabla 09. Rango de porosidad en paneles de fibrocemento	51
Tabla 10. Valores de resistencia a la compresión de paneles de fibrocemento.....	52
Tabla 11. Envases vendidos por Tetrapak.....	59
Tabla 12. Envases Tetrapak multicapa vendidos en latinoamerica.....	60
Tabla 13. Parámetros de conductividad térmica.	71
Tabla 14. Descripción de las normas utilizadas en la investigación	76
Tabla 15. Cuantificación de la muestra	88
Tabla 16. Cantidad de muestras para ensayos seleccionados.....	90
Tabla 17. Instrumentos de ingeniería.	99
Tabla 18. Dosificación para el ensayo de contenido de humedad.....	106
Tabla 19. Dosificación del ensayo de hinchamiento volumetrico.....	119
Tabla 20. Dosificación para el ensayo de absorción volumétrica	131
Tabla 21. Dosificación para el ensayo de densidad.....	142
Tabla 22. Dosificación para el ensayo de resistencia a flexión.....	153
Tabla 23. Dosificación para el ensayo de resistencia a compresión del espesor.....	166
Tabla 24. Dosificación para el ensayo de conductividad térmica	177
Tabla 25. Datos obtenidos del contenido de humedad.....	187
Tabla 26. Diagrama ANVA del contenido de humedad	188
Tabla 27. Cuadro resumen del contenido de humedad	188
Tabla 28. Parámetros de humedad para un tablero de fibrocemento de 10mm de espesor.....	189
Tabla 29. Valores de humedad en paneles de fibrocemento.	189
Tabla 30. Datos obtenidos del hinchamiento volumétrico	190
Tabla 31. Diagrama de porcentajes del hinchamiento volumétrico.	191



Tabla 32. Cuadro resumen de hinchamiento volumétrico.....	191
Tabla 33. Parámetros de hinchamiento volumétrico en paneles de fibrocemento.	192
Tabla 34. Datos obtenidos de absorción volumétrica.....	193
Tabla 35. Diagrama de porcentajes de absorción volumétrica.....	194
Tabla 36. Cuadro resumen sobre datos obtenidos de absorción volumétrica	194
Tabla 37. Parámetros de absorción volumétrica en paneles de fibrocemento.....	195
Tabla 38. Datos obtenidos en densidad	196
Tabla 39. Diagrama de densidad	197
Tabla 40. Cuadro resumen sobre densidad.....	197
Tabla 41. Parámetros densidad en paneles de fibrocemento de 10 mm de espesor.	198
Tabla 42. Parámetros de resistencia a la flexión en paneles de fibrocemento	199
Tabla 43. Diagrama de resistencia a flexión.	200
Tabla 44. Cuadro resumen sobre resistencia a la flexión.	200
Tabla 45. Parámetros resistencia a la flexión en paneles de fibrocemento	201
Tabla 46. Valores de resistencia a compresión de paneles de fibrocemento	201
Tabla 47. Diagrama de compresión del espesor.....	203
Tabla 48. Datos obtenidos en conductividad térmica.....	204
Tabla 49. Diagramas de conductividad térmica	205
Tabla 50. Cuadro resumen de conductividad térmica	205
Tabla 51. Parámetros de conductividad térmica establecidos por la normativa ASTM	206
Tabla 52. Contenido de humedad de los materiales evaluados	207
Tabla 53. Hinchamiento volumétrico de los materiales evaluados	208
Tabla 54. Absorción volumetrica de los materiales evaluados	209
Tabla 55. Densidad de los materiales evaluados.....	210
Tabla 56. Resistencia a flexión de los materiales evaluados.....	211
Tabla 57. Resistencias de paneles de fibrocemento con diferentes fibras.....	212
Tabla 58. Diagrama resumen de resultados de compresión del espesor	213
Tabla 59. Diagrama resumen de resultados sobre conductividad térmica	214
Tabla 60. Cuadro resumen de datos obtenidos.....	215
Tabla 61. Cuadro de decrementos de la resistencia a la flexión.....	216
Tabla 62. Cuadro de incrementos y decrementos de la resistencia a compresión del espesor...	216
Tabla 63. Cuadro de incrementos y decrementos de la conductividad térmica.	217



Tabla 64. Cuadro resumen de los ensayos evaluados	223
Tabla 65. Resultados obtenidos del ensayo de conductividad térmica.	224
Tabla 66. Resultados obtenidos del ensayo de compresión.	225
Tabla 67. Resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión	226



Capítulo I

Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

La aplicación de nuevos materiales de construcción denominados placas de drywall, se volvió frecuente en el ámbito constructivo de edificaciones en cada ciudad de nuestra región, usado en tabiquería, techos (tejas de fibrocemento), muros aislantes, cielos rasos, etc. hasta el momento estos procesos constructivos carecen de normativa específica en el Perú, por lo que deben cumplir los parámetros estipulados en la Norma Técnica Peruana A – 010 – Arquitectura.

La sierra peruana constantemente es golpeada por intensas olas de frío, según Mary Mollo, especialista en gestión de riesgo y desastres de la Universidad ESAN, en las estaciones de otoño a invierno es donde comienza la baja de temperaturas de manera considerable, siendo los meses de junio y julio los más críticos. En la región del Cusco el uso del sistema de construcción drywall tiene un porcentaje de uso menor comparado con el uso de materiales nobles (ladrillos y bloquetas) y se desconoce las propiedades de este sistema de construcción.

Frente al problema, el 19 de julio del 2010 el Gobierno promulgó el Decreto Supremo N° 008-2009 - Vivienda, el cual promueve la investigación de sistemas térmicos en viviendas para zonas de friaje debido a la escasez de normativas en instrumentación para realización de ensayos de conductividad térmica en fibrocemento. Limitando las investigaciones en nuestro país sobre sus propiedades físicas y mecánicas.

El sistema constructivo drywall presenta poca resistencia cuando se trata de soportar cargas considerables, implementando materiales para poder brindar las propiedades que se requieran y pueda ser utilizada en zonas de bajas temperaturas. Ante eso los paneles de fibrocemento son una gran alternativa para combatir esta problemática, y dar opciones más económicas.



1.1.2. Problema interrogativo del problema general

- ¿Cómo variará la conductividad térmica y propiedades físico-mecánicas entre el fibrocemento y el fibrocemento adicionando fibras de Tetrabrik, fibras de aluminio y fibras de polietileno?

1.1.3 Problemas interrogativa de los problemas específicos

- **Problema específico N°01:** ¿Cuál será la resistencia a flexión del fibrocemento adicionado con fibra (tetrabrik, aluminio y polietileno)?
- **Problema específico N°02:** ¿Cuál será el porcentaje de compresión del espesor del fibrocemento y fibrocemento adicionado con fibra (tetrabrik, aluminio y polietileno)?
- **Problema específico N°03:** ¿Cuál será la conductividad térmica del fibrocemento y fibrocemento adicionado con fibra (tetrabrik, aluminio y polietileno)?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

El presente trabajo de investigación desde el punto de vista ingenieril justifica la gran importancia de conocer nuevos materiales y nuevos sistemas de construcción que son de fácil instalación y económicos, pero comercialmente son poco utilizados en el ámbito urbano y desconocidos en el ámbito rural.

La aparición de nuevos sistemas constructivos simplifica en gran dimensión los tiempos de construcción de edificaciones y permite reforzamientos en viviendas ya construidas ubicadas en las zonas andinas y alto andinas.

Se justifica en la gran importancia de contar con información sobre los tipos de materiales (tetrabrik, aluminio, polietileno) que mejorarán las propiedades físicas y mecánicas del fibrocemento, ello permitirá tomar decisiones acertadas para futuras investigaciones que se propondrán en el apartado de recomendaciones de la presente investigación.



1.2.2. Justificación social

El presente trabajo de investigación desde el punto de social se justifica en:

Los descensos de temperaturas que se producen durante el periodo de heladas, hacen que las condiciones climáticas consideradas confortables para el ser humano puedan volverse insoportables, ocasionando daños a la salud y a sus medios de subsistencia, causando altas tasas de mortalidad por enfermedades respiratorias tanto para personas como para animales de crianza.

Busca ser un punto de partida para nuevas investigaciones sobre las placas de fibrocemento u otro material referido al sistema constructivo drywall, que supondría más temas para futuros tesis, puesto que en la carrera de Ingeniería Civil los temas sobre los sistemas constructivos no convencionales son poco investigados.

Para la fabricación de este sistema constructivo no es necesario el uso de maquinaria industrial, esta se puede fabricar artesanalmente por medio de procesos mecánicos con moldes de madera o moldes metálicos, no requiriendo de mucho espacio para su elaboración, permitiendo que en las comunidades andinas y alto andinas se elabore este tipo de placas y así no comprarlo en otros lados, reduciendo los gastos de transporte. Para esto se requiere un programa social de capacitación sobre sistemas de construcción en seco, los cuales informen sobre sus beneficios, ventajas y procesos de fabricación de las placas de fibrocemento, puesto que este tipo de sistemas no son muy conocidos en las comunidades andinas.

La popularidad de estos sistemas constructivos es baja en gran parte de la sierra y no es muy llamativo para los gobiernos locales y provinciales, reduciendo su demanda y posterior uso, por lo que solo una pequeña parte de la población rural tiene conocimiento de los beneficios de este nuevo sistema constructivo.

1.2.3. Justificación por viabilidad

El presente trabajo de investigación desde el punto de vista viable, presenta inconvenientes para su realización, puesto que no se encontró manual o normativa para ensayos de conductividad térmica en materiales de construcción.

Los ensayos físicos-mecánicos no presentarán dificultad en su realización.



1.2.4. Justificación por relevancia

Esta investigación permitirá conocer el comportamiento del fibrocemento adicionado con nuevos materiales, los cuales podrían incrementar sus propiedades de conductividad térmica y propiedades físicas-mecánicas, así conocer su efectividad ante las bajas temperaturas y evaluar su resistencia, pudiendo tener un alcance en la construcción y reforzamiento de casas rurales expuestas a temporadas de bajas temperaturas, el fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik, aluminio y polietileno producirá un aumento de sus propiedades físicas – mecánicas, pudiendo ser utilizadas en:

- **Muros interiores:** Instalado sobre estructura metálica o listonería de madera, las placas de fibrocemento producirán confort térmico en la vivienda, no siendo susceptible a polillas como la madera y no siendo un material inflamable, su mantenimiento es muy sencillo, no siendo propenso al pandeo o decoloración. Los espesores de las placas pueden ir desde 10 mm a más.
- **Muros exteriores:** Instalado sobre estructura metálica, no es recomendable el uso de placas de 10mm de espesor o menores, esto por el desgaste que ocasionarían los agentes externos (lluvia, humedad, insectos y aves) reduciendo el tiempo de vida de la placa, optando por espesores mayores a este, siendo un material impermeable y resistente a agentes externos. Se recomienda que para usos externos las placas estén cubiertas por un impermeabilizante.
- **Cielos rasos:** Instalado sobre estructura metálica o listonería de madera, las placas de fibrocemento producirán confort térmico en la vivienda, siendo esta de características incombustibles, inmune a hongos, siendo también impermeable. Los espesores de las placas pueden ser de 10mm a más.

1.3. Limitaciones de la investigación

1.3.1. Limitaciones de materiales

El presente trabajo de investigación se limita a trabajar con los siguientes materiales:

- Cemento Portland
- Agua
- Carboximetilcelulosa (CMC)
- Polietileno



- Aluminio
- Tetrabrik

1.3.2. Limitaciones de instrumentos

Se contó con una cantidad limitada de moldes para la realización de probetas, solo se dispuso de 2 moldes de madera con 1 probeta cada una, y un molde metálico para 10 probetas.

1.3.3. Limitaciones de pruebas

La presente investigación se limitó a la realización de los siguientes ensayos de laboratorio:

- Compresión del espesor
- Resistencia a la flexión
- Conductividad térmica

Los ensayos en todos los casos se hicieron a los 5 días de haber sido desmoldadas las probetas.

1.3.4. Limitaciones de normas

La normativa DIN (Deutsches Institut für Normung) al ser de origen alemán, presenta limitaciones al no encontrarse una traducción total de esta norma, encontrándose solo pocas publicaciones traducidas.

La normativa ASTM al estar publicada en inglés, presenta limitaciones en su traducción, pero al ser de alcance universal, se tiene herramientas para su correcta interpretación.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Comparar la conductividad térmica y propiedades físico-mecánicas (flexión y compresión) de las placas de fibrocemento frente a placas de fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik, aluminio, polietileno.



1.4.2. Objetivos específicos

- **Objetivo específico N°01:** Determinar la resistencia a flexión del fibrocemento y fibrocemento adicionado con fibra (tetrabrik, aluminio y polietileno).
- **Objetivo específico N°02:** Determinar el porcentaje de compresión del fibrocemento y fibrocemento adicionado con fibra (tetrabrik, aluminio y polietileno).
- **Objetivo específico N°03:** Determinar la conductividad térmica del fibrocemento y fibrocemento adicionado con fibra (tetrabrik, aluminio y polietileno).

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Los valores de los resultados obtenidos en los ensayos para la determinación de las propiedades físico – mecánicas y de conductividad térmica de las placas de fibrocemento serán inferiores a las placas de fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik, aluminio y polietileno.

1.5.2 Sub – hipótesis

- **Sub-hipótesis N°1:** Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión del fibrocemento sin adición de fibra serán inferiores que el fibrocemento adicionado con fibras materiales (tetrabrik, aluminio, polietileno).
- **Sub-hipótesis N°2:** Los resultados obtenidos del ensayo de compresión del espesor del fibrocemento sin adición de fibra serán inferiores que el fibrocemento adicionado con fibras materiales (tetrabrik, aluminio, polietileno).
- **Sub-hipótesis N°3:** Los resultados obtenidos del ensayo de conductividad térmica del fibrocemento sin adición de fibra serán superiores que el fibrocemento adicionado con fibras materiales (tetrabrik, aluminio, polietileno).



1.6. Definición de variables

1.6.1. Variable independiente

Conforman como variables independientes:

- Fibrocemento
- Fibras de tetrabrik
- Fibras de aluminio
- Fibras de polietileno

Tabla 01.

Cuadro de variables independientes

Nro. De Variables	Tipo de variables	Denominación de variables	Indicador	Instrumentos de medición	Und
X ₁	Independientes	Fibrocemento	Peso	Balanza	g.
X ₂		Fibras materiales (tetrabrik, aluminio, polietileno)	Peso	Balanza	g.

Nota. Elaboración propia

1.6.2. Variables dependientes

Se presenta solo una variable dependiente, pero esta se subdivide en 4 sub variables, que se detalla a continuación.

- Fibrocemento adicionado con fibras
 - ◆ Unidad de medida (Según el Sistema Internacional)
 - Contenido de humedad (%)
 - Absorción e hinchamiento volumétrico (%)
 - Densidad (kg/cm³)
 - Compresión del espesor (%)
 - Resistencia a la flexión (kg/cm²)
 - Conductividad térmica [W/ (m.K)]



Tabla 02.

Cuadro de variables dependientes.

Nro. De Variables	Tipo de variables	Denominación de variables	Indicador	Instrumentos de medición	Und
Y ₁	Dependientes	Fibroceso adiconado con fibras materiales(tetrabrik, aluminio,polietileno)	Contenido de humedad	Balanza	%
			Absorción e hinchamiento volumetrico	Vernier y balanza	%
			Densidad	Balanza	kg/cm ³
			Compresión del espesor	Maquina universal para ensayos de materiales	%
			Resistencia a la flexión	Maquina universal para ensayos de materiales	kg/cm ²
			Conductividad térmica	Termometro Industrial con termocuplas tipo K	W/m.°k

Nota1. Las unidades establecidas son estandarizadas por normativas peruanas.

Nota2. Elaboración propia



1.6.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 03.

Cuadro de operacionalización de variables

Nro. De Variables	Tipo de variables	Denominación de variables	Nivel	Descripción de variables	Indicador	Instrumentos de medición	Und
X₁	Independientes	Fibroceso	Alto	Se usará cemento tipo portland y CMC(carboximetilcelulosa).	Peso	Balanza	g.
		Fibras materiales de tetrabrik, polietileno y aluminio	Alto	Fibras de tetrabrik, aluminio y polietileno.	Peso	Balanza	g.
Y₁	Dependientes	Fibroceso adicionado con fibras materiales de tetrabrik, polietileno y aluminio	Medio, bajo	Fibroceso + tetrabrik Fibroceso + aluminio Fibroceso + polietileno	Contenido de humedad	Balanza	%
					Absorción e hinchamiento volumétrico	Vernier y balanza	%
					Densidad	Balanza	kg/cm ³
					Compresión del espesor	Maquina universal para ensayos de materiales	%
					Resistencia a la flexión	Maquina universal para ensayos de materiales	kg/cm ²
Conductividad térmica	Termometro Industrial con termocuplas tipo K	W/m.°k					

Nota1. Las unidades establecidas son estandarizadas por normativas peruanas.

Nota2. Elaboración propia



Capítulo II

Marco teórico

2.1. Antecedentes de la tesis

Para el desarrollo de la investigación, se realizó una prospección para conocer detalladamente el “fibrocemento y sus propiedades” como material constructivo, siendo necesario adentrarse en trabajos de investigación previos relacionados con el fibrocemento; y así lograr el adecuado planteamiento de procedimientos para el desarrollo de la tesis.

2.1.1. Antecedentes a nivel local

1.- Título: “Análisis del uso del papel multipliego extensible y cartón corrugado como relleno en muros de placas de yeso laminado y fibrocemento para absorción acústica”

Autor: Sandra Luciane Aragón Rojas

Entidad: Universidad Andina del Cusco

Fecha de publicación: 2016

Este trabajo investigativo lleva por nombre: “Análisis del uso del papel multipliego extensible y cartón corrugado como relleno en muros de placas de yeso laminado y fibrocemento para absorción acústica”, esta tesis tiene por finalidad determinar los porcentajes de absorción acústica de tres muros distintos.

Se construyó un muro de placa de fibrocemento y yeso laminado de 0.30 m de largo, 0.15 m de ancho y 5.8 cm de espesor, con una estructura interna de aluminio. Para el cálculo del coeficiente de absorción acústica se usó un Sonómetro acompañado de una fuente emisora de sonido a una sola frecuencia de 686.9 Hz. Se cortaron las placas de fibrocemento de 0.7 cm de espesor, yeso laminado de 1.2 cm de espesor y cartón corrugado de 0.4 cm de espesor a 30 cm de largo por 0.15 m de ancho.

Se procedió a tomar los datos de un sonómetro para observar el porcentaje de absorción acústica de cada uno de los tres muros mencionados inicialmente. Se realizaron aproximadamente 1400 pruebas obteniendo como resultados:



- El muro de cartón corrugado presentó 25% de absorción acústica respecto al muro relleno con papel multipliego extensible y el muro y el muro sin relleno, siendo sus resultados 24% y 22% a absorción acústica respectivamente.
- Sobre el coeficiente de absorción acústica se obtuvo que el papel multipliego extensible y cartón corrugado presentan una relación creciente con respecto al espesor del fibrocemento y yeso laminado que mostraron una relación creciente y decreciente a medida que se incrementaba el espesor de las placas.

- **Conclusiones de la tesis**

La presente tesis brinda información sobre nuevos materiales aplicándolos en la construcción de tabiques y de esta manera reducir la contaminación generada en obras civiles.

Los muros rellenos de materiales de cartón corrugado y papel multipliego se presentan de acuerdo al espesor de las placas los cuales presentaron un 25% de absorción acústica al muro de relleno con papel multipliego extensible en el muro sin relleno, presentado resultados de 24% y 22%.

- **Aporte de la tesis**

El aporte de esta tesis comprende en la utilización de materiales reciclados para nuevos sistemas de construcción, para personas que pretendan utilizar este sistema constructivo en sus ambientes con placas de yeso laminado y fibrocemento, desarrollará mejoras en la absorción acústica de sus muros, reduciendo el ruido y haciendo más comfortable la estadía en la vivienda de una manera sostenible para el ambiente.

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

1.- Título: “Aptitud de las fibras del mesocarpio de la palma aceitería (*Elaeis guineensis* jacq.) para la elaboración de tableros de fibrocemento”

Autor: Luis Ferroel Gamarra Romero

Entidad: Universidad Nacional Agraria La Molina

Fecha de publicación: 2016

Este trabajo investigativo lleva por nombre: “Aptitud de las fibras del mesocarpio de la palma aceitería (*Elaeis guineensis* jacq.) para la elaboración de tableros de fibrocemento”, establece una serie de criterios de evaluación para los tableros de fibrocemento. El propósito primordial de esta



tesis es utilizar el aceite de palma como reemplazo de la celulosa en la fabricación de tableros de fibrocemento, evaluando sus aptitudes del producto final.

Se elaboraron tres tipos de tableros de fibrocemento, caracterizándose por la cantidad de fibras utilizadas en la mezcla (3,6 y 9% del peso total). Se observó que los tres tableros presentaron un fraguado a las 24 horas. Con los tableros elaborados se procedió a evaluar las propiedades físicas y mecánicas empleando la norma alemana DIN.

El tablero de fibrocemento fue sujeto a lo siguiente:

- Contenido de humedad
- Absorción de agua
- Hinchamiento volumétrico
- Compresión del espesor

• **Conclusiones de la tesis**

Las fibras del mesocarpio de la palma aceitera son aptas para la elaboración de tableros de fibrocemento, logrando conformar un material con las características permitidas por la norma alemana DIN 1101. Los resultados superan los requerimientos descritos por la norma, contribuyendo con el desarrollo de un nuevo material con potencial de uso.

• **Aporte de la tesis**

Se desarrolla e impulsa nuevas variantes a la celulosa convencional en la fabricación de placas de fibrocemento, motivando la investigación de nuevos materiales de origen orgánico en la fabricación de materiales de construcción, teniendo estos materiales mejores comportamientos físico y mecánicos en comparación con la celulosa convencional.



2.-Título: “La línea de fibrocemento en Eternit: Una propuesta de crecimiento sostenido”

Autor: Miguel Ángel Coronado Camac y Mayra Alejandra Ramos Orbegoso.

Entidad: Universidad San Ignacio de la Oyola

Fecha de publicación: 2020

Este trabajo investigativo de maestría lleva el nombre de “La línea de fibrocemento en Eternit: Una propuesta de crecimiento sostenido”, explica que el 74% de la población peruana requiere un mejoramiento en sus viviendas, las paredes interiores y exteriores de las viviendas suelen ser construidas en más del 80% con materiales de ladrillo, bloquetas de cemento, adobe y materiales artesanales como el ichu.

Eternit produce una alternativa confiable ya que, al ser una empresa líder en el rubro de la construcción de edificaciones, teniendo unidades de negocio de polietileno y la de fibrocemento. Los productos de fibrocemento son incombustibles, mantienen las temperaturas ambientales, aíslan los sonidos, teniendo la dureza adecuada y de fácil instalación con un costo menor, presentándose como alternativa. El trabajo de tesis plantea un plan estratégico que incluye desarrollar el mercado difundiendo los beneficios del fibrocemento. Asimismo, se reconoce como mercado potencial la inversión pública para obras sociales.

• **Conclusiones:**

La industria de la construcción va mejorando en la medida que la situación política del país se estabilice e inicien las inversiones públicas, mientras tanto este sistema constructivo es una gran oportunidad para las compañías de construcción.

De acuerdo a encuestas realizadas, se evidencia la preferencia de la población por el uso de material noble en sus construcciones y no confían en otras opciones por la poca difusión y conocimiento que se tiene por materiales alternativos.

• **Aportes de la tesis**

El incremento de compra de materiales de construcción en seco en el Perú, hace que la industria Eternit amplifique su producción de estos materiales, satisfaciendo la demanda producida estos últimos años, teniendo como materiales con más demanda a las placas de fibrocemento y placas de drywall de yeso.



2.1.3. Antecedentes a nivel internacional

Título: “Medición de la conductividad térmica de algunos materiales utilizados en edificaciones”

Autor: L. Lira-Cortés, González Rodríguez, O. J., Méndez-Lango, E.

Entidad: Centro Nacional de Metrología, Querétaro, México.

Fecha de publicación: 24 de octubre del 2008

En el Centro Nacional de Metrología se mantiene el patrón de conductividad térmica de materiales sólidos aislantes. El sistema utiliza un método primario de medición con un aparato de placa caliente que opera en una condición de estado permanente. Se presentan los resultados de evaluar la conductividad térmica del poliestireno extruido y otros materiales que se emplean en las edificaciones en un intervalo de temperatura de 10°C a 60°C.

En este trabajo se presentan los resultados de medición de la conductividad térmica de varios materiales de construcción: placa de poliestireno, placa de yeso, placa de PVC con relleno de aislante y bloque de piedra pómez con grava. El principio de operación de un APCG se basa sobre la técnica de transferencia de calor por conducción en estado permanente entre dos placas frías y una placa caliente central que tiene una guarda.

• Conclusiones de la tesis

Los materiales que se midieron fueron fabricados para tener una conductividad térmica baja, aunque no se comporten como aislantes. Como resultado se observó que los materiales de yeso y poliestireno no se pueden utilizar como aislantes térmicos para aplicaciones a las temperaturas que se probaron, pero el resultado de la conductividad térmica es un valor aceptable térmicamente para un material de construcción, para los cuales los valores de conductividad son cercanos a la unidad.

• Aporte de la tesis

La creación de nuevos métodos que determinan la conductividad térmica facilita los estudios de materiales y sus comportamientos ante altas temperaturas y si estas son aptas o no para su uso comercial, en este caso se evaluó el material de poliestireno extruido, material que generalmente se emplea en obras civiles.



2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Sistema constructivo drywall

El sistema de construcción denominado drywall fue creado y popularizado en Estados Unidos, innovándose y mejorándose en el transcurso del tiempo, fue un método muy usado en las reconstrucciones de las dos guerras mundiales, terremotos y emergencias del planeta por su fácil instalación y fácil adquisición por su bajo costo.

El crecimiento demográfico, trajo como causa una mayor expansión y modernización del sistema, generando un crecimiento de mercado cada vez más exigente, con productos y acabados con una mejor apariencia decorativa.

2.2.2. Usos del drywall

- Tabiquerías
- Revestimientos
- Detalles arquitectónicos
- Falsas columnas, vigas, cercos
- Entrepisos
- Otras aplicaciones

2.2.3. Ventajas de drywall

- Es rápido: Corto tiempo de instalación.
- Liviano: El peso del sistema drywall es 40 kg/m² facilitando su transporte.
- Económico: Menor tiempo de ejecución y baja cantidad de desperdicios.
- Presenta Sismo-resistencia: Comportamiento resistente superior que otros sistemas constructivos.
- Confort térmico: Mantiene una temperatura cálida en los ambientes instalados.
- Es incombustible: Están compuestos por un 20% de agua cristalizada.
- Durabilidad: Posee resistencia a los cambios de temperatura espontáneos.
- Es inmune a hongos y polillas.

2.2.4. Proceso constructivo del sistema drywall

2.2.4.1. Perfiles metálicos galvanizados

La estructura principal del drywall son los perfiles de metal galvanizado, componentes livianos de poco peso, fabricados en frío mediante el proceso de Rollforming, el cual transforma el acero galvanizado en perfiles en una extensa gama de tamaños, peraltes, longitudes y formas. Todos los perfiles son de acero galvanizado, garantizando la estabilidad de la construcción.

Figura 1.

Estructura metálica galvanizada.



Nota. Imagen obtenida de <http://: Gruposjsac.com>

2.2.4.2. Ventajas de los perfiles

- Su galvanizado posee protección anticorrosiva para la durabilidad y resistencia de los perfiles.
- Livianos: Por su poco peso, disminuye la carga en construcción y reducen los fletes en transportes.
- Diversidad en diseños de acuerdo a los requerimientos de obra.
- Poseen orificios de fábrica, que facilitan el paso de instalaciones eléctricas, sanitarias, telefónicas, cómputo y otros.
- Permite menos desperdicio en el momento de instalación.



2.2.4.3. Usos y aplicaciones de los perfiles

- Tabiquerías rectas y curvas.
- Cielos rasos.
- Falsas columnas, vigas, dinteles.
- Detalles arquitectónicos.
- Entrepisos.
- Cubiertas.
- Tijerales para coberturas.

2.2.5. Fibrocemento

Es un material aplicado generalmente para la construcción, conformado por un aglomerante inorgánico soluble en agua como el cemento o un silicato de calcio reforzado con fibras. Inicialmente las fibras que se adicionaban para reforzar el fibrocemento eran de amianto, un derivado del asbesto, pero al demostrarse que esta genera malestares que podrían llevar a males cancerígenos, se comenzó a usar otros materiales, principalmente la fibra celulósica y fibras sintéticas PVA (poliacetato de vinilo), en los últimos años se masificó el uso de fibras de vidrio.

El fibrocemento se usa generalmente para los revestimientos, aislamientos e impermeabilización de numerosas estructuras.

Figura 2.

Tableros de fibrocemento.



Nota. Imagen obtenida de [http://: Grupojjsac.com](http://Grupojjsac.com)



2.2.5.1. Historia del fibrocemento

El origen del fibrocemento se remonta a 1900, ideado por Ludwig Hatschek, ingeniero austriaco. En su fabricación se utilizaba el amianto como fibra aditiva, pero al comprobarse que causaba problemas de salud, se fue abandonando su uso en distintos países. Se debió reemplazar los componentes que poseían asbesto por otros tipos de fibras, como las de celulosa, fibras vinílicas, o fibra de vidrio. Estos materiales tuvieron una gran acogida en el mercado comercial debido que al utilizarse mejoraba las propiedades del fibrocemento. Sin embargo, en la fabricación de otros materiales como los tubos de todo tipo, que se fabricaban mediante centrifugado del material, no han logrado ser reproducidos con celulosa, por lo que ha debido dejar su uso. En Europa, principalmente en España se comercializó bajo varias marcas comerciales, las más reconocidas son Rocalla y Caolita, que a su vez vendió la sección de paneles de fibrocemento a Euronit Fachadas y Cubiertas. Esta empresa aún sigue fabricando y vendiendo paneles de fibrocemento reforzados con fibras de celulosa o de PVA (poliacetato de vinilo).

Actualmente se empezó a utilizar la fibra de vidrio AR (Álcali Resistente) que ofrece un refuerzo mayor comparado con el polipropileno que fue el producto sustituto en el momento que se dejó de usar el amianto. En su fabricación se usa el óxido de circonio en un 14 % aproximadamente, no es afectada por la alcalinidad del cemento. Es recomendable adicionar hasta un 3 % con respecto al total del cemento a usar previniendo la formación de fisuras.

2.2.5.2. Características de las placas de fibrocemento

Las placas de fibrocemento son impermeables, fáciles de cortar y perforar. Utilizándose primordialmente en construcciones como material de acabado. También se utiliza como apoyo para el recubrimiento de exteriores en forma de tuberías, bajantes, tejados, etc.

Es un material medianamente económico y muy liviano que se utiliza mayormente en la construcción de almacenes y construcciones ganaderas. Las presentaciones de este material son lisas u onduladas en distintas medidas, fabricándose piezas especiales de las más variadas formas.

Las estructuras de décadas pasadas que contienen asbesto (amianto) deben tener un protocolo muy riguroso de demolición, ya que las partículas de asbesto al ser inhaladas provocan asbestosis y otros males respiratorios que elevan enormemente el riesgo de un tipo de cáncer de pleura llamado mesotelioma.



Figura 3.

Fibras sintéticas.



Nota. Imagen obtenida de Fibrasibarra.com

2.2.5.3. Usos de las placas de fibrocemento

El fibrocemento se puede usar en la construcción de los siguientes elementos:

- Planchas onduladas para cubiertas.
- Paneles sandwich para graneros.
- Paneles para fachadas ventiladas.
- Lamas de revestimiento.
- Tubos para agua a presión (riego o abastecimiento de agua potable).
- Tubos para drenaje o alcantarillado por gravedad.
- Depósitos de almacenamiento de agua de pequeño tamaño.
- Chimeneas.
- Piscinas.

2.2.5.4. Fabricación del fibrocemento

Al empezar el proceso, una línea de vehículos está preparados con cemento y paquetes de fibras. Una máquina procesa la mezcla, capa por capa, en paneles del grosor y el tamaño deseados. No obstante, el proceso de fabricación de este material de construcción debe estar guiado bajo estrictas normas de fabricación y así salvaguardar su calidad.

El objetivo al crear este material era producir un panel de construcción liviano y de alta durabilidad. Los bienes fabricados mediante este proceso son resistentes a la humedad, a la corrosión, la helada, nieve, a los rayos UV, a la putrefacción y a los hongos.

Son relativamente livianos y pueden procesarse mecánicamente.

Figura 4.

Proceso de fabricación del fibrocemento



Nota. Volcán CI. 2012.

2.2.5.5. Materias primas para la fabricación del fibrocemento

Los principales componentes para su fabricación son: cemento, las fibras sintéticas, pulpa de celulosa y el agua, a las cuales se agregan pigmentos de color. "Pulpa" es el término utilizado para la masa fibrosa que se obtiene durante la descomposición química de las fibras vegetales, que está conformado principalmente de celulosa.

Cuando se descubrieron los peligros de inhalar asbesto en la década de 1970, se realizó una amplia investigación en Niederurnen para encontrar un reemplazo. Las primeras pruebas tuvieron lugar entre 1981 y 1989. Se estableció que, desde el 1 de mayo de 1990, todos los productos para la construcción sean libres de asbesto. En algunas fábricas se usa las fibras sintéticas (PVA), que proporcionan refuerzo, son traídas desde Japón. La pulpa proviene de varios países, incluyendo Austria.



