



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

**TÍTULO DE ARQUITECTO**

**Ecomateriales: Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN.**

**AUTOR:** Sinchire Cartuche, Doris Cumanda

**DIRECTOR:** Moncayo Vega, Alexandra del Rosario, Mgs.

**LOJA - ECUADOR**

**2017**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

*Septiembre, 2017*

## APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Arquitecto.

Alexandra del Rosario Moncayo Vega.

### DOCENTE DE TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: **Ecomateriales Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá** realizado por Sinchire Cartuche Doris Cumanda; ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Septiembre 2017

f).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Sinchire Cartuche Doris Cumanda declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: **Ecomateriales Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá**. De la titulación de Arquitectura, siendo Alexandra del Rosario Moncayo Vega director del presente trabajo; y eximo expresamente a la universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forma parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la universidad”

f.....  
Autor Sinchire Cartuche Doris Cumanda  
Cédula 1104016371

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme fortaleza y sabiduría todos los días de mi vida por entender que junto a él todo es posible.

A mis padres Filiberto y Laura (+) que con su amor, apoyo, esfuerzo y dedicación me han dado la mejor formación para caminar por la vida.

A mis hermanos que con su apoyo y cariño estuvieron presentes en este trayecto.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiarme cada paso que doy, por la fortaleza para seguir creciendo.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en todo momento.

A la Arq. Alexandra Moncayo por su gran labor que desempeña como docente compartiendo sus conocimientos, por ser la guía en este trabajo de investigación.

Al personal del laboratorio de suelos y pavimentos, al Ing. Ángel Tapia, Ing. Berenice Zúñiga, Ing. Diego Mata por su ayuda en los ensayos realizados.

A todos mis amigos y compañeros que Dios los ha puesto en mi camino especialmente a Claudia y Yuliana.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE DERECHOS Y CESIÓN DE AUTORÍA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VI
RESUMEN.....	1
ABSTRAC.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
PROBLEMÁTICA.....	4
JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	8
HIPÓTESIS.....	9
METODOLOGÍA.....	10

### CAPITULO I

Sostenibilidad y materiales compuestos.....	11
1.1. La Sostenibilidad y generación de Residuos Sólidos .....	12
1.2. Arquitectura Sostenible .....	13
1.2.1. Ecomateriales y construcción sostenible .....	15
1.3. Las cuatro erres de sostenibilidad en arquitectura y medio ambiente .....	16
1.3.1. Reducir.....	16
1.3.2. Reutilizar .....	17
1.3.3. Reciclar .....	17
1.3.4. Rehabilitar .....	18
1.4. Los Biocompuestos y materiales compuestos.....	18
1.4.1. Clasificación de los materiales compuestos.....	19
1.4.2. Consideraciones para diseño previo de materiales compuestos.....	20
1.4.3. Los criterios que debe cumplir para que un material sea compuesto.....	20
1.5. Características físicas de los materiales .....	21
1.5.1. Densidad .....	21
1.5.2. Absorción .....	21
1.5.3. Conductividad Térmica .....	23
1.5.4. Ley de Fourier .....	24
1.6. Modelo Multitabla de Bojórquez .....	24

### CAPITULO II

Fibras vegetales y compuestos reforzados con fibras vegetales.....	26
2.1. Fibras Vegetales.....	27
2.1.1. Clasificación de las fibras vegetales .....	28
2.1.2. Composición química y morfología de las fibras vegetales .....	29
2.1.2.1. Celulosa .....	30
2.1.2.2. Hemicelulosa .....	31
2.1.2.3. Lignina .....	31
2.2. Ventajas y desventajas del uso de las fibras vegetales .....	31
2.3. Propiedades de concretos reforzados con fibras vegetales .....	33
2.3.1. Propiedades en fresco.....	33
2.3.2. Propiedades en estado endurecido .....	33
2.4. Efecto del volumen y longitud de la fibra .....	34
2.5. Consideraciones para mezclado de hormigón y fibras .....	37

2.6. Debilitamiento de las fibras vegetales en el hormigón .....	37
2.7. Proceso de deterioro de la fibra vegetal en un medio alcalino .....	38
2.8. Tratamientos de protección de la fibra vegetal .....	39
2.9. Tratamiento con hidróxido de calcio o cal hidratada .....	40
2.8. Referentes de estudios de materiales compuestos reforzados con fibras vegetales ...	42

### CAPITULO III

Estudio de componentes y desarrollo de experimentación.....	47
3.1. Componentes del material .....	48
3.1.1. Cal Hidratada o Hidróxido de calcio .....	48
3.1.2. Yeso .....	49
3.1.3. Cemento .....	54
3.1.4. Celulosa de Papel .....	56
3.1.5. Fibra de Abacá .....	56
3.1.5.1 Generalidades.....	57
3.1.5.2 Abacá en el Ecuador .....	59
3.1.6. Aditivos.....	60
3.2. Preparación de la materia prima. ....	62
3.2.1. Obtención de celulosa de papel reciclado. ....	62
3.2.1.1. Preparación del papel reciclado previo al desfibrado .....	62
3.2.1.2. Desfibrado de papel y filtrado de pulpa .....	63
3.2.1.3. Desmenuzado .....	64
3.2.1.4. Proceso de mineralización .....	64
3.2.1.5. Secado de las partículas de celulosa de papel .....	66
3.2.2. Control de humedad de la celulosa de papel. ....	66
3.2.3. Control de calidad de agua del papel en remojo .....	67
3.2.4. Análisis de lixiviación .....	68
3.2.5. Tratamiento de la Fibra de Abacá.....	68
3.2.5.1. Corte de la Fibra de Abacá.....	69
3.2.5.2. Preparación de la disolución de hidróxido de calcio .....	69
3.2.5.3. Sumersión de la fibra en el hidróxido de calcio y secado de la fibra .	70
3.4. Diseño de Mezclas.....	70
3.4.1. Diseño experimental previo a la obtención de dosificaciones definitivas. ....	71
3.4.2. Diseño de dosificaciones para la elaboración de muestras definitivas .....	75
3.5. Elaboración de muestras para ensayos de laboratorio.....	77
3.5.1. Peso de componentes y preparación de moldes .....	77
3.5.2. Preparación de moldes.....	78
3.5.3. Elaboración de mezclas definitivas .....	79
3.5.3.1. Elaboración de muestras del Grupo A, matriz de cemento sin fibra de Abacá y matriz de yeso sin fibra de Abacá.....	80
3.5.3.1.1. Incorporación de la celulosa en pastas de cemento y yeso del grupo A .....	81
3.5.3.2. Elaboración de muestras del Grupo B, matriz de cemento con fibra de Abacá y matriz de yeso con fibra de Abacá.....	82
3.5.3.3. Vaciado de mezcla y compactación .....	83
3.5.3.4. Retiro de moldes, curado y secado de muestras .....	85

### CAPITULO IV

Ensayos mecánicos y físicos.....	88
----------------------------------	----

4.1. Ensayo de Resistencia Mecánica .....	88
4.1.1. Resistencia a la Flexión .....	88
4.1.2. Resistencia a la Compresión .....	92
4.1.3. Ensayo de Densidad.....	94
4.1.4. Ensayo de contenido de humedad y absorción.....	96
4.1.5. Ensayo de transferencia de Calor .....	98
4.1.6. Ensayo de resistencia al fuego .....	100

## **CAPITULO V**

Análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio .....	101
5.1 Análisis de los resultados de los ensayos Mecánicos y físicos.....	102
5.1.1. Análisis de resultados de ensayo de resistencia a la flexión .....	102
5.1.2. Análisis de resultados de ensayo de resistencia a la Compresión .....	103
5.1.3. Análisis de resultados de ensayo de densidad .....	109
5.1.4. Análisis de resultados del ensayo de contenido de humedad y absorción ...	111
5.1.5. Análisis de resultados de ensayo de transferencia de calor .....	113
5.1.6. Análisis de resultados de ensayo de resistencia al fuego .....	116
5.1.7. Resumen de resultados de ensayos realizados: Mecánicos y físicos .....	117
5.1.8. Presupuesto .....	118
COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS .....	121
CONCLUSIONES .....	122
RECOMENDACIONES .....	124
BIBLIOGRAFIA.....	125
ANEXOS.....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo I

Tabla 1: Conductividad térmica de algunos materiales según Norma Chilena Nch 853.Of91.....	23
--	----

### Capítulo II

Tabla 2: Efecto de la longitud de la fibra y fracción de volumen en los parámetros de resistencia de yute reforzado con fibra de materiales compuestos de cemento.....	35
Tabla 3: Propiedades típicas de fibras naturales.....	36

### Capítulo III

Tabla 4: Tiempo de utilización y de fraguado de yesos.....	50
Tabla 5: Resistencias a la flexotracción de yesos.....	51
Tabla 6: Requisitos de resistencia a la compresión según normas de diferentes países ....	52
Tabla 7: Según ATEDY normativa para yesos prefabricados .....	53
Tabla 8: Normativa Europea UNE EN 12859 para paneles de yeso .....	53
Tabla 9: Composición química del cemento Rocafuerte, portland tipo IP .....	54
Tabla 10: Módulo de rotura mínima de láminas de fibro-cemento .....	55
Tabla 11: Composición química de las principales fibras de Abacá en el Ecuador .....	59
Tabla 12: Propiedades de la fibra de Abacá de variedad Tangongón rojo .....	60
Tabla 13: Control de humedad de la celulosa de papel .....	67
Tabla 14: Resultados de la experimentación # 1 .....	71
Tabla 15: Absorción de agua de las fibras de celulosa de papel .....	73
Tabla 16: Resultados de la experimentación # 2 .....	74
Tabla 17: Resultados de la experimentación # 3 .....	74
Tabla 18: Dosificaciones de muestras con aglomerante de cemento.....	77
Tabla 19: Dosificaciones de muestras con aglomerante de Yeso .....	77

### Capítulo IV

Tabla 20: Resultados de resistencia a la flexión muestra del Grupo A, aglomerante de cemento sin fibra (CM-T1A) .....	90
Tabla 21: Resultados de resistencia a la flexión muestra del Grupo A, aglomerante de yeso sin fibra (YS-T1A) .....	90
Tabla 22: Resultados de resistencia a la compresión muestra del Grupo A, aglomerante de cemento sin fibra (CM-T1). .....	93
Tabla 23: Resultados de resistencia a la compresión muestra del Grupo A, aglomerante de yeso sin fibra (YS-T1). .....	94
Tabla 24: Resultados de ensayo de densidad muestra del Grupo A, aglomerante de cemento sin fibra (CM-T1). .....	95
Tabla 25: Resultados de ensayo de densidad muestra del Grupo A, aglomerante de yeso sin fibra (YS-T1). .....	96

### Capítulo V

Tabla 26: Resultados de ensayo de resistencia a la flexión de muestras de cemento. ....	102
Tabla 27: Resultados de ensayo de resistencia a la flexión de muestras de yeso. ....	104
Tabla 28: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de cemento.....	104
Tabla 29: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de yeso. ...	108
Tabla 30: Resultados de ensayo de densidad de muestras de cemento.....	109
Tabla 31: Resultados de ensayo de densidad de muestras de yeso.....	110

Tabla 32: Resultados de ensayo de contenido de humedad de muestras de cemento y yeso.....	111
Tabla 33: Resultados de ensayo de Absorción de muestras de cemento y yeso .....	112
Tabla 34: Resultados de ensayo de transferencia de calor de las muestras de cemento..	114
Tabla 35: Resultados de ensayo de transferencia de calor de las muestras de yeso.....	115
Tabla 36: Resultados de ensayo de resistencia al fuego de muestras de cemento y yeso	116
Tabla 37: Resumen de Resultados de ensayos: Mecánicos y físicos .....	117
Tabla 38: Análisis de precios de la muestra CM-T4 .....	118
Tabla 39: Análisis de precios de la muestra CM-T4, incluye estructura de anclaje .....	118
Tabla 40: Análisis de precios de la muestra YS-T5.....	119
Tabla 41: Análisis de precios de la muestra YS-T5, incluye estructura de anclaje .....	120

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo de Rotura máxima a flexión de muestras de cemento del Grupo A y Grupo B .....	102
Gráfico 2: Comparativo de Rotura máxima a flexión de muestras de yeso del Grupo A y Grupo B .....	104
Gráfico 3: Comparativo de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de cemento .....	104
Gráfico 4: Comparativo de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de yeso .....	108
Gráfico 5: Comparativo de ensayo de densidad de muestras de cemento .....	109
Gráfico 6: Comparativo de ensayo de densidad de muestras de yeso .....	110

## ÍNDICE DE CUADROS

### Capítulo I

Cuadro 1: Definición de materiales compuestos según Vinson, Sierakowskiy, Matthews, et al.....	19
--	----

### Capítulo II

Cuadro 2: Estructura y composición de materiales lignocelulosicos.....	29
Cuadro 3: Esquema de influencia de la fibra en mezcla en estado fresco.....	33
Cuadro 4: Factores que influyen en las propiedades físicas de hormigones reforzados con fibras naturales.....	34
Cuadro 5: Descomposición de la fibra natural en un medio alcalino. ....	38
Cuadro 6: Esquema Tratamiento con hidróxido de calcio. ....	38
Cuadro 7: Resumen de trabajo de investigación “fibras naturales de lechuguilla como refuerzo para materiales de construcción.” .....	42
Cuadro 8: Resumen de trabajo de investigación “Estudio de materiales compuestos de cemento, papel reciclado, quitasano y fibra de sisal para la fabricación de calaminas y paneles utilizados en la construcción de viviendas económicas.”.....	43
Cuadro 9: Resumen de trabajo de investigación “Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre en la elaboración de material compuesto.” .....	44
Cuadro 10: Resumen de trabajo de” investigación, desarrollo e innovación de los compositos de fibras naturales aglutinados con cemento portland ordinario.” .....	45
Cuadro 11: Resumen de trabajo de” investigación “Elaboración de paneles ligeros a base de bagazo de caña de azúcar aglomerado con cemento portland.” .....	45

### Capítulo III

Cuadro 12: Clasificación de Aditivos .....	60
--	----

## ÍNDICE DE IMÁGENES

### Capítulo I

Imagen 1: Residuos sólidos generados por las actividades del hombre .....	12
Imagen 2: Estrategias a desarrollar para la Gestión Integral de residuos sólidos con enfoque de Análisis del ciclo de vida .....	13
Imagen 3: Obras de Arquitectura Sostenible, bajo principios del reciclaje.....	14
Imagen 4: Materiales Ecológicos desarrollados por la UCSG-SENESCYT Ecuador .....	16
Imagen 5: Clasificación de materiales compuestos según Matthews et al (200) .....	20
Imagen 6: Variación de porcentajes de absorción de agua y contenido de fibra .....	22

### Capítulo II

Imagen 7: Algunos tipos de fibras vegetales .....	28
Imagen 8: Clasificación de las fibras según composición química y longitud .....	29
Imagen 9: Representación esquemática de una microfibrilla .....	30
Imagen 10: Representación esquemática de los constituyentes de la pared celular vegetal .....	31
Imagen 11: Tratamiento con solución de hidróxido de calcio .....	41
Imagen 12: Tratamiento con silicato de sodio .....	42

### Capítulo III

Imagen 13: Proceso de obtención de la cal hidratada .....	48
Imagen 14: Afloramiento del Aljez .....	50
Imagen 15: Influencia de la relación agua/yeso en la resistencia a la flexotracción .....	51
Imagen 16: Planta de Abacá .....	57
Imagen 17: Corte de hojas y tallo .....	58
Imagen 18: Separación de capas del tallo y disposición en tirillas .....	58
Imagen 19: Desfibrado del Abacá .....	58
Imagen 20: Secado de la fibra de Abacá .....	58
Imagen 21: Producción del Abacá en el Ecuador.....	59
Imagen 22: Aditivo Sika Cem.....	61
Imagen 23: Materia prima, hojas de papel A1 y A4 impresas.....	62
Imagen 24: (B) y(C) selección y peso del papel, (D) picado del papel, (E) remojo de papel .....	63
Imagen 25: Herramientas para obtener la celulosa de papel (partículas).....	64
Imagen 26: Licuado d pulpa y colocación en tina.....	64
Imagen 27: Filtrado de pulpa .....	64
Imagen 28: Exprimido de pulpa .....	65
Imagen 29: Desmenuzado de material (partículas de celulosa de papel).....	65
Imagen 30: Aplicación de cal hidratada sobre partículas de celulosa (j), Mezclado de cal y partículas de celulosa (K) .....	66
Imagen 31: Secado de las partículas de celulosa (L) .....	66
Imagen 32: Turbiedad de agua día 1 .....	67
Imagen 33: Turbiedad de agua día 2 .....	67
Imagen 34: Turbiedad de agua día 3 .....	68
Imagen 35: Muestra de Análisis de Lixiviación.....	68
Imagen 36: Abacá en estado natural (A), Corte de fibra de Abacá 25mm (B) .....	69
Imagen 37: Preparación de solución de Hidróxido de calcio (c) .....	69
Imagen 38: Sumersión y reposo de la fibra en solución de hidróxido de calcio (D) .....	70
Imagen 39: Secado de la fibra de Abacá (E) .....	70

Imagen 40: Muestra M1 (A), muestra M2 (B) .....	72
Imagen 41: Muestra M3 (C), muestra M4 (D) .....	72
Imagen 42: Muestra M5 (E) .....	72
Imagen 43: Muestra M1 (A), muestra M2 (B) .....	74
Imagen 44: Muestra M3 .....	74
Imagen 45: Muestra M4 .....	74
Imagen 46: Muestra M5 .....	74
Imagen 47: Peso del cemento .....	77
Imagen 48: Peso del yeso .....	77
Imagen 49: Peso de la celulosa de papel.....	78
Imagen 50: Peso de la fibra de Abacá .....	78
Imagen 51: Peso del agua .....	78
Imagen 52: Peso del aditivo.....	78
Imagen 53: Impregnación con aceite a moldes (muestras para pruebas a flexión) .....	79
Imagen 54: Impregnación con aceite a moldes (muestras para pruebas a compresión) .....	79
Imagen 55: Elaboración de la pasta de cemento .....	80
Imagen 56: Incorporación de aditivo a pasta de cemento .....	80
Imagen 57: Elaboración de la pasta de yeso .....	80
Imagen 58: Incorporación de la celulosa de papel en pasta de cemento .....	81
Imagen 59: Batido de pasta de cemento con partículas de celulosa de papel.....	81
Imagen 60: Batido de pasta de yeso con partículas de celulosa de papel.....	81
Imagen 61: Incorporación de fibra a pasta de yeso(A), incorporación de celulosa de papel a mezcla de pasta de yeso con fibra de Abacá .....	82
Imagen 62: Batido mezcla (pasta de yeso, fibra de Abacá y celulosa de papel). .....	82
Imagen 63: Pasta de cemento y celulosa de papel(C), incorporación de fibra de Abacá a pasta de cemento con celulosa de papel .....	83
Imagen 64: Batido mezcla (pasta de cemento, celulosa de papel y fibra de Abacá). .....	83
Imagen 65: Vaciado de mezcla en molde y compactación (muestras para pruebas a compresión). .....	84
Imagen 66: Pulido de cara superior de muestras de cemento (muestras para pruebas a compresión).....	84
Imagen 67: Vaciado de mezcla en molde (muestras para pruebas a flexión).....	84
Imagen 68: Compactación y pulido de cara superior de muestras de cemento.....	84
Imagen 69: Muestras de cemento terminadas .....	85
Imagen 70: Elaboración de muestras de yeso (muestras para pruebas a compresión).....	85
Imagen 71: Elaboración de muestras de yeso (muestras para pruebas a flexión).....	85
Imagen 72: Retiro de moldes(A), Curado de muestras (B), Secado de muestras (C).....	86

## Capítulo IV

Imagen 73: Ensayo de resistencia a la flexión .....	88
Imagen 74: Ensayo de resistencia a la flexión de muestras de yeso(A), ensayo de resistencia a la flexión de muestra de cemento (B) .....	89
Imagen 75: Medición de muestras (A), colocación de muestras en máquina de ensayo (B), muestras sometidas a ensayo de compresión (C) .....	92
Imagen 76: Peso y medición de muestras para ensayo de densidad.....	95
Imagen 77: Peso de muestras .....	97
Imagen 78: Colocación de muestras en horno eléctrico.....	97
Imagen 79: Sumersión de muestras en recipiente de agua .....	97
Imagen 80: Muestras de yeso saturadas retiradas del recipiente con agua (A), muestras de cemento saturadas retiradas del recipiente con agua (B) .....	97
Imagen 81: Muestras de cemento y yeso expuestas a radiación solar (A), medición de temperatura de muestras (B) .....	99