Figura 5.

Proceso de mezclado de pulpa de celulosa con cemento.



Nota. Imagen extraída de [http://: Sistemadefachadas.com](http://Sistemadefachadas.com)

2.2.5.6. El cemento Portland

2.2.5.6.1. Definición

Es una sustancia conglomerante que mezclado con grava y agua constituye una masa pétreo resistente y constante denominada generalmente como hormigón. Es el más usual en temas constructivos y es el más utilizado como conglomerante para la preparación del concreto.

El cemento que en adición de agua aumenta sus propiedades de fraguado y endurecimiento rápido, su reacción química con ella forma un material de buenas propiedades aglutinantes.

El cemento puede considerarse por su composición como un material de tipo cerámico. Los materiales cerámicos son de tipo inorgánicos no metálicos obtenidos por fusión. En general son materiales típicamente rígidos, con baja tenacidad y ductilidad.

Figura 6.

Cemento tipo Portland hidráulico.



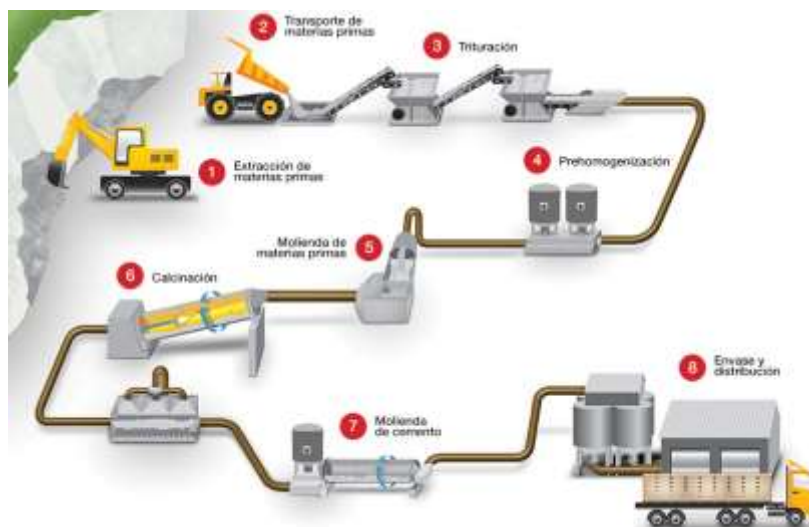
Nota. Imagen obtenida de Aconstruir Yura (2018).

2.2.5.6.2. Fabricación

Su procesamiento industrial se desarrolla desde 1845, su fabricación consiste en la combinación de rocas calcáreas trituradas y rocas arcillosas, estas se someten a temperaturas de 1300 °C produciéndose el “Clinker”, formado por esferas endurecidas de diferentes diámetros y de color gris, al enfriarse se trituran hasta convertirse en un polvo fino al cual se le añade yeso en pequeños porcentajes para obtener el producto final: Cemento Portland. (Pasquel,1998).

Figura 7.

Proceso de fabricación del cemento Portland.



Nota. Imagen obtenida de Adocem.org (2011).



2.2.5.6.3. Tipos de cemento Portland

Los tipos de cemento Portland según Álvarez (2008) son los siguientes:

Tipo I: De uso común, no se requiere propiedades especiales.

Tipo II: Moderada resistencia a sulfatos, utilizado para trabajos en suelos o aguas subterráneas.

Tipo III: Alta resistencia a edades tempranas, recomendado para climas fríos.

Tipo IV: De bajo calor de hidratación, recomendado para construcción de presas.

Tipo V: Alta resistencia a sulfatos, se utiliza en obras con estructuras hidráulicas expuestas en agua con alto contenido alcalino, salmuera y agua de mar.

2.2.5.6.4. Composición química

El cemento Portland presenta composición química variada, esta se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 04.

Componentes químicos del cemento Portland.

Componente químico	Total	Procedencia usual	Porcentaje típico	Abreviatura
Oxido de Calcio (CaO) → Cal		Rocas calizas	61% - 67%	C
Oxido de Sílice (SiO ₂) → Sílice		Areniscas	20% - 27%	S
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃) → Alúmina	95%	Arcillas	4% - 7%	A
Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)		Arcillas, mineral de hierro, pirita	2% - 4%	F
Oxido de Magnesio, Sodio			1% - 3%	
Potasio, Titanio, Azufre	5%		1% - 5%	
Fósforo, Manganeso			0.25% - 1.5%	

Nota. Pasquel (1998)

En su libro, Cerrón (2009) establece que los componentes químicos presentados en la Tabla 04 se combinan y originan 4 compuestos principales del cemento Portland:

- Silicato tricálcico (3CaO.SiO₂) → símbolo = C3S
- Silicato bicálcico (2CaO.SiO₂) → símbolo = C2S
- Aluminato tetracálcico (3CaO.Al₂O₃) → símbolo = C3A
- Ferro aluminato tetracálcico (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃) → símbolo = C4AF

2.2.5.6.5. Hidratación

La dosificación es la relación entre la cantidad de agua y la cantidad de cemento, comúnmente llamada como relación agua/cemento (expresada como A/C); para determinar dosificaciones se tomaron los siguientes parámetros

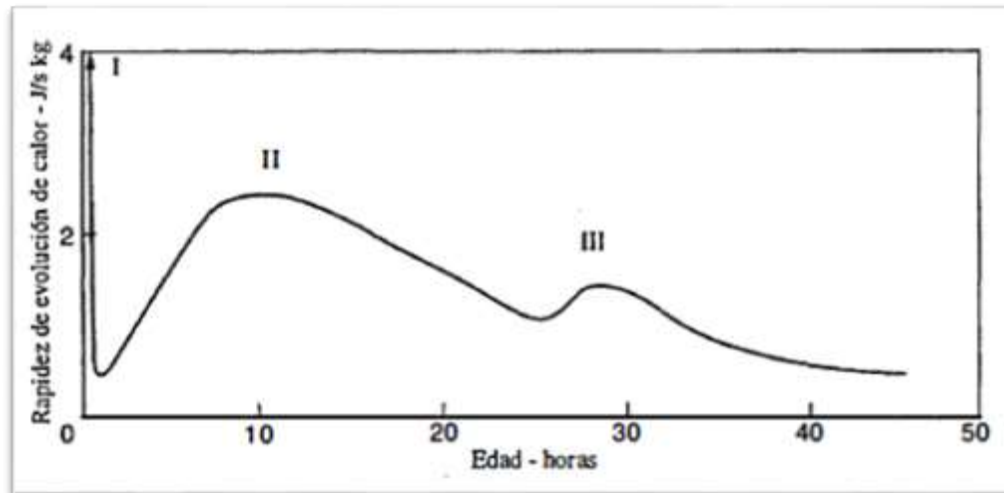
La hidratación del cemento demanda de una cantidad de agua igual a 1/5 de la masa del cemento.

- **Relación A/C de 0,2:** La cantidad de agua disponible sería insuficiente para generar la hidratación del cemento.
- **Relación A/C de 0,4:** Considerado óptimo para generar la hidratación del cemento sin problemas y no causar problemas de porosidad, apto para lograr buenas propiedades mecánicas en placas de fibrocemento.
- **Relación A/C de 0,6:** Paucar (2008), sostiene que “Demasiada cantidad de agua produciría evaporación produciendo poros en el concreto, reduciendo sus propiedades de resistencia”.

La hidratación del cemento demanda de una cantidad de agua igual a 1/5 de la masa del cemento

Figura 8.

Rango de evolución del calor del cemento Portland con la relación agua/cemento de 0.4. El primer pico de 3200 J/s.kg esta fuera del diagrama.



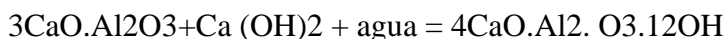
Nota. Soria (1972).

2.2.5.6.6. Reacciones al concreto

Al hidratar el cemento Portland se producen dos procesos que influyen parcialmente la formación del concreto, estos procesos son el fraguado y el endurecimiento.

- a) El fraguado es un cambio de estado, del fluido al rígido, este cambio se produce con una rápida velocidad de reacción del cemento, provocando que el “Clinker” sufra reacciones químicas de sus aluminatos con el hidróxido de calcio y agua.

Esta acción se representa en la ecuación:

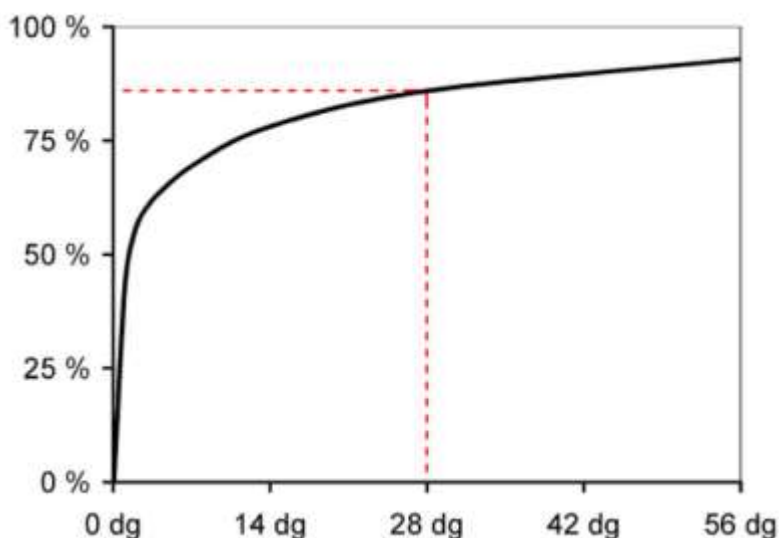


Causando que los compuestos obtenidos actúen como hidratos solubles en agua que luego se precipitan, generando cristales de estructura fibrosa que conforman un medio de enlace con las diferentes partículas de la mezcla.

- b) El endurecimiento es el fenómeno continuo al fraguado inicial, en esta etapa se presenta lentitud en el proceso de hidratación de los silicatos a causa de los aluminatos cálcicos. El tiempo de endurecimiento es un factor muy importante en la resistencia del concreto, a 28 días el concreto alcanza el 85% de su resistencia final.

Figura 9.

Diagrama indicativo de la resistencia (en %) que adquiere el concreto a los 28 días.



Nota. Soria (1972).

2.2.5.6.7. Curado

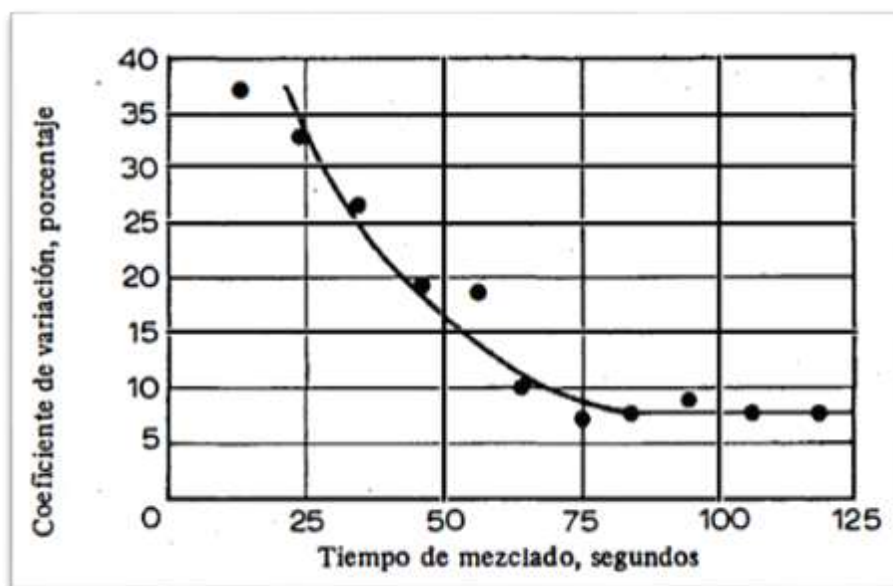
Procedimiento fundamental en el concreto para su control en condiciones de humedad y temperatura. El objetivo del curado es que el concreto permanezca saturado, ya que el cemento solo logra su hidratación cuando todos sus capilares se llenan de agua, recomendando evitar la evaporación en exceso, control de temperatura, ya que la hidratación es menos rápida en bajas temperaturas y más rápida en temperaturas elevadas (100°C). Comúnmente se evita la pérdida de agua cubriendo la superficie con plásticos, arena o riego (Neville, 1989).

2.2.5.6.8. Tiempo de mezclado

Existe una tendencia de mezclar el mortero rápidamente como sea posible, lo cual hace importante conocer el menor tiempo de mezclado que se necesita para generar un mortero de composición uniforme para que el resultado sea de resistencia satisfactoria. No es recomendable un tiempo de 4 minutos debido a que la resistencia tiende a disminuir, un tiempo de mezcla menor a 1,5 minutos es apto para lograr un incremento de la resistencia en 20 y 35 por ciento.

Figura 10.

Tiempo de mezclado, segundos.



Nota. Neville, (1989)



Para su colocación en obra, se recomienda que sea en una sola operación y que su colocación no pase de los 60 segundos de hecho la mezcla, de lo contrario se obtendría resistencias debajo de lo estipulado en la Figura 10.

2.2.5.6.9. Propiedades físicas

El mortero es un material constructivo conformado primariamente por una combinación de cemento, agregado y otros materiales aglomerantes (cal, yeso, etc.) que al adicionarse con agua sufre una reacción que hace que obtenga resistencia. Cuando se habla de cemento se alude al cemento Portland y cuando se habla de agregados generalmente se enlaza con el tipo agregado fino, pero esta podría reemplazarse por fibras vegetales o derivados de estas. Al añadir agua toma una contextura plástica que fragua y endurece de acuerdo al tipo de fibra vegetal y su grado de compatibilidad entre la matriz del cemento Portland y la composición química de las fibras (Castro *et al.* 2014).

A continuación, se describirán las propiedades físicas de morteros de cemento, agua y fibras en placas de fibrocemento.

- a) **Humedad:** Según Gonzales (2013), sostiene que “La humedad es la medida de retención de agua de un mortero en estado plástico, este proceso aumenta cuando se halla alto contenido de aire, contenido de agregado orgánico y agregado fino”. Debe ser controlada la absorción de agua en los agregados orgánicos en la pasta de cemento, puesto que un contenido elevado de estos podría alterar algunas propiedades de mortero.

Tabla 05.

Valores de humedad de paneles de fibrocemento

Mortero	Descripción	Espesor	Contenido de humedad
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de bambú (<i>Guadua agustifoliakunth</i>) mezclados con cemento Portland tipo I	15mm	14.40%
Fibrocemento	Se empleó pulpa química de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus Labill</i>) mezclados con cemento Portland tipo I	12mm	16.61%
Fibrocemento	Se empleó fibras de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i>)mezclados con cemento Portland tipo I	75mm	18.00%



Nota. Espinoza (2010), Noriega (1996) y Juárez

- b) **Densidad:** Esta propiedad dependerá principalmente de sus componentes: volumen, cantidad de vacíos y porosidad, estos dos últimos juntos serían el grado de compacidad. Tanto las fibras vegetales y sintéticas tienen un efecto importante en la densidad si la cantidad que es añadida es excesiva.

Tabla 06.

Valores de densidad en de paneles de fibrocemento

Mortero	Descripción	Espesor	Densidad
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de madera mezclados con cemento Portland tipo I	50 mm	0.43 g/cm ³
Fibrocemento	Se empleó pulpa química de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill) mezclados con cemento Portland tipo I	12 mm	0.73 g/cm ³
Fibrocemento	Se empleó partículas de aserrín de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill) mezclados con cemento Portland tipo I	20 mm	1.14 g/cm ³
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de bambú (<i>Guadua angustifolia</i> kunth) mezclados con cemento Portland tipo I	15 mm	1.38 g/cm ³

Nota. Espinoza (2010), Noriega (1996) y Juárez

- c) **Absorción de agua:** La absorción se mide por la sencillez que tiene el agua para llenar todos los poros de un material, la absorción se mide secando una muestra de masa constante, sumergirlo en agua y medir su aumento de masa los morteros de cemento añadidos con fibras vegetales, metálicas y plásticas producen que la absorción de agua sea más alta en el mortero. Cuando los morteros están endurecidos, su absorción depende de la cantidad de poros que contenga el mortero, un incremento de fibra aumentaría la porosidad y se produciría el fenómeno de capilaridad (Gonzales et al. 2007).



Tabla 07.

Valores de absorción de agua en paneles de fibrocemento

Mortero	Descripción	Espesor	Absorción de agua 24 horas de inmersión
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de bambú (<i>Guadua angustifolia</i>) mezclados con cemento Portland tipo I	15 mm	16.40%
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de madera mezclados con cemento Portland tipo I	50 mm	42.60%
Fibrocemento	Se empleó pulpa química de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill) mezclados con cemento Portland tipo I	12 mm	55.38%

Nota. Datos obtenidos de Cruz (1982), Noriega (1996) y Espinoza (2010)

d) Hinchamiento volumétrico: Es la capacidad de hinchamiento en los morteros de masa constante con agregados de fibra, sea vegetal o sintética.

El hinchamiento volumétrico evidencia que las fibras aumentadas también sufren de este fenómeno, aumentando sus dimensiones por sus diferentes propiedades físicas y químicas. Con el pasar del tiempo se produce la disminución de volumen debido a la pérdida de agua del material; las fibras aminoran la aparición de rajaduras y grietas en el proceso de retracción (Jarabo, 2013; Gonzales, 2003).

Según Castro et al. (2014), “El fenómeno de retracción varía de los factores como la forma de las fibras, condiciones climáticas, humedad del concreto, humedad de las fibras, y la proporción de los componentes del mortero”. En la tabla 08 se detallan los parámetros de hinchamiento volumétricos en morteros endurecidos.



Tabla 08.

Rango de hinchamiento volumétrico en paneles de fibrocemento

Mortero	Hinchamiento volumétrico (24 horas de inmersión)	Espesor	Característica del mortero
Fibrocemento	< 4%	10 mm	Buena calidad dimensional
Fibrocemento	4% - 8%	10 mm	Moderada calidad dimensional
Fibrocemento	> 8%	10 mm	Inadecuada calidad dimensional

Nota. Datos obtenidos de Torres (2006), Mariscal (2001) y Ossa (1984)

- e) **Porosidad:** La porosidad es la causante de la mayoría de los problemas de durabilidad en los morteros, es un parámetro físico que determina la capacidad de ingreso de fluidos y de gases el grado de hidratación del cemento, el volumen de aire atrapado del mortero endurecido, en los morteros principalmente afectan los compuestos como cloruros, dióxido de carbono, sulfatos y ácidos, afectan directamente si los morteros llevan fibras metálicas ocasionando corrosión.

Tabla 09.

Rango de porosidad en paneles de fibrocemento

Mortero	Porcentaje de vacíos	Espesor	Características del mortero fibrocemento
Fibrocemento	< 15%	10 mm	Buena calidad y compacidad
Fibrocemento	15% - 30%	10 mm	Moderada calidad y compacidad
Fibrocemento	> 30%	10 mm	Inadecuada calidad y compacidad

Nota. Datos obtenidos de Torres (2006)

2.2.5.6.10. Propiedades mecánicas

Se considera diferentes parámetros para las propiedades mecánicas de los morteros de cemento adicionado con fibras, la pasta endurecida ejerce una función notable en el comportamiento mecánico, esto se debe a la intervención de dos tipos de adherencia; la atracción química y atracción cohesiva. La cohesión continua entre sólidos es denominada Van der Waals, que se da en el alejamiento de superficies sólidas.



Según Ramírez y Vergara (2013) por lo general los incidentes de fallas ocurren en la fase previa antes de la constitución del mortero.

- a) **Resistencia a la compresión:** Se define como la resistencia máxima que se alcanza de una muestra sometida a una carga axial, se evalúa generalmente de manera mecánica, aplicando carga axial a las probetas en forma de cilindros hasta que suceda la falla. La resistencia a compresión se calcula al dividirla carga máxima alcanzada entre el área de la probeta y generalmente se expresa en kg/cm² (Ramírez y Vergara, 2013).

Castro et al, (2014); Ramírez y Vergara, (2013) estudiaron este proceso que tiene dependencia mayormente de la cantidad y cohesión de la fase continua, la dosificación de la mezcla y el tiempo de fraguado; en relación con las fibras, se toma en cuenta su distribución, dispersión, orientación y adherencia entre las fibras y la matriz

La resistencia a la compresión se comprueba con una cantidad de fibras determinadas.

Tabla 10.

Valores de resistencia a la compresión de paneles de fibrocemento

Mortero	Descripción	Espesor	Resistencia
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de madera mezclados con cemento Portland tipo I	50 mm	4.08 kg/cm ²
Fibrocemento	Se empleó partículas de aserrín de eucalipto mezclados con cemento Portland tipo I	12 mm	14.44 kg/cm ²
Fibrocemento	Se empleó pulpa química de eucalipto mezclados con cemento Portland tipo I	12 mm	41.44 kg/cm ²

Nota. Datos obtenidos de Cruz (1982), Noriega (1996) y Cerrón (2009)

- b) **Resistencia a la flexión estática:** Es la resistencia máxima lograda de una muestra en forma de viga, se somete a evaluación mediante prueba mecánica destructiva, esta consiste en ejercer una carga al centro de la probeta hasta que esta falle, después de este fenómeno se determina la deformación máxima. Las unidades en que se expresa es kg/cm²(Ramírez y Vergara,2013).

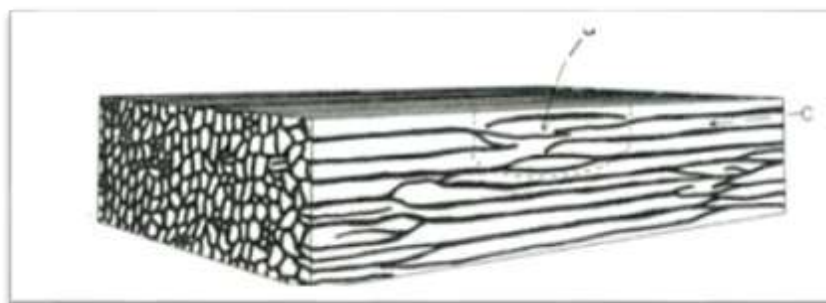
Así como la compresión, la resistencia a flexión es directamente proporcional a la cantidad de cohesión de la fase continua, de la cantidad de agua empleada en la preparación de la pasta y el tiempo de fraguado. Con relación a las fibras, estas también influyen si consideramos distribución, orientación, forma, adherencia entre las fibras y la matriz

2.2.5.7. Celulosa

La celulosa es un constituyente muy importante en la estructura de las plantas leñosas. Las plantas elaboran la celulosa partiendo de la glucosa producida por la fotosíntesis. La madera es celulosa adherida en lignina, polímero fenólico - alcohol que se almacena en las paredes celulares. El algodón, papel de filtro y las toallas faciales son formas casi puras de celulosa, este material es muy usado en la fabricación de gel.

Figura 11.

Estructura fibrosa de la celulosa, (a) región amorfa, (c) región cristalina.



Nota. Imagen obtenida de Allinger, (1972), pag.741

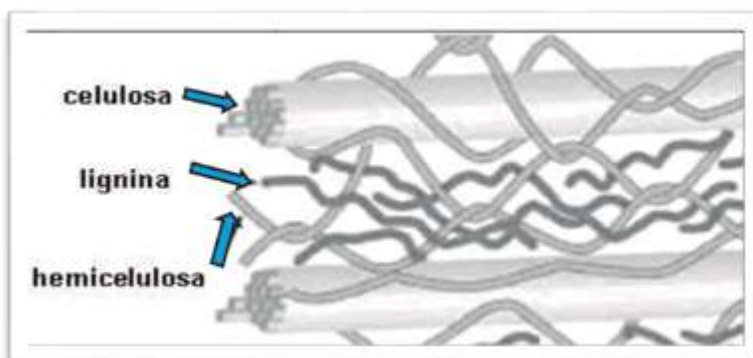
2.2.5.7.1. Fibras de celulosa

La celulosa es un polímero homogéneo muy abundante, de característica orgánica que se caracteriza por su gran accesibilidad y por una fuente de energía renovable. La celulosa consta de fibras compuestas por fibrillas, compuestas a su vez por un gran número de moléculas lineales, cada una de las cuales está formada de 2000 a 3000 moléculas de glucosa anhidra, que produce resistencia impidiendo el completo humedecimiento de la fibra, perdiendo la capacidad de absorción de agua y expansión de la fibra (Rodríguez,2014).

La celulosa pura es de color blanco y posee resistencia mecánica; las fibras de algodón, por ejemplo, llegan a soportar tensiones de hasta 800 N/mm².

Figura 12.

Componentes químicos principales de las fibras vegetales



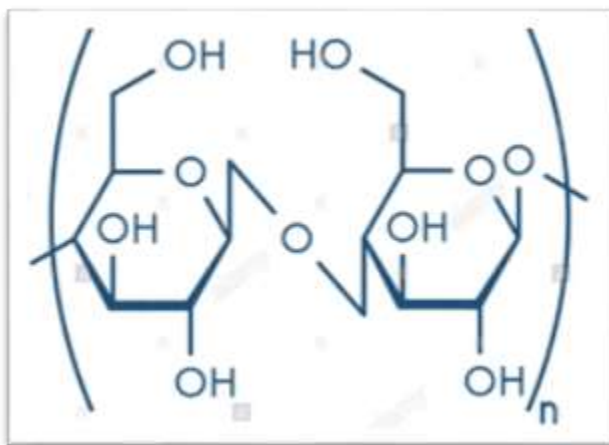
Nota. Imagen obtenida de Rodríguez (2014)

2.2.5.7.2. Origen y características

En 1665 Robert Hooke ideó la posibilidad de crear fibras de tipo artificial utilizando celulosa regenerada, esta idea se pudo realizar cuando se realizó el descubrimiento de la nitrocelulosa por Schönbein en los años 40. En 1889 se desarrolló la primera máquina capaz de fabricar fibras de celulosa, lo cual fue un avance fundamental para la imitación de la seda natural.

Figura 13.

Monómero de celulosa.



Nota. Imagen obtenida de Serna, (2013), pág.120



2.2.5.7.3. Propiedades de la celulosa

Serna (2013) sostiene que “Por el momento se conocen tres tipos de procesos para la separación de la celulosa con el resto de componentes de la madera (lignina y hemicelulosa)” (p.122), estos procesos son:

- Proceso químico o tipo Kraft.
- Proceso semiquímico.
- Proceso mecánico.

2.2.5.7.4. Propiedades mecánicas y físicas

Serna (2013), menciona las siguientes propiedades:

- Humedad: 10%
- Reacción al fuego (DIN 4102): Clase B2
- Energía contenida: 58 KW.h/m²
- Resistencia a la expansión del vapor de agua: 1 a 2 m
- PH: 7.7
- Conductividad térmica: 0.035 W/mK
- Enmohecimiento: nivel 0
- Calor específico: 2100 J/kg. K

2.2.5.7.5. Carboximetil celulosa sódica (CMC)

Es conocida también como Tylose, es una sal soluble en agua de color blanco amarillento de contextura fina, inoloro. Sus usos más comunes son:

- **Industria de alimentos:** Se emplea para mejorar la viscosidad, es muy utilizado como espesante y estabiliza productos alimenticios. Resistente a medios ácidos y utilizado en la fabricación de gelatinas, jarabes o salsas. Es un agente auxiliar para lograr la textura de gel.
- **Industria de la construcción:** Es utilizada en gran parte de las composiciones de cementos y materiales de construcción por sus propiedades de estabilizador y agente hidrofílico. Intensifica la acción adhesiva del cemento.

Este material es sintetizado mediante la reacción de la celulosa con el ácido cloro acético.



Figura 14.

Carboximetil celulosa Sódica (CMC).



Nota. Imagen obtenida de [http://: sercalia.com](http://sercalia.com)

2.2.5.8. Fibras sintéticas PVA (Poliacetato de vinilo)

El poliacetato de vinilo (PVA), es un polímero sintético de contextura gomosa con fórmula ($C_4H_6O_2$). Corresponde a la familia de los polímeros polivinil fácilmente obtenible y de muchas utilidades, su fórmula general ($RCOOCHCH_2$).

Es muy similar con la relación del polímero polivinílico, por lo que se tiende a confundir, pero estos compuestos son muy diferentes, en muchos casos, también con las siglas PVA. El poliacetato de polivinilo es un componente de un tipo ampliamente usado de adhesivo, se le conoce comúnmente como cola para madera, cola blanca, cola de carpintero, cola PVA. Se descubrió en Alemania en 1912 por el científico Fritz Klatte.

Figura 15.

Fibras sintéticas PVA.



Nota. Imagen obtenida de Guadalupe J. (2016)



2.2.5.9. Orden de procesamiento de las placas de fibrocemento

De manera industrial la fabricación del fibrocemento tiene el siguiente orden:

- **Proceso de mezclado:** La pulpa vegetal se disuelve en agua y se muele hasta alcanzar la finesa deseada. Esta suspensión se añade a las fibras sintéticas. La mezcla se prepara en grandes depósitos, de tal manera de formar puentes de hidrógeno durante el proceso químico, manteniendo los ingredientes juntos.
- **Proceso de configuración:** La máquina de paneles, compuesta por tres tamices cilíndricos giran mezclando cemento, fibra, y agua. La rotación conduce a la formación de una capa de 0,9 mm de espesor, que se enrolla con la frecuencia necesaria hasta lograr el espesor necesario. Este proceso toma entre 20 y 100 segundos, dependiendo de la dimensión y el formato del panel. El diámetro del rollo determina la longitud del panel, que alcanza su formato por medio de un cuchillo de corte. Para producir un formato diferente, estas unidades tienen que ser cambiadas. Sólo los empleados experimentados trabajan en las máquinas de paneles. Controlan los dispositivos de medición, pero también usan sus ojos y sus manos.
- **Proceso de prensado y secado:** Los paneles apilados se presionan bajo 10,000 toneladas, con láminas de acero como capas intermedias, para liberar el agua sobrante. De este modo, el contenido de agua de los paneles se reduce de 28 a 15 por ciento, y la densidad del panel aumenta. El cemento continúa endureciéndose por reacción química con agua. El calor se libera durante este proceso. El material tiene tiempo suficiente para hidratarse y solidificarse. Después de tres semanas de fraguado, el contenido de agua baja hasta el 7 y el 8 por ciento, y los paneles están listos para su posterior procesamiento. En un primer paso, los paneles se secan en un horno. En contraste con el fibrocemento 'autoclavado', que se endurecen con vapor de agua en autoclaves, el fibrocemento secado al aire es menos poroso y puede procesarse más fácilmente.

2.2.5.10. Medidas y tipos de placas

Las medidas estandarizadas de las placas de fibrocemento son de 1,20 m por 2,40 m, comercialmente se tiene en diferentes espesores según cada necesidad:

- Espesor de 6 mm y 8 mm utilizado paredes y tabiques interiores.
- Espesor de 10 mm utilizado para paredes o revestimientos en exteriores.
- Espesor de 15 mm utilizado para el enchapado de pisos interiores o exteriores.

Superboard® completa su catálogo según cuatro distintas aplicaciones:



- **Superboard® ST:** Utilizada como fachaletas, paredes y cielorrasos exteriores, interiores y revestimientos. Tiene tolerancia en sus dimensiones, debido a ello es requerido generar junta a la vista de 8 mm como mínimo.
- **Entrepiso:** Fabricada con un proceso estricto de calibración, lo que otorga un espesor continuo y parejo que no requiere de morteros para la nivelación. Es utilizada para entrepisos en obras nuevas, remodelaciones y ampliaciones de estructuras existentes.
- **Borde rebajado:** Placa con bordes reducidos, que permiten materializar superficies continuas con juntas invisibles.
- **Superboard® texturado:** Por su superficie similar a la madera brinda calidez y una destacada estética a nivel de acabados.

Figura 16.

Tipos de placas de fibrocemento.



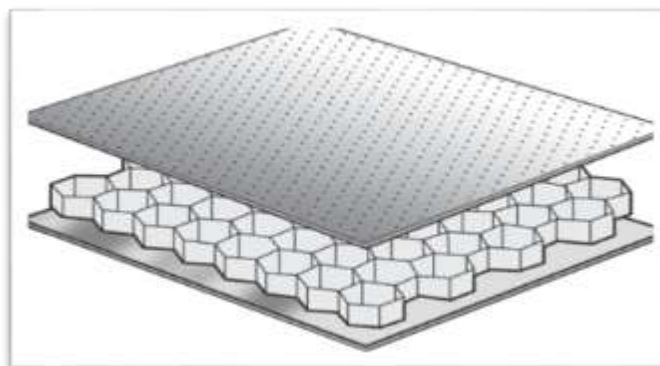
Nota. Imagen obtenida de Eternit (2019).

2.2.6. Comportamiento acústico

El fibrocemento presenta cierta capacidad de aislamiento acústico, pero no la suficiente y necesaria. Incluso aportándole mayor densidad, no reúne las características apropiadas para comunicar acústicamente. Por ello, es necesario recurrir a prefabricados y materiales combinados para paliar esta necesidad técnica, como pueden ser las placas de yeso celulares con cámara de aire y otros materiales aislantes de baja densidad para que le confieran esta propiedad.

Figura 17.

Panel tipo sándwich de aluminio para aislamiento acústico.



Nota. Imagen obtenida de Nautiexpo.