Imagen 82: Muestras de cemento sometida a fuego (A), fisuración de muestra después de estar expuesto a fuego (B), colapso de muestra (C) .....	100
Imagen 83: Muestras de yeso sometida a fuego (A), fisuración de muestra después de estar expuesto a fuego (B), colapso de muestra (C) .....	100

## Capítulo V

Imagen 84: Fisuración de muestra de cemento con celulosa de papel (A), fisuración de muestra de cemento con celulosa de papel y fibra de Abacá (B) .....	100
Imagen 85: Fisuración de muestra de yeso con celulosa de papel (A), fisuración de muestra de yeso con celulosa de papel y fibra de Abacá (B) .....	105
Imagen 86: Muestras de cemento sometidas a prueba a la compresión .....	107
Imagen 87: Muestra de yeso fisurada por exposición al fuego (A), muestra de cemento fisurada por exposición al fuego (B) .....	117

## ANEXOS

Imagen 88: Celulosa de papel obtenida de cubetas de huevo, celulosa de papel obtenida de papel boom.....	130
Imagen 89: Partículas de celulosa de cubetas de huevo y celulosa de papel boom .....	130
Imagen 90: Muestras de mezclas previas a la obtención de dosificaciones finales.....	130
Imagen 91: Muestras de cemento previas a la obtención de dosificaciones finales .....	131
Imagen 92: Apariencia de partículas de celulosa de papel con cemento y yeso .....	131
Imagen 93: Algunas de las muestras elaboradas en una de las experimentaciones.....	131
Imagen 94: Combinaciones de cemento y celulosa de papel, combinación de cemento, celulosa de papel y fibra de Abacá .....	132
Imagen 95: Muestras secas de yeso con fibra de Abacá .....	132
Imagen 96: Muestras de cemento y yeso CM-T1, CM-T4, YS-T2 y YS-T5 pintadas con pintura para exteriores, expuestas al sol y lluvia por dos meses.....	132

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se plantea la obtención de un material compuesto que pueda ser utilizado como una alternativa de material para la construcción de vivienda de interés social. El trabajo se distribuye en cinco capítulos, en el primero contiene el marco teórico de biocompuesto, materiales compuestos, sostenibilidad, ecomateriales, y arquitectura sostenible; en el capítulo dos se refiere al estudio de fibras vegetales, tipos de fibras, tratamientos de fibras vegetal, y referentes de estudios de materiales compuestos reforzados con fibras; en el capítulo tres se describe los procesos realizados para obtener dosificaciones de muestras mediante la experimentación para determinar proporciones de componentes, además se indica el tratamiento de celulosa de papel y fibra de Abacá; en el capítulo cuatro se indica los ensayos de laboratorios realizados: ensayos mecánicos de flexión y compresivo, asimismo los ensayos físicos de densidad, contenido de humedad, absorción, transferencia térmica, y resistencia al fuego. Finalmente en el capítulo cinco se hace un análisis de los resultados de las pruebas de laboratorio y presupuesto del costo de material.

**Palabras Clave:** Biocompuesto, Material compuesto, Matriz, Refuerzo, Celulosa de papel, Abacá, Hidróxido de Calcio.

## ABSTRACT

In the present research work is proposed to obtain a composite material that can be used as an alternative material for the construction of housing of social interest. The work is distributed in five chapters, the first contains the theoretical framework of biocomposite, composite materials, sustainability, ecomaterials, and sustainable architecture; in chapter two, refers to the study of plant fibers, fiber types, treatments of vegetable fibers, and references of studies of fiber-reinforced composites; Chapter three describes the processes performed to obtain dosages of samples through the experimentation to determine proportions of components, in addition indicates the treatment of paper cellulose and Abacá fiber; chapter four shows the laboratory tests performed: mechanical flexural and comprehensive tests, as well as physical tests of density, moisture content, absorption, thermal transfer, and fire resistance. Finally in chapter five an analysis of the results of laboratory tests and material cost budget is done.

Keywords: Biocomposite, Composite material, Matrix, Reinforcement, Paper cellulose, Abaca, Calcium hydroxide.

## INTRODUCCIÓN

“El concepto de sostenibilidad ha sido definido a lo largo de una serie de importantes congresos mundiales y engloba no solo la construcción, sino también la actividad humana” (Edwards, B. & Hyatt, P, 2001). La necesidad de reflexión referente a la Sostenibilidad en Arquitectura y la incidencia ambiental en la utilización de los materiales de construcción son planteamientos que surgen a partir de los problemas ambientales que afronta el planeta. El consumo de recursos naturales para dar solución al déficit habitacional que con el crecimiento poblacional va en incremento trae como consecuencia un desarrollo no sostenible.

La incidencia ambiental de los materiales de construcción que está directamente relacionado con los impactos ambientales y la salud de los seres humanos conlleva a un análisis de ciclo de vida de los materiales para la construcción. En las etapas del ciclo de vida de materiales se analizan aspectos tales como: consumo de recursos naturales, consumo de energía, emisiones de gases, contaminación, los impactos en los ecosistemas y el comportamiento como residuo, durante estas etapas son altos los porcentajes de extracción de recursos, emisiones de gases, contaminación y generación de residuos.

Por lo dicho anteriormente esta investigación se enfoca en la experimentación para la obtención de Biocompuesto como alternativa de material para la construcción, el reciclaje de papel y el aprovechamiento de la fibra de Abacá como materia prima del material compuesto que generen un bajo impacto ambiental, disminución de consumo de recursos naturales, ahorro de energía por extracción recursos, bajo costo. La investigación se enfoca en la búsqueda de un material sostenible que sea amigable con el ambiente además dar continuidad a investigaciones de materiales compuestos reforzados con fibras que en diferentes países lo ven como un potencial para un desarrollo sostenible.

## PROBLEMÁTICA

El crecimiento poblacional, el consumo desmedido de los recursos naturales y la generación de residuos sólidos para satisfacer las necesidades del hombre, no deben comprometer el futuro de las generaciones venideras. Garantizar los recursos para la futuras generaciones mediante un desarrollo sostenible es fundamental, la sostenibilidad como un medio para un desarrollo integral a puesto a personajes como Edwards, B., & Hyett, P. (2001) a plantear que: “Es preferible reutilizar que reciclar (debido a los costes energéticos que supone transformar un nuevo material) y es preferible reciclar que eliminar. Este sería un último recurso ya que la capacidad de los vertederos es cada vez más escasa, los impuestos que gravan los residuos aumentan y la producción de metano y otros gases emitidos contribuyen al calentamiento global.”

Asimismo la demanda de productos para el consumo humano conlleva a la extracción de los recursos naturales, la industria del papel genera deforestación debido a que la materia prima para la fabricación del papel proviene de los árboles. El consumo del papel en el mundo van en crecimiento, la demanda de este se hace insostenible, Las naciones industrializadas, con el 20% de la población mundial consumen el 87% del papel para escribir e imprimir, pero sobre todo, derrochan recursos, ya que entre el 30% y el 40% de los residuos sólidos urbanos generados en Europa son papel y cartón. (KLAUS TOEPFER, Director Ejecutivo, Programa Medioambiental de la ONU).

El Ecuador hoy consume 560.000 toneladas de papel, lo mismo que Chile, Colombia y el triple que Perú, siendo el más alto de Suramérica (Pedro Huerta, presidente de Surpapelcorp). Mientras que, en la ciudad de Loja el jefe de Saneamiento Ambiental Israel Lima manifiesta que “la acumulación de desechos sólidos en nuestra ciudad se recicla entre 45mil y 50 mil kilos mensualmente”.

Por lo tanto los impactos ambientales como producto de consumo podrían mitigarse mediante estrategias de sostenibilidad como es el reciclaje. En la mayoría de casos el reciclaje de desechos no es considerado como alternativa para disminuir el impacto ambiental, ya que sacar los residuos de centros urbanos a lugares fuera de las ciudades a los denominados rellenos sanitarios o plantas de tratamientos, son prácticas que carecen de conciencia ecológica, estos residuos o desechos podrían ser reincorporados transformándolos en nuevos materiales. (Bedoya 2011).

Las nuevas alternativas de materiales para la construcción son motivo de estudio, en donde el reutilizar y reciclar es clave para la obtención de materiales de bajo impacto ambiental. Por otro lado el aprovechamiento de los recursos naturales que posee un país o región es fundamental para el progreso económico, mediante la utilización de fibras vegetales, que por ser un recurso renovable presentan un impacto ambiental reducido, además las fibras naturales tienen emisiones neutrales de dióxido de carbono.

Por lo indicado anteriormente, la comunidad científica en algunos países se ha enfocado en el desarrollo de materiales amigables con el medio ambiente. El daño ecológico causado por el crecimiento poblacional, consumo de recursos y generación de residuos sólidos podría disminuirse en función a un desarrollo sostenible en todas las disciplinas.

En el campo de la Arquitectura mediante el reciclaje y la utilización de recursos renovables son alternativas que permitirán mitigar los impactos ambientales, la utilización de las fibras vegetales y el reciclaje para generar nuevos materiales podrían emplearse para la construcción de viviendas de interés social de bajo costos y sobretodo amigable con el medio ambiente. El Ecuador posee una gran variedad en fibras vegetales con 25000 especies aproximadamente que deben ser utilizadas para fines de la construcción. (López, Sarmiento, Fajardo, Valarezo & Zuluaga, 2013)

## JUSTIFICACIÓN

En la búsqueda para mitigar el impacto ambiental causado por la generación de residuos sólidos en centros urbanos, se han ampliado conceptos que buscan un desarrollo sostenible, la Arquitectura sostenible, el ecodiseño, los ecomateriales, la bioconstrucción, entre otras, cuyo fin es dar soluciones mediante nuevas alternativas en procesos de construcción y aplicación de estrategias tales como: el uso de materiales de bajo impacto ambiental, materiales reciclados o altamente reciclables, además de la aplicación de procesos sencillos y de bajo costo.

Por otro lado, en el proyecto de investigación realizado por la Universidad Nacional de Loja titulado **“Investigación y desarrollo de materiales y tecnologías alternativas para la construcción de viviendas de interés social en la Región Sur del Ecuador”**, deja entrever que existe muy poca investigación en nuestro país respecto a materiales y tecnologías en la construcción, existiendo un predominio de patentes extranjeras.

Esta escasés de investigaciones es perjudicial, pues no permite el aprovechamiento de los recursos de nuestro país. El Ecuador y su biodiversidad cuentan con una variedad de fibra orgánica de sus plantas, el Ecuador es el segundo país a nivel mundial en la producción de fibra de Abacá con el 17% después de Filipinas con el 80% de producción. (Pontón y Guerrero ,2010) Generar o mejorar técnicas mediante el aprovechamiento de recursos existentes, además el reciclaje o reutilización de residuos sólidos son estrategias para un desarrollo sostenible.

Por otro lado el reciclaje de papel en la ciudad de Loja es de 45mil y 50mil kilos mensualmente según datos del jefe de Saneamiento Ambiental Israel Lima. Estas cifras dejan entre ver la posibilidad de aprovechamiento del papel como materia prima, el papel es una lámina formada por un entramado tridimensional de fibras de celulosa y otras sustancias (minerales, colas, almidón, etc.). Material que es utilizado por arquitectos como Shigeru Ban en sus obras emplea tubos de papel.

El uso de la celulosa de papel y sus aplicaciones en investigaciones realizadas, como material aislante en construcciones metálicas modulares, en elementos de papel no estructurales como empastado, además como agregado en la producción de ladrillo de arcilla, entre otras. Son algunos casos que han dado buenos resultados y cuyo fin es hacer un material a base de celulosas de papel reciclado.

De los anteriores planteamientos se deduce, la posibilidad de elaborar un biocompuesto (material compuesto) mediante la reutilización y reciclaje del papel, además el aprovechamiento de la producción agrícola de las fibras vegetales como es el Abacá que por sus propiedades intrínsecas podrían mejorar los esfuerzos mecánicos dentro de matrices. La finalidad de esta investigación es la experimentación de un material que cause el menor impacto ambiental, de bajo costo y de sencilla elaboración que podría ser utilizada para vivienda de interés social.

## OBJETIVOS

### General:

Diseñar y experimentar un biocompuesto mediante combinaciones de aglomerantes de cemento y yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá.

### Específicos:

- Investigar un marco teórico referencial respecto al tema.
- Investigar sobre: fibras vegetales, aglomerados y celulosa de papel sus características, funciones y comportamientos.
- Determinar dosificaciones de materiales y combinaciones de mezcla óptima para obtener material compuesto.
- Realizar ensayos de laboratorio: mecánicos y físicos
- Analizar los Resultados y comprobación de hipótesis.
- Analizar costos de producción del material compuesto.

## **HIPÓTESIS**

Si realizamos biocompuestos con aglomerantes (yeso y cemento), celulosa de papel y fibra vegetal de Abacá para mejorar su resistencia, entonces obtendremos algunas muestras con características especiales que mejoren sus condiciones físico mecánicas, por lo tanto obtendremos muestras con mejores características físico mecánicas aptas para la elaboración de paneles divisorios aplicables en vivienda de bajo costo en la ciudad de Loja y el país.

## METODOLOGÍA

Se realiza una investigación bibliográfica referente a temas como: sostenibilidad, reciclaje, materiales compuestos, fibras vegetales, aglomerantes, normativa e investigaciones donde utilizan fibras vegetales como refuerzo, esta información servirá para mayor entendimiento, análisis y aplicación en el proceso de experimentación de la investigación.

La investigación bibliográfica es la base para la experimentación, donde se realiza el tratamiento con hidróxido de calcio a las fibras de celulosa de papel y fibra de Abacá, este tratamiento es el utilizado en otros trabajos de investigación donde se han obtenido buenos resultados, posteriormente se pasa a la obtención de muestras fundamentada en base teórica, en este paso se determina proporciones de celulosa de papel y fibra de abacá óptimas para el diseño de dosificaciones últimas.

Se realiza las muestras con las dosificaciones últimas con los porcentajes de celulosa de papel y fibra de abacá aptas y acorde a requerimientos establecidos por norma, características y propiedades de los componentes además de trabajos realizados por varios autores. Se elabora las muestras que serán sometidas a pruebas físicas y mecánicas, finalmente se interpreta los resultados del comportamiento del material para dar valoración si el material cumple con los requisitos y condiciones según norma para que pueda ser aplicado como un material para la construcción de vivienda e interés social.

**CAPITULO I**  
**SOSTENIBILIDAD Y MATERIALES COMPUESTOS**

## 1.1. Sostenibilidad y Generación de Residuos Sólidos

El crecimiento poblacional ha traído un incremento de residuos sólidos en centros urbanos y contaminación del medio ambiente. La generación de residuos sólidos ésta directamente relacionada con las actividades del hombre, el uno por el consumo de productos y el otro generado por la actividad de la construcción. (Bedoya ,2011)

Por lo tanto, el consumo y extracción de los recursos naturales están agotando las fuentes naturales, así la industria del papel genera deforestación la tala de árboles para obtener el papel va en incremento constituyendo el 87% de consumo de papel en países industrializados, mientras que en Europa el consumo de papel y cartón constituyen el 30% y 40% de residuos sólidos urbanos (Klaus Toepfer, Director Ejecutivo, Programa Medioambiental del ONU).

El Ecuador en la actualidad consume 560.00 toneladas de papel al igual que Chile, Colombia y el triple que Perú (Pedro Huerta, Presidente de Surpapelcorp) en la ciudad de Loja según el Jefe de Saneamiento Ambiental Israel Lima se recicla entre 45.000 y 50.000 Kilos de papel mensualmente, las cifras dejan entre ver la gran cantidad de papel que se consume y que constituyen residuos sólidos en centros urbanos.

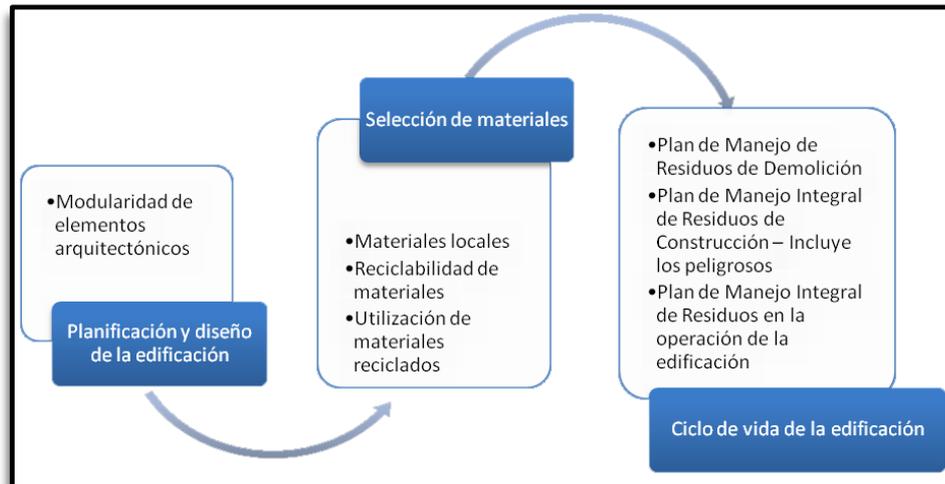


**Imagen 1:** Residuos Sólidos generados por las actividades del hombre

**Fuente:** <https://www.google.com.ec/search?q=residuos+de+la+construccion&biw=1366&bih=1366> (2011)

**Elaboración:** <https://www.google.com.ec/search?q=residuos+de+la+construccion&biw=1366&bih=1366> (2011)

Para eliminación de residuos sólidos se han establecido estrategias o soluciones ineficientes que no permiten un desarrollo sostenible, en la Imagen 2 se plantean estrategias y planes de manejo de los residuos sólidos sostenibles tomando como base el ciclo de vida de la obra constructiva. (Bedoya ,2011) Estas estrategias buscan un desarrollo integral mediante el análisis del ciclo de vida, es fundamental un desarrollo sostenible y la aplicación de estas estrategias ya que el incremento de residuos sólidos generados en ciudades es alarmante, buscar equilibrio mediante la reutilización de recursos, el reciclaje de materiales, conservación de energías no renovables por alternativas con energías renovables permitirán mitigar impactos ambientales, disminución de consumo de recursos naturales y ahorro energético.



**Imagen 2:** Estrategias a desarrollar para la Gestión Integral de Residuos Sólidos con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida.

**Fuente:** Bedoya ,2011 **Elaboración:** Bedoya ,2011

## 1.2. Arquitectura Sostenible

Frente a los problemas actuales como el crecimiento población, consumismo y destrucción del medio ambiente que ponen en riesgo la permanencia del hombre en este planeta se ha buscado alternativas para hacer arquitectura. Los nuevos enfoques en arquitectura pretenden redefinir conceptos surgiendo así la “Arquitectura sostenible”, cuyo fin es la práctica consciente de arquitectura que busca satisfacer las necesidades del hombre, pero sobre todo busca asegurar el bienestar de las futuras generaciones mediante la conservación de la naturaleza y el medio ambiente. (<http://ccqc.pangea.org/cast/sosteni/soscast.htm>.)

La utilización desmedida de los recursos naturales para satisfacer las necesidades del hombre, no deben comprometer el futuro de las generaciones venideras que es la base para un desarrollo sostenible, asimismo el aprovechamiento de los recursos naturales según (De Garrido, 2012) se refiere que en Arquitectura Sostenible existen seis pilares básicos que son:

1. Optimización de los recursos naturales y artificiales
2. Disminución del consumo energético
3. Fomento de fuentes energéticas renovables
4. Disminución de residuos y emisiones
5. Aumento de la calidad de vida de los ocupantes
6. Disminución del mantenimiento y coste de los edificios

Por tanto, garantizar el bienestar de la población actual y asegurar a las futuras generaciones son planteamientos que se lograrán con la conservación de los recursos naturales y medio

ambiente. Un desarrollo sostenible que busca la permanencia del hombre en la Tierra mediante una relación equilibrada entre sociedad humana y entorno ambiental.