2.2.7. Tetrabrik

Es un envase de cartón, plástico, polietileno y aluminio, producido por la empresa sueca Tetra Pak. Tiene forma de paralelepípedo y está compuesto por diferentes capas. El envase tetra brik es el más conocido y más vendido del portafolio de los envases de Tetra Pak, hasta tal punto que algunas personas lo consideran un nombre genérico, aunque es una marca registrada. El envase tetra brik puede encontrarse tanto para productos refrigerados como para productos UHT (Ultra high temperatura) bajo la denominación de tetra brik.

Según Rubilar y Fuentes, (2006) “Para los años de 1992, las cantidades vendidas de este envase superaron los 5 millones, esto representaba 105 mil toneladas de fibra aprovechable, Tetrapak es líder en la producción de este producto teniendo más del 15% del mercado mundial”.

Tabla 11.

Envases vendidos por Tetrapak

Año	Millones de envases vendidos
1993	4.100
2004	110.817
2006	129.725

Nota. Datos obtenidos de [http://: Tetrapaklatam.com](http://Tetrapaklatam.com)



A nivel de Latinoamérica Tetrapak cuenta con plantas industriales en lugares estratégicos como Chile, Brasil, México, Venezuela y Argentina.

Tabla 12.

Envases Tetrapak multicapa vendidos en latinoamerica.

País	Año	Millones de envases vendidos
Brasil	1999	6000
España	2003	5642
Mexico	2004	4400
Colombia	2004	592
Chile	2005	0.78

Nota. Datos obtenidos de [http://: Tetrapaklatam.com](http://Tetrapaklatam.com)

2.2.7.1. Composición del tetrabrik

Papel: El papel es la materia prima fina principal en la fabricación de los envases multicapas. El papel proviene de la madera el cual es un recurso renovable, se presenta en un 75% del envase.

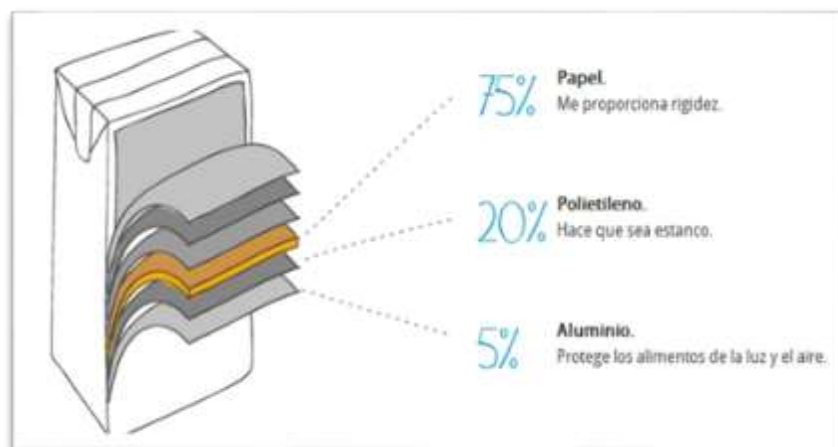
Polietileno: La capa externa fina del polietileno protege el papel de la humedad, mientras que la capa doble de polietileno que va en el interior del envase sirve para el sellado sea térmico.

Se utiliza el polietileno del tipo de baja densidad, que ofrece el máximo rendimiento utilizando una mínima cantidad de material.

Aluminio: La lamina microscópica de aluminio, en los envases asépticos, elimina la necesidad de refrigeración, ahorrando así más energía de la que requiere la fabricación del envase.

Figura 18.

Composición del envase de tetrabrik.



Nota. Imagen extraída de [http://: reciclario.com.ar](http://reciclario.com.ar)

2.2.8. Aluminio

El aluminio es un metal de características no ferrosas, y uno de los más abundantes metales, constituyendo cerca del 8% de la superficie terrestre. Es extraída de la mena bauxita y mezclada con la criolita es la fuente del aluminio. El aluminio es extraído puro y generalmente se presenta demasiado blando, por lo que debe ser debidamente aleado con otros compuestos, se obtienen resistencias comparables al corindón o acero, por lo cual tiene uso mayoritariamente industrial, desde la construcción, farmacéutica, decoración, minería, iluminación hasta la industria aeronáutica. Es el uno de los pocos metales que provee dureza con bajo peso, es muy sencillo de pulir, tenaz, dúctil y muy maleable, posee gran resistencia a la corrosión y alta conductividad térmica y eléctrica, teniendo la mejor relación costo-beneficio que cualquier otro metal.



Figura 19.

Placa de aluminio.



Nota. Madecentro (2018)

2.2.8.1. Aluminio en la industria farmacéutica

El envase de los medicamentos tiene una gran importancia, no solo para mantener toda su calidad y propiedades, sino porque puede llegar a convertirse en la imagen de marca en el mercado.

El aluminio tiene propiedades únicas para esta industria como:

- Aísla perfectamente de la humedad, microorganismos (bacterias), luz, oxígeno y otros gases.
- Crea una barrera de protección necesaria entre el producto y el exterior.
- No añade olor o sabor a los productos, ya que no reacciona con ellos.
- No es tóxico o peligroso para la salud ya que no contiene plasticidad y es, además, respetuoso con el medio ambiente.
- Facilita los envases sencillos, pero a su vez los cierres de seguridad para niños.
- Puede sellarse herméticamente.
- Es moldeable y se adapta fácilmente a la maquinaria de producción de envases.
- Es apto para el almacenaje a largo plazo.



Figura 20.

Medicamentos en envases de aluminio.



Nota. Imagen obtenida de Lodec Jinshu, (2017)

2.2.9. Polietileno

El polietileno pertenece al grupo de las poliolefinas. Químicamente se considera como inerte y se consigue de la polimerización del etileno del cual deriva su nombre.

El polietileno es un polímero que en lenguaje corriente todos lo llamamos plástico. Presenta diferentes formas y presentaciones industriales y con variación de componentes químicos, podemos conseguir una resistencia, durabilidad o densidad determinada para obtener diferentes usos o productos. El polietileno es un material termoplástico blancuzco que podemos encontrar cada día en numerosos productos cotidianos como un táper, una bolsa, un envase, el pomo de una puerta o incluso nuestro teléfono móvil.

2.2.9.1. ¿Para qué se utiliza el polietileno?

El polietileno es un material utilizado para diferentes tipos de productos, y en distintos procesos, como los siguientes:

- 1. Extrusión.** Es un sistema que calienta y genera presión en el material por un orificio para fabricar cables, hilos, tuberías y derivados.
- 2. Coextrusión.** Similar a la extrusión, pero utilizando dos materiales, uno para la creación de un revestimiento exterior, y otro para un relleno o capa interior. Por ejemplo, se puede usar en láminas multicapa.



3. Moldeo por inyección. Es el calentamiento del material termoplástico. Se proyecta sobre un molde a una temperatura normal o fría y se utiliza para la producción de piezas, también lo podemos encontrar en la tecnología de impresión en 3D.

4. Inyección y soplado. El proceso es similar al de inyección combinada con el soplado para crear un vacío interno. El ejemplo más claro se puede ver en la elaboración de botellas de diferentes tamaños.

5. Extrusión y soplado. Mediante el calentamiento y presión por un orificio combinado con el soplado, el uso del polietileno también es para la elaboración de productos con un espesor más fino o determinado. Por ejemplo, sirve para hacer bolsas o tubos con un grosor determinado, así como botellas de diferentes tamaños.

6. Rotomoldeo. Se puede introducir el polietileno de dos maneras, en polvo o líquido, se pone en un molde este se calienta y, mecánicamente girando el molde, se aglutina a la superficie para la creación de formas huecas de grandes dimensiones.

Figura 21.

Usos del polietileno.



Nota. Botella PET

2.2.10. Obtención de fibras

El proceso de obtención de fibras, va de acuerdo al tipo de material el cual se desee obtener, este varía entre materiales orgánicos e inorgánicos.

2.2.10.1 Fibras de tetrabrik

Una de las materias primas seleccionadas para la presente investigación son los envases tetrabrik, estos envases para líquidos con una composición compleja multicapa y flexible, conformado de papel, aluminio, polietileno y plástico.

Su obtención de fibras se puede lograr de varias maneras, desde su trituración en molino de bolas hasta su obtención mecánica mediante cortado de envases en fibras muy pequeñas, puesto que los envases poseen multicapas capas plásticas de polietileno, aluminio y cartón. Lo que imposibilita el tratamiento unitario de cada material que la compone,

Las fibras a extraerse de los envases serán de dimensiones y secciones pequeñas, para así tener adherencia con el mortero y con la celulosa, se recomienda que al proceso de mezclado del mortero esta se ponga en el molde rápidamente.

Figura 22.

Obtención de fibras de tetrabrik mediante el uso de molinos de bolas.



Nota. Imagen obtenida de Blogselpais.es

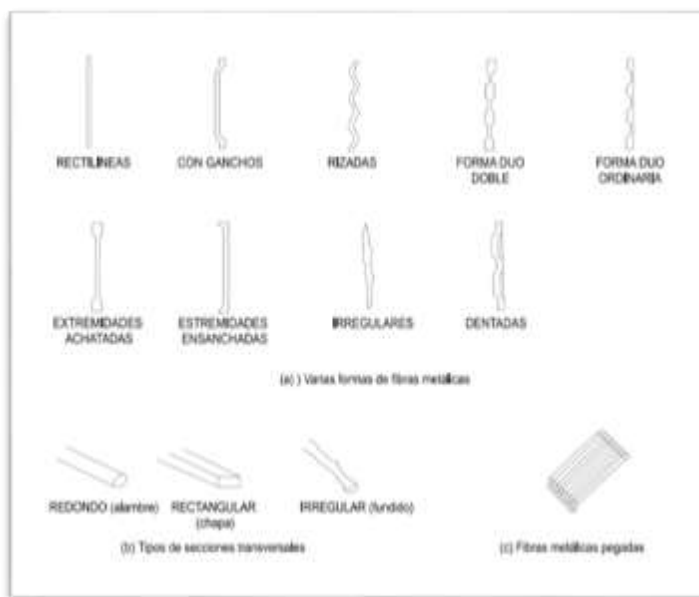
2.2.10.2. Fibras metálicas

Para Mármol S., (2010) “Las fibras de acero son elementos que poseen cortas longitudes acompañado de pequeñas secciones, estas junto con la concreta forma un conglomerante, en el cual las fibras metálicas pueden transferirle características específicas a la mezcla de concreto, empleando métodos de mezcla tradicionales.”

Para Álvarez G, (2014) “Las mezclas con concreto u otro aglutinante, las fibras de acero deben ser de pequeñas longitudes y con pequeña sección transversal, al poseer una superficie lisa y forjada, se añade al conglomerado de concreto para adherirle propiedades.”

Figura 23.

Tipos de fibras metálicas



Nota. Maca ferri, (2010). Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón.

2.2.10.3. Fibras de polietileno

Las fibras de polietileno deben ser de dimensiones alargadas y de sección pequeña, la obtención de las fibras es de manera mecánica, utilizando una navaja a una tijera hasta que tenga forma de hilos, estas junto con la concreto forma un conglomerante, en el cual las fibras de polietileno pueden transferirle características específicas a la mezcla de cemento, empleando métodos de mezcla tradicionales.

Figura 24.

Fibras de polietileno obtenidos de botellas PET



Nota. Arteaga, M. (2019)

2.2.11. Energía eléctrica

2.2.11.1. Resistencia eléctrica

Es la identidad de oposición que poseen los electrones al desplazarse por un conductor. Su representación y unidad en el Sistema Internacional es el ohmio, representado con la letra griega omega (Ω), el nombre es por el físico alemán George Ohm, quien descubrió el principio que ahora lleva su nombre (Nilsson, 2005).

La resistencia eléctrica es ampliamente valorada en la industria, un ejemplo sería el nicrom, que es una aleación de níquel y cromo, que presenta alta resistividad y difícil oxidación a altas temperaturas, esta aleación es muy utilizada en la fabricación de chips para teléfonos móviles y redes de comunicación (Nilsson, 2005).

2.2.11.2. Corriente eléctrica

Llamada también intensidad eléctrica, en la carga eléctrica se presenta un flujo que recorre por un determinado tiempo un tipo de material, este flujo es denominado corriente eléctrica. Esto debido al movimiento de las cargas internas del material. Su representación en el Sistema Internacional es C/s (culombios sobre segundo), unidad que se designa como amperio. Al tratarse del movimiento de cargas, la corriente eléctrica crea un campo magnético, fenómeno que puede aprovecharse en electroimanes. (Nilsson, 2005).

Nilsson (2005), Sostiene que “Para la medición de la intensidad eléctrica se utiliza el galvanómetro, que debe estar calibrado en amperios, llamado amperímetro, colocado en serie con el conductor cuya intensidad se desea medir”.

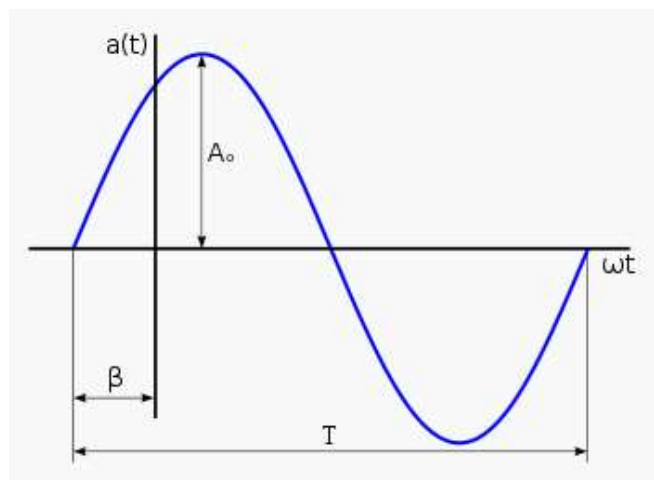
2.2.11.3. Potencial eléctrico

Es el trabajo que debe hacer un campo electrostático para que una carga positiva se pueda trasladar, desde un punto dado a otro punto de referencia, dividida por unidad de carga de prueba. Se puede expresar como el trabajo que debe hacer una fuerza externa para trasladar una carga positiva unitaria, desde un punto de referencia hasta un punto considerado en oposición de la fuerza eléctrica a velocidad constante. (Morales & López, 1997).

El voltaje percibido en los hogares de nuestro país es llamado voltaje de corriente alterna, la energía eléctrica tiene una variación de -220 voltios hasta 220 voltios, los voltajes positivos y voltajes negativos estos se perciben con una frecuencia de 60 Hertz, la gráfica en función del tiempo representa una onda sinusoidal. (Nilsson, 2005).

Figura 25.

Señal sinusoidal de voltaje alterna.



Nota. Morales & López, (1997)

2.2.11.4. Potencia eléctrica

Morales & López, (1997) lo definen como “La cantidad de trabajo ejecutado por una corriente eléctrica, es la relación entre el paso de energía de un flujo por una unidad de tiempo; es la cantidad



de energía cedida o absorbida por un elemento en momento determinado. Su representación y unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (watt).”

Cuando una corriente eléctrica presenta total libertad de movimiento en cualquier circuito, esta puede transmitir energía efectuando un trabajo mecánico o térmico dinámico. Los módulos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como energía calórica, luz (lámparas y reflectores incandescentes), movimiento (motores y válvulas eléctricas), sonido (parlantes y sincronizadores) o procesos químicos. La electricidad se puede originar de manera mecánica o química (Nilsson, 2005).

La potencia eléctrica tiene como definición el producto del potencial eléctrico por la corriente eléctrica:

$$\begin{aligned} \text{Potencia} &= \text{Voltios} * \text{Amperios} \\ \text{Pot} &= V * I \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1)} \end{aligned}$$

Según Manzano, (2008) la Ley de Ohm, insta que el potencial eléctrico es el producto de la resistencia eléctrica por la corriente eléctrica.

$$\begin{aligned} \text{Potencial Electrico (Voltio)} &= \text{Resistencia} * \text{Corriente} \\ V &= R * I \dots\dots\dots \text{(Ecuación 2)} \end{aligned}$$

Para Morales & López, (1997) consecuentemente, la potencia eléctrica se puede representar en función de la resistencia, el voltaje y la corriente eléctrica.

$$\text{Pot} = V * I = R * I^2 = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3)}$$

Dónde:

- Pot = Potencia eléctrica (Watt, W)
- V = Voltaje alterno (Voltio, V)
- I = Corriente alterna (Amperio, A)
- R = Resistencia Eléctrica (Ohmio, Ω)

2.2.11.5. Convección

Es el flujo calórico mediante corrientes dentro de un fluido (líquido y gaseoso). La convección es el movimiento de masas de algún líquido o gas. Cuando la masa de un fluido se presenta indicios de incremento de temperatura al estar en contacto con una superficie caliente, sus moléculas se



apartan y se esparcen, produciendo que la masa del fluido tenga menos densidad. Cuando llega a ser menos denso se moverá hacia arriba u horizontalmente hacia una zona fría, mientras que las masas menos calientes, pero con más densidad, del fluido descenderán sentido opuesto al del movimiento de la masa más caliente (la cantidad del fluido menos caliente es desplazada por la cantidad más caliente). Gracias a este mecanismo los volúmenes más calientes llevan calor a los volúmenes menos calientes de este fluido. (Esplugas, Chamarro, 2005)

2.2.11.6. Radiación

Es la cesión de calor por intermedio de ondas electromagnéticas. No se requiere de un medio para propagarse. La energía irradiada alcanza el nivel de la velocidad de la luz. El calor que irradia el sol se puede intercambiar entre la superficie solar y la superficie de la tierra, esto sin tener un incremento de calor en el espacio de transición. (Esplugas, Chamarro, 2005).

2.2.12. Conductividad térmica

2.2.12.1. Definición de la conductividad térmica

Es una propiedad física de los materiales, esta mide la capacidad de conducción de calor. También se expresa como la capacidad de un material para transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas contiguas o a sustancias o materiales con las que no está en contacto. Su representación en el Sistema Internacional de Unidades de la conductividad térmica es en $W/(K \cdot m)$ (que es equivalente $J/(s \cdot K \cdot m)$). (Collieu, Powney, 1977)

Collieu y Powney, (1977) sostienen que “El coeficiente de conductividad térmica es una propiedad de cada sustancia y muestra la magnitud de la capacidad de conducción del calor. Su símbolo es la letra griega λ ”.

2.2.12.2. Coeficiente de la conductividad térmica

Según Collieu, Powney, (1977) “Se expresa como la cantidad o flujo de calor que pasa a través de una superficie en una muestra de material, de longitud infinita, planos paralelos y espesor, entre sus caras se establecerá una diferencia de temperaturas igual a la unidad”.

Kreith, Manglik y Bohn, (2012) sostienen que “El coeficiente de conductividad térmica (λ) se basa directamente de la ley de la conducción de calor de Fourier”, descrito anteriormente lo cual se detalla:



$$Pot = -\lambda * A \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4)}$$

Según Keith, Manglik, Bohn, (2012) “La variación de temperatura ΔT muestra las temperaturas de inicio y de final del material, siendo representadas como T1 y T2, indicadas en la ilustración 11.”

$$Pot = -\lambda * A \frac{T_2 - T_1}{L} = -\lambda * A \frac{T(fría) - T(caliente)}{L} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 5)}$$

La determinación del coeficiente de conductividad térmica se despeja λ de la ecuación:

$$\lambda = \frac{Pot * L}{A * [T(caliente) - T(fría)]} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 6)}$$

- λ = Coeficiente de conductividad térmica (W/(m.°K), J/ (s. m.°K))
- Pot = Potencia o flujo de calor total a través de la pared (W, Joule/s)
- L = Espesor del material que atraviesa el calor (m)
- A = Área donde tiene efecto la placa caliente (m²)
- $T(caliente)$ = Temperatura obtenida de la placa caliente(°K)
- $T(fría)$ = Temperatura obtenida de la placa fría (°K)

Tabla 13.

Parámetros de conductividad térmica.

Tipo material	Conductividad térmica (W/m.°K)
Buenos aislantes	0.043 - 0.288
Moderados aislantes	0.288 - 0.721
Pobres aislantes	> 0.721

Nota. Blanco, (2012)

2.2.12.3. Sensor de temperatura

Son dispositivos que convierten los cambios de temperatura en señales eléctricas, estos son procesados por un equipo electrónico, se tiene tres tipos de sensores, los RTD, los termistores y los termopares. Los sensores utilizados para la temperatura se usan para medir el contenido calórico y asegurar que el proceso sea estable dentro de un cierto rango, proporcionando seguridad en la ejecución del ensayo (García, 2006).

2.2.12.4. Termocupla tipo k

Las termocuplas son sensores de temperatura usados de manera industrial, una termocupla está conformada por dos alambres de distinto material incorporados en cada extremo. Al generar temperatura en la unión de los metales se forma un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de milivoltios que aumenta con la temperatura. Tienen parámetros de medida entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1370\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad alrededor de $40\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Tiene buena resistencia a la oxidación. (García,2006).

Las termocuplas tipo K se usan generalmente en fundición y hornos a temperaturas menores de $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ejemplo, fundición de zinc, aluminio y hornos de tratamientos térmicos.

Figura 26.

Sensor de temperatura digital – termocupla tipo K.



Nota. Termocuplas, control industrial S.A.C

2.2.12.5. Equipo eléctrico para ensayo de conductividad térmica de placas de fibrocemento

Para la determinación de la conductividad térmica de placas de fibrocemento se modelo un equipo eléctrico, establecido en la norma ASTM C177-13, Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus, que recomienda el método de la placa caliente, este dispositivo se usa para la medida y la verificación de materiales en estado seco que deben ser objeto de ensayos de conductividad térmica.

En este método fue instaurado el criterio de medición en laboratorio del flujo de calor en estado estacionario, a través de un área que debe tener superficie plana de un material uniforme, cuando una cara de la placa de fibrocemento está en contacto con una placa caliente de aluminio, dicho método se denomina el aparato de placa caliente protegida.

2.2.12.6. Acondicionamiento del equipo eléctrico

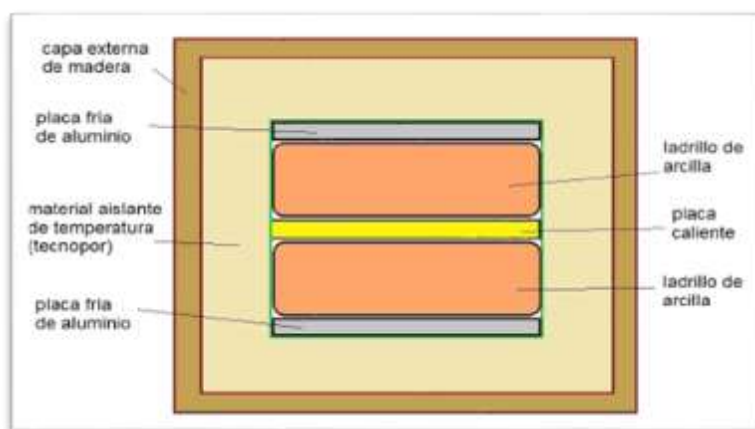
Para la determinación de la conductividad térmica del fibrocemento, se requiere tener un ambiente completamente aislado de la temperatura ambiente, esto para evitar márgenes de error altos ya que la temperatura del ambiente puede alterar los datos obtenidos por la termocupla, medidos en las placas de aluminio.

El material aislante de temperatura que se usará en este caso será el Tecnopor, este material evita que la temperatura del medio ambiente altere la temperatura de la placa de fibrocemento, permaneciendo completamente aislada la cámara con temperatura propia del interior de esta.

Las placas de fibrocemento a las cuales se evaluarán son colocadas en el interior de la cámara, considerando siempre el orden: primero la placa fría de aluminio, luego la placa de fibrocemento, seguidamente la placa caliente de aluminio, sobre ella otra placa de fibrocemento de las mismas dimensiones que el primero, posterior a esta se coloca la placa fría de aluminio.

Figura 27.

Modelo de acondicionamiento de ladrillos para el ensayo de la conductividad térmica.



Nota. Camino, R y R. (2017).

Se comienza a elevar la temperatura a la placa de aluminio, transfiriendo así el calor a las placas de fibrocemento, esperando un determinado tiempo por el flujo de calor en las placas se capta la

temperatura en la placa fría de aluminio, en ese intervalo de tiempo se debe de medir la temperatura con los dispositivos, los datos obtenidos deben someterse a la relación matemática del coeficiente de la conductividad térmica λ , y de este modo se precisa esta propiedad física.

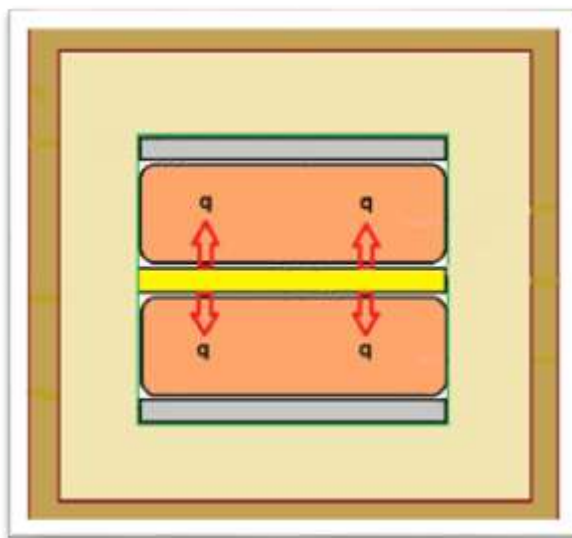
2.2.12.7. Unidad calefactora

Se designó como unidad calefactora del equipo eléctrico a las placas de aluminio, la cual incrementa su temperatura gracias a la energía eléctrica dada a la resistencia que contiene en su interior, siguiendo la norma ASTM C177-13, esta recomienda que la placa metálica deba ser de aluminio, ya que este metal posee un coeficiente de conductividad térmica elevado y sensibilidad al calor. La placa de aluminio debe tener las mismas dimensiones que una de las caras de la unidad de la probeta de fibrocemento, la probeta de fibrocemento y la placa de aluminio deben estar en contacto directo y constante, la función principal de la placa de aluminio es calentar la cara de la unidad, el flujo del calor debe atravesar el cuerpo del fibrocemento, poseyendo así la propiedad física de la conducción del calor.

La placa de aluminio presenta una resistencia eléctrica, la cual eleva su temperatura cuando se conecta con una fuente de energía de voltaje alterna, el voltaje suministrado al resistor debe de ser regularizado desde la fuente de energía, ya que la potencia debe de ser un valor definido.

Figura 28.

Flujo de calor generado por la placa caliente



Nota. Camino, R y R. (2017).

2.2.12.8. Sistema de control de temperatura

Para medir la temperatura se escogió termopares tipo K, estos sensores son de alcance industrial los cuales son digitales y tienen un rango de medición desde $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, que cuentan con un cable capaz de soportar temperaturas de los parámetros indicados.

Figura 29.

Control de temperatura con termocuplas tipo K.



Nota. Camino, R y R. (2017).

Los termopares tipo K toman la medición de la temperatura en ambas caras de la probeta, uno de ellos se instala en el contacto de entre la placa caliente y la probeta, el otro sensor se instala en el contacto de entre la placa fría y la probeta.

2.2.13. Normas

Los datos e información requerida sobre la cantidad de materiales en el compuesto de mezcla de fibrocemento, se tomará como referencia lo dispuesto en las siguientes normas, que tienen base a la norma internacional europea y la norma americana, esto debido a la poca investigación y casi nulas publicaciones de normas peruanas, que no cuentan con los procedimientos a detalle de los ensayos que se deben realizar, ni como deberían ser evaluados para una póstuma fabricación de placas de fibrocemento.

Debido a ello se utilizarán las siguientes normas:

Tabla 14.

Descripción de las normas utilizadas en la investigación.

Normativa Europea (DIN) y Normativa Americana (ASTM) :

DIN - 52361 Densidad en tableros de fibrocemento

DIN - 52364 Hinchamiento volumétrico en tableros de fibrocemento

DIN - 52368 Absorción en tableros de fibrocemento

DIN - 53291 Resistencia a la compresión por espesor

DIN - 52362 Resistencia a la flexión en tableros de fibrocemento

ASTM C177 -13 Conductividad térmica por el método de la placa caliente

Nota. Elaboración propia.

2.2.14. Moldeo de probetas

- **Para ensayos físicos – mecánicos:** La normativa europea DIN, recomienda moldes para probetas con dimensiones 35cm x 35cm x 1cm, reguladas por normas internacionales. Para la presente investigación se adaptarán moldes hechos de madera pintados con acrílico, para evitar que la madera le quite humedad al fibrocemento y facilitar el desmoldado de las probetas. A continuación, se detalla ésta:

Figura 30.

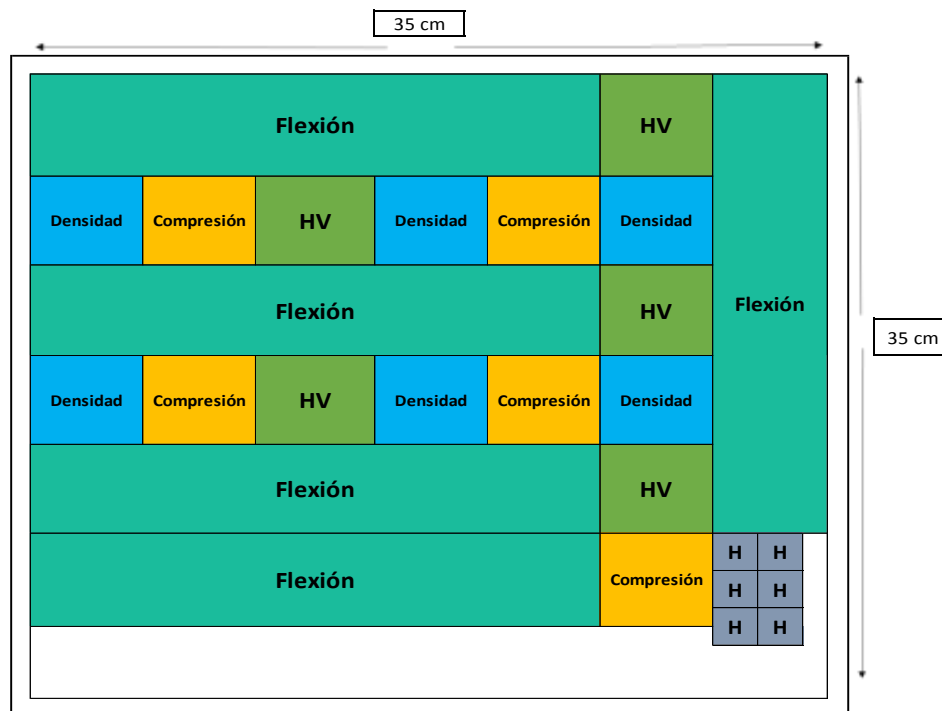
Modelo de moldes para probetas según norma DIN 1101.



Nota. Ferroel L. (2016)

Figura 31.

Distribución de las probetas que se obtendrán de la placa de fibrocemento de 35cm x 35cm.



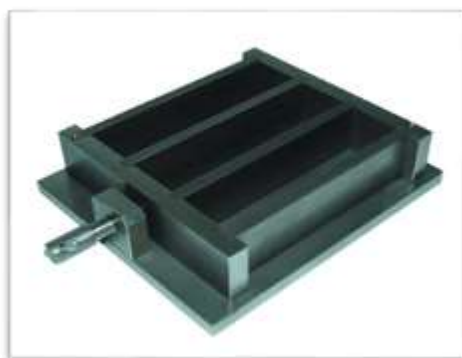
Contenido de humedad (H) 1cm x 1cm ; Flexión = 25cm x 5cm ; Compresión = 5cm x 5cm ;
Densidad = 5cm x 5cm; Hinchamiento volumétrico (HV) = 5cm x 5cm

Nota. Elaboración propia

- **Para ensayos de conductividad térmica:** La norma ASTM C-138 dispone las dimensiones de probetas de 40mm x 40mm x 160mm para ensayos con cemento hidráulico.

Figura 32.

Modelo de molde según la norma ASTM



Nota. <http://Proetisa.com>



2.2.15. Elaboración de placas de fibrocemento

Para su elaboración se recomienda que la total limpieza a la hora de mezclar los materiales y así obtener una reacción uniforme y así lograr resultados satisfactorios.

Cérron, (2009) sostiene que “Después que se obtienen las fibras estos deben estar en proceso de aislamiento del ambiente para así tener mejor adherencia al cemento, si las fibras son vegetales, estas deben pasar un proceso de mineralización, el porcentaje de mineralización varía entre 3% a 5% dependiendo del aditivo.”