La Arquitectura Sostenible como un nuevo planteamiento a partir de la mitad del siglo XX, se incorporan nuevos conceptos tales como: Arquitectura bioclimática, Arquitectura verde, Ecomateriales, Bioconstrucción, etc. (Bedoya, 2011). En efecto de los planteamientos anteriores se enfocan en dar solución a problemas surgidos por el abuso desmedido e inconsciente de recursos y generación de residuos. Estas nuevas concepciones son acogidas por algunos arquitectos a nivel mundial y se plasman en sus proyectos.

Los arquitectos Wang Shu y Lu Wenyu- Amateur en su proyecto Museo Histórico de Ningbo-China, utilizan materiales reciclados procedentes de las demoliciones de construcciones, otro ejemplo del manejo de criterios de sostenibilidad están presentes en las obras del arquitecto Shigeru Ban en el Pabellón Singapore, Casa de Tubos de papel, Pabellón Japonés, etc. Estos proyectos son ejemplos que se puede hacer arquitectura amigable con el ambiente mediante la reutilización y el reciclaje.



**Imagen 3:** Obras de Arquitectura Sostenible, bajo principios del reciclaje

**Fuente:** <https://www.google.com.ec/search?q=shigeru+ban+obras&biw=1366&bih> , (2012)

**Elaboración:** <https://www.google.com.ec/search?q=shigeru+ban+obras&biw=1366&bih> , (2012)

### **1.2.1. Ecomateriales y construcción sostenible.**

La utilización de los Ecomateriales se remonta desde los años 4000 AC, según datos históricos fue en china donde se utilizaba cenizas de cascara de arroz mezclado con arcilla para la elaboración del cemento. El término Ecomateriales surge recientemente frente a los problemas ambientales, este término hace referencia a materiales de bajo costo, naturales y de bajo consumo energético. (Olivares, 2003)

La red Ecosur en el año 1991 crea la palabra Ecomateriales, para referirse a los materiales viables económica y ecológicamente, además de la utilización de sistemas constructivos tradicionales y el aprovechamiento de recursos locales, sin dejar de lado la búsqueda de nuevas interpretaciones e innovaciones, los ecomateriales también pueden ser producto de reciclaje de materiales. (<http://ecosur.org/index.php/ecomateriales>)

Según Avellan, Donoso & González (2010) para que un material sea considerado como Ecomaterial debe cumplir con los siguientes aspectos:

- Se utilicen recursos y materia prima local.
- Tengan un bajo consumo de energía en su transformación y uso.
- Que no sean contaminante.
- Que tengan facilidad de mantenimiento.
- De bajo costo.
- Que sea de baja conductividad e inercia térmica.
- Tengan bajos costos de inversión.
- Permitan un control básico para garantizar la calidad de lo producido.
- Tengan baja capacidad de generar ruidos y desecho.
- No produzcan daño o enfermedades profesionales a la fuerza de trabajo en sus procesos de producción o uso.
- Facilitar la producción, ya sea esta artesanal o industrial.

El uso de Ecomateriales como práctica para una construcción sostenible es fundamental para la disminución de impactos ambientales producto de la actividad de la construcción. La sostenibilidad en la construcción debe proceder del análisis del ciclo de vida de un material, es decir por los efectos que generan la obtención de los materiales desde la extracción de la materia prima, transporte, consumo de energético, emisiones de CO<sub>2</sub>, mantenimiento y deconstrucción.

Por tanto, reducir, conservar y mantener son principios ecológicos que se enmarcan dentro de construcción sostenible, reducir mediante la reutilización de recursos es decir el reciclaje,

esta reutilización conlleva a una conservación de la naturaleza y recursos. La disminución de emisiones de CO<sup>2</sup> por la producción de materiales permite conservación de un hábitat para el hombre con aire puro por la presencia de áreas verdes. (Alavedra P., et al, 1997)

Por las consideraciones anteriores, la comunidad científica se ha enfocado en desarrollar estudios para fabricar materiales ecológicos, el Ecuador no es la excepción en el proyecto de investigación UCSG-SENESCYT, (2012) denominado Ecomateriales para la construcción, llevaron a cabo una serie experimentaciones para fabricar ecomateriales utilizando guadua, estepa de coco, tamo de arroz entre otros. En efecto es imprescindible un desarrollo sostenible debido a que los problemas ambientales van en incremento y uno de los principales causantes es la industria de la construcción.



**Imagen 4:** Materiales Ecológicos desarrollados por la UCSG-SENESCYT Ecuador.  
**Fuente:** Moran, 2012 **Elaboración:** Moran, 2012.

### 1.3. Las cuatro erres de la sostenibilidad en arquitectura y medio ambiente

La poblacional mundial alcanzaría para antes del 2050 los 10.000 millones de habitantes, este incremento generaría un gran impacto ambiental ocho veces superior al actual. La Organización Mundial del Comercio pronostica el 2% de crecimiento económico anual teniendo en consideración la escasez y agotamiento de los recursos naturales. Este panorama de un futuro no alentador podría llevar a un desastre planetario, es fundamental adoptar estrategias que garanticen la permanencia del hombre esto se puede lograr aplicando las cuatro “erres”: reducir, reutilizar, reciclar y rehabilitar.

#### 1.3.1. Reducir.

El hombre actualmente está inmerso en el consumo exagerado de todo tipo de recursos, reducir la demanda de recursos no renovables, como los combustibles fósiles, el agua, los minerales y el suelo agrícola permitirán proveer de estos a generaciones venideras. La sociedad necesita una cultura de reducción y de concientización en las diferentes actividades y disciplinas. La actividad de la construcción consume gran cantidad de recursos por ello

arquitectos e ingenieros deben buscar alternativas para lograr un equilibrio entre consumo de recursos y las prestaciones de los edificios. (Edwards & Hyett ,2001)

### **1.3.2. Reutilizar.**

Las obras arquitectónicas representan un activo fijo que consume gran cantidad de recursos y energía para su construcción, por ello un edificio debe ser duradero en su forma y construcción además de su valoración social, de esta manera las futuras generaciones puedan reutilizar y adaptar a nuevos usos. (Castells, 2012)

La reutilización de los materiales de un edificio es preferible a la demolición total, para la reutilización de los componentes de un edificio es necesario cumpla con las siguientes cualidades según (Edwards & Hyett, 2001):

- Aprovechamiento de la luz y la ventilación naturales.
- Acceso a infraestructura (transporte público, servicios, etc.)
- Ausencia de materiales tóxicos.
- Calidad de la construcción, preferiblemente con materiales naturales.
- Interés y carácter de los espacios
- Acceso a fuentes de energía renovable (solar, eólica).

Según Edwards & Hyatt (2001) la filosofía de la reutilización requiere, por lo tanto, un cambio en el proyecto de nuestros edificios, así como en su construcción. Los arquitectos podrían crear una enorme demanda de elementos de recuperación simplemente si los incluyesen en las condiciones facultativas. Esto no solo generaría un mercado para los componentes reutilizados, sino que aumentaría la riqueza estética y la valoración social de los edificios.

### **1.3.3. Reciclar.**

El reciclaje como alternativa que permite la recuperación y transformación de materia prima, cuyo fin es la fabricación de un nuevo material a partir de los residuos sólidos mediante una recuperación parcial o total de los materiales. Establecer estrategias enfocadas a la reciclabilidad de los materiales y utilización de residuos como materia prima para generar uno nuevo permitirá disminuir el consumo de recursos naturales y la pérdida de ecosistemas. (Castells, 2012)

El reciclaje como estrategia de desarrollo sostenible da muchas ventajas según (Gutiérrez & Cánovas, 2009) por los siguientes aspectos:

- Ahorro de energía y menos contaminación causada por la extracción y procesamiento de energías vírgenes.
- Disminución de las emisiones de gases de invernadero, lo cual ocasiona el cambio climático,
- Conservación de los recursos naturales.
- Disminución del volumen de residuos municipales
- Contribución significativa en el logro del desarrollo sostenible.
- La generación de empleo.

Según Edwards & Hyatt (2001) El reciclaje conlleva habitualmente la extracción de energía de un material y la separación de sus partes para su futura reutilización. La madera recuperada puede servir de combustible, quizá en centrales alimentadas por residuos y el cartón yeso permite ser transformado en nuevas formas. Es importante tener en cuenta las posibilidades del reciclaje, los impactos medioambientales en cada etapa y las consecuencias del ciclo de vida completo de cada una de las opciones de reutilización y reciclaje.

#### **1.3.4. Rehabilitar.**

Las áreas urbanas son focos de contaminación ya que la mitad de la población mundial vive en las ciudades. Los centros urbanos son generadoras de residuos sólidos por el consumo de recursos, por las actividades de la industria y la construcción, los asentamientos humanos generan pérdidas de los ecosistemas, contaminación de suelo, aire y agua. Rehabilitar como una estrategia para reparar los daños causados por el hombre requiere gran cantidad de recursos económicos y esfuerzo humano la arquitectura, el paisajismo y el urbanismo puede contribuir a reparar los daños en los ecosistemas y medio ambiente. (Castells, 2012)