Las placas de fibrocemento son fabricadas generalmente de dos maneras:

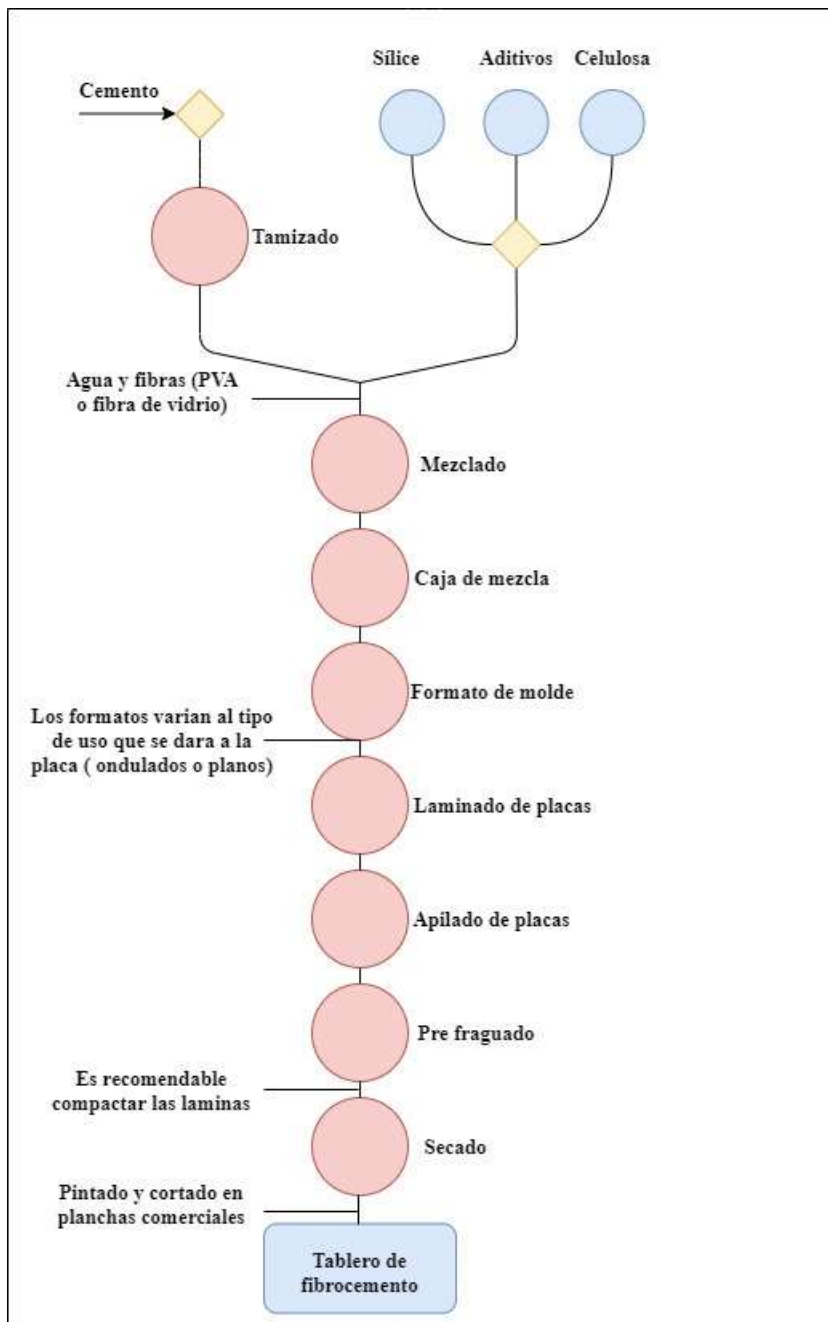
- **Moldeo:** Que radica en el asentamiento de la mezcla en moldes, sin que estas tengan algún tipo de presión.
- **Compactación:** La mezcla es puesta en el molde y sometida a presión por intervalos de tiempo.

La eficiencia de los procesos este derivado a la propiedades y características propias de las fibras, ya sean artificiales o de origen vegetal, en su tamaño, distribución y morfología, del porcentaje con el porcentaje total de la mezcla, se recomienda que en el método de moldeo la mezcla deba ponerse rápidamente en el molde, para así evitar pérdida de agua y secado prematuro. El proceso de desmolde en caso de no usar celulosa sería de un tiempo prolongado, el tiempo de desmolde es un problema de alcance industrial en la fabricación de materiales de fibrocemento. (Beraldo, 2012).

En el proceso de curado, es recomendable tener ciclos de humidificación, las fibras vegetales tienden a liberar fracción de su agua para el cemento provocando dificultades en el inicio del curado. Es recomendable tener ciclos de humidificación y secado, que pueden tener resultados favorables en la estabilidad dimensional de las placas. Para finalizar se almacenan las placas por un periodo que varía del tipo de dosificación y uso, este tiempo varío entre los 3 hasta los 20 días, a fin que el cemento tenga un endurecimiento satisfactorio. (Beraldo, 2012)

Figura 33.

Flujograma de la producción industrial de placas de fibrocemento



Nota. Elaboración propia con software Draw.io



2.3. Propiedades mecánicas

Las propiedades físico - mecánicas del fibrocemento serán evaluadas a partir de los ensayos de: Resistencia a compresión, resistencia a flexión y conductividad térmica.

2.3.1. Resistencia a compresión

El ensayo de compresión se realiza de forma similar al de tracción, con la variación de que la fuerza es de compresión y la probeta de fibrocemento se contrae a lo largo de la dirección de la fuerza. Por acuerdo, una fuerza de compresión es considerada negativa y, por tanto, produce un esfuerzo negativo. Estos ensayos son utilizados cuando se desea conocer el comportamiento del material bajo deformaciones constantes grandes (plásticas), como cuando se tiene un comportamiento frágil a tracción.

2.3.2. Determinación de la resistencia a compresión

El ensayo tiene como objetivo la compresión hasta la rotura de un material. La resistencia a compresión se determina aplicando una carga a los trozos rotos de las probetas procedentes del ensayo de resistencia a flexión.

Si el proceso de compresión no se realiza después que el de flexión, los trozos de las probetas de fibrocemento ensayados se deberían guardar en un desecador. Los trozos de las probetas se colocan con sus caras laterales hacia arriba y hacia abajo entre los dos platos de acero de la prensa de compresión de forma que los lados de la probeta que estuvieron en contacto con las caras del molde estén en contacto con los platos de la prensa en una sección de 50 mm x 50 mm.

2.3.2.1. Expresión de resultados

Debe calcularse el valor medio de los 5 valores obtenidos y expresarse en N/mm². La carga de resistencia a compresión R_c viene dada por la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \dots \dots \dots \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

- R_c = Resistencia a compresión en N/mm²;
- F_c = Máxima carga en la rotura en N;
- 1 600 = 40 mm × 40 mm es el área de la probeta en mm².



2.3.3. Compresión de espesor

Para la determinación de la compresión del espesor, está representada por el porcentaje de reducción de dicho espesor al aplicar la carga, se empleó la norma DIN- 53291. Siguiendo el procedimiento correspondiente:

- Se hicieron probetas de dimensión 50mm x 50mm x espesor.
- Se toma las dimensiones del espesor, largo y ancho de cada probeta.
- Se calcula la carga que soportaran las probetas, la cual es de 400kg/cm². según los requerimientos de norma, para probetas de fibrocemento de 25mm deben presentar una tolerancia de reducción máxima del 20% aplicando una carga de 3 kg/cm².
- Activar la carga hasta llegar a la carga calculada.
- Se retira la probeta luego de aplicar los 400 kg/cm², se toman las medidas nuevas de espesor.

2.3.3.1. Expresión de resultados

$$R = \frac{(E_f - E_i)}{E_i} * 100 \dots \dots \dots \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

- R: Reducción del espesor (%)
- E_i: Espesor inicial (mm)
- E_f: Espesor final de la probeta, después de aplicar la carga (mm)

2.3.4. Resistencia a flexión

Método de ensayo comúnmente utilizado para materiales frágiles. Generalmente implica un espécimen que tiene una sección transversal geométrica, de preferencia rectangular y está soportado en sus extremos. La carga es aplicada verticalmente, puede ser en un punto o en dos. Los esfuerzos longitudinales en las muestras son a tensión en sus superficies inferiores y a la compresión en sus superficies superiores.



2.3.4.1. Determinación de la resistencia a flexión

La resistencia se determina registrando la carga necesaria para romper una probeta prismática de 250 mm × 50 mm × 10 mm apoyada sobre rodillos cuyos centros estén separados 100 mm. Se debe colocar a la probeta de fibrocemento sobre los rodillos del dispositivo de flexión y mediante un rodillo central, debe aplicarse una carga hasta que la probeta se quiebre. Se registra la carga máxima, en newton, que soporta la probeta.

2.3.4.2. Expresión de resultados

La resistencia a flexión P_f para fibrocemento viene dada por la siguiente fórmula:

$$MOR = \frac{3PL}{2ae^2} * 100 \dots \dots \dots \text{(Ecuación 9)}$$

- P: carga máxima (kg)
- L: luz (cm)
- a: ancho (cm)
- e: espesor (cm)

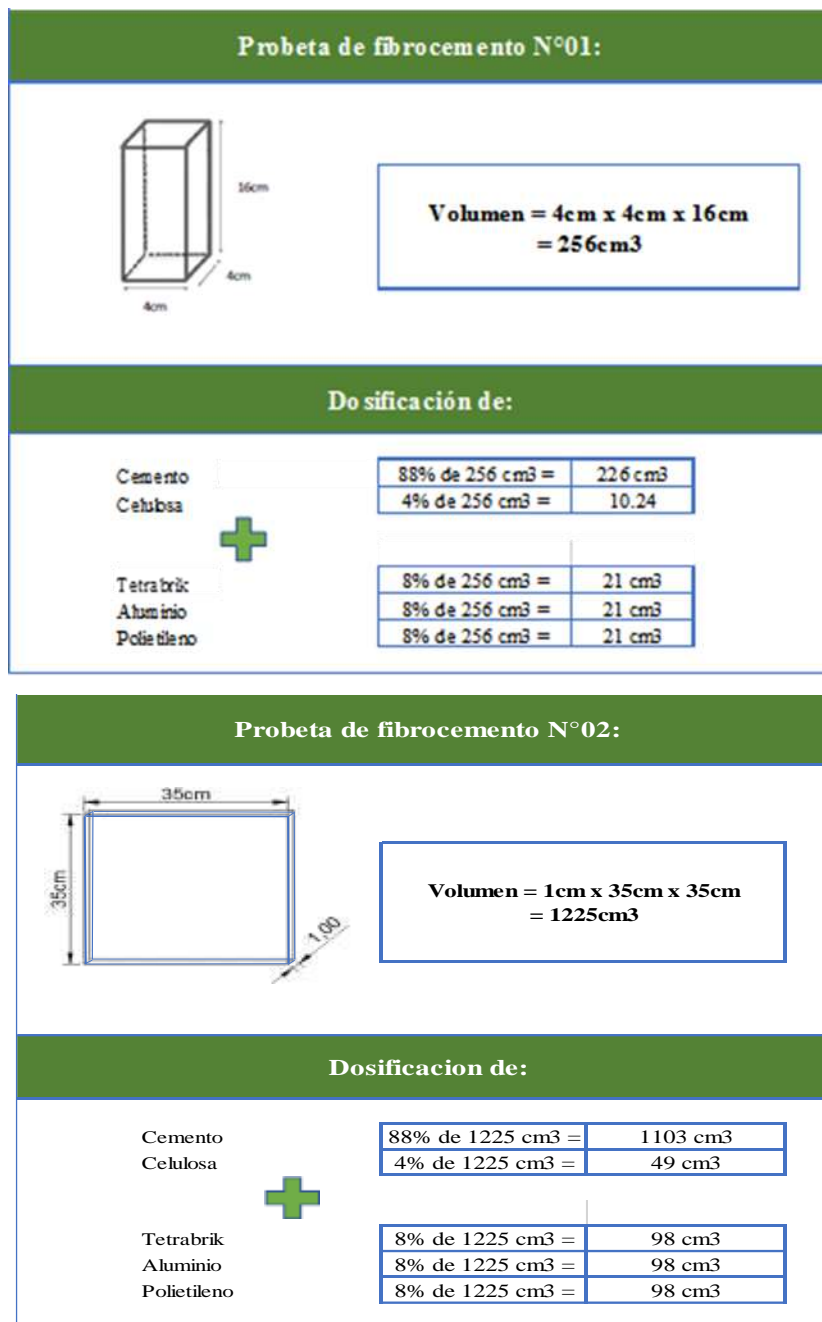
2.4. Dosificación de los materiales a utilizar

Los antecedentes del fibrocemento adicionado o reemplazado con otros tipos de fibras vegetales u artificiales se dieron desde los años 50, la cual se experimentó con otras especies de celulosa de tipos de madera como la epicea, el pino, no excediendo del 10% respecto a la masa del cemento.

El presente trabajo de investigación trabajará con los criterios establecidos en las guías:

Figura 34.

Dosificación y tipos de probeta a utilizar en la investigación.



Nota. Elaboración propia

Capítulo III

Metodología

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

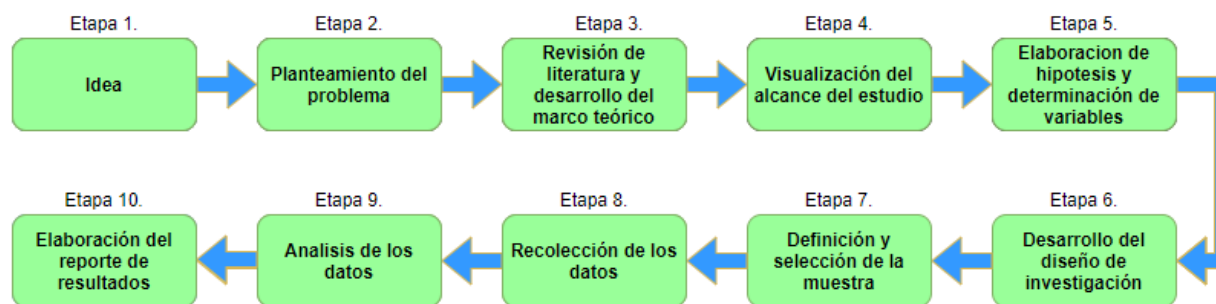
3.1.1.1. Investigación cuantitativa

Según Hernández et al, (2010) “Se caracteriza porque usa la recolección de datos para comprobar la hipótesis, basándose en los parámetros numéricos y el análisis estadístico estableciendo patrones de comportamiento y probar las teorías, dicho enfoque presenta un orden secuencial que no se puede eludir paso alguno.”

Este tipo de investigación encaja a la investigación que se plantea, la recopilación de datos para corroborar la hipótesis se efectuará en base a la medida numérica de propiedades física - mecánicas de conductividad térmica, flexión y compresión del fibrocemento adicionado con fibras de materiales diferentes y se hará una evaluación estadística para ver la variabilidad que presentan entre ellas.

Figura 35.

Fases del proceso cuantitativo.



Nota. Procedimiento tomado de Hernandez, et al (2010)

3.1.2. Nivel de la investigación

- **Es una investigación descriptiva**, se realiza una descripción previa de los materiales, sus características y propiedades, los procesos de elaboración. Este apartado se incluyó en el marco teórico.
- **Es una investigación experimental (causa – efecto)**, se elaboran probetas de fibrocemento modificando su composición adicionándole fibras (tetrabrik, aluminio, polietileno) en su composición para poder establecer y discutir resultados.

3.1.3. Método de investigación

3.1.3.1. Hipotético-deductivo

“Consiste en formular hipótesis sobre las posibles soluciones de un problema planteado y que estos estén corroborados con los datos o información que está al alcance, si estos están de acuerdo con aquellas”

La investigación es hipotética-deductiva, ya que anteriormente se fijaron la hipótesis general y específicas, las que se corroboraron en base a los resultados derivadas de las pruebas experimentales realizadas y al marco teórico. Se finalizará con la aceptación o negativa de las hipótesis planteadas.

3.2. Diseño de la investigación

Figura 36.

Proceso de investigación cuantitativa



Nota. Hernández, et al (2010)



3.2.1. Diseño metodológico

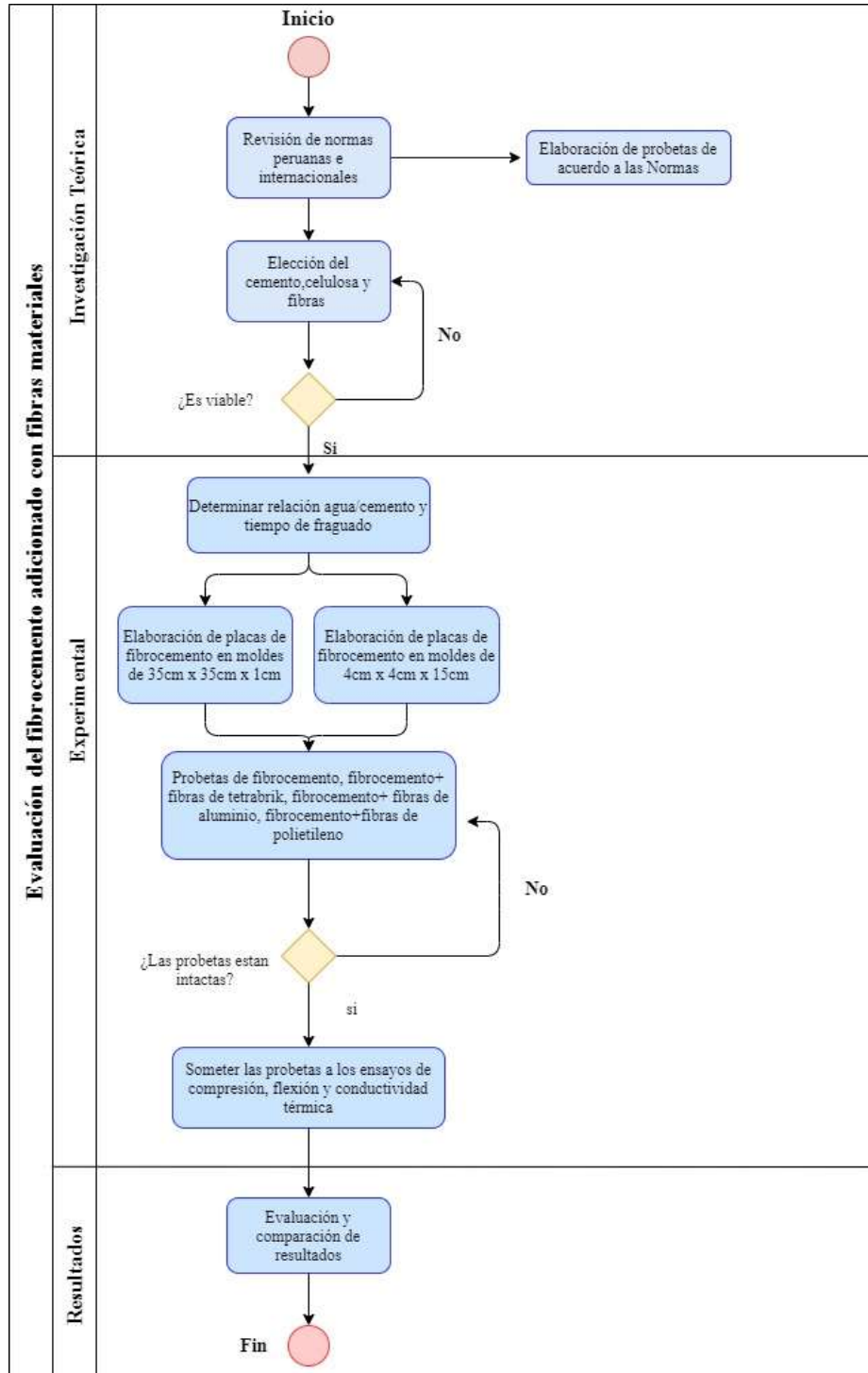
La investigación presente en la tesis, es de tipo **experimental**, ya que se modificaron los procesos en la fabricación del fibrocemento con adicionamiento de distintas fibras. Posteriormente para someterlas a evaluación y analizar resultados recolectados debido a la modificación.

Es diseño experimental por las modificaciones de aspectos a evaluar cómo, agregar en un porcentaje las fibras de materiales y establecer una comparación entre las probetas de fibrocemento con las probetas de fibrocemento adicionado con diferentes fibras (Tetrabrik, aluminio, polietileno).

3.2.2. Diseño de ingeniería

Figura 37.

Flujograma de investigación



Nota. Elaboración propia con software draw.io



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.2. Descripción de la población

Para establecer una población fue necesario saber “que o quienes” son los grupos de estudio, objetos o participantes que se definieron para los alcances del estudio y el planteamiento de la investigación. La presente investigación está relacionada directamente con el área de materiales de construcción

3.3.1.3. Cuantificación de la población

La población de estudio está compuesta por el total de probetas de fibrocemento que se fabricaron, para efectos de estudio se realizó el preparado de 124 unidades de probetas de fibrocemento y fibrocemento adicionados con diferentes tipos de fibras en laboratorio, detallándose:

Tabla 15.

Cuantificación de la muestra

	Probetas			
	Fibrocemento	Tetrabrik	Polietileno	Aluminio
Muestra	31	31	31	31
Población	124			

Nota. Elaboración propia

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

Según indica la norma DIN ISO 1101, el mínimo número de muestras a realizarse y evaluar es de tres unidades por lo que se adicionaron dos unidades para tener un parámetro de medición más amplio, para la norma ASTM C177-13 no especifica la cantidad mínima. Las muestras utilizadas se seleccionaron de la siguiente manera:

⊖ 31 probetas de fibrocemento.

- 5 probetas para el ensayo de flexión.
- 5 probetas para el ensayo de compresión de espesor.



- 6 probetas para el ensayo de contenido de humedad.
- 5 probetas para el ensayo de hinchamiento volumétrico.
- 5 probetas para el ensayo de densidad.
- 5 probetas para el ensayo de conductividad térmica.

⊕ **31 probetas de fibrocemento adicionado fibras de envases tetrabrik.**

- 5 probetas para el ensayo de flexión.
- 5 probetas para el ensayo de compresión de espesor.
- 6 probetas para el ensayo de contenido de humedad.
- 5 probetas para el ensayo de hinchamiento volumétrico.
- 5 probetas para el ensayo de densidad.
- 5 probetas para el ensayo de conductividad térmica.

⊕ **31 probetas de fibrocemento adicionado fibras de polietileno.**

- 5 probetas para el ensayo de flexión.
- 5 probetas para el ensayo de compresión de espesor.
- 6 probetas para el ensayo de contenido de humedad.
- 5 probetas para el ensayo de hinchamiento volumétrico.
- 5 probetas para el ensayo de densidad.
- 5 probetas para el ensayo de conductividad térmica.

⊕ **31 probetas de fibrocemento adicionado fibras de aluminio.**

- 5 probetas para el ensayo de flexión.
- 5 probetas para el ensayo de compresión de espesor.
- 6 probetas para el ensayo de contenido de humedad.
- 5 probetas para el ensayo de hinchamiento volumétrico.



- 5 probetas para el ensayo de densidad.
- 5 probetas para el ensayo de conductividad térmica.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

Se consideró 4 placas de fibrocemento los cuales, de cada una deriva de 26 probetas de fibrocemento, 26 probetas de fibrocemento adicionado con tetrabrik, 26 probetas de fibrocemento adicionado con polietileno, 26 probetas de fibrocemento adicionado con aluminio. Para los ensayos de conductividad térmica se consideró 20 probetas, haciendo un total de 124 probetas.

Tabla 16.

Cantidad de muestras para ensayos seleccionados

Material	Muestra	Cantidad	Ensayos
Fibrocemento	31	5	Resistencia a la compresión
		5	Resistencia a la flexión
		5	Densidad
		5	Hinchamiento
		6	Volumétrico y absorción
		5	Contenido de humedad
Fibrocemento + fibras de tetrabrik	31	5	Resistencia a la compresión
		5	Resistencia a la flexión
		5	Densidad
		5	Hinchamiento
		6	Volumétrico y absorción
		5	Contenido de humedad
Fibrocemento + fibras de aluminio	31	5	Resistencia a la compresión
		5	Resistencia a la flexión
		5	Densidad
		5	Hinchamiento
		6	Volumétrico y absorción
		5	Contenido de humedad
Fibrocemento + fibras de polietileno	31	5	Resistencia a la compresión
		5	Resistencia a la flexión
		5	Densidad
		5	Hinchamiento
		6	Volumétrico y absorción
		5	Contenido de humedad

Nota. Elaboración propia

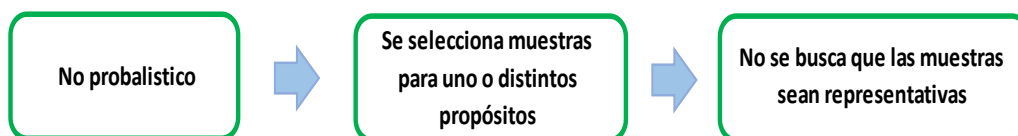
3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo es una herramienta aplicativa de la presente investigación, la cual es un proceso no mecánico, no existen fórmulas probalísticas para la selección de muestra, esta selección va de acuerdo al criterio del tesista o investigador.

Para la investigación se aplicó el método no probalístico, la selección de la muestra no depende de la probabilidad, este método supone un proceso de selección informal y es usado en muchas investigaciones cuantitativas.

Figura 38.

Modelo no probalístico



Nota. Hernández, et al (2010)

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

Las probetas de fibrocemento se fabricaron adicionando cemento Portland, para luego ser evaluadas sus respectivas propiedades mecánicas y físicas.

3.3.3. Criterios de inclusión

Las características comunes en la población son:

- Tipo de fibra empleada.
- Dosificación.
- Tiempo de endurecimiento.

3.4. Instrumentos


3.4.1. Instrumentos de recolección de datos (IRD)

Los instrumentos a usarse en principio son los formatos de laboratorio, donde se tomará nota los datos obtenidos en los ensayos respectivos, para luego ser comparado, en el caso de las placas de fibrocemento. También se consideran los formatos para registrar los datos obtenidos de los ensayos de conductividad térmica, para lograr tener un orden a la hora de la obtención de resultados para



así tener un mejor análisis de estos. Se cuentan como instrumentos los textos especializados en sistemas de construcción en seco, así como las normas de DIN y ASTM.


3.4.1.1. IRD Contenido de humedad



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD
NORMA:	
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	
PROBETAS DE:	

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	
Norma Probetas-	
Mh	Peso de la probeta húmeda g
Mo	Peso de la probeta seca al horno g
M	Contenido de humedad g

Probeta	F	P	Pf
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Observaciones

FORMULA:


$$M = \frac{Mh - Mo}{Mo}$$

Promedio


Nota. Elaboración propia



3.4.1.2. IRD Hinchamiento volumétrico



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	Hinchamiento volumétrico
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	
PROBETAS DE:	

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	
Norma Probetas-	
Vf	Volumen final mm3
Vi	Volumen inicial mm3
H	Hinchamiento %

Probeta	Vi	Vf	H
1			
2			
3			
4			
5			

FORMULA:

$$H = \frac{(Vf - Vi)}{Vi} * 100$$


Observaciones

Promedio


Nota. Elaboración propia



3.4.1.3. IRD Absorción volumétrica



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	Absorción volumetrica
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 dias de endurecido
FECHA:	
PROBETAS DE:	

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	
Norma Probetas-	
Pf	Peso final luego de la inmersion g
Pi	Peso inicial g
A	Absorción de agua %

Probeta	Pi	Pf	A
1			
2			
3			
4			
5			

FORMULA:

$$A = \frac{(Pf - Pi)}{Pi} * 100$$

Observaciones

Promedio

Nota. Elaboración propia



3.4.1.4. IRD Densidad



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Densidad
NORMA:	DIN - 52361
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	
PROBETAS DE:	

DATOS:

Temperatura ambiente °C=		
Norma Probetas-		
P	Densidad	g/cm ³
D	Peso humedo	g
V	Volumen	cm ³

Probeta	P	V	D
1			
2			
3			
4			
5			

Observaciones

FORMULA:

$$D = \frac{P}{V}$$

Promedio

Nota. Elaboración propia



3.4.1.5. IRD Ensayo de flexión



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Resistencia a la flexión
NORMA:	DIN - 52362
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	
PROBETAS DE:	

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	
Norma Probetas-	

P	Carga máxima	kg
L	Luz	cm
a	Ancho	cm
e	Espesor	cm

Probeta	P	L	a	e	MOR
1					
2					
3					
4					
5					

FORMULA:

$$MOR = \frac{3PL}{2ae^2}$$


Observaciones

Promedio

Nota. Elaboración propia




3.4.1.6. IRD Ensayo de compresión



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Compresión de espesor
NORMA:	DIN - 53291
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	
PROBETAS DE:	

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	
Norma Probetas- DIN 1101	
R	Reducción del espesor %
Ei	Espesor inicial mm
Ef	Espesor de la probeta luego de aplicada la carga mm

Probeta	Ei	Ef	R
1			
2			
3			
4			
5			

Observaciones

FORMULA:



$$R = \frac{(Ef - Ei)}{Ei} * 100$$

Promedio

Nota. Elaboración propia



3.4.1.7. IRD Ensayo de conductividad térmica

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="background-color: #cccccc; padding: 5px; font-weight: bold;">PROCESAMIENTO DE DATOS</p>	
ENSAYO:	Conductividad térmica - Placa caliente	
NORMA:	ASTM C177 - 13	
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado	
ROTURA:	A los 3 días de endurecido	
FECHA:		
PROBETAS DE:		
DATOS:	FORMULA:	
Temperatura ambiente °C=		$\lambda = \frac{Pot \cdot L}{A \cdot [T(caliente) - T(fría)]}$
Norma Probetas- ASTM		
Potencia de energía eléctrica (W)	Pot	
Altura de la probeta (m)	H	
Largo de la probeta (m)	L	
Ancho de la probeta (m)	A	
Temperatura de la placa caliente (°K =273.15 + °C)	T1	
Equipo acutek	T2	
Conductividad térmica	I	
Observaciones		

Nota. Elaboración propia

3.4.2 Instrumentos de ingeniería

Tabla 17.

Instrumentos de ingeniería.

Ensayos realizados en laboratorio	Equipo
Ensayo de compresión	Equipo universal para ensayo de materiales
Ensayos de flexión	Máquina de compresión Accutek.
Ensayos de Conductividad térmica	Máquina universal para ensayo de materiales

Nota. Elaboración propia

3.4.2.1. Máquina de compresión Accutek

Es un equipo semejante a una prensa, con la que se posibilita someter diferentes materiales a ensayos de compresión y medir su resistencia. Está constituida por dos placas o mandíbulas que mediante un sistema hidráulico produce la compresión.

Figura 39.

Máquina de Flexión



Nota. Mamani, D (2016)

3.4.2.2. Equipo universal para ensayos de materiales

La UEE/20KN es un equipo para ensayos de materiales universal, de sobremesa.

Figura 40.

Equipo universal para ensayos de materiales



Nota. Edibon

3.4.2.3. Equipo eléctrico para determinar la conductividad térmica

El equipo que se diseñó para hallar la conductividad térmica de las probetas de fibrocemento presenta un ambiente aislado del medio ambiente, el equipo fue diseñado con madera y se le añadió tecnopor para tener mejor aislamiento de temperatura, en el centro se le colocará dos placas de aluminio, que posteriormente una se calentará y otra se mantendrá en frío, el modelo se diseñó como estipula la norma ASTM C177 – 13.

Figura 41.

Modelo eléctrico para la determinación de la conductividad térmica



Nota. Camino, R y R. (2017). Evaluación de conductividad térmica del ladrillo King Kong

3.4.2.4. Termómetro industrial con termocuplas tipo K

Para efectuar la medición de la temperatura se seleccionó un termómetro que tenga termopares tipo k, estos sensores digitales tienen un rango entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$, cuentan con cables de medición que resisten a las temperaturas indicadas.

Figura 42.

Termómetro industrial con termocuplas tipo k



Nota. [http://: toolboom.com](http://toolboom.com)

3.4.2.5. Multímetro

Este aparato determina y digitaliza el voltaje que se suministra al módulo medidor de conductividad térmica.

Figura 43.

Multímetro convencional



Nota. [http://: toolboom.com](http://toolboom.com)

3.4.2.6. Balanza

Son indicadores del peso que un cuerpo posee, se cuenta con balanzas de diferentes tipos para la realización de la investigación, estas varían de acuerdo a la sensibilidad y cantidad de peso.

Figura 44.

Balanza de precisión de 0.01



Nota. M- amedic.org

3.4.2.7. Vernier

Herramienta principal para determinar dimensiones de longitud, ancho y espesor.

Figura 45.

Vernier convencional



Nota. [http://: tramontina.com](http://tramontina.com)

3.5. Recolección de datos (RD)

3.5.1. RD Ensayo de contenido de humedad

3.5.1.1. Equipos y materiales – CH

Figura 46.

Materiales y equipos – Ensayo Contenido de humedad:



1.-Cemento



2.- Celulosa (CMC)



3.- Fibras de aluminio



4.- Fibras de polietileno



5.- Agua Potable



6.- Recipiente para mezcla



7.- Espátula y guantes

3.5.1.2. Procedimiento

Paso N°1: Para el contenido de humedad (CH) el procedimiento de preparación de las planchas es similar para todos, variando en el tipo de fibra específica:

- Cemento, agua y celulosa (CMC).
- Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de tetrabrik.
- Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de aluminio.
- Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de polietileno.

Figura 47.

Materiales y equipos – CH



Nota. Elaboración propia



Paso N°2: Se procede a dosificar la mezcla.

Para la elaboración de las planchas se utilizó la dosificación de A/C 0.4 considerado óptimo para generar la hidratación del cemento sin problemas y no causar problemas de porosidad, apto para lograr buenas propiedades mecánicas en placas de fibrocemento.

Tabla 18.

Dosificación para el ensayo de contenido de humedad

Dosificación		Und
A/C	0.4	
Cemento	2000	g
Celulosa ((Cemento + agua)x4%)	112	g
Fibra ((Cemento + agua)x8%)	224	g
Agua	800	g

Nota. Elaboración propia

Paso N°3: Para la elaboración de cada plancha:

- Para la primera plancha, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), se inicia el proceso de batido con ayuda de una batidora hasta lograr una mezcla homogénea.
- Para la segunda plancha, adicionada con fibras de tetrabrik, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de tetrabrik.
- Para la tercera plancha, adicionada con fibras de aluminio, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de aluminio.
- Para la cuarta plancha, adicionado con fibras de polietileno, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade la fibra de polietileno.



Figura 48.

Proceso de mezcla – Ensayo Contenido de humedad:



Nota. Elaboración propia

Paso N°4: Iniciar el proceso de batido hasta que la textura de la mezcla sea pastosa, esta se obtiene entre 1 a 3 minutos.

Figura 49.

Pasta de fibrocemento – Ensayo Contenido de humedad:



Nota. Elaboración propia



Paso N°5: Las mezclas se colocan en uno de los moldes de madera con ayuda del badilejo y espátula, al momento de poner las mezclas en los moldes se debe controlar de que no tenga espacios ni burbujas de aire.

Figura 50.

Colocación a moldes – Ensayo Contenido de humedad:



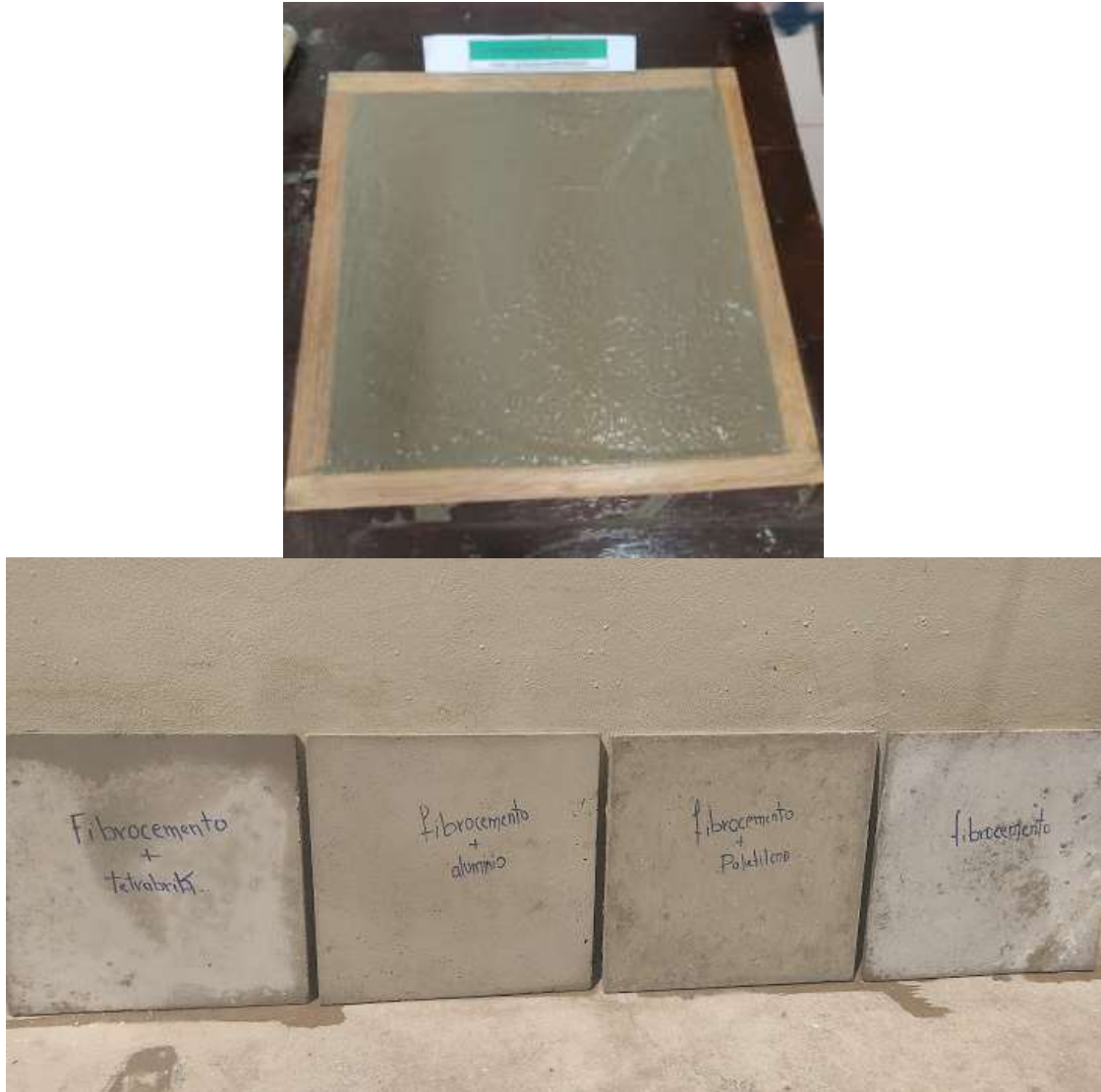
Nota. Elaboración propia



Paso N°6: Dejamos fraguar la mezcla de cada plancha a temperatura ambiente.

Figura 51.

Pasta adherida al molde de madera y secado al aire libre – Ensayo Contenido de humedad:



Nota. Elaboración propia

Paso N°7: Se cortan las probetas en dimensiones de 1cm x 1cm x 1cm, de cada placa obtenida haciendo un total de 24 muestras (6 de cada placa).

Figura 52.

Corte de placas de fibrocemento 1cm x 1cm x 1cm – Ensayo Contenido de humedad:

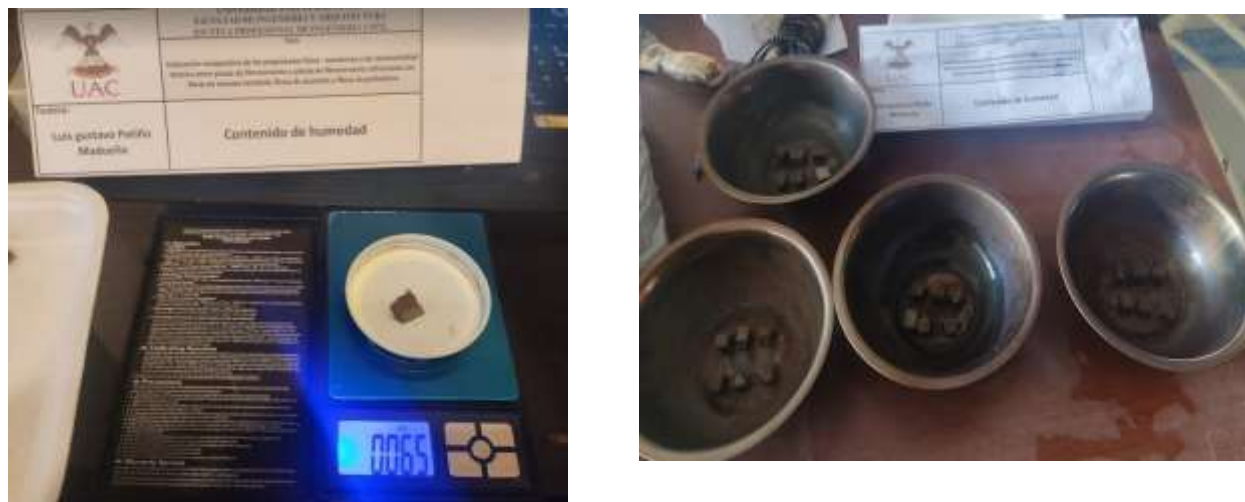


Nota. Elaboración propia

Paso N°8: Se determina el peso de cada muestra y se deja en el horno por un periodo de 24 horas.

Figura 53.

Determinación del peso de probetas húmedas – Ensayo Contenido de humedad:



Nota. Elaboración propia



Paso N°9: Pasado el tiempo se vuelve a pesar y se determina su contenido de humedad.

Figura 54.


Secado de probetas de fibrocemento (24hrs en horno)– Ensayo Contenido de humedad:



Nota. Elaboración propia




3.5.1.3. Toma de datos de CH de las placas de fibrocemento.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Contenido de humedad
NORMA:	Método gravimétrico
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 7 días de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	18.5 °C	
Norma Probetas	Met. Gravimétrico	
Mh	Peso de la probeta húmeda	g
Mo	Peso de la probeta seca	g
M	Contenido de humedad	g

Probeta	Mh	Mo	M	ANVA
1	2.409	1.590	0.168	16.77%
2	1.417	1.310	0.003	0.29%
3	2.267	1.480	0.155	15.48%
4	1.700	1.160	0.073	7.29%
5	1.840	1.250	0.087	8.70%
6	1.860	1.170	0.119	11.90%

Observaciones

FORMULA:

ANVA


Promedio

10.07%

Nota. Elaboración propia




3.5.1.4. Toma de datos de CH de las placas de fibrocemento con fibras de tetrabrik.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Contenido de humedad
NORMA:	Método gravimétrico
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + Fibras de tetrabrik

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	18.5°C
Norma Probetas	Met. Gravimétrica
Mh	Peso de la probeta humeda g
Mo	Peso dela probetra seca g
M	Contenido de humedad g

Probeta	Mh	Mo	M	ANVA
1	1.559	1.090	0.430	5.50%
2	1.587	1.050	0.511	7.21%
3	1.417	1.000	0.417	4.35%
4	1.843	1.230	0.498	9.39%
5	1.559	1.080	0.444	5.74%
6	1.417	0.900	0.574	6.68%

FORMULA:

ANVA

Observaciones


Promedio

6.48%

Nota. Elaboración propia




3.5.1.5. Toma de datos de CH de las placas de fibrocemento con fibras de aluminio.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Contenido de humedad
NORMA:	Método gravimétrico
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + fibras de aluminio

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	18.5°C
Norma Probetas	Método gravimétrico
Mh	Peso de la probeta humeda g
Mo	Peso dela probetra seca g
M	Contenido de humedad g

Probeta	Mh	Mo	M	ANVA
1	1.71	1.04	0.1122	11.22%
2	1.55	1.07	0.0586	5.86%
3	1.60	1.05	0.0759	7.59%
4	2.13	1.46	0.1109	11.09%
5	1.70	1.17	0.0710	7.10%
6	1.13	0.87	0.0174	1.74%

Observaciones

FORMULA:

ANVA

Promedio

7.43%

Nota. Elaboración propia



3.5.1.6. Toma de datos de CH de las placas de fibrocemento con fibras de polietileno.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Contenido de humedad
NORMA:	Método Gravimetrico
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + fibras de polietileno

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	18.5 °C	
Norma Probetas	Met. Gravimetrico	
Mh	Peso de la probeta humeda	g
Mo	Peso de la probetra seca	g
M	Contenido de humedad	g
ANVA	Análisis de varianza	%

Probeta	Mh	Mo	M	ANVA
1	1.98	1.34	0.104	10.37%
2	1.84	1.06	0.153	15.29%
3	1.84	1.37	0.054	5.43%
4	1.98	1.28	0.124	12.39%
5	1.70	1.32	0.036	3.61%
6	1.56	0.96	0.090	8.97%

FORMULA:

ANVA

Promedio

9.34%

Observaciones

Nota. Elaboración propia

3.5.2. RD Ensayo de hinchamiento volumétrico

3.5.2.1. Equipos y materiales – HV

Figura 55.

Materiales y equipos – Ensayo de hinchamiento volumétrico



1.- Cemento



2.- Celulosa (CMC)



3.- Fibras de aluminio



4.- Fibras de polietileno



5.- Agua Potable



6.- Recipiente para mezcla



7.- Espátula y guantes

3.5.2.2. Procedimiento – HV

Paso N°1: Para el hinchamiento volumétrico (HV) el procedimiento para la preparación de las 4 planchas similar para todos,

- a) Cemento, agua y celulosa (CMC).
- b) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de tetrabrik.
- c) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de aluminio.
- d) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de polietileno.

Figura 56.

Materiales y equipos – HV



Nota. Elaboración propia

Paso N°2: Se procede a dosificar las mezclas.

Para la elaboración de las planchas se utilizó la dosificación de A/C 0.4 considerado óptimo para generar la hidratación del cemento sin problemas y no causar problemas de porosidad, apto para lograr buenas propiedades mecánicas en placas de fibrocemento.



Tabla 19.

Dosificación del ensayo de hinchamiento volumetrico

Dosificación		Und
A/C	0.4	
Cemento	2000	g.
Celulosa ((Cemento + agua)x4%)	112	g.
Fibra ((Cemento + agua)x8%)	224	g.
Agua	800	g.

Nota. Elaboración propia

Paso N°3: Para la elaboración de cada plancha:

- Para la primera plancha, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), se inicia el proceso de batido con ayuda de una batidora hasta lograr una mezcla homogénea.
- Para la segunda plancha, adicionada con fibras de tetrabrik, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de tetrabrik.
- Para la tercera plancha, adicionada con fibras de aluminio, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de aluminio.
- Para la cuarta plancha, adicionado con fibras de polietileno, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade la fibra de polietileno.

Figura 57.

Proceso de mezclado – HV



Nota. Elaboración propia

Paso N° 4: Iniciar el proceso de batido hasta que la textura de la mezcla sea pastosa, esta se obtiene entre 1 a 3 minutos.

Figura 56.

Mezclado y formación del mortero – HV



Nota. Elaboración propia



Paso N°5: La mezcla se coloca en uno de los moldes de madera con ayuda del badilejo y espátula, al momento de poner la mezcla en el molde se debe controlar de que no tenga espacios ni burbujas de aire.

Figura 58.

Colocación del mortero en los moldes de madera – HV

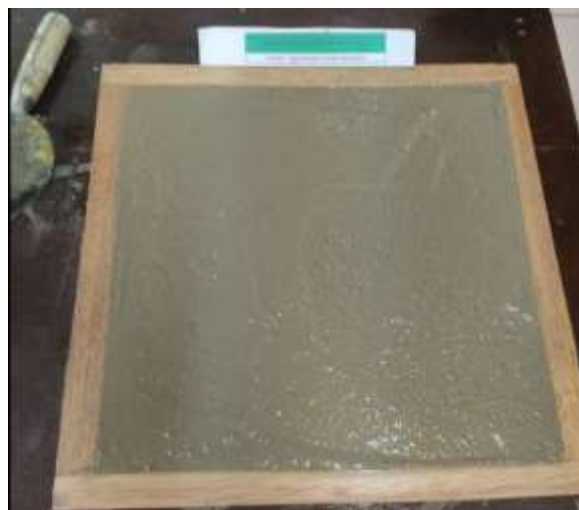


Nota. Elaboración propia

Paso N°6: Dejamos fraguar la mezcla de cada plancha a temperatura ambiente.

Figura 59.

Secado de la mezcla en los moldes de madera – HV





Nota. Elaboración propia

Paso N°7: Se cortan las probetas en dimensiones de 5cm x 5cm x 1cm, de cada placa obtenida haciendo un total de 20 muestras (5 de cada placa).

Figura 60.

Corte de las probetas de fibrocemento 5cm x 5cm – HV



Nota. Elaboración propia

Paso N°8: Se toman las dimensiones de la muestra obteniendo su volumen

Figura 61.

Medición de la probeta con el vernier electrónico – HV



Nota. Elaboración propia

Paso N°9: Pasado el tiempo se vuelve a tomar sus dimensiones y se compara con las medidas anteriores.

Figura 62.


Medición de la probeta con el vernier electrónico 24 horas después – HV




Nota. Elaboración propia



3.5.2.3. Toma de datos – HV fibrocemento



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	Hinchamiento volumétrico
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	18.5°C	
Norma Probetas	DIN - 1101	
Vf	Volumen final	mm3
Vi	Volumen inicial	mm3
H	Hinchamiento	%

Probeta	Vi	Vf	H
1	24269.72	24447.00	0.730%
2	21849.80	21825.17	-0.113%
3	22540.43	24208.06	7.398%
4	27393.83	26490.91	-3.296%
5	27510.42	26642.90	-3.153%

FORMULA:

$$H = \frac{(Vf - Vi)}{Vi} * 100$$


Observaciones

Promedio
0.313%

Nota. Elaboración propia




3.5.2.4. Toma de datos – HV fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Hinchamiento volumétrico
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + tetrabrik

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	18.5°C	
Norma Probetas	DIN 1101	
Vf	Volumen final	mm3
Vi	Volumen inicial	mm3
H	Hinchamiento	%

Probeta	Vi	Vf	H
1	26704.82	26819.75	0.43%
2	25704.45	25393.81	-1.21%
3	23701.31	26063.11	9.96%
4	23311.49	24604.27	5.55%
5	22446.18	22773.64	1.46%

FORMULA:

$$H = \frac{(Vf - Vi)}{Vi} * 100$$

Observaciones


Promedio

3.24%


Nota. Elaboración propia



3.5.2.5. Toma de datos – HV fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	Hinchamiento volumétrico
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + aluminio

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	18.5°C	
Norma Probetas	DIN - 1101	
Vf	Volumen final	mm3
Vi	Volumen inicial	mm3
H	Hinchamiento	%

Probeta	Vi	Vf	H
1	27262.51	28384.63	4.12%
2	22427.54	22917.22	2.18%
3	25296.68	25788.28	1.94%
4	26659.82	26797.22	0.52%
5	21791.13	23027.45	5.67%

FORMULA:

$$H = \frac{(Vf - Vi)}{Vi} * 100$$

Observaciones


Promedio

2.89%


Nota. Elaboración propia



3.5.2.6. Toma de datos – HV fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	Hinchamiento volumétrico
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + polietileno

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	18.5°C	
Norma Probetas	DIN-1101	
Vf	Volumen final	mm3
Vi	Volumen inicial	mm3
H	Hinchamiento	%

Probeta	Vi	Vf	H
1	26554.47	26606.98	0.20%
2	25262.43	25576.50	1.24%
3	23715.22	25393.06	7.07%
4	25785.65	26789.39	3.89%
5	24116.56	25352.86	5.13%

FORMULA:

$$H = \frac{(Vf - Vi)}{Vi} * 100$$

Observaciones

Promedio

3.51%

Nota. Elaboración propia

3.5.3. RD ensayo de absorción volumétrica

3.5.3.1. Equipos y materiales – AV

Figura 63.

Materiales y equipos – absorción volumétrica



1.- Cemento



2.- Celulosa (CMC)



3.- Fibras de aluminio



4.- Fibras de polietileno



5.- Agua Potable



6.- Recipiente para mezcla



7.- Espátula y guantes

3.5.3.2. Procedimiento – AV

Paso N°1: Para la absorción volumétrica (AV) el procedimiento de preparación es similar para todos, teniendo una varianza en la fibra que se le añadirá:

- a) Cemento, agua y celulosa (CMC).
- b) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de tetrabrik.
- c) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de aluminio.
- d) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de polietileno.

Figura 64.

Materiales y equipos – AV



Nota. Elaboración propia

Paso N°2: Se procede a dosificar las mezclas:

Para la elaboración de las planchas se utilizó la dosificación de A/C 0.4 considerado óptimo para generar la hidratación del cemento sin problemas y no causar problemas de porosidad, apto para lograr buenas propiedades mecánicas en placas de fibrocemento.



Tabla 20.

Dosificación para el ensayo de absorción volumétrica

Dosificación		Und
A/C	0.4	
Cemento	2000	g.
Celulosa ((Cemento + agua)x4%)	112	g.
Fibra ((Cemento + agua)x8%)	224	g.
Agua	800	g.

Nota. Elaboración propia

Paso N°3: Para la elaboración de cada plancha:

- a) Para la primera plancha, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), se inicia el proceso de batido con ayuda de una batidora hasta lograr una mezcla homogénea.
- b) Para la segunda plancha, adicionada con fibras de tetrabrik, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de tetrabrik.
- c) Para la tercera plancha, adicionada con fibras de aluminio, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de aluminio.
- d) Para la cuarta plancha, adicionado con fibras de polietileno, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade la fibra de polietileno.



Figura 65.

Proceso de mezclado del mortero – AV



Nota. Elaboración propia



Paso N°4: Iniciar el proceso de batido hasta que la textura de la mezcla sea pastosa, esta se obtiene entre 1 a 3 minutos.

Figura 66.

Mezcla del mortero – AV



Nota. Elaboración propia

Paso N°5: La mezcla se coloca en uno de los moldes de madera con ayuda del badilejo y espátula, al momento de poner la mezcla en el molde se debe controlar de que no tenga espacios ni burbujas de aire.

Figura 67.

Colocación del mortero en el molde de madera – AV



Nota. Elaboración propia

Paso N°6: Dejamos fraguar la mezcla de cada plancha a temperatura ambiente

Figura 68.

Secado del mortero en el molde – AV



Nota. Elaboración propia

Paso N°7: Se cortan las probetas en dimensiones de 5cm x 5cm x 1cm, de cada placa obtenida haciendo un total de 20 muestras (5 de cada placa).

Figura 69.

Corte de las probetas en 5cm x 5cm x 1cm – AV



Nota. Elaboración propia

Paso N°8: Se determina sus dimensiones iniciales en seco.

Figura 70.

Medición de las muestras – AV



Nota. Elaboración propia

Paso N°9: Sumergirlas por 24 horas, luego de ese tiempo volver a tomar su peso.

Figura 71.


Probetas sumergidas 24 horas – AV



Nota. Elaboración propia




3.5.3.2.1. Toma de datos – AV Fibrocemento



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Determinación de la absorción del agua
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	16.4°	
Norma Probetas	DIN - 1101	
Pf	Peso final luego de la inmersión	g
Pi	Peso inicial	g
A	Absorción de agua	%

Probeta	F	P	Pf
1	29.67	34.15	15.10%
2	30.84	34.92	13.23%
3	35.06	39.16	11.69%
4	35.21	39.02	10.82%
5	32.26	36.62	13.52%

Observaciones

FORMULA:

$$A = \frac{(Pf - Pi)}{Pi} * 100$$


Promedio

12.87%


Nota. Elaboración propia



3.5.3.2.2. Toma de datos – AV Fibrocemento adicionado con fibras tetrabrik



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	Determinacion de la absorción del agua
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 dias de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + tetrabrik

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	16.4°
Norma Probetas-	DIN-1101
Pf	Peso final luego de la inmersión g
Pi	Peso inicial g
A	Absorción de agua %

Probeta	Pi	Pf	A
1	31.91	36.10	13.13%
2	32.96	38.72	17.48%
3	31.23	36.41	16.59%
4	35.85	42.04	17.27%
5	34.34	41.31	20.30%

FORMULA:

$$A = \frac{(Pf - Pi)}{Pi} * 100$$


Observaciones

Promedio
16.95%

Nota. Elaboración propia




3.5.3.2.3. Toma de datos – AV Fibrocemento adicionado con fibras de aluminio



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Determinacion de la absorción del agua
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 dias de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + aluminio

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	16.4 °C	
Norma Probetas	DIN - 1101	
Pf	Peso final luego de la inmersión	g
Pi	Peso inicial	g
A	Absorción de agua	%

Probeta	Pi	Pf	A
1	33.34	39.85	19.53%
2	33.13	39.15	18.17%
3	34.78	40.83	17.40%
4	30.17	36.10	19.66%
5	30.76	36.19	17.65%

Observaciones

FORMULA:

$$A = \frac{(Pf - Pi)}{Pi} \cdot 100$$


Promedio

18.48%

Nota. Elaboración propia




3.5.3.2.4. Toma de datos – AV Fibrocemento adicionado con fibras de polietileno



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Determinacion de la absorción del agua
NORMA:	DIN - 52364
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 dias de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + polietileno

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	16.4°	
Norma Probetas-	DIN - 1101	
Pf	Peso final luego de la inmersión	g
Pi	Peso inicial	g
A	Absorción de agua	%

Probeta	F	P	Pf
1	30.74	36.92	20.10%
2	28.53	34.38	20.50%
3	27.92	32.47	16.30%
4	33.88	39.51	16.62%
5	34.10	39.23	15.04%

FORMULA:

$$A = \frac{(Pf - Pi)}{Pi} * 100$$

Observaciones

Promedio

17.71%

Nota. Elaboración propia

3.5.4. RD ensayo de densidad

3.5.3.1. Equipos y materiales – Densidad

Figura 72.

Materiales y equipos a usarse en el ensayo – Densidad



1.- Cemento



2.- Celulosa (CMC)



3.- Fibras de aluminio



4.- Fibras de polietileno



5.- Agua Potable



6.- Recipiente para mezcla



7.- Espátula y guantes

3.5.3.2. Procedimiento – Densidad

Paso N°1: Para la densidad el procedimiento de preparación es similar para todos, teniendo una varianza en la fibra que se le añadirá:

- a) Cemento, agua y celulosa (CMC).
- b) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de tetrabrik.
- c) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de aluminio.
- d) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de polietileno.

Figura 73.

Materiales y equipos – Densidad



Nota. Elaboración propia

Paso N°2: Se procede a dosificar las mezclas.

Se utilizó la dosificación de A/C 0.4 considerado óptimo para generar la hidratación del cemento sin problemas y no causar problemas de porosidad, apto para lograr buenas propiedades mecánicas en placas de fibrocemento.

Tabla 21.

Dosificación para el ensayo de densidad

Dosificación		Und
A/C	0.4	
Cemento	2000	g.
Celulosa ((Cemento + agua)x4%)	112	g.
Fibra ((Cemento + agua)x8%)	224	g.
Agua	800	g.

Nota. Elaboración propia

Paso N°3: Para la elaboración de cada plancha:

- Para la primera plancha, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), se inicia el proceso de batido con ayuda de una batidora hasta lograr una mezcla homogénea.

- b) Para la segunda plancha, adicionada con fibras de tetrabrik, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de tetrabrik.
- c) Para la tercera plancha, adicionada con fibras de aluminio, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de aluminio.
- d) Para la cuarta plancha, adicionado con fibras de polietileno, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade la fibra de polietileno.

Figura 74.

Proceso de mezclado – Densidad



Nota. Elaboración propia

Paso N°4: Iniciar el proceso de batido hasta que la textura de la mezcla sea pastosa, esta se obtiene entre 1 a 3 minutos.

Figura 75.

Proceso de mezclado con ayuda de equipo mecánico – Densidad



Nota. Elaboración propia

Paso N°5: La mezcla se coloca en uno de los moldes de madera con ayuda del badilejo y espátula, al momento de poner la mezcla en el molde se debe controlar de que no tenga espacios ni burbujas de aire.

Figura 76.

Colocación de mezcla en molde de madera – Densidad



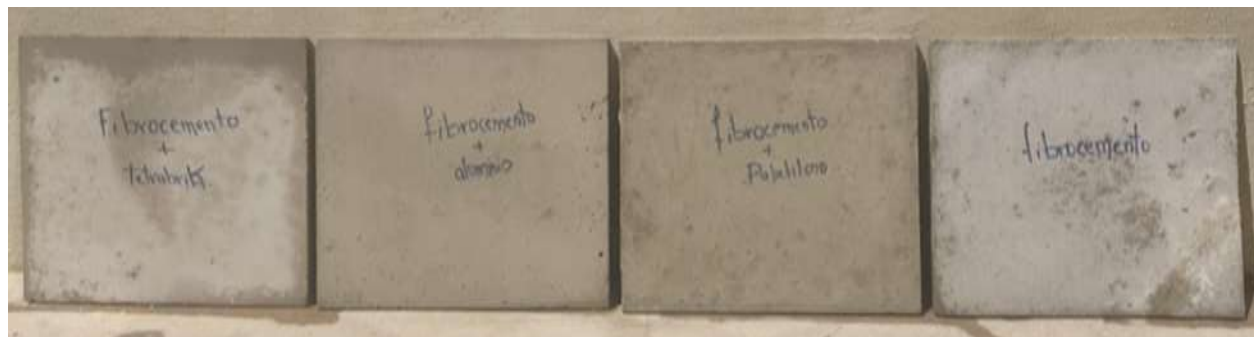
Nota. Elaboración propia



Paso N°6: Dejamos fraguar la mezcla a temperatura ambiente

Figura 77.

Desmoldado y secado de las probetas – Densidad



Nota. Elaboración propia

Paso N°7: Se cortan las probetas en dimensiones de 5cm x 5cm x 1cm, de cada placa obtenida haciendo un total de 20 muestras (5 de cada placa).

Figura 78.

Corte de las muestras 5cm x 5cm x 1cm – Densidad



Nota. Elaboración propia



Paso N°8: Se determina el peso y volumen húmedo de cada muestra con el vernier digital y la balanza.

Figura 79.

Medición de las muestras – Densidad



Nota. Elaboración propia

Paso N°9: Se determina su masa de cada y se procede a obtener su densidad

Figura 80.


Se toman la masa de las muestras – Densidad




Nota. Elaboración propia



3.5.3.2.1. Toma de datos – Densidad del fibrocemento



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	DENSIDAD
NORMA:	DIN - 52361
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 dias de endurecido
FECHA:	
PROBETAS DE:	

DATOS:

Temperatura ambiente °C=

Norma Probetas-

P	Densidad	g/cm3
D	Peso humedo	g
V	Volumen	cm3

FORMULA:

$$D = \frac{P}{V}$$

Probeta	P	V	D
1	35.33	34.07	1.04
2	33.59	21.85	1.54
3	35.73	22.54	1.59
4	40.50	27.39	1.48
5	41.06	27.51	1.49

Observaciones

Promedio

1.43 g/cm3

Nota. Elaboración propia



3.5.3.2.2. Toma de datos – Densidad del fibrocemento con tetrabrik



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	DENSIDAD
NORMA:	DIN - 52361
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	
PROBETAS DE:	

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6°C	
Norma Probetas-	DIN 1101	
P	Densidad	g/cm3
D	Peso humedo	g
V	Volumen	cm3

Probeta	P	V	D
1	35.63	26.70	1.33
2	38.18	25.70	1.49
3	36.14	23.70	1.52
4	36.51	23.31	1.57
5	32.64	22.64	1.44

FORMULA:

$$D = \frac{P}{V}$$

Observaciones


Promedio

1.47 g/cm3


Nota. Elaboración propia



3.5.3.2.3. Toma de datos – Densidad del fibrocemento con aluminio



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	DENSIDAD
NORMA:	DIN - 52361
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + aluminio

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6°C	
Norma Probetas-	DIN 1101	
P	Densidad	g/cm3
D	Peso humedo	g
V	Volúmen	cm3

Probeta	P	V	D
1	40.19	27.26	1.47
2	32.36	22.43	1.44
3	38.00	25.30	1.50
4	39.58	26.66	1.48
5	37.47	21.79	1.72

FORMULA:

$$D = \frac{P}{V}$$

Observaciones


Promedio

1.52 g/cm3


Nota. Elaboración propia



3.5.3.2.4. Toma de datos – Densidad del fibrocemento con polietileno



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	DENSIDAD
NORMA:	DIN - 52361
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	11/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + polietileno

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6°C
Norma Probetas	DIN 1101

P	Densidad	g/cm3
D	Peso humedo	g
V	Volumen	cm3

Probeta	P	V	D
1	35.10	26.55	1.32
2	34.44	25.26	1.36
3	36.19	23.77	1.52
4	36.61	25.79	1.42
5	34.85	24.12	1.45

FORMULA:

$$D = \frac{P}{V}$$

Observaciones

Promedio

1.41 g/cm3

Nota. Elaboración propia

3.5.3.3. RD ensayo de resistencia a la flexión

3.5.3.3.1. Equipos y materiales – RF

Figura 81.

Materiales y equipos – Ensayo de resistencia a la flexión



1.- Cemento



2.- Celulosa (CMC)



3.- Fibras de aluminio



4.- Fibras de polietileno



5.- Agua Potable



6.- Recipiente para mezcla



7.- Espátula y guantes



8.- Moldes de madera

3.5.3.3.2. Procedimiento - RF

Paso N°1: Para la resistencia a flexión el procedimiento de preparación es similar para todos, teniendo una varianza en la fibra que se le añadirá:

- Cemento, agua y celulosa (CMC)
- Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de tetrabrik.
- Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de aluminio.
- Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de polietileno.

Figura 82.

Materiales y equipos – RF



Nota. Elaboración propia

Paso N°2: Se procede a dosificar las mezclas.

Se utilizó la dosificación de A/C 0.4 considerado óptimo para generar la hidratación del cemento sin problemas y no causar problemas de porosidad, apto para lograr buenas propiedades mecánicas en placas de fibrocemento.

Tabla 22.

Dosificación para el ensayo de resistencia a flexión

	Dosificación	Und
A/C	0.4	
Cemento	2000	g.
Celulosa ((Cemento + agua)x4%)	112	g.
Fibra ((Cemento + agua)x8%)	224	g.
Agua	800	g.

Nota: Elaboración propia

Paso N°3: Para la elaboración de cada plancha:

- e) Para la primera plancha, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), se inicia el proceso de batido con ayuda de una batidora hasta lograr una mezcla homogénea.



- f) Para la segunda plancha, adicionada con fibras de tetrabrik, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de tetrabrik.
- g) Para la tercera plancha, adicionada con fibras de aluminio, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de aluminio.
- h) Para la cuarta plancha, adicionado con fibras de polietileno, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade la fibra de polietileno.

Figura 83.

Proceso de mezclado – RF



Nota. Elaboración propia

Paso N°4: Iniciar el proceso de batido hasta que la textura de la mezcla sea pastosa, esta se obtiene entre 1 a 3 minutos.

Figura 84.

Proceso de mezclado con ayuda de equipo mecánico – RF



Nota. Elaboración propia

Paso N°5: La mezcla se coloca en uno de los moldes de madera con ayuda del badilejo y espátula, al momento de poner la mezcla en el molde se debe controlar de que no tenga espacios ni burbujas de aire.