#### **1.4. Los Biocompuestos y materiales compuestos**

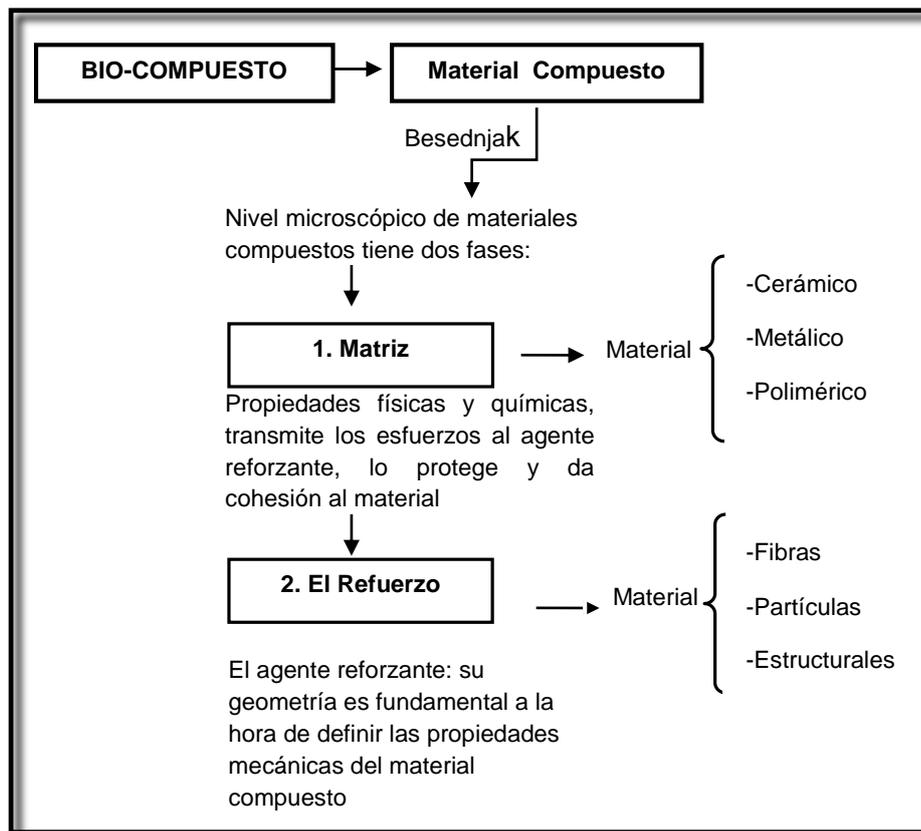
Según Rodríguez (2014) El término biocomposito o biocompuesto se refiere a todo material compuesto por una matriz y un reforzamiento de fibras naturales (usualmente derivadas de plantas o celulosa). Los biocompuestos, en algunos casos gracias a mejoras tecnológicas que les brindan propiedades específicas, pueden llegar a soportar altas cargas estructurales, haciéndolos útiles en muchas áreas. Dentro de sus variadas aplicaciones se resaltan actualmente las asociadas a las industrias de la construcción y automotriz.

Según Vinson y Sierakowski (1987), define a un material compuesto como “la combinación de dos o más materiales para obtener un material nuevo con propiedades específicas”. Los materiales compuestos se componen de dos fases la matriz y el refuerzo cumplen funciones

específicas para distribuir las cargas aplicadas, la matriz en la mayoría de casos es de un solo material y constituye la fase continua que transmite los esfuerzos al refuerzo por estar embebida en la misma. Por otro lado el refuerzo es la fase discontinua o dispersa que proporciona al material compuesto propiedades mecánicas al aumentar la resistencia y rigidez.

Los refuerzos pueden ser en forma de partículas o fibras, en forma de partículas pueden tener cualquier geometría, regular o irregular, la disposición puede ser direccionada o aleatoria, en la mayoría de los casos se coloca de manera aleatoria. El refuerzo en forma de fibra está en función de su longitud y diámetro, en los materiales compuestos se utilizan fibras largas y cortas con respecto a la orientación es unidireccionales, bidireccionales y al azar. (Mattews et al, 2000)

**Cuadro 1:** Definición de materiales compuestos según Vinson, Sierakowsky, Mattews et al.

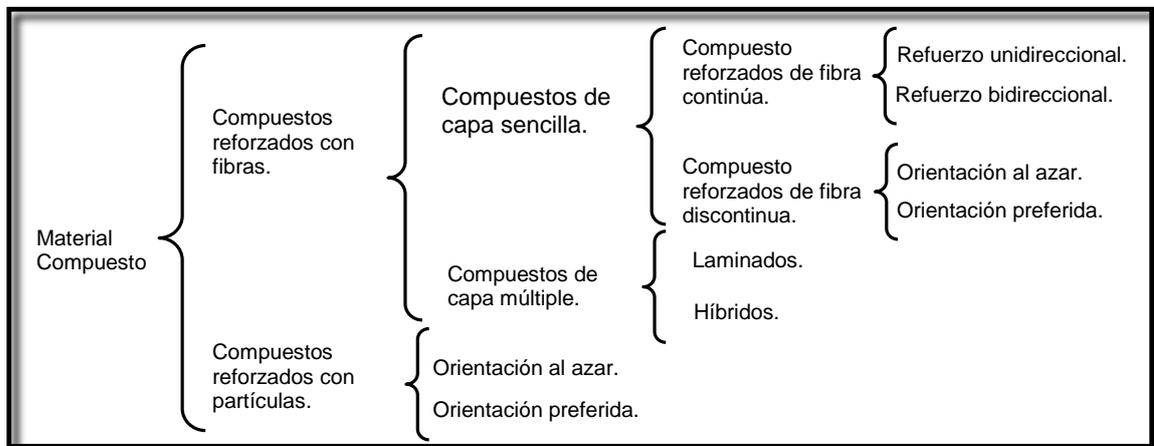


Fuente: Vargas, 2007  
Elaboración: Autor, 2016

#### 1.4.1. Clasificación de materiales compuestos.

Según (Vinson y Sierakowsky, 1987) “La clasificación de los tipos de compuestos está en función de la geometría que describen en su mayoría los refuerzos, sin importar la matriz en la cual están constituidos, o en la relación morfológica de la matriz con el refuerzo”. La clasificación de los materiales compuestos está en función a la geometría del refuerzo que

contribuye al mejoramiento de propiedades mecánicas del material compuesto, sin dejar de lado la naturaleza del refuerzo, la dimensión y la disposición dentro de la matriz.



**Imagen 5:** Clasificación de materiales compuestos según Mattews et al. (2000)

**Fuente:** Vargas, 2007

**Elaboración:** Vargas, 2007

#### 1.4.2. Consideraciones para diseño previo de materiales compuestos.

La obtención de materiales compuestos requiere de estudio y análisis de componentes, un material compuesto debe tener las siguientes consideraciones para el diseño de mezclas:

- Suponer propiedades y ventajas del material.
- El uso que se le va a dar en relación a los componentes que constituyen el material y las características que resulten de la combinación.
- El método de elaboración es determinante en las características del material compuesto (manera de hacer combinaciones para las mezclas determinan fenómenos físico-químico). (Mattews et al, 2000)

#### 1.4.3. Los criterios que debe cumplir para que un material sea compuesto.

Los aspectos que debe cumplir un material compuesto:

1. La Forma y dimensión del refuerzo determinan las propiedades mecánicas del material compuesto.
2. Los refuerzos de partículas por lo general son del mismo tamaño en todas sus direcciones.
3. Las formas de los refuerzos pueden ser cualquier geometría regular o irregular
4. El arreglo de las partículas puede ser al azar o con orientación definida, para fines prácticos al azar.

5. Los refuerzos de las fibras se caracterizan por su longitud que es mayor a su sección transversal.
6. Se pueden utilizar fibras largas o cortas dependiendo el tipo de refuerzo que se busque sea continuo o discontinuo.
7. Otros factores que afectan las propiedades de los compuestos, además de masa, volumen, y densidad, son :
  - características químicas y de fuerza de la interface de unión de los componentes.
  - forma, tamaño y orientación del refuerzo.
  - fracción de volúmen(considerada la más importante en la influencia de las propiedades del compuesto)
  - Uniformidad y homogeneidad de la distribución del refuerzo. (Mattews et al, 2000)

## 1.5. Características físicas de los materiales

### 1.5.1. Densidad.

La densidad de un cuerpo está definida por la masa y volúmen del mismo. La densidad ( $\rho$ ) es conocida también como masa volumétrica, magnitud que relaciona dos variables que se traduce en la siguiente formula:

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

En donde:

$\rho$  = Densidad

$m$  = Masa.

$V$  = Volumen

El tipo de agregado determina el volumen en los materiales para la construcción constituyendo entre el 65% a 85% en concretos hidráulicos, en concretos asfálticos del 92% a 96%, mientras que en pavimentos superan del 75% a 90%. Los agregados o áridos se definen al conjunto de materiales de origen mineral, natural o artificial que se utilizan en la construcción de obras civiles, además según la densidad de los agregados se clasifican en ligeros y normales. Los ligeros cuya densidad esta entre 480-1040 kg/m<sup>3</sup> por ejemplo la piedra pómez, los normales su densidad varía entre 1300 y 1600Kg/m<sup>3</sup> por ejemplo el material de rio. (Gutiérrez, 2003)

### 1.5.2. Absorción.

Los cambios físicos o químicos de los materiales se deben a las condiciones físicas y químicas a los que se exponen. La absorción se define como el proceso mediante el cual un material aspira fluidos o humedad ya sea por el contacto directo o del medio ambiente.

(Vargas ,2007) En materiales compuestos donde se utiliza fibras vegetales los porcentajes de absorción y humedad son elevados debido a la propiedad de hidrofilia de las fibras vegetales, que es la capacidad de tiene estas para absorber agua por una cavidad denominada lumen que es responsable de la absorción de agua.

Según Brostow (1981) se define el porcentaje de humedad  $m$  en función del tiempo  $t$  transcurrido.

$$Abs = 100 \left[ \frac{(Ws - Wd)}{Wd} \right]$$

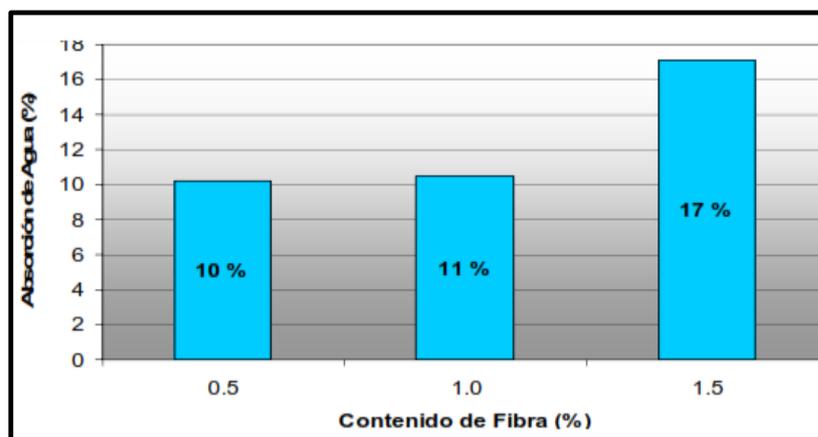
En donde:

Abs= Absorción

Ws= Peso saturado de la muestra

Wd = Peso seco de la muestra

Por tanto, en investigaciones realizadas donde utilizan fibras vegetales, es evidente la absorción de agua por la naturaleza hidrofilia que presentan las fibras. En el trabajo de Fuentes, (2006) denominado “Estudio de materiales compuestos de cemento, papel reciclado, quitosano y fibras de sisal para la fabricación de calaminas y paneles utilizados en la construcción de viviendas económicas”, deje entrever que al aumentar los porcentajes de fibra de sisal existe un aumento de la absorción. (Imagen 6)



**Imagen 6:** Variaciones de porcentajes de absorción de agua y contenido de fibra

**Fuente:** Fuentes, 2006

**Elaboración:** Fuentes, 2006

De los anteriores planteamientos, es evidente que los porcentajes de absorción son significativos y requieren de tratamiento para reducir estos índices mediante la utilización de sustancias repelentes al agua.