Figura 85.

Colocación de mezcla en molde de madera – RF



Nota. Elaboración propia

Paso N°6: Dejamos fraguar la mezcla a temperatura ambiente por 3 días.

Figura 86.

Secado de las muestras – RF



Nota. Elaboración propia

Paso N°7: Se cortan las probetas en dimensiones de 25 cm x 5 cm x 1 cm, de cada placa obtenida haciendo un total de 20 muestras (5 de cada placa).

Figura 87.

Cortes de las muestras en 25 cm x 5 cm – RF



Nota. Elaboración propia

Figura 88.

Medición de las muestras – RF



Nota. Elaboración propia

Paso N°8: Se mediante la máquina de compresión se determina su resistencia a flexión, fue necesario estableces 3 puntos en la muestra para la realización del ensayo.

Figura 89.

Muestras sometidas a flexión – RF



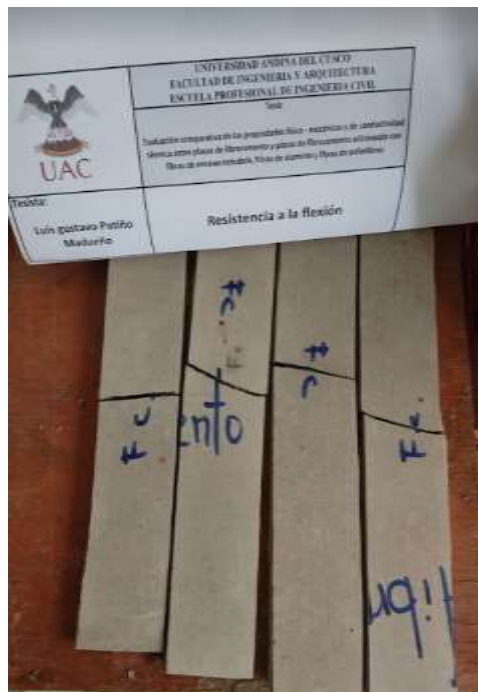
Nota. Elaboración propia



Paso N°9: Se termina el ensayo extrayendo la muestra y registrando su resistencia.

Figura 90.


Muestras de fibrocemento luego de flexión – RF



Nota. Elaboración propia




3.5.3.3.3. Datos obtenidos de RF de fibrocemento



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
NORMA:	DIN - 52362
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	16.70°C	
Norma Probetas	DIN - 1101	
P	Carga máxima	kg
L	Luz	cm
a	Ancho	cm
e	Espesor	cm

Probeta	P	L	a	e	MOR
1	5.80	25.16	5.20	0.92	49.67
2	4.90	25.28	5.03	1.17	27.15
3	7.10	24.39	4.93	1.00	53.07
4	4.80	24.42	5.00	1.09	29.57
5	6.80	25.61	5.08	1.11	41.58

FORMULA:

$$MOR = \frac{3PL}{2ae^2}$$

Observaciones

Se cambio de máquina debido a que la usada solo registrada datos en KN y al ser tan pequeñas las resistencias estas no se registraban


Promedio

40.21 Kg/cm2

Nota. Elaboración propia




3.5.3.3.4. Datos obtenidos de RF de fibrocemento con envases tetrabrik



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
NORMA:	DIN - 52362
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + tetrabrik

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.60°C	
Norma Probetas	DIM 1101	
P	Carga máxima	Kg
L	Luz	cm
a	Ancho	cm
e	Espesor	cm
MOR	Modulo de resistencia	KN/cm2

Probeta	P	L	a	e	MOR
1	2.50	25.89	5.10	0.92	22.58
2	1.90	24.45	5.03	1.08	11.81
3	2.40	25.47	5.04	0.94	20.50
4	2.60	26.12	5.00	1.06	18.22
5	2.50	24.63	5.05	1.04	16.94

FORMULA:

$$MOR = \frac{3PL}{2ae^2}$$

Observaciones

Se cambio de máquina debido a que la usada solo registrada datos en KN y al ser tan pequeñas las resistencias estas no se registraban


Promedio

18.01 Kg/cm2

Nota. Elaboración propia




3.5.3.3.5. Datos obtenidos de RF de fibrocemento con aluminio



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
NORMA:	DIN - 52362
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 7 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + aluminio

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	16.70°C	
Norma Probetas-		
P	Carga máxima	kg
L	Luz	cm
a	Ancho	cm
e	Espesor	cm
MOR	Modulo de resistencia	KN/cm2

Probeta	P	L	a	e	MOR
1	1.70	25.71	4.73	1.02	13.21
2	2.30	24.92	4.71	1.14	14.01
3	1.84	26.58	5.06	1.25	9.22
4	2.60	26.31	5.20	1.10	16.28
5	1.40	24.26	5.09	1.06	8.89

FORMULA:

$$MOR = \frac{3PL}{2ae^2}$$

Observaciones

Se cambio de máquina debido a que la usada solo registrada datos en KN y al ser tan pequeñas las resistencias estas no se registraban


Promedio

12.32 Kg/cm2

Nota. Elaboración propia




3.5.3.3.6. Datos obtenidos de RF de fibrocemento con polietileno



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
NORMA:	DIN - 52362
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 7 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + polietileno

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6 °C	
Norma Probetas-		
P	Carga máxima	kg
L	Luz	cm
a	Ancho	cm
e	Espesor	cm
MOR	Modulo de resistencia	KN/cm2

Probeta	P	L	a	e	MOR
1	2.20	24.52	4.93	1.16	12.28
2	2.10	27.31	5.04	1.05	15.56
3	1.60	25.06	4.64	1.10	10.66
4	0.30	26.91	4.89	1.18	1.79
5	1.10	24.98	5.07	1.19	5.72

FORMULA:

$$MOR = \frac{3PL}{2ae^2}$$

Observaciones

Se cambio de máquina debido a que la usada solo registrada datos en KN y al ser tan pequeñas las resistencias estas no se registraban

Promedio

9.20 kg/cm2

Nota. Elaboración propia

3.5.4. RD Ensayo de compresión del espesor (CE)

3.5.4.1. Equipos y materiales

Figura 91.

Materiales y equipos – Ensayo de resistencia a la compresión del espesor



1.- Cemento



2.- Celulosa (CMC)



3.- Fibras de aluminio



4.- Fibras de polietileno



5.- Agua Potable



6.- Recipiente para mezcla



7.- Espátula y guantes



8.- Moldes de madera



3.5.4.2. Procedimientos – CE

3.5.4.2.1. Ensayo de RCE del fibrocemento

Paso N°1: Para la resistencia a la compresión del espesor (CE) el procedimiento de preparación es similar para todos, teniendo una varianza en la fibra que se le añadirá:

- a) Cemento, agua y celulosa (CMC)
- b) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de tetrabrik.
- c) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de aluminio.
- d) Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de polietileno.

Figura 92.

Materiales y equipos – RCE



Nota. Elaboración propia

Paso N°2: Se procede a dosificar las mezclas

Se utilizó la dosificación de A/C 0.4 considerado óptimo para generar la hidratación del cemento sin problemas y no causar problemas de porosidad, apto para lograr buenas propiedades mecánicas en placas de fibrocemento.



Tabla 23.

Dosificación para el ensayo de resistencia a compresión del espesor

Dosificación		Und
A/C	0.4	
Cemento	2000	g.
Celulosa ((Cemento + agua)x4%)	112	g.
Fibra ((Cemento + agua)x8%)	224	g.
Agua	800	g.

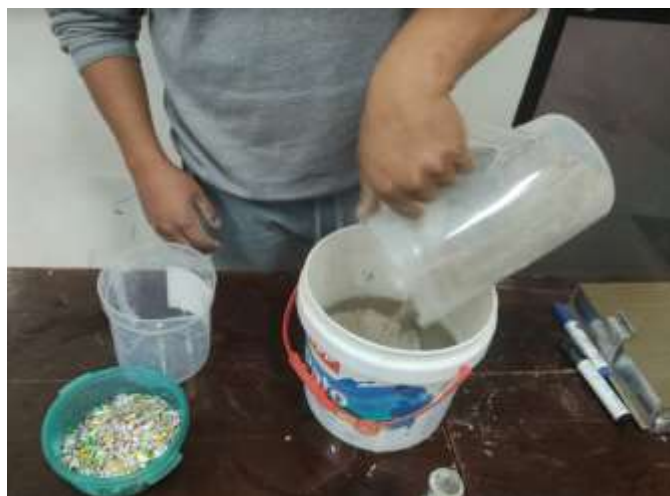
Nota. Elaboración propia

Paso N°3: Para la elaboración de cada plancha:

- i) Para la primera plancha, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), se inicia el proceso de batido con ayuda de una batidora hasta lograr una mezcla homogénea.
- j) Para la segunda plancha, adicionada con fibras de tetrabrik, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de tetrabrik.
- k) Para la tercera plancha, adicionada con fibras de aluminio, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de aluminio.
- l) Para la cuarta plancha, adicionado con fibras de polietileno, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade la fibra de polietileno.

Figura 93.

Mezclado de materiales – RCE



Nota. Elaboración propia

Paso N°4: Iniciar el proceso de batido hasta que la textura de la mezcla sea pastosa, esta se obtiene entre 1 a 3 minutos.

Figura 94.

Mezcla de materiales con ayuda de equipo mecánico– RCE



Nota. Elaboración propia

Paso N°5: Las mezclas se colocan en uno de los moldes de madera con ayuda del badilejo y espátula, al momento de poner las mezclas en los moldes se debe controlar de que no tenga espacios ni burbujas de aire.

Figura 95.

Mezclado de materiales – RCE



Nota. Elaboración propia

Paso N°6: Dejamos fraguar las mezclas a temperatura ambiente



Nota. Elaboración propia



Paso N°7: Se cortan las probetas en dimensiones de 5cm x 5cm x 1cm, de cada placa obtenida haciendo un total de 20 muestras (5 de cada placa).

Figura 96.

Corte de muestras de 5cm x 5cm x 1cm – RCE



Nota. Elaboración propia

Paso N°8: Se determina la medida del espesor de cada muestra.

Figura 97.

Medicion de muestras – RCE



Nota. Elaboración propia



Paso N°9: Se somete a compresión según norma debe ser sometida a 400 kg/cm² o 4 kN/cm²

Figura 98.

Proceso de compresión de las muestras - RCE



Nota. Elaboración propia



3.5.4.3. Datos obtenidos de CE

3.5.4.3.1. Datos obtenidos de CE de fibrocemento



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Compresión del espesor
NORMA:	DIN - 53291
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	14/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6°C
Norma Probetas	DIN 1101
R	Reducción del espesor %
Ei	Espesor inicial mm
Ef	Espesor de la probeta luego de aplicada la carga mm

Probeta	Ei	Ef	R
1	9.480	9.425	0.58%
2	11.070	10.570	4.52%
3	10.540	10.320	2.09%
4	10.060	9.900	1.59%
5	10.090	9.350	7.33%

Observaciones

FORMULA:

$$R = \frac{(E_f - E_i)}{E_i} \cdot 100$$


Promedio

3.22%

Nota. Elaboración propia




3.5.4.3.2. Datos obtenidos de CE de fibrocemento con envases tetrabrik



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Compresión del espesor
NORMA:	DIN - 53291
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + tetrabrik

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6 °C
Norma Probetas	DIN - 1101
R	Reducción del espesor %
Ei	Espesor inicial mm
Ef	Espesor de la probeta luego de aplicada la carga mm

Probeta	Ei	Ef	R
1	10.940	10.440	4.79%
2	10.270	10.160	1.08%
3	9.800	8.910	9.99%
4	10.240	10.200	0.39%
5	9.800	9.340	4.93%

Observaciones

FORMULA:

$$R = \frac{(Ei - Ef)}{Ei} * 100$$


Promedio

4.24%

Nota. Elaboración propia




3.5.4.3.3. Datos obtenidos de CE de fibrocemento con aluminio



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Compresión del espesor
NORMA:	DIN - 53291
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 3 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + aluminio

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	16.7°C	
Norma Probetas	DIN - 1101	
R	Reducción del espesor	%
Ei	Espesor inicial	mm
Ef	Espesor de la probeta luego de aplicada la carga	mm

Probeta	Ei	Ef	R
1	10.25	10.08	1.69%
2	11.02	10.39	6.06%
3	10.63	10.29	3.30%
4	10.23	10.00	2.30%
5	10.44	10.33	1.06%

FORMULA:

$$R = \frac{(Ei - Ef)}{Ei} \cdot 100$$

Observaciones


Promedio

2.88%

Nota. Elaboración propia




3.5.4.3.4. Datos obtenidos de CE de fibrocemento con polietileno



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	Compresión del espesor
NORMA:	DIN - 53291
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 7 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + polietileno

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6°C
Norma Probetas	DIN 1101
R	Reducción del espesor %
Ei	Espesor inicial mm
Ef	Espesor de la probeta luego de aplicada la carga mm

Probeta	Ei	Ef	R
1	10.59	10.37	2.12%
2	10.46	10.25	2.05%
3	11.67	11.08	5.32%
4	9.97	9.89	0.81%
5	10.60	10.58	0.19%

Observaciones

FORMULA:

$$R = \frac{(Ef - Ei)}{Ei} \cdot 100$$

Promedio

2.10%

Nota. Elaboración propia

3.5.5. RD Ensayo de conductividad térmica (CT)

3.5.5.1. Equipos y materiales

Figura 99.

Materiales y equipos – Ensayo de conductividad térmica



1.- Cemento



2.- Celulosa (CMC)



3.- Fibras de aluminio



4.- Fibras de polietileno



5.- Agua Potable



6.- Recipiente para mezcla



7.- Espátula y guantes



8.- Moldes de metal

3.5.5.2. Procedimientos – CT

Paso N°1: Para la conductividad térmica (CT) el procedimiento de preparación es similar para todos, teniendo una varianza en la fibra que se le añadirá:

- Cemento, agua y celulosa (CMC).
- Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de tetrabrik.
- Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de aluminio.
- Cemento, agua, celulosa (CMC) y fibras de polietileno.

Figura 100.

Materiales y equipos – CT



Nota. Elaboración propia

Paso N°2: Se procede a dosificar las mezclas

Para la elaboración de las planchas se utilizó la dosificación de A/C 0.4 considerado óptimo para generar la hidratación del cemento sin problemas y no causar problemas de porosidad, apto para lograr buenas propiedades mecánicas en placas de fibrocemento.

Tabla 24.

Dosificación para el ensayo de conductividad térmica

Dosificación		Und
A/C	0.4	
Cemento	2000	g.
Celulosa ((Cemento + agua)x4%)	112	g.
Fibra ((Cemento + agua)x8%)	224	g.
Agua	800	g.

Nota. Elaboración propia

Paso N°3: Para la elaboración de cada plancha:

- Para la primera plancha, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), se inicia el proceso de batido con ayuda de una batidora hasta lograr una mezcla homogénea.



- b) Para la segunda plancha, adicionada con fibras de tetrabrik, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de tetrabrik.
- c) Para la tercera plancha, adicionada con fibras de aluminio, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade las fibras de aluminio.
- d) Para la cuarta plancha, adicionado con fibras de polietileno, se procede a verter agua en un recipiente, seguidamente se le añade el cemento y la celulosa (CMC), finalmente se le añade la fibra de polietileno.

Figura 101.

Preparación de mortero – CT



Nota. Elaboración propia

Paso N°4: Iniciar el proceso de batido hasta que la textura de la mezcla sea pastosa, esta se obtiene entre 1 a 3 minutos.

Figura 102.

Preparación de mortero con ayuda de equipo mecánico– CT



Nota. Elaboración propia

Paso N°5: Las mezclas se colocan en uno de los moldes de madera con ayuda del badilejo y espátula, al momento de poner las mezclas en los moldes se debe controlar de que no tenga espacios ni burbujas de aire.

Figura 103.

Colocación de mortero en molde de acero – CT



Nota. Elaboración propia

Paso N°6: Dejamos fraguar las mezclas a temperatura ambiente

Figura 104.

Secado del mortero – CT



Nota. Elaboración propia

Paso N°7: Se desmoldan las probetas de los moldes y se deja a temperatura ambiente por 5 días.

Figura 105.

Desmoldado de probetas – CT



Nota. Elaboración propia



Paso N°8: Se somete a los ensayos de conductividad térmica, empleado por el método de la placa caliente, esto implica poner dos placas de aluminio entre dos probetas y otra a costado de una de las probetas.

Se somete a una potencia de 40 watts, esto controlado por un multímetro.

Figura 106.

Medición de voltaje en multímetro – CT



Nota. Elaboración propia

Paso N°9: Esperar a que la placa de aluminio caliente, tomarle la temperatura, luego tomar la temperatura la placa que esta al costado de la probeta y determinar su conductividad térmica, la temperatura se registró en grados Celsius, pero será necesario la transformación a grados kelvin.

Figura 107.

Medición de placa caliente y placa fría – CT



Temperatura placa caliente

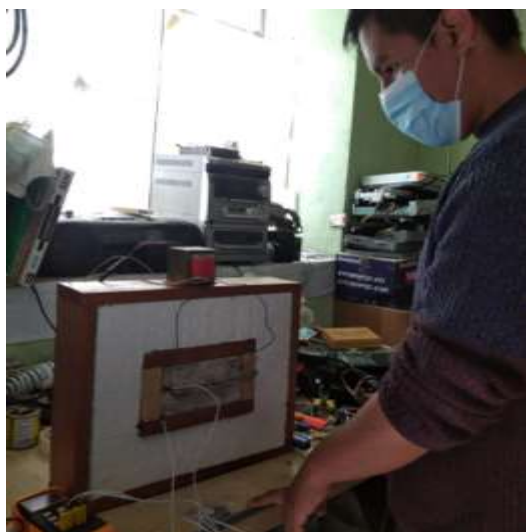


Temperatura placa fría

Nota. Elaboración propia

Figura 108.

Ensayo de conductividad térmica – CT




Nota. Elaboración propia




3.5.5.3. Datos obtenidos de CT

3.5.5.3.1. Datos obtenidos de CT de fibrocemento



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

SCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA - PLACA CALIENTE
NORMA:	ASTM C177 - 13
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 7 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento

FORMULA:

$$\lambda = \frac{Pot \cdot L}{A \cdot [T(\text{caliente}) - T(\text{fria})]}$$

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6°C
Norma Probetas	ASTM C177-13

		1	2	3	4	5
Potencia de energía eléctrica (W)	Pot	40	40	40	40	40
Altura de la probeta (m)	H	0.04	0.04	0.043	0.049	0.051
Largo de la probeta (m)	L	0.16	0.16	0.143	0.168	0.154
Ancho de la probeta (m)	A	0.05	0.04	0.043	0.047	0.053
Temperatura de la placa caliente (°K =273.15 + °C)	T1	683	672	658.1	632.8	663.5
Temperatura de la placa fría (°K =273.15 + °C)	T2	313	354	348.4	312.6	351.7

Conductividad térmica	λ	0.366	0.496	0.428	0.445	0.373
------------------------------	-----------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------


Observaciones

Promedio
0.4216

Nota. Elaboración propia




3.5.5.3.2. Datos obtenidos de CT de fibrocemento con envases tetrabrik



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROCESAMIENTO DE DATOS



ENSAYO:	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA - PLACA CALIENTE
NORMA:	ASTM C177 - 13
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 7 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + tetrabrik

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6°C
Norma Probetas	ASTM C177-13

FORMULA:

$$\lambda = \frac{Pot \cdot L}{A \cdot [T(\text{caliente}) - T(\text{fria})]}$$

		1	2	3	4	5
Potencia de energía eléctrica (W)	Pot	40	40	40	40	40
Altura de la probeta (m)	H	0.04	0.04	0.043	0.049	0.051
Largo de la probeta (m)	L	0.15	0.17	0.165	0.158	0.186
Ancho de la probeta (m)	A	0.05	0.04	0.043	0.047	0.053
Temperatura de la placa caliente (°K = 273.15 + °C)	T1	664	671	647.4	646	662.5
Temperatura de la placa fría (°K = 273.15 + °C)	T2	315	311	316.7	311.8	308.8
Conductividad térmica	λ	0.29	0.42	0.384	0.502	0.555

Observaciones


Promedio

0.4286

Nota. Elaboración propia




3.5.5.3.3. Datos obtenidos de CT de fibrocemento con aluminio



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA - PLACA CALIENTE
NORMA:	ASTM C177 - 13
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 7 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + aluminio

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6°C
Norma Probetas	ASTM C177-13

FORMULA:

$$\lambda = \frac{Pot \cdot L}{A \cdot [T(caliente) - T(fría)]}$$

		1	2	3	4	5
Potencia de energía eléctrica (W)	Pot	40	40	40	40	40
Altura de la probeta (m)	H	0.041	0.052	0.038	0.041	0.047
Largo de la probeta (m)	L	0.175	0.182	0.146	0.163	0.168
Ancho de la probeta (m)	A	0.047	0.052	0.041	0.053	0.048
Temperatura de la placa caliente (°K = 273.15 + °C)	T1	303.8	305.7	307.57	325.64	305.21
Temperatura de la placa fría (°K = 273.15 + °C)	T2	339.5	335.3	312.78	324.04	330.08
Conductividad térmica	λ	0.55	0.39	0.54	0.427	0.499


Observaciones

Promedio
0.4812


Nota. Elaboración propia



3.5.5.3.4. Datos obtenidos de CT de fibrocemento con polietileno



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROCESAMIENTO DE DATOS

ENSAYO:	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA - PLACA CALIENTE
NORMA:	ASTM C177 - 13
DESMOLDE:	A las 24 horas del fraguado
ROTURA:	A los 7 días de endurecido
FECHA:	12/12/2020
PROBETAS DE:	Fibrocemento + polietileno

DATOS:

Temperatura ambiente °C=	17.6°C
Norma Probetas	ASTM C177-13

FORMULA:

$$\lambda = \frac{Pot \cdot L}{A \cdot [T(caliente) - T(fría)]}$$

		1	2	3	4	5
Potencia de energía eléctrica (W)	Pot	40	40	40	40	40
Altura de la probeta (m)	H	0.053	0.058	0.056	0.074	0.049
Largo de la probeta (m)	L	0.162	0.158	0.143	0.168	0.154
Ancho de la probeta (m)	A	0.048	0.04	0.043	0.047	0.053
Temperatura de la placa caliente (°K = 273.15 + °C)	T1	683.2	672.2	658.12	632.8	663.47
Temperatura de la placa Fría (°K = 273.15 + °C)	T2	339.5	335.3	312.48	324.04	330.08
Conductividad térmica	λ	0.55	0.39	0.54	0.43	0.50

Observaciones

Promedio

0.4812

Nota. Elaboración propia



3.6. Procesamiento de análisis de datos

3.6.1. Ensayo de contenido de humedad

3.6.1.1. Procesamiento y cálculos

Tabla 25.

Datos obtenidos del contenido de humedad

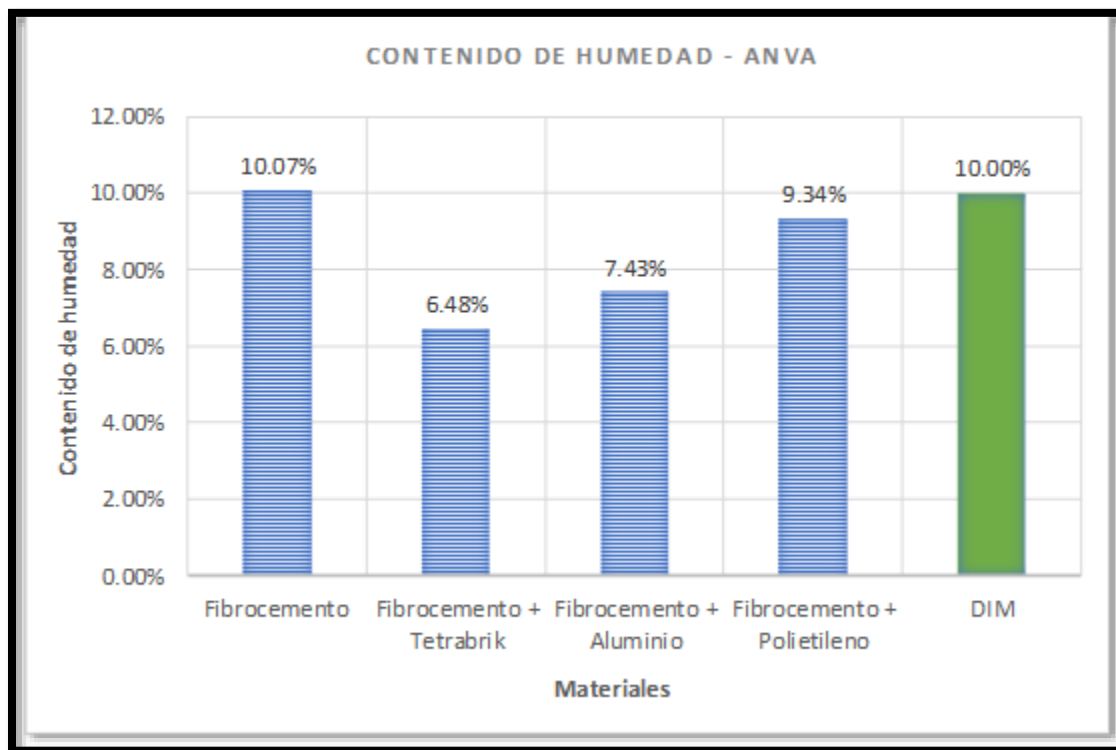
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Muestra	Datos				Resultados
		Mh	Mo	ANVA	CH%	Promedio
Fibro cemento	1	2.409	1.59	0.168	16.77%	10.07%
	2	1.417	1.31	0.003	0.29%	
	3	2.267	1.48	0.155	15.48%	
	4	1.700	1.16	0.073	7.29%	
	5	1.840	1.25	0.087	8.70%	
	6	1.860	1.17	0.119	11.90%	
Fibro cemento + tetrabrik	1	1.559	1.09	0.055	5.50%	6.48%
	2	1.587	1.05	0.072	7.21%	
	3	1.417	1.00	0.043	4.35%	
	4	1.843	1.23	0.094	9.39%	
	5	1.559	1.08	0.057	5.74%	
	6	1.417	0.9	0.067	6.68%	
Fibro cemento + aluminio	1	1.710	1.04	0.112	11.22%	7.43%
	2	1.554	1.07	0.059	5.86%	
	3	1.601	1.05	0.076	7.59%	
	4	2.126	1.46	0.111	11.09%	
	5	1.703	1.17	0.071	7.10%	
	6	1.134	0.87	0.017	1.74%	
Fibro cemento + polietileno	1	1.984	1.34	0.104	10.37%	9.34%
	2	1.842	1.06	0.153	15.29%	
	3	1.836	1.37	0.054	5.43%	
	4	1.984	1.28	0.124	12.39%	
	5	1.700	1.32	0.036	3.61%	
	6	1.559	0.96	0.090	8.97%	

Nota. Elaboración propia

3.6.1.2. Diagramas y tablas

Tabla 26.

Diagrama ANVA del contenido de humedad



Nota. Elaboración propia

3.6.1.3. Análisis de prueba

Tabla 27.

Cuadro resumen del contenido de humedad

Material	ANVA	Porcentaje CH
Fibrocemento	0.108	10.07%
Fibrocemento + Tetrabrik	0.065	6.48%
Fibrocemento + Aluminio	0.074	7.43%
Fibrocemento + Polietileno	0.132	9.34%
DIN	0.1	> 10%

Nota. Elaboración propia



Tabla 28.

Parámetros de humedad para un tablero de fibrocemento de 10mm de espesor.

Parámetro	Valor	Unidades
Espesor	10 +/- 10%	mm
Peso	13.30 a 14.98	kg/m ²
Humedad	6 a 10	%
Densidad	1.25 a 1.60	g/cm ³
Absorción, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 35	%
Porosidad, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 30	%
Hinchamiento, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 8	%
Resistencia a la flexión (MOR), longitudinal	80 a 90	kg/cm ²

Nota. Obtenido de Eternit (2015), Torres et al (2006) y Ossa (1984)

Tabla 29.

Valores de humedad en paneles de fibrocemento.

Mortero	Descripción	Espesor	Contenido de humedad
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de bambú mezclados con cemento Portland tipo I	15 mm	14.40%
Fibrocemento	Se empleó pulpa química de eucalipto mezclado con cemento Portland tipo I	12 mm	16.61%
Fibrocemento	Se empleó fibras de lechuguilla mezclados con cemento Portland tipo I	75 mm	18.00%

Nota. Espinoza (2010), Noriega (1996) y Juárez (2002)

- El fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik presento el menor resultado en el contenido de humedad, pero según los parámetros de la norma, todos están en los parámetros establecidos.



3.6.2. Ensayo de hinchamiento volumétrico

3.6.2.1. Procesamiento y cálculos

Tabla 30.

Datos obtenidos del hinchamiento volumétrico

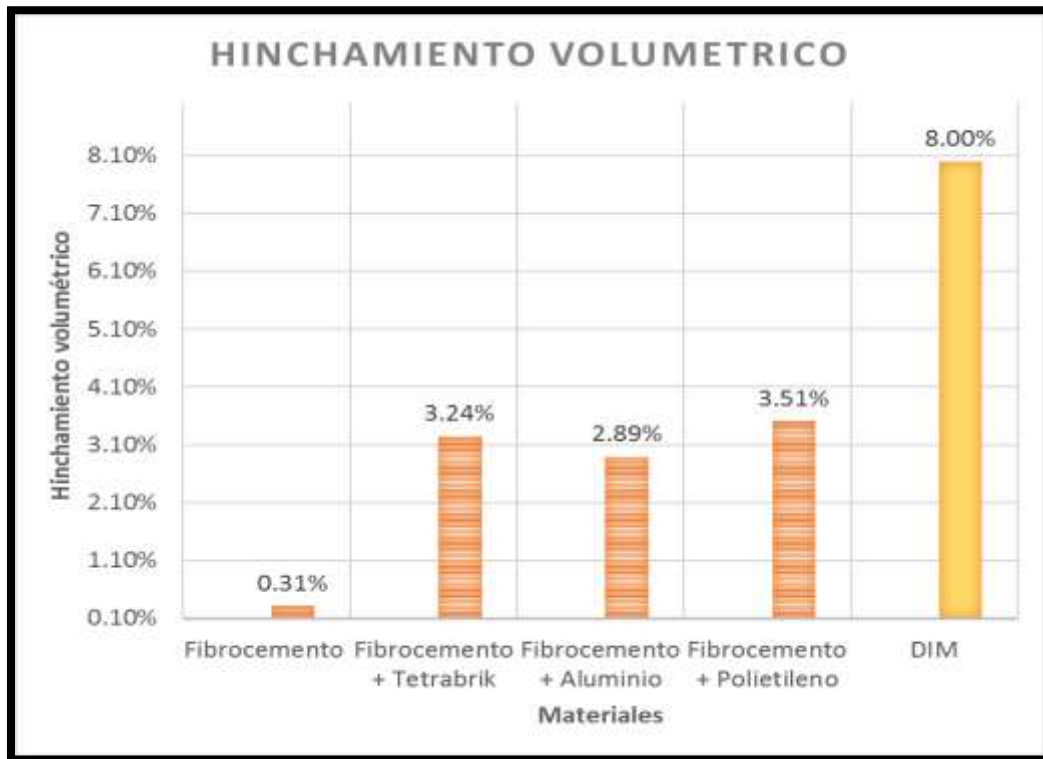
Hinchamiento Volumétrico					
	Muestras	Datos			resultados
		Vi	Vf	H%	Promedio
Fibro cemento	1	24269.72	24447.00	0.73%	0.31%
	2	21849.80	21825.17	-0.11%	
	3	22540.43	24208.06	7.40%	
	4	27393.83	26490.91	-3.30%	
	5	27510.42	26642.90	-3.15%	
Fibro cemento + tetrabrik	1	26704.82	26819.75	0.43%	2.83%
	2	25704.45	25974.71	1.05%	
	3	23701.31	25042.87	5.66%	
	4	23311.49	24604.27	5.55%	
	5	22446.18	22773.64	1.46%	
Fibro cemento + aluminio	1	27262.51	28384.63	4.12%	2.89%
	2	22427.54	22917.22	2.18%	
	3	25296.68	25788.28	1.94%	
	4	26659.82	26797.22	0.52%	
	5	21791.13	23027.45	5.67%	
Fibro cemento + polietileno	1	26554.47	26606.98	0.20%	3.51%
	2	25262.43	25576.50	1.24%	
	3	23715.22	25393.06	7.07%	
	4	25785.65	26789.39	3.89%	
	5	24116.56	25352.86	5.13%	

Nota. Elaboración propia

3.6.2.2. Diagramas y tablas

Tabla 31.

Diagrama de porcentajes del hinchamiento volumétrico.



Nota. Elaboración propia

3.6.2.3. Análisis de prueba

Tabla 32.

Cuadro resumen de hinchamiento volumétrico

Hinchamiento Volumetrico	
Fibrocemento	0.31%
Fibrocemento + Tetrabrik	3.24%
Fibrocemento + Aluminio	2.89%
Fibrocemento + Polietileno	3.51%
DIN	< 8%

Nota. Elaboración propia



Tabla 33.

Parámetros de hinchamiento volumétrico en paneles de fibrocemento de 10 mm de espesor.