### 1.5.3. Conductividad Térmica.

Según la norma chilena NCh 853.Of91. La conductividad térmica es la cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en una unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión finita, de caras planas y paralelas y espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. La conductividad térmica es la propiedad intrínseca que tienen los materiales para dar paso al calor, su valor esta en relación a la densidad del material, temperatura, contenido de humedad, color y presión atmosférica que se encuentre. En efecto según la segunda ley de la termodinámica, el calor pasa siempre de regiones de mayor temperatura a las temperaturas más bajas por el contacto directo de las moléculas. (Erazo, 2007)

En los materiales de construcción el rango de coeficiente de conductividad térmica va desde 0.03W/m °C en aislantes, hasta valores mayores de 200 W/m °C (Tudela, 1982). Según la NCh 853.Of91 en la tabla 1 se indica valores de conductividad térmica según el material.

**Tabla 1.** Conductividad térmica de algunos materiales según Norma Chilena Nch 853.Of91.

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LOS MATERIALES		
Material	Densidad Aparente Kg/m <sup>3</sup>	Conductividad Térmica $\lambda$ W/m.K
Enlucido de yeso	800	0,35
Fibro-cemento	920	0,22
	1000	0,23
	1135	0,23
Hormigón Armado(normal)	2400	1,63
Hormigón Áridos ligeros	1000	0,33
Hormigón Áridos ligeros	1400	0,55
Hormigón de viruta de madera	450-650	0,26
Hormigón de fibras de madera	300-400	0,12
	400-500	0,14
	500-600	0,16
Hormigón liviano a base de cascarilla de arroz	570	0,128
Maderas, tableros aglomerados de partículas	400	0,095
Maderas, tableros de fibra	850	0,23
Morteros de cemento	2000	1,4
Papel	1000	0,13
Yeso-cartón	650	0,24
	700	0,26
	870	0,31
Ladrillo macizo hecho a maquina	1000	0,46
Vidrio plano	2500	1,2

**Nota:** Los valores de conductividad térmica están dados para una temperatura media de 20°C. Cabe hacer notar que la conductividad térmica varía con la temperatura. (Nch850)

**Fuente:** Nch850

**Elaboración:** Autor, 2016

#### 1.5.4. Ley de Fourier.

La transmisión de calor en cuerpos sólidos se realiza por conducción cuando existe un gradiente de temperatura en una dirección, esta transmisión de calor es de una región mayor temperatura a una menor temperatura.

Una aplicación inmediata de la ley de Fourier corresponde al caso de la transmisión del calor a través de una pared plana. Cuando las superficies de la pared se encuentran a temperaturas diferentes, el calor fluye sólo en dirección perpendicular a las superficies, si la conductividad térmica es uniforme. (Herrera, 2005)

$$Q = -KA \left[ \frac{(T1 - T2)}{L} \right]$$

En donde:

**Q** = Flujo de Calor.

**K** = Conductividad térmica de los materiales

**A** = Área de transferencia.

**T1**= Temperatura exterior.

**T2** = Temperatura interna.

**L**= Distancia entre los dos puntos.

#### 1.6. Modelo de Multitabla de Bojórquez

El modelo multitabla plantea un metodología para la obtención de materiales compuestos a base de fibras, se fundamenta en establecer relaciones entre componentes del material, además de determinar proporciones óptimas mediante la observación y análisis de comportamiento de las mezclas. Este modelo es utilizado en algunas investigaciones de experimentación, así en el trabajo de "Resistencia a la compresión de compuestos a base de desperdicios de origen orgánico" desarrollaron un compuesto inorgánico-orgánico con fibras integradas al azar a una matriz aglutinante que alcanzara valores del orden de 20 Mpa en cuanto a la resistencia a la compresión.(Bojórquez , 2005)

En este trabajo se plantean relaciones entre componentes teniendo como variables:

- La primera variable, correspondiente al peso de las fibras con respecto al cemento (f/c).
- La segunda variable, correspondiente a la relación agua/cemento(a/c).

Además en el trabajo realizado por Vargas (2007) “Uso de fibras de papel periódico, Cal hidratada y Alumbre en la elaboración de un material compuesto” se consideran las relaciones de proporciones de dos de las variables con respecto a una; realizando mezclas con proporciones agua-cal hidratada(a/c), con proporciones papel-cal hidratada (p/c). En el diseño de mezclas las variables que se manejaron fueron:

- Proporción de cal hidratada
- Proporción de fibras de papel periódico
- Proporción de alumbre
- Proporción de agua.

Para la obtención de mezclas no solo se considera proporciones de componentes, sino también la capacidad que presentan las mezclas para formar una masa homogénea, métodos de secuencia de incorporación y mezclado de componentes.(Vargas,2007) Por tanto, el modelo de multitabla de Bojórquez y su metodología permite la obtención de materiales compuestos mediante las relaciones entre variables de componentes, proporciones y comportamientos de los materiales.

**CAPÍTULO II**  
**FIBRAS VEGETALES Y COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS VEGETALES**

## 2.1. Fibras vegetales

Las fibras vegetales como componente para la fabricación de materiales para la construcción se remonta a épocas pasadas, las viviendas vernáculas o autóctonas utilizan fibras en la construcción de paredes o como elementos de amarre, además de rocas, piedra, madera, barro, ramas de plantas entre otras. En el mismo sentido, específicamente en el Ecuador se destacan tres momentos históricos que hacen referencia a la utilización de materiales para la construcción de las viviendas que a continuación se describen:

- **Época Aborígen o Precolonial:** Se desarrolla con una diversidad de grupos humanos que habitan en diferentes lugares del país, sus viviendas fueron construidas con materiales disponibles en el lugar como: madera, hojas, barro o piedra.
- **Época colonial:** Con la llegada de los españoles por los años 1492 los habitantes adoptan nuevas formas de vida, costumbres, cultura y otra forma de concepción de vivienda en lo que respecta distribución espacial, materiales y técnicas constructivas. El suelo fue la materia prima más utilizada se construyeron casas de adobe, tapial, bahareque, madera y material vegetal. Posteriormente para la construcción de viviendas utilizan la cal como aglomerante, ladrillos y teja cocida.
- **Época Republicana:** Se inicia por 1830 esta época se caracteriza por la utilización del cemento en la construcción de las viviendas, además de la adopción de tecnologías que involucran la utilización del cemento como aglomerante. (Bailón & Espinosa, 2015)

En las viviendas indígenas del sur del Ecuador específicamente en la etnia de los Saraguros sus casas se construyen con materiales del lugar, sus paredes son de adobe, material que se obtiene de la combinación de tierra y fibra vegetal (paja). En la etnia Shuar la vivienda las viviendas se construyen con estructura de madera, paredes de chonta, cubierta de hojas de palmera y todos los elementos se amarraban con bejuco. Las fibras vegetales y material orgánico constituyen la principal materia prima para la construcción de las viviendas en las comunidades del Ecuador desde épocas pasadas hasta la actualidad.

En los últimos 20 años se ha dado mayor interés en buscar alternativas en materiales para la construcción que generen el menor impacto ambiental, el uso de las fibras vegetales como refuerzo de matrices de cemento representan una oportunidad por la disponibilidad, variedad y alta resistencia que estas presentan. Otro aspecto importante son los procesos de producción que hacen factible para la aplicación en construcciones de bajo coste económico y medioambiental (Savastano, 2000), en la imagen 7 se muestra algunos tipos de fibras vegetales.



**Imagen 7:** Algunos tipos de fibras vegetales

**Fuente:** Mohanty A.; Natural Fiber and Biocomposites, 2005

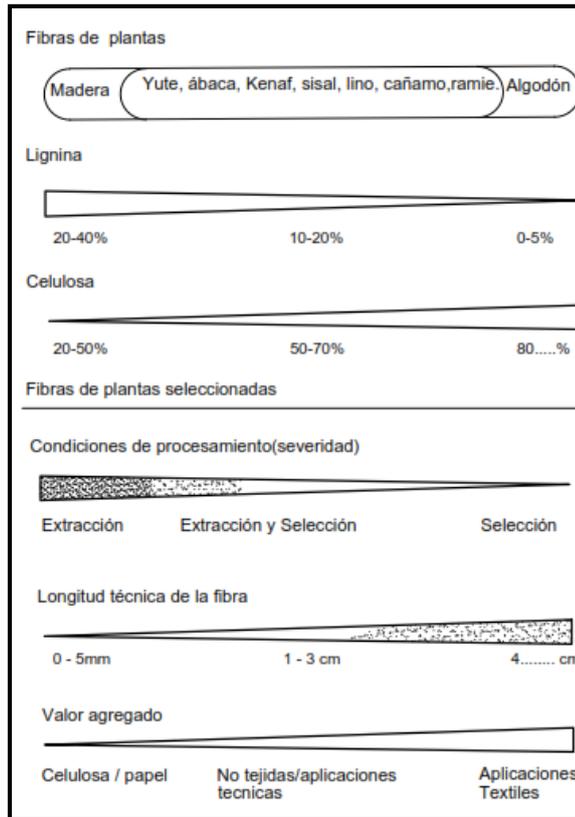
**Elaboración:** Mohanty A.; Natural Fiber and Biocomposites, 2005

### 2.1.1. Clasificación de las fibras naturales.

Raymond (1997) realiza una clasificación general de las fibras distribuyéndolas de la siguiente manera:

- **Hierbas y cañas.** - fibras provenientes de tallos de plantas monocotiledóneas, por ejemplo: hierbas y paja de trigo, arroz, cebada, entre otras.
- **Hojas.**- fibras que se encuentran a lo largo de hojas de plantas monocotiledóneas, por ejemplo: abacá, sisal, henequén, entre otras.
- **Tallos.**- provenientes de la corteza interna de plantas dicotiledóneas; por ejemplo: lino yute, cáñamo, kenaf, entre otras.
- **Semillas e hiladuras de frutos.**- incluye y también las sedas; por ejemplo: algodón.
- **Fibras maderables.**- fibras de madera dura (angiospermas) y maderas suaves (gimnospermas); por ejemplo.- maple, eucalipto, pino.