Parámetro	Valor	Unidades
Espesor	10 +/- 10%	mm
Peso	13.30 a 14.98	kg/m ²
Humedad	6 a 10	%
Densidad	1.25 a 1.60	g/cm ³
Absorción, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 35	%
Porosidad, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 30	%
Hinchamiento, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 8	%
Resistencia a la flexión (MOR), longitudinal	80 a 90	kg/cm ²

Nota. Eternit (2015), Torres et al (2006) y Ossa (1984)

- El fibrocemento sin adición, presentó el hinchamiento volumétrico más bajo (0.31%), aunque están dentro de los parámetros establecidos en norma, todas las muestras fueron sumergidas por 24 horas.



3.6.3. Ensayo absorción volumétrica

3.6.3.1. Procesamiento y cálculos

Tabla 34.

Datos obtenidos de absorción volumétrica

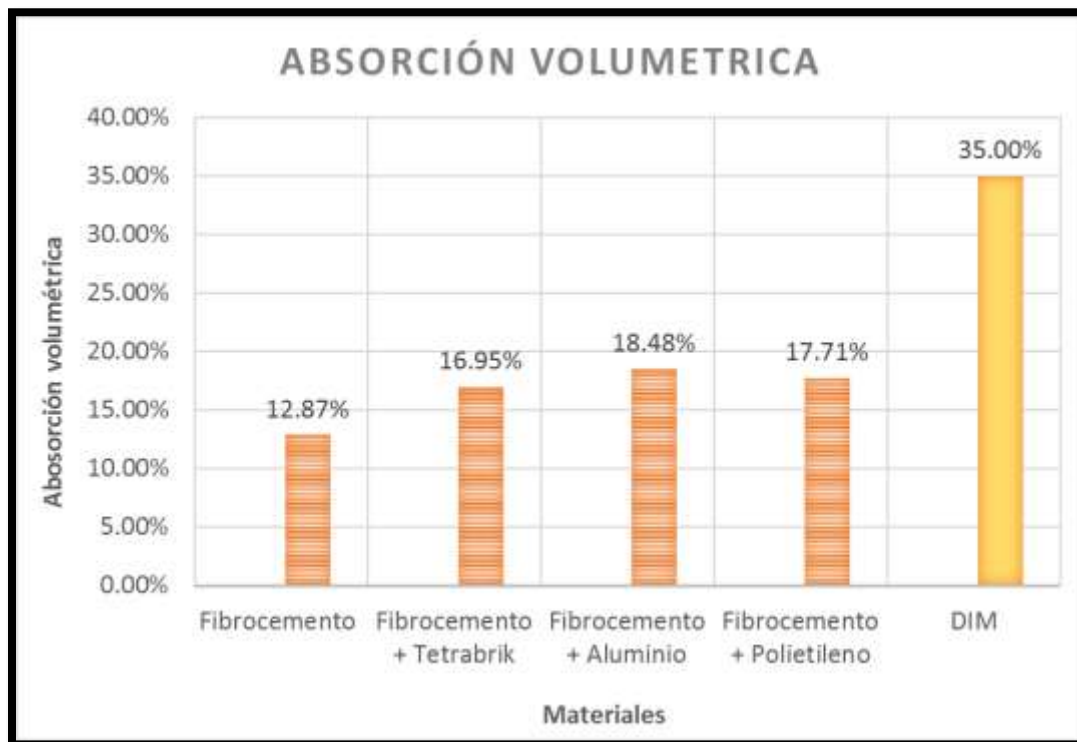
Absorción Volumetrica					
	Datos				Resultado
	Muestra	pi	pf	A%	Promedio
Fibro cemento	1	29.67	34.15	15%	12.87%
	2	30.84	34.92	13%	
	3	35.06	39.16	12%	
	4	35.21	39.02	11%	
	5	32.26	36.62	14%	
Fibro cemento + tetrabrik	1	31.91	36.1	13.13%	16.95%
	2	32.96	38.72	17.48%	
	3	31.23	36.41	16.59%	
	4	35.85	42.04	17.27%	
	5	34.34	41.31	20.30%	
Fibro cemento + aluminio	1	33.34	39.85	19.53%	18.48%
	2	33.13	39.15	18.17%	
	3	34.78	40.83	17.40%	
	4	30.17	36.1	19.66%	
	5	30.76	36.19	17.65%	
Fibro cemento + polietileno	1	30.74	36.92	20.10%	17.71%
	2	28.53	34.38	20.50%	
	3	27.92	32.47	16.30%	
	4	33.88	39.51	16.62%	
	5	34.1	39.23	15.04%	

Nota. Elaboración propia

3.6.3.2. Diagramas y tablas

Tabla 35.

Diagrama de porcentajes de absorción volumétrica



Nota. Elaboración propia

3.6.3.3. Análisis de prueba

Tabla 36.

Cuadro resumen sobre datos obtenidos de absorción volumétrica

Absorción volumetrica	
Fibrocemento	12.87%
Fibrocemento + Tetrabrik	16.95%
Fibrocemento + Aluminio	18.48%
Fibrocemento + Polietileno	17.71%
DIN	< 35%

Nota: Elaboración propia



Tabla 37.

Parámetros de absorción volumétrica en paneles de fibrocemento de 10 mm de espesor.

Parámetro	Valor	Unidades
Espesor	10 +/- 10%	mm
Peso	13.30 a 14.98	kg/m ²
Humedad	6 a 10	%
Densidad	1.25 a 1.60	g/cm ³
Absorción, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 35	%
Porosidad, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 30	%
Hinchamiento, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 8	%
Resistencia a la flexión (MOR), longitudinal	80 a 90	kg/cm ²

Nota. Datos tomados de Eternit (2015), Torres et al (2006) y Ossa (1984).

- Las muestras fueron sumergidas por 24 horas, las muestras de aluminio presentaron mayor absorción, todas las muestras presentan una absorción menor al 35%, entrando en los parámetros de la norma.



3.6.4. Ensayo de densidad

3.6.4.1. Procesamiento y cálculos

Tabla 38.

Datos obtenidos en densidad

Densidad							
Datos					Resultados		
	Muestras	P(gr)	V (cm ³)	D (gr/cm ³)	Promedio	Desviación estandar	Covarianza
Fibrocemento	1	35.33	34.07	1.04	1.43	0.198	3.674
	2	33.59	21.85	1.54			
	3	35.73	22.54	1.59			
	4	40.50	27.39	1.48			
	5	41.06	27.51	1.49			
Fibrocemento + tetrabrik	1	35.63	26.70	1.33	1.47	0.080	1.453
	2	38.18	25.70	1.49			
	3	36.14	23.70	1.52			
	4	36.51	23.31	1.57			
	5	32.64	22.64	1.44			
Fibrocemento + aluminio	1	40.19	27.26	1.47	1.52	0.099	4.607
	2	32.36	22.43	1.44			
	3	38.00	25.30	1.50			
	4	39.58	26.66	1.48			
	5	37.47	21.79	1.72			
Fibrocemento + polietileno	1	35.10	26.55	1.32	1.41	0.069	-0.055
	2	34.44	25.26	1.36			
	3	36.19	23.77	1.52			
	4	36.61	25.79	1.42			
	5	34.85	24.12	1.45			

Nota. Elaboración propia

3.6.4.2. Diagramas y tablas

Tabla 39.

Diagrama de densidad



Nota. Elaboración propia

3.6.4.3. Análisis de prueba

Tabla 40.

Cuadro resumen sobre densidad

Densidad	g/cm ³	kg/m ³
Fibrocemento	1.43	1426
Fibrocemento + Tetrabrik	1.47	1470
Fibrocemento + Aluminio	1.52	1525
Fibrocemento + Polietileno	1.41	1415
DIN	< 1.6	

Nota. Extraído de Eternit (2015), Torres et al (2006) y Ossa (1984).



Tabla 41.

Parámetros densidad en paneles de fibrocemento de 10 mm de espesor.

Parámetro	Valor	Unidades
Espesor	10 +/- 10%	mm
Peso	13.30 a 14.98	kg/m ²
Humedad	6 a 10	%
Densidad	1.25 a 1.60	g/cm ³
Absorción, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 35	%
Porosidad, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 30	%
Hinchamiento, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 8	%
Resistencia a la flexión (MOR), longitudinal	80 a 90	kg/cm ²

Nota. Datos extraídos de Eternit (2015), Torres et al (2006) y Ossa (1984).

- Todas las muestras están dentro de los parámetros de la norma, quien presenta mayor densidad son las probetas de fibrocemento adicionado con aluminio.



3.6.5. Ensayo de resistencia a la flexión

3.6.5.1. Procesamiento y cálculos

Tabla 42.

Parámetros de resistencia a la flexión en paneles de fibrocemento de 10 mm de espesor.

Resistencia a la flexión							
	Datos						Resultados
	n°	P	L	A	E	MOR	Promedio
Fibrocemento	1	5.80	25.16	5.20	0.92	49.67	40.21
	2	4.90	25.28	5.03	1.17	27.15	
	3	7.10	24.39	4.93	1.00	53.07	
	4	4.80	24.42	5.00	1.09	29.57	
	5	6.80	25.61	5.08	1.11	41.58	
Fibrocemento + tetrabrik	1	2.50	25.89	5.10	0.92	22.58	18.01
	2	1.90	24.45	5.03	1.08	11.81	
	3	2.40	25.47	5.04	0.94	20.50	
	4	2.60	26.12	5.00	1.06	18.22	
	5	2.50	24.63	5.05	1.04	16.94	
Fibrocemento + aluminio	1	1.70	25.71	4.73	1.02	13.21	12.32
	2	2.30	24.92	4.71	1.14	14.01	
	3	1.84	26.58	5.06	1.25	9.22	
	4	2.60	26.31	5.20	1.10	16.28	
	5	1.40	24.26	5.09	1.06	8.89	
Fibrocemento + polietileno	1	2.20	24.52	4.93	1.16	12.28	9.20
	2	2.10	27.31	5.04	1.05	15.56	
	3	1.60	25.06	4.64	1.10	10.66	
	4	0.30	26.91	4.89	1.18	1.79	
	5	1.10	24.98	5.07	1.19	5.72	

Nota. Elaboración propia

3.6.5.2. Diagramas y tablas

Tabla 43.

Diagrama de resistencia a flexión.



Nota. Elaboración propia

3.6.5.3. Análisis de prueba

Tabla 44.

Cuadro resumen sobre resistencia a la flexión.

Resistencia a flexión (kg.f/cm ²)	
Fibrocemento	40.21
Fibrocemento + Tetrabrik	18.01
Fibrocemento + Aluminio	12.32
Fibrocemento + Polietileno	9.20
DIN	>90

Nota. Elaboración propia

Tabla 45.

Parámetros resistencia a la flexión en paneles de fibrocemento de 10 mm de espesor.

Parámetro	Valor	Unidades
Espesor	10 +/- 10%	mm
Peso	13.30 a 14.98	kg/m ²
Humedad	6 a 10	%
Densidad	1.25 a 1.60	g/cm ³
Absorción, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 35	%
Porosidad, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 30	%
Hinchamiento, dentro de 24 horas de inmersión en agua	< 8	%
Resistencia a la flexión (MOR), longitudinal	80 a 90	kg/cm ²

Nota: Datos extraídos de Eternit (2015), Torres et al (2006) y Ossa (1984).

- Las probetas de tetrabrik, aluminio y polietileno no alcanzaron la mayor resistencia a la flexión al igual que la probeta de fibrocemento sin adición de fibra, a comparación con la normativa DIN. Ante esto se sustenta como dato anteriores investigaciones reemplazando las fibras por otras de origen vegetal, las cuales están en los mismos rangos.

Tabla 46.

Valores de resistencia a compresión de otras investigaciones de paneles de fibrocemento

Mortero	Descripción	Espesor	MOR
Fibrocemento	Se empleó partículas de aserrín de eucalipto, mezclados con cemento Portland tipo I	20 mm	10.20 kg/cm ²
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de madera, mezclados con cemento Portland tipo I	50 mm	11.15 kg/cm ²
Fibrocemento	Se empleó pulpa de eucalipto, mezclados con cemento Portland tipo I	12 mm	15.96 kg/cm ²
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de bambú, mezclados con cemento Portland tipo I	15 mm	20.82 kg/cm ²

Nota. Datos extraídos de Cruz (1982), Noriega (1996) y Cerrón (2009)



3.6.6. Ensayo de resistencia a la compresión del espesor

3.6.6.1. Procesamiento y cálculos

Tabla 47.

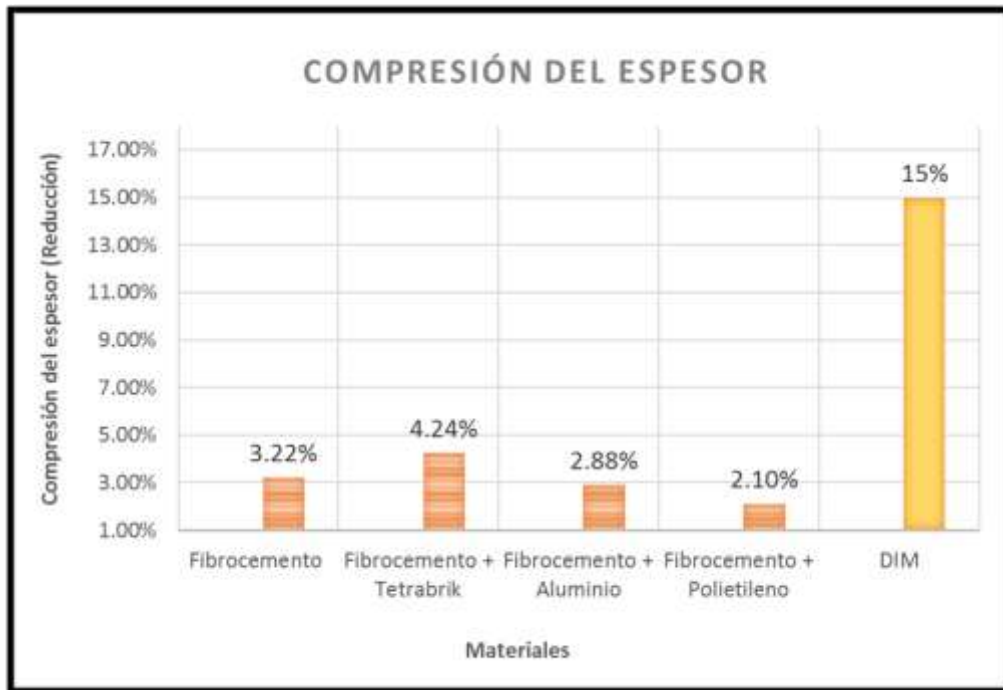
Parámetros de resistencia a compresión en paneles de fibrocemento de 10 mm de espesor.

Resistencia a la Compresion del espesor					Prom
Datos					
	n°	Ei	Ef	R	
Fibrocemento	1	9.48	9.43	0.58%	3.22%
	2	11.07	10.57	4.52%	
	3	10.54	10.32	2.09%	
	4	10.06	9.90	1.59%	
	5	10.09	9.35	7.33%	
Fibrocemento + Tetrabrik	1	10.94	10.44	4.79%	4.24%
	2	10.27	10.16	1.08%	
	3	9.80	8.91	9.99%	
	4	10.24	10.2	0.39%	
	5	9.8	9.34	4.93%	
Fibrocemento + aluminio	1	10.25	10.08	1.69%	2.88%
	2	11.02	10.39	6.06%	
	3	10.63	10.29	3.30%	
	4	10.23	10	2.30%	
	5	10.44	10.33	1.06%	
Fibrocemento + polietileno	1	10.59	10.37	2.12%	2.10%
	2	10.46	10.25	2.05%	
	3	11.67	11.08	5.32%	
	4	9.97	9.89	0.81%	
	5	10.6	10.58	0.19%	

3.6.6.2. Diagramas y tablas

Tabla 48.

Diagrama de compresión del espesor



Nota. Elaboración propia

Tabla 49.

Cuadro resumen de la compresión del espesor

Resistencia a compresion del espesor	
Fibrocemento	3.22%
Fibrocemento + Tetrabrik	4.24%
Fibrocemento + aluminio	2.88%
Fibrocemento + polietileno	2.10%



3.6.7 Ensayo de conductividad térmica

3.6.7.1 Procesamiento y cálculos

Tabla 50.

Datos obtenidos en conductividad térmica

Conductividad Térmica									
	Datos							Resultados	
	Muestra	Pot(watts)	L(m)	H(m)	A(m)	T1 Cal (°K)	T2 Frio (°K)	l	Promedio
Fibrocemento	1	40	0.162	0.041	0.048	683.15	313.15	0.366	0.422
	2	40	0.158	0.038	0.040	672.16	353.72	0.496	
	3	40	0.143	0.043	0.043	658.12	348.35	0.428	
	4	40	0.168	0.049	0.047	632.80	312.59	0.445	
	5	40	0.154	0.051	0.053	663.47	351.71	0.373	
Fibrocemento + tetrabrik	1	40	0.153	0.048	0.062	663.67	316.79	0.285	0.428
	2	40	0.165	0.059	0.047	651.24	313.90	0.417	
	3	40	0.165	0.047	0.052	647.41	316.68	0.384	
	4	40	0.158	0.040	0.038	646.04	314.75	0.502	
	5	40	0.186	0.039	0.041	649.51	319.83	0.555	
Fibrocemento + aluminio	1	40	0.175	0.041	0.047	647.04	303.77	0.434	0.399
	2	40	0.182	0.052	0.052	673.87	305.65	0.380	
	3	40	0.146	0.038	0.041	653.87	307.57	0.411	
	4	40	0.163	0.041	0.053	680.89	325.64	0.346	
	5	40	0.168	0.047	0.048	634.73	305.21	0.425	
Fibrocemento + polietileno	1	40	0.178	0.053	0.041	655.25	339.53	0.550	0.481
	2	40	0.152	0.058	0.052	634.91	335.26	0.390	
	3	40	0.164	0.056	0.038	632.57	312.78	0.540	
	4	40	0.159	0.074	0.042	678.77	324.04	0.427	
	5	40	0.163	0.049	0.039	665.31	330.08	0.499	

Nota: Elaboración propia

3.6.7.2. Diagramas

Tabla 51.

Diagramas de conductividad térmica



Nota: Elaboración propia

3.6.7.3. Análisis de prueba

Tabla 52.

Cuadro resumen de conductividad térmica

Conductividad térmica	W/m.°k
Fibrocemento	0.422
Fibrocemento + Tetrabrik	0.414
Fibrocemento + Aluminio	0.399
Fibrocemento + Polietileno	0.481
ASTM	> 0.721

Nota. Elaboración propia



Tabla 53.

Parámetros de conductividad térmica establecidos por la normativa ASTM

Tipo material	Conductividad térmica (W/m.°K)
Buenos aislantes	0.043 - 0.288
Moderados aislantes	0.288 - 0.721
Pobres aislantes	> 0.721

Nota. Blanco, 2012.

- Todas las muestras obtuvieron resultados favorables en conductividad térmica, resaltando los resultados del aluminio.

Capítulo IV

Resultados

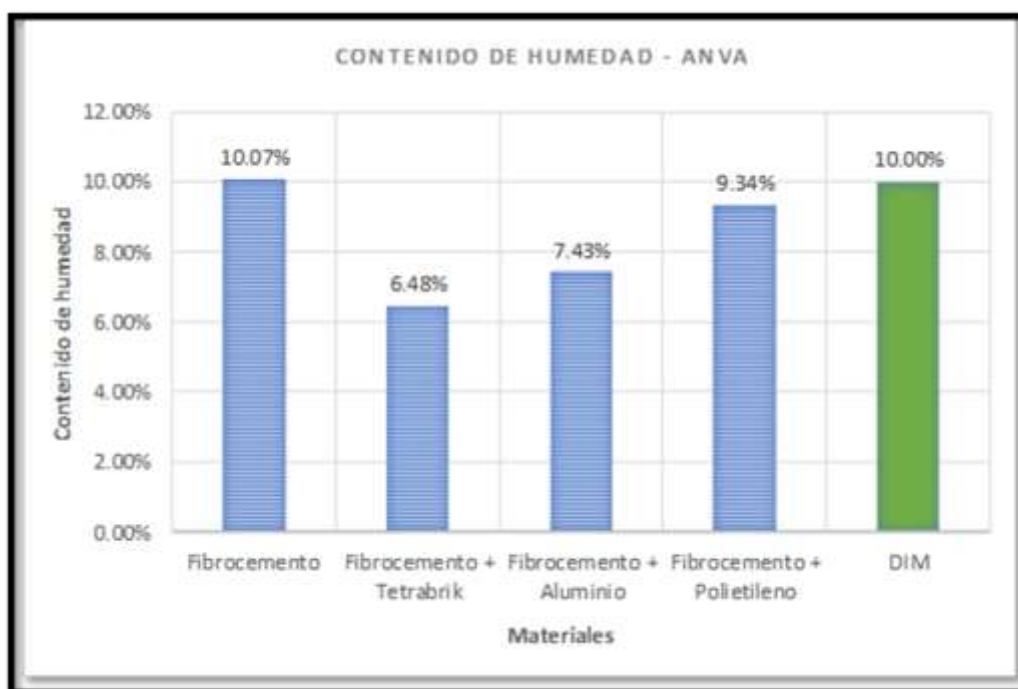
4.1. Diagramas resumen

4.1.1. Diagrama resumen de contenido de humedad

De acuerdo al gráfico se observa:

Tabla 54.

Contenido de humedad de los materiales evaluados



Nota. Elaboración propia

- Los valores promedio de humedad de los tableros para cada tratamiento de la investigación se presentan en la tabla 52.
- Se demuestra que no hubo influencia significativa de los tratamientos sobre los valores de humedad de placas de fibrocemento.
- Sin embargo, al observar la tabla 52; se logra ver un ascenso de humedad de acuerdo al tipo de fibra que se añadió, presentando una tendencia lineal entre las placas de tetrabrik, aluminio y polietileno.

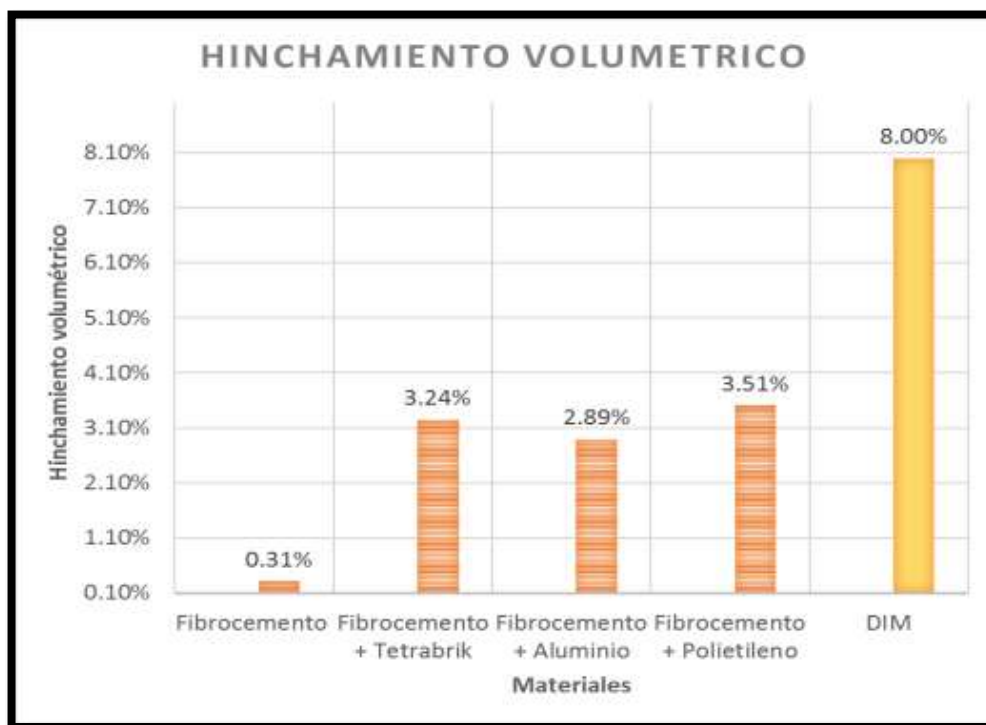
- Los valores promedio de la humedad de las placas de fibrocemento son buenos, estas se encuentran en el rango permitido de placas de fibrocemento de 10 mm de espesor, que está entre 6 a 10 por ciento de humedad (Tabla 28).
- La placa de tetrabrik obtuvo mejores resultados con un 6.48% presentando humedad baja, seguido por el aluminio con un 7.43% demostrando la influencia de las fibras adicionales en las pruebas evaluadas, todas las muestras están dentro de la normativa DIN.

4.1.2. Diagrama resumen de hinchamiento volumétrico

De acuerdo al grafico se observa:

Tabla 55.

Hinchamiento volumétrico de los materiales evaluados



Nota. Elaboración propia

- Los valores de la variación volumétrica en 24 horas de inmersión en agua se presentan en la Tabla 53.
- Los valores promedio están dentro de los parámetros establecidos en la norma DIN 1101, que establece un hinchamiento volumétrico máximo de 8% (Tabla 33).



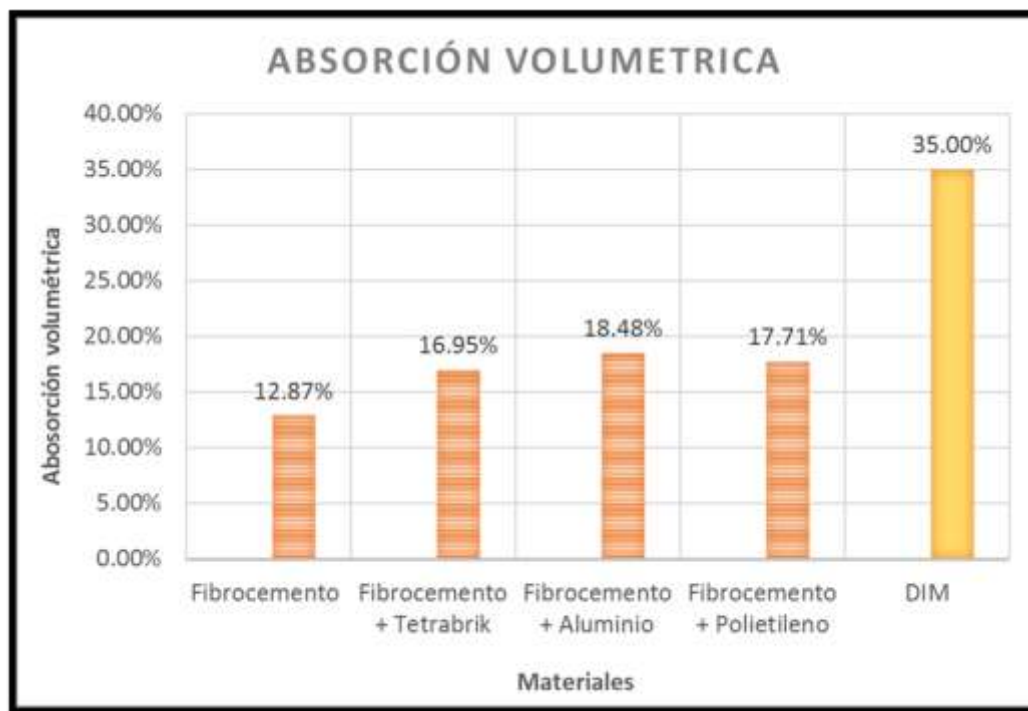
- El fibrocemento sin adición presentó el resultado de hinchamiento más bajo (0.31%) sin embargo las muestras con adición de fibra mostraron resultados variados y elevados como se muestra en la Tabla 53.
- El comportamiento de las fibras manteniendo la cantidad constante de cemento, evidencia el hinchamiento volumétrico de las placas como se aprecia en la Tabla 53; las fibras poseen propiedades físicas que les permite aumentar o disminuir sus dimensiones al absorber agua.
- Según la Tabla 08. Según los resultados que se obtuvieron se les caracteriza como morteros de “buena calidad”, ninguna muestra excedió del 4% de hinchamiento.
- La placa sin adición de fibra presentó el mejor resultado con un 0.31% de hinchamiento, la placa con fibra de mejor resultado fue el fibrocemento adicionado con aluminio con un 2.89%. Todas las muestras están dentro de la normativa DIN

4.1.3. Diagrama resumen de absorción volumétrica

De acuerdo al grafico se observa:

Tabla 56.

Absorción volumetrica de los materiales evaluados



Nota. Elaboración propia

- Los valores promedio de absorción están dentro de los parámetros de la norma DIN 1101, en el cual la absorción no debe sobrepasar el 35% (Tabla 37).
- Las muestras de aluminio presentaron mayor absorción con un 18.48% y la muestra sin adición presentó el menor resultado con 12.87% ambos están en los rangos de la norma DIN
- El comportamiento de las fibras manteniendo la cantidad constante de cemento, evidencia la absorción de agua de las placas como se aprecia en la Tabla 56; las fibras poseen propiedades físicas que les permite aumentar sus dimensiones al absorber agua.
- El fibrocemento sin adición de fibra presentó los mejores resultados con un 12.87% presentado una baja absorción de agua, seguido del tetrabrik con un 16.95%. Todas las muestras están dentro de la normativa DIN.

4.1.4. Diagrama resumen de densidad

De acuerdo al gráfico se observa:

Tabla 57.

Densidad de los materiales evaluados.



Nota. Elaboración propia

- Todas las probetas están dentro de los rangos establecidos en la norma DIN 1101, la cual debe estar entre 1,25 a 1.60 g/cm³ (Tabla 41).



- Las probetas con aluminio obtuvieron el rango más alto entre todas las muestras evaluadas con un 1.52 g/cm³.
- La densidad de las muestras depende de lo que tengan sus componentes, de la cantidad que estos ocupen y el grado de compacidad (vacíos/ porosidad).
- Las muestras endurecidas se consideran ligeras cuando su densidad es igual o menor a 1300 kg/m³, por lo tanto, según la tabla 40; las muestras de la investigación son considerados como no ligeros.
- La densidad promedio de las placas elaboradas supera el mínimo descrito por la norma alemana DIN 1101, que es de 570 kg/m³ para tableros de 15 mm de espesor.
- Todas las muestras presentan resultados favorables puesto que los rangos de medida de la densidad no son muy amplios según la normativa DIN, resaltando el fibrocemento adicionado con polietileno que obtuvo la densidad más baja (1.41 g/cm³).

4.1.5. Diagrama resumen de resistencia a la flexión

De acuerdo al gráfico se observa:

Tabla 58.

Resistencia a flexión de los materiales evaluados



Nota. Elaboración propia



- Las probetas de tetrabrik, aluminio y polietileno no lograron alcanzar el parámetro interpuesto por la normativa DIN 110 para placas de fibrocemento de 10 mm de espesor, ya que su rango es de 80 a 90 kg/cm² (Tabla 45).
- La probeta sin adición de fibra mostro resultados de flexión (MOR) más elevados (40.21 kg/cm²).
- La resistencia a la flexión de los tableros de la investigación fluctúa entre 9.20 a 40.21 kg/cm² (Tabla 56), estos no superan los requerimientos de la norma DIN 101 para placas de fibrocemento de 15 mm, que tienen que poseer un valor mínimo de 17kg/cm².
- La muestra añadida con tetrabrik (18.01 kg/cm²) supera el antecedente de Noriega (1996), que obtuvo 15.96 kg/cm² (Tabla 58).
- El fibrocemento sin adición de fibra presentó la resistencia más alta con un 40.21 kg/cm² siendo la muestra que obtuvo el valor más favorable, seguido del tetrabrik con un 18.01 kg/cm², aunque los resultados no están dentro de los parámetros de la norma DIN.

Tabla 59.

Resistencias de paneles de fibrocemento con diferentes fibras orgánicas y diferentes espesores.

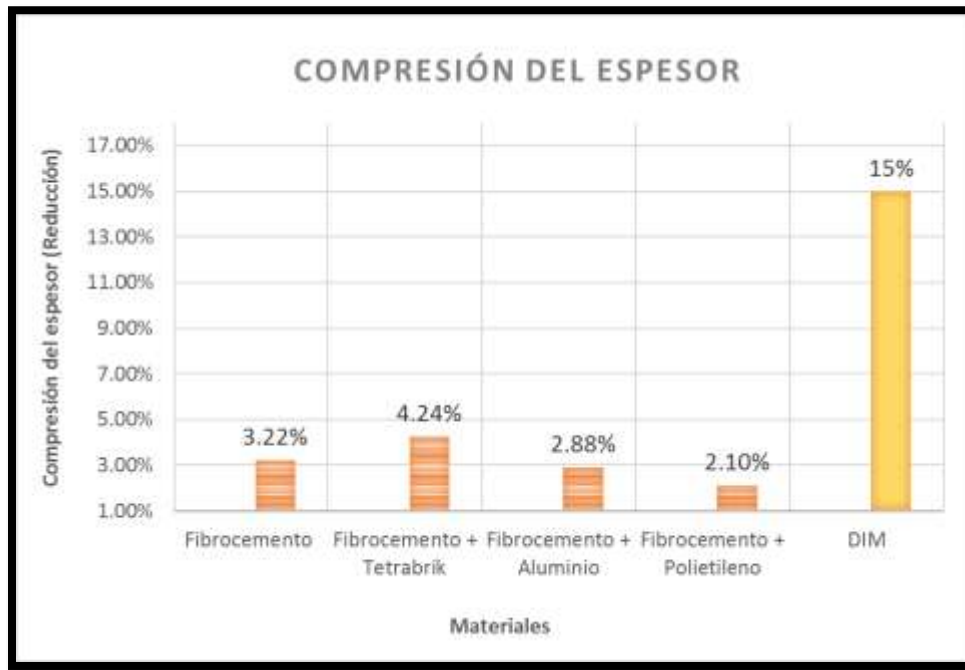
Mortero	Descripción	Espesor	MOR
Fibrocemento	Se empleó partículas de aserrín de eucalipto, mezclados con cemento Portland tipo I	20 mm	10.20 kg/cm ²
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de madera, mezclados con cemento Portland tipo I	50 mm	11.15 kg/cm ²
Fibrocemento	Se empleó pulpa de eucalipto, mezclados con cemento Portland tipo I	12 mm	15.96 kg/cm ²
Fibrocemento	Se empleó haces fibrosos de bambú, mezclados con cemento Portland tipo I	15 mm	20.82 kg/cm ²

Nota. Cruz (1982), Noriega (1996) y Cerrón (2009).

4.1.6. Diagrama resumen de resistencia a la compresión del espesor

Tabla 60.

Diagrama resumen de resultados de compresión del espesor



Nota. Elaboración propia

- Las probetas de fibrocemento con tetrabrik, aluminio y polietileno tienen mayor resistencia a compresión de espesor: 4.24%, 2.88% y 2.10%, estando sus resultados en los parámetros de la norma DIN 1101.
- Las probetas de fibrocemento con tetrabrik presentan buena resistencia a compresión (4.24%), aunque esta visualmente no presenta adherencia completa al cemento.
- Todas las probetas alcanzaron resistencias a compresión mayores a 4 KN/mm² o 400 kg/cm², tal como indica la norma DIN 1101.
- La muestra de fibrocemento adicionado con polietileno obtuvo el resultado más favorable al tener un porcentaje de compresión muy bajo (2.10%) seguido de la muestra de aluminio con un 2.88%.

4.1.7. Diagrama resumen de la evaluación de conductividad térmica

Del gráfico se observa:

Tabla 61.

Diagrama resumen de resultados sobre conductividad térmica



Nota. Elaboración propia

- Los valores promedio de conductividad térmica de las placas de la investigación son favorables, todos se encuentran por debajo del límite máximo para materiales con aislamiento térmico moderado (Tabla 51).
- Mientras menor sea el valor obtenido, mejor aislamiento térmico presentara el material, por lo tanto, la placa de fibrocemento con fibra de aluminio presenta el mejor resultado (0.399 W/m.°K) como se aprecia en la Tabla 61.
- La placa de fibrocemento con polietileno obtuvo un resultado no tan favorable (0.481 W/m.°K) a comparación de las otras placas, aun así, es considerado del tipo “moderado” en los rangos de la ASTM (Tabla 51) esto se puede apreciar en la Tabla 61.
- El aluminio obtuvo los mejores resultados con un coeficiente de 0.399 (W/m.°K), seguida del tetrabrik que presenta un 0.414 (W/m.°K), todas las muestras están dentro de los parámetros de la norma ASTM.



4.1.8 Tabla y diagrama general

Cuadro resumen:

Tabla 62.

Cuadro resumen de datos obtenidos.

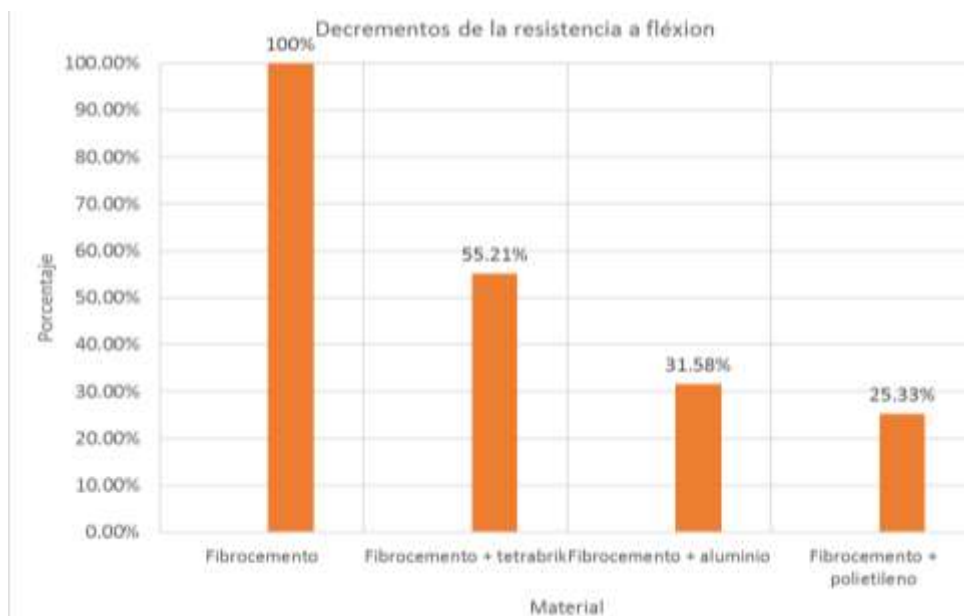
Ensayo	Probetas	Resultados
Contenido de humedad (%)	Fibrocemento	10.07%
	Fibrocemento + tetrabrik	6.33%
	Fibrocemento + aluminio	7.75%
	Fibrocemento + polietileno	8.15%
Hinchamiento volumétrico (%)	Fibrocemento	0.31%
	Fibrocemento + tetrabrik	3.24%
	Fibrocemento + aluminio	2.89%
	Fibrocemento + polietileno	3.51%
Absorción volumétrica (%)	Fibrocemento	12.87%
	Fibrocemento + tetrabrik	16.95%
	Fibrocemento + aluminio	18.48%
	Fibrocemento + polietileno	17.71%
Densidad (g/cm³)	Fibrocemento	1.43
	Fibrocemento + tetrabrik	1.47
	Fibrocemento + aluminio	1.52
	Fibrocemento + polietileno	1.41
Resistencia a flexión (Kg.f/ cm²)	Fibrocemento	40.21
	Fibrocemento + tetrabrik	18.01
	Fibrocemento + aluminio	12.32
	Fibrocemento + polietileno	9.2
Resistencia a compresión de espesor (%)	Fibrocemento	3.22%
	Fibrocemento + tetrabrik	4.24%
	Fibrocemento + aluminio	2.88%
	Fibrocemento + polietileno	2.10%
Conductividad térmica (W/(m .°K))	Fibrocemento	0.422
	Fibrocemento + tetrabrik	0.414
	Fibrocemento + aluminio	0.399
	Fibrocemento + polietileno	0.481

Nota. Elaboración propia

Se aprecia que al adicionar fibras de otros materiales el fibrocemento tiende aumentar o disminuir sus propiedades mecánicas. Los valores se muestran los siguientes gráficos:

Tabla 63.

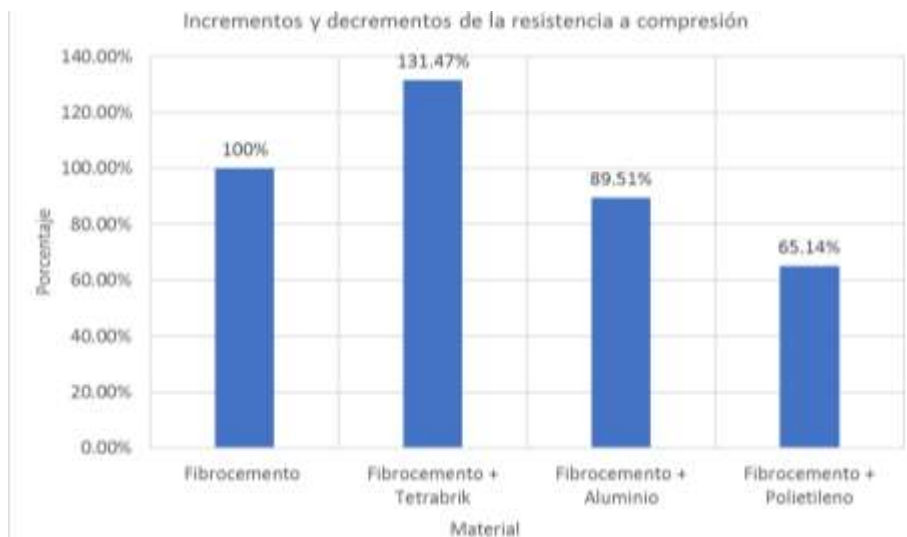
Cuadro de decrementos de la resistencia a la flexión.



Nota. Elaboración propia

Tabla 64.

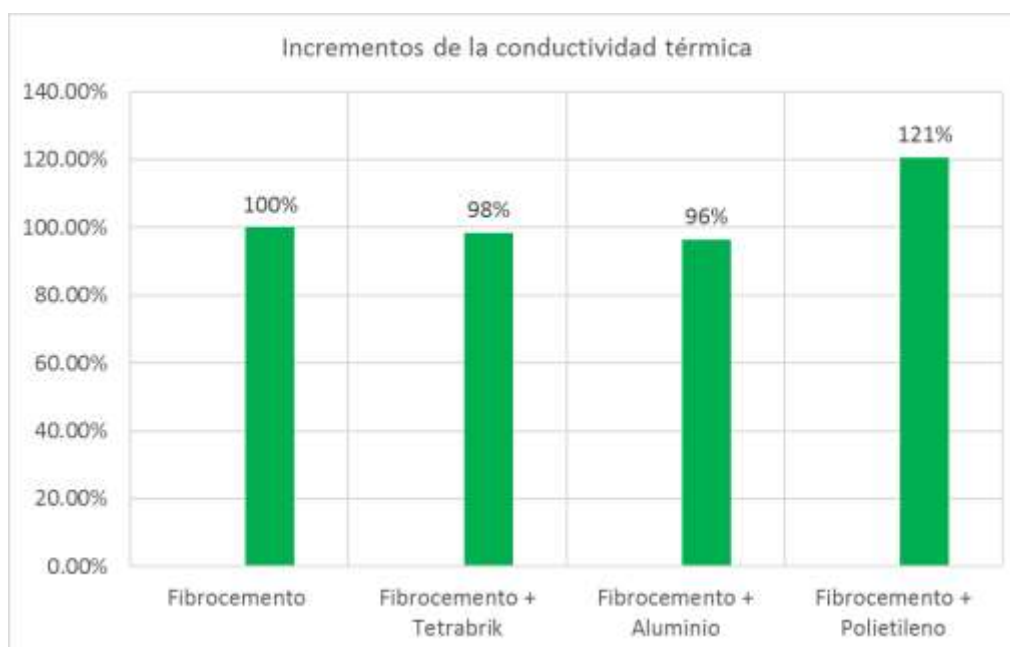
Cuadro de incrementos y decrementos de la resistencia a compresión del espesor.



Nota. Elaboración propia

Tabla 65.

Cuadro de incrementos y decrementos de la conductividad térmica.



Nota. Elaboración propia

De los gráficos se observa que:

- Se observa que, al añadirse las fibras se produce una mejora en las propiedades mecánicas del fibrocemento, como ejemplo las fibras de polietileno y tetrabrik, que mejoran la resistencia a compresión del espesor (Tabla 64) por el contrario en conductividad térmica (Tabla 65) quien mostro resultados favorables fue la muestra con aluminio.
- La muestra con polietileno presentó propiedades de conductividad térmicas no favorables, superando a la muestra sin adición de fibra (21%) como se aprecia en la Tabla 66.
- En cuanto a la resistencia a compresión (Tabla 64) las placas con tetrabrik presentan un porcentaje de reducción mayor comparadas con las de aluminio y polietileno.
- La Tabla 63 muestra un decrecimiento de la resistencia a flexión, siendo el de menos la muestra adicionada con polietileno (25.33%).
- De la Tabla 66 se puede observar que las fibras de tetrabrik y aluminio tuvieron un decrecimiento de 2 y 4% con respecto al fibrocemento sin adición de fibra y el polietileno mostro un aumento del 21% con respecto a la placa sin adición.



Capítulo V

Discusión

Discusión N°01 ¿Porque razón se escogieron estos materiales para evaluar el fibrocemento?

Los materiales seleccionados, comercialmente son abundantes y de fácil adquisición para la evaluación de sus propiedades físico – mecánicas, este tipo de materiales son los que más desechos producen a nivel de industria por su alta demanda comercial, utilizados como empaques de productos en su mayoría. En base a ellos y a las nuevas tecnologías de construcción que se presentan, se busca dar uso a estos materiales implementándolos en materiales de construcción, específicamente en placas de fibrocemento.

Figura 110.

Productos elaborados con aluminio, tetrabrik y polietileno



Nota. Imagen tomada de [http://: elempaque.com](http://elempaque.com)

Discusión N°02 ¿Porque razón se escogió el fibrocemento para probar las diferentes fibras de materiales?

El fibrocemento es usado mayormente como detalle constructivo de decoración, revestimiento de fachadas, techos, etc. Este posee bastantes aplicaciones en el área de la construcción, al ser un material que está empezando a ser muy usado en el mercado constructivo, se busca mejorar sus



propiedades de resistencia a flexión, compresión y conductividad térmica no tan confortables para las personas.

Figura 111.

Planchas de fibrocemento en edificio



Nota. [http://: Grupojjsac.com](http://Grupojjsac.com)

Discusión N°03 ¿Con que finalidad se realizó el ensayo de compresión del fibrocemento añadido con fibras de materiales?

La finalidad principal fue demostrar si añadiendo al fibrocemento fibras de tetrabrik, aluminio y polietileno se generan mejoras en su resistencia ante fuerzas compresoras. Viabilizando que, al adicionar un tipo de fibra selecta, el fibrocemento pueda optimizar su resistencia a compresión, obteniendo resultados aceptables y estar en los rangos de la norma DIN.

Haciendo un análisis comparativo con el estudio de Ferroel, L. (2016) los resultados obtenidos mostraron un comportamiento muy similar con relación a esta investigación. Los resultados de esta investigación fueron favorables en la determinación de la compresión del espesor, estando dentro de los parámetros establecidos en la normativa DIN.



Discusión N°04 ¿Con que finalidad se realizó el ensayo de flexión del fibrocemento añadido con fibras de materiales?

La finalidad principal fue demostrar si añadiendo al fibrocemento fibras de tetrabrik, aluminio y polietileno se generan mejoras en su resistencia ante fuerzas deformadoras, al adicionar un tipo de fibra selecta, el fibrocemento pueda optimizar su resistencia a la flexión, obteniendo resultados aceptables y estar en los rangos de las normas nacionales. Viabilizando que, al adicionar un tipo de fibra selecta, el fibrocemento pueda optimizar su resistencia a flexión, obteniendo resultados aceptables y estar en los rangos de la norma DIN.

Haciendo un análisis comparativo con el estudio de Ferroel, L. (2016) los resultados obtenidos no mostraron un comportamiento muy similar con relación a esta investigación, las resistencias obtenidas muestran una gran variación de resultados siendo muy favorables en el de Ferroel, L. (2016), acercándose a los parámetros establecidos en la normativa DIN. Los resultados de esta investigación tampoco estuvieron dentro de los parámetros establecidos en la normativa DIN.

Discusión N°05 ¿Con que finalidad se realizó el ensayo de conductividad térmica del fibrocemento añadido con fibras de materiales?

La finalidad principal fue demostrar si añadiendo al fibrocemento fibras de tetrabrik, aluminio y polietileno se generan mejoras en el coeficiente de conductividad térmica, considerando “bueno o moderado” mejorando sus propiedades de aislamiento térmico. Viabilizando que, al adicionar un tipo de fibra selecta, el fibrocemento pueda optimizar su coeficiente de conductividad térmica, obteniendo resultados aceptables y estar en los rangos de la norma ASTM.

Haciendo un análisis comparativo con el estudio de L. Lira-Cortés, González Rodríguez, O. J., Méndez-Lango, los resultados obtenidos mostraron un comportamiento variado con relación a esta investigación, cabe señalar que este estudio vario el tipo de material utilizado para la conductividad térmica, evaluando las placas de yeso y el poliestireno extruido. Los resultados de esta investigación no fueron favorables en la determinación de la conductividad térmica, teniendo una denominación de bajo conductor térmico según la normativa ASTM.



Glosario

- **Agua:** Sustancia compuesta por átomos de hidrogeno y oxigeno (H₂O). Reconocido como el disolvente universal por excelencia, que mezclado con el cemento se elaboraron las probetas de fibrocemento.
- **Cemento:** Cualquier material que tenga propiedades aglomerantes y aglutinantes con capacidad de unir fragmentos con propiedades físicas diferentes es denominada como cemento, generalmente es una mezcla de calizas y arcillas pulverizadas a grandes temperaturas.
- **Drywall:** Es un tipo de sistema constructivo en seco, que consiste en la instalación de placas de yeso o fibrocemento con pernos a perfiles metálicos galvanizados.
- **Aluminio:** Es uno de los materiales más abundantes de la tierra, ocupando el 8% de la corteza, es muy utilizado en la fabricación de productos por sus propiedades de resistencia y sus propiedades térmicas, es un metal no ferromagnesiano y se extrae únicamente del mineral bauxita.
- **Polietileno:** Es un plástico que pertenece a la familia de los termoplásticos, el cual se dividen en 4 grandes grupos que son de uso industrial, estos son: polietileno, polipropileno, poliestireno y polivinilcloro.
- **Tetrabrik:** Es un envase patentado por la empresa sueca Tetrapak, su forma es de un paralelepípedo y presenta diferentes capas en su composición como son: Aluminio, papel Kraft, polietileno.
- **Celulosa:** Es la principal composición en las paredes celulósicas de las plantas y árboles. Su contenido varía según el tipo de planta o árbol, como es el caso del algodón que sus fibras de celulosa poseen una longitud de 20-25mm y las de eucalipto 0.6-0.8mm.
- **CMC:** El Carboximetil celulosa es un polisacárido que brinda unas propiedades funcionales de gran utilidad en los diferentes procesos como generar viscosidad, estabilidad, pero por su alto costo su utilidad industrial es muy limitada.
- **Compresión:** Es el esfuerzo máximo que soporta una probeta de fibrocemento a una carga de aplastamiento.
- **Flexión:** Es la cantidad de fuerza que soporta una probeta de fibrocemento antes de ser quebrada
- **Conductividad térmica:** Es la capacidad que posee un elemento para que pueda transferir calor y llegar a estar en un punto estable.



- **Probetas de fibrocemento:** Son moldes que pueden ser cúbicos rectangulares o cuadrados elaborados de cemento, agua, celulosa y fibras de distintos materiales.
- **Placas de fibrocemento:** Esta formada por láminas de cemento con celulosa adicionado con fibras de diferentes materiales
- **Humedad:** Propiedad que describe la cantidad de vapor de agua que presenta un gas, que se puede expresar en términos de varias magnitudes.
- **Proceso:** Conjunto de eventos secuenciales que se realizan bajo ciertas condiciones con el fin de elaborar las probetas de fibrocemento y someter a los ensayos respectivos.
- **Parámetro:** Son datos imprescindibles que sirven para tener un camino establecido en la investigación y poder evaluar una determinada situación.
- **Resistencia:** Propiedad que permite soportar la fatiga, permitiendo extender un trabajo sin descontar de rendimiento de las probetas de fibrocemento.



Conclusiones

Conclusión N° 01:

Se demostró la hipótesis general de la investigación: “Los valores de los resultados obtenidos en los ensayos para la determinación de las propiedades físico – mecánicas y de conductividad térmica de las placas de fibrocemento serán inferiores a las placas de fibrocemento adicionado con fibras de tetrabrik, aluminio y polietileno”.

Exceptuando la propiedad de resistencia a flexión, las cuales tuvieron resultados desfavorables no cubriendo los parámetros establecidos de la norma DIN 1101 (Tabla 45).

Los ensayos de contenido de humedad, hinchamiento volumétrico, absorción volumétrica y densidad presentaron resultados en los rangos de la normativa DIN 1101, presentándose un fenómeno de retracción en algunas muestras en el ensayo de hinchamiento volumétrico (Tabla 08).

En los ensayos de compresión y conductividad térmica realizados se logró mejorar las propiedades mecánicas y físicas del fibrocemento, sobrepasando los parámetros establecidos en norma ya sea para la resistencia a compresión (máximo 15% de espesor) y conductividad térmica (0.721 W/m.°K) en el cuadro siguiente se detallan los valores obtenidos en los ensayos:

Tabla 66.

Cuadro resumen de los ensayos evaluados

Probetas de :	Contenido de humedad (%)	Hinchamiento volumétrico (%)	Absorción volumétrica (%)	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a flexión (Kg.f/cm ²)	Resistencia a compresión de espesor (%)	Conductividad térmica (W/(m.°K))
Fibrocemento	10.07%	0.31%	12.87%	1.43	40.21	3.22%	0.422
Fibrocemento + tetrabrik	6.33%	3.24%	16.95%	1.47	18.01	4.24%	0.414
Fibrocemento + aluminio	7.75%	2.89%	18.48%	1.52	12.32	2.88%	0.399
Fibrocemento + polietileno	8.15%	3.51%	17.71%	1.41	9.2	2.10%	0.481

Nota. Elaboración propia

Finalmente se observa que la placa de aluminio y la de tetrabrik obtuvieron los resultados más favorables, teniendo resultados en los ensayos físicos mecánicos muy aceptables y siendo las placas de mejor comportamiento en el ensayo de conductividad térmica, obteniendo un coeficiente muy satisfactorio, resaltando el aluminio que obtuvo el mejor coeficiente. El polietileno por el contrario



no tuvo los resultados deseados en la mayoría de los ensayos, mostrando solo resultados favorables en la compresión del espesor, descartando su uso para otras investigaciones.

Conclusión N° 02:

No cumple con la hipótesis específica N°01: “Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión del fibrocemento sin adición de fibra serán inferiores que el fibrocemento adicionado con fibras de materiales (tetrabrik, aluminio, polietileno).”

Las placas de fibrocemento sin adición de fibra obtuvieron los mejores resultados en los ensayos de resistencia a flexión, teniendo como resultado promedio 40.21 kg/cm², siendo superior a los resultados obtenidos de las placas de fibrocemento con tetrabrik (18.01 kg/cm²), aluminio (12.32 kg/cm²) y polietileno (9.20 kg/cm²), concluyendo que las muestras con fibras tuvieron resultados desfavorables.

Cada muestra estudiada no tuvo un comportamiento aceptable en la investigación, no llegando al parámetro mínimo establecido en la normativa DIN 1101 siendo esta de 90 kg/cm² (Tabla 67). De las muestras con fibras evaluadas se resalta los resultados del fibrocemento con tetrabrik, que obtuvo una resistencia superior a las de aluminio y polietileno.

El comportamiento de las fibras manteniendo la cantidad constante de cemento, evidencia los bajos resultados de las placas como se aprecia en la Tabla 67; las fibras poseen propiedades físicas que les permite aumentar o disminuir sus propiedades de resistencia a flexión.

Tabla 67.

Resultados obtenidos del ensayo de resistencia a flexión.



Nota. Elaboración propia



Conclusión N° 03:

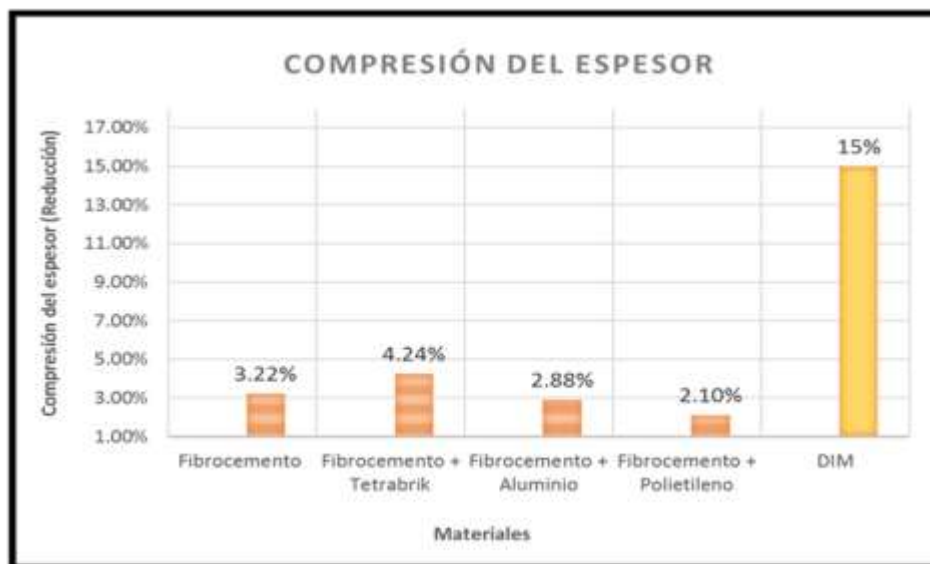
Cumple con la hipótesis específica N°02: “Los resultados obtenidos del ensayo de compresión de espesor del fibrocemento sin adición de fibra serán inferiores que el fibrocemento adicionado con fibras materiales (tetrabrik, aluminio, polietileno).”

Las muestras cumplieron satisfactoriamente los requerimientos establecidos en la normativa DIN que sostiene un máximo de 15% de compresión del espesor para placas de 15 mm de espesor.

Exceptuando los resultados del fibrocemento adicionado con tetrabrik (4.24%) que presentó resultados superiores a la muestra de fibrocemento sin adición de fibra (3.22%), no cumpliendo con el planteamiento de la hipótesis. La muestra con polietileno obtuvo el resultado más bajo con 2.10 %, todos los resultados de las muestras están dentro de la normativa DIN.

Tabla 68.

Resultados obtenidos del ensayo de compresión.



Nota. Elaboración propia

Conclusión N°04:

Cumple con la hipótesis específica N°03, que expresa: “Los resultados obtenidos del ensayo de conductividad térmica del fibrocemento sin adición de fibra son superiores que el fibrocemento adicionado con fibras materiales (tetrabrik, aluminio, polietileno).”



La muestra de aluminio es la que mejor resultado obtuvo entre todas las demás con un $0.399 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$, generando un nuevo tipo de material para uso a futuro, por su parte el polietileno obtuvo un coeficiente de conductividad elevado ($0.481 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$) lo cual lo pone como la muestra con el resultado más desfavorable y no cumpliendo lo estipulado en la hipótesis, finalmente el tetrabrik presentó resultados favorables en conductividad térmica ($0.414 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$) cabe resaltar que, si el coeficiente obtenido es elevado, sus propiedades de conductividad térmicas serán inferiores.

Todas las muestras obtuvieron resultados aceptables, estando todos en los rangos establecidos de la norma ASTM C- 177, denominando a las muestras como “Moderados aislantes” (Tabla 51).

El comportamiento de las fibras manteniendo la cantidad constante de cemento, evidencia la variación de resultados de conductividad térmica de las placas como se aprecia en la Tabla 67; las fibras poseen propiedades físicas que les permite aumentar o disminuir sus propiedades de conductividad térmica.

Tabla 67.

Resultados obtenidos del ensayo de conductividad térmica.



Nota. Elaboración propia



Recomendaciones

Recomendación N° 01:

- Se recomienda adicionar otros materiales en la realización de placas de fibrocemento, de preferencia reciclados como las placas de zinc y latón y verificar si estas incrementan las propiedades mecánicas cuando se adicionen al fibrocemento.

Recomendación N° 02:

- Es recomendable variar el porcentaje de dosificación del nuevo material que se adicionará al fibrocemento, de preferencia un porcentaje mayor a 10% del peso total, así tener mejores opciones de elaboración de este material y tener mejor conocimiento sobre el comportamiento que esta tendrá.

Recomendación N° 03:

- Se recomienda extender los tiempos de secado de las probetas de fibrocemento, entre 5 a 12 días, y verificar las variaciones que presentan en sus propiedades mecánica y físicas.

Recomendación N° 04:

- Se recomienda aumentar los tipos de ensayos como el ensayo de dureza, absorción acústica y porosidad para tener más parámetros de evaluación en las probetas de fibrocemento.

Recomendación N°05:

- Se recomienda investigar el comportamiento del fibrocemento en la obtención de productos ondulados, tuberías ya que estos productos son muy usados en saneamiento y fabricación de techos.

Recomendación N°06:

- Se recomienda realizar pruebas de las placas de fibrocemento con espesores diferentes, sean estos mayores a 15mm de espesor en adelante. Esto es importante ya que este material está teniendo un uso mayor en obras civiles, especialmente en acabados.

Recomendación N°07:

- Se recomienda el uso de papel Kraft para la obtención de celulosa en reemplazo total de la celulosa CMC en la fabricación de placas de fibrocemento, este tipo de papel es el utilizado para la venta del cemento.



Recomendación N°08:

- Es recomendable tener procesos de fabricación de fibras específicos para el tetrabrik, ya que al estar conformado por tres o más materiales, estas influyen al mezclarse con cemento y celulosa.

Recomendación N°09:

- Es recomendable el uso de fibra de aluminio en las placas de fibrocemento de 10 mm de espesor para viviendas alto andinas siendo estas utilizados en ambientes interiores, mejorando su rendimiento de sus propiedades físicas y mecánicas, para su utilización en ambientes exteriores es recomendable un mayor espesor de la placa.

Recomendación N°10:

- Se recomienda la utilización del ichu para la obtención de celulosa en zonas andinas y alto andinas, estas se pueden obtener por procesos mecánicos, esto para la fabricación de placas de fibrocemento.

Recomendación N°11:

- Se recomienda utilizar otros procesos para la obtención de fibras del polietileno, este al ser un material compuesto generalmente de plástico, necesitan un tratamiento especial para la obtención de sus fibras, así obtener un buen comportamiento al evaluar sus propiedades físico – mecánicas.



Bibliografía

- 1.- Allinger, N. L. (1972). Química Orgánica, Volumen I. Barcelona, Perú.
- 2.- Álvarez, D. 2008. Caracterización físico-mecánica de morteros fibrorreforzados de matriz cementicia y fibra de coco. Tesis Ingeniero Civil. San Carlos, GT. Universidad de San Carlos de Guatemala. 112 p.
- 3.- Aragón, S. (2016). Análisis del uso del papel multipliego extensible y cartón corrugado como relleno en muros de placas de yeso laminado y fibrocemento para absorción acústica. Cusco, PE. Universidad Andina del Cusco. Tesis Ingeniero Civil. 139p.
- 4.- Biología (s.f). Aplicaciones celulosas. Obtenido <http://aplicacionesdecelulosas.blogspot>.
- 5.- Camino, R y R. (2017). Evaluación de la conductividad térmica, propiedades físico – mecánicas del ladrillo King- Kong 18 huecos adicionado con puzolana de la cantera Raqchi en diferentes porcentajes, con respecto a un ladrillo tradicional. Cusco, PE. Tesis Ingeniero Civil. Universidad Andina del Cusco. 240p.
- 6.- Council, P. G. (2011). Criterios de evaluación SGBC para el certificado de producto sustentable. Cusco, cusco, Perú.
- 7.- Dr. Roberto Hernández Sampieri, D. C. (2010). Metodología de la Investigación (Vol. V). México: MC Graw- Hill / interamericana editores, S.A de C.V.
- 8.- Escobar, S. C. (2010). Materiales de construcción para edificaciones y obra civil. Club universitario.
- 9.- Ferroel, L. (2016). Aptitud de las fibras del mesocarpio de la palma aceitera para la elaboración de tableros de fibrocemento. Lima, PE. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. 127p.
- 10.- Gutiérrez, J. (2013). Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cevisiae*. Medellín, CO. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. 6p.



- 11.- Juárez, C. 2002. Concreto base cemento Portland reforzados con fibras naturales (Agave lechuguilla), como material para construcción en México. Tesis Ingeniero Mecánico. San Nicolas de los Garza, MX. Universidad Autónoma de Nuevo León. 320 p.
- 12.-Lucana, D. 2008. Diseño de un molde para la fabricación de probetas de materiales compuestos de matriz plástica y refuerzos de fibras naturales mediante compresión térmica. Tesis ingeniero Mecánico. Lima, PE. Pontificia Universidad Católica del Perú. 111 p.
- 13.- M. Beltrán, A.M. (2006). Estructura y Propiedades de los polímeros. Alicante.
- 14.- Mamani, D. (2016). Evaluación comparativa de las propiedades mecánicas entre el yeso y el yeso adicionado con materiales reciclados según la norma UNE-EN 13279-2 para su uso en la fabricación de yeso. Cusco, PE. Tesis ingeniero Civil. Universidad Andina del Cusco. 180p.
- 15.-Neville, A. (1989). Tecnología del concreto. 2 ed. Distrito Federal, México. Editorial Limusa. 549 p.
- 16.-Paucar, J. 2008. Determinación de la compatibilidad de mezclas de aserrín de Pinus spp. y cemento Portland para la potencial manufactura de tableros cementomadera. Tesis Maestría Ciencias de Productos Forestales. Jalisco, MX. Universidad de Guadalajara. 101 p.
- 17.-Pasquel, E. 1998. Tópicos de tecnología del concreto. 2 ed. Lima, PE. Editorial Colegio de Ingenieros del Perú. 380 p.
- 18.-Sánchez, J. C. (2011). Metodología de la investigación científica y tecnológica. Madrid: Ediciones Diaz de Santos, S.A.
- 19.-Serna, J. M. (2013). Evolución de las propiedades mecánicas de los morteros aditivados de yeso moreno de vermiculita. Alicante. España.
- 20.-Saad, A. 1969. Tratado de la construcción. 3 ed. Lima, PE. Editorial Continental S.A. 293p.
- 21.- Valenzuela, W.; Cruz, T. 1982. Aptitud de la madera de cinco especies forestales para fabricar tableros de fibrocemento. Revista Forestal del Perú. 11(1-2): 1-17.