En la Imagen 8 se indica la clasificación de las fibras vegetales basada en la materia prima según procesos industriales para su obtención, además de la composición química y longitud técnica de la fibra. (Raymond ,1997)

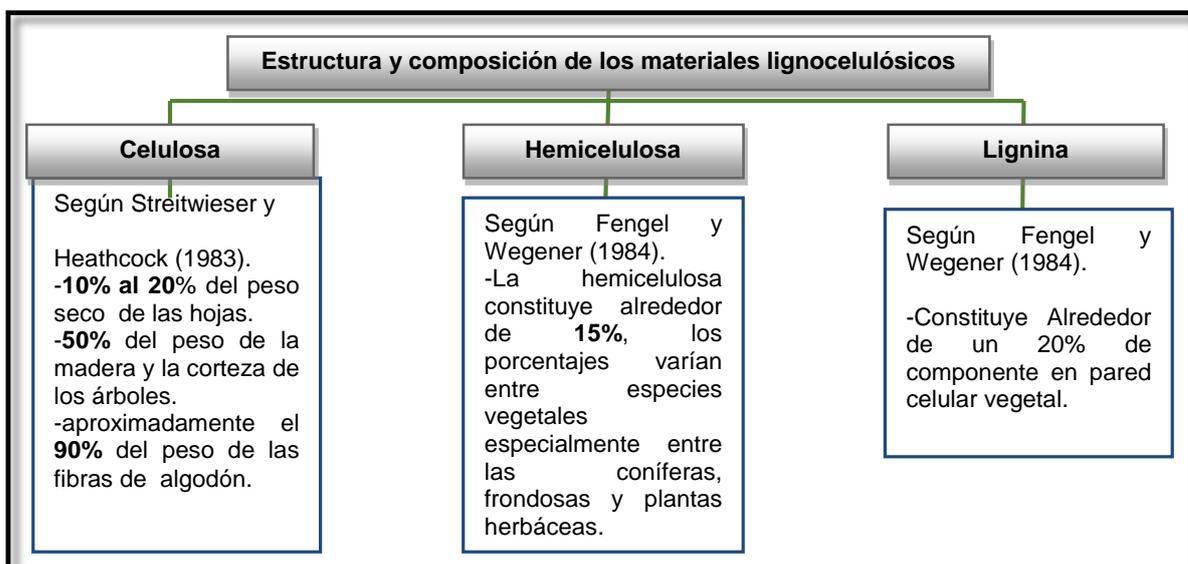


**Imagen 8:** Clasificación de las fibras según composición química y longitud. **Fuente y elaboración:** (Raymond, 1997)

### 2.1.2. Composición química y morfológica de las Fibras vegetales.

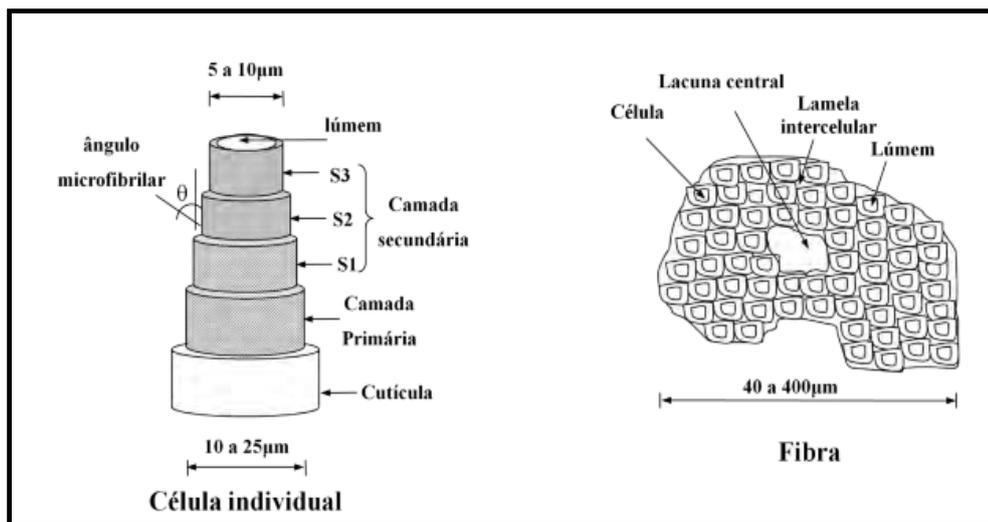
La composición química de las fibras de origen vegetal, están constituidas por tres polímeros estructurales: celulosa, hemicelulosa y lignina, además de algunos compuestos de bajo peso molecular solubles en agua o solventes orgánicos, en mínima cantidad de proteínas y sales minerales. (Rodríguez, 2006)

**Cuadro 2:** Estructura y composición de materiales lignocelulosicos



**Fuente:** Rodríguez, 2006  
**Elaboración:** Autor, 2016

Las fibras vegetales se componen de células individuales denominadas microfibras, mismas que están formadas por un número de capas de fibrillas que contienen celulosa, las microfibrillas se unen entre sí por una lámina intermedia que contiene hemicelulosa y lignina. La fibra central tiene una cavidad llamada lumen, que es en gran parte responsable de la alta absorción de agua y baja densidad aparente, características comunes de las fibras vegetales. (Ver Imagen 15) (Cutts, 1995)

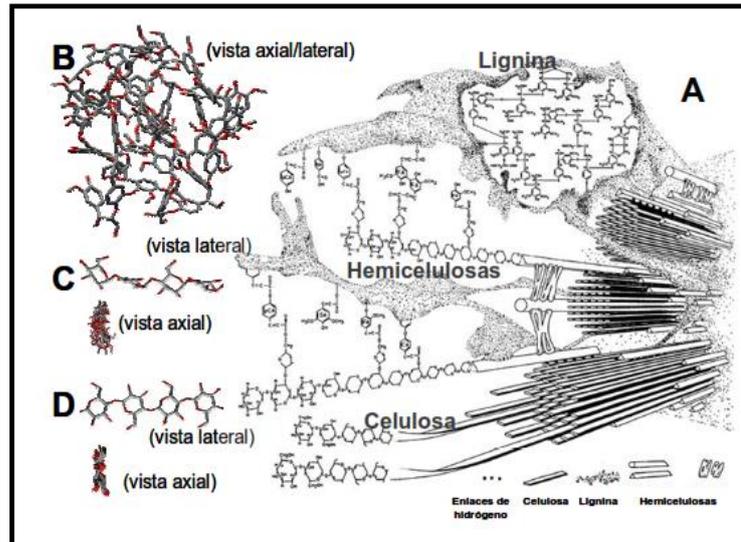


**Imagen 9:** Representación esquemática de una microfibrilla  
**Fuente:** Coutts ,1995  
**Elaboración:** Coutts .1995

### 2.1.2.1. Celulosa.

La celulosa es un constituyente importante de organismos vegetales, aunque también se encuentra en algunos organismos en el reino animal, siendo el compuesto orgánico más abundante y disponible en la biosfera y el componente principal de la pared celular. Lo que representa aproximadamente  $1.5 \times 10^{12}$  la producción de toneladas biomasa anual la celulosa se considera una fuente casi inagotable para aumentar la demanda de productos respetuosos con el medio ambiente y biocompatibles. (Klemm, 2005).

La cantidad de celulosa determina la resistencia mecánica, como componente estructural de las células vegetales comprende del 10% al 20% del peso seco de las hojas, el 50% del peso de la madera y la corteza de los árboles y aproximadamente el 90% del peso de las fibras de algodón (Streitwieser y Heathcock, 1983). En la Imagen 16 se observan las relaciones de la pared celular vegetal, pared secundaria de una angiosperma no leñosa como el lino o el Kenaf.



**Imagen 10:** Representación esquemática de los constituyentes de la pared celular vegetal.

**Fuente:** Bidlanck et al., 1992

**Elaboración:** Bidlanck et al., 1992

### 2.1.2.2. *Hemicelulosa.*

Son polisacáridos químicamente heterogéneos, constituidos por diferentes unidades de monosacáridos incluyendo pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, manosa y galactosa) y ácidos urónicos, enlazados entre sí por enlaces glicosídicos, formando estructuras ramificadas y en general amorfas. Algunas hemicelulosas están asociadas a la porción celulósica, mientras que otras lo están con la lignina. Actúan como matriz soporte para las microfibrillas de celulosa en la pared celular, y son de menor masa molecular, más accesibles, más fácilmente degradables y más fáciles de disolver que la celulosa. (Fengel & Wegener, 1984).

### 2.1.2.3. *Lignina.*

La lignina es la segunda sustancia más abundante en el reino vegetal (Botaro, 1996); Se puede definir como un biopolímero tridimensional, aromático, hidrofóbico, muy ramificado, amorfo, que tiene un número de diferente y compleja estructura de grupos funcionales (grupos alifáticos y éteres aromáticos, alcoholes bencílicos, alcoholes primarios y secundarios, grupos carbonilo de aldehídos y cetonas).

## 2.2. **Ventajas y desventajas del uso de fibras vegetales**

Según (Claramunt et al., 2011) la utilización de fibras vegetales como refuerzo de materiales compuestos ofrecen las siguientes ventajas y desventajas:

### **Ventajas:**

- Bajo peso específico que se traduce en mayor resistencia específica que otras fibras como las de vidrio, especialmente a sollicitaciones de flexión.
- Alta resistencia a la tracción y deformación. Gracias a ello brindan al compuesto una elevada ductilidad muy recomendable para admitir cargas dinámicas o accidentales de impacto.
- Constituyen un recurso renovable, con poco consumo de energía para su elaboración, lo que las convierte en materiales amigables al medio ambiente.
- Gracias a su naturaleza hidrofílica las fibras vegetales son ideales para matrices hidráulicas.
- Proporcionan buenas propiedades térmicas, acústicas y aislantes.
- Pueden obtenerse mediante inversiones de bajo costo, lo que permite su desarrollo industrial en países en vías de desarrollo.
- Cuando se queman los compuestos con fibras naturales hay menor producción de CO<sub>2</sub> y otros gases tóxicos.
- Costo económico bajo.

### **Desventajas**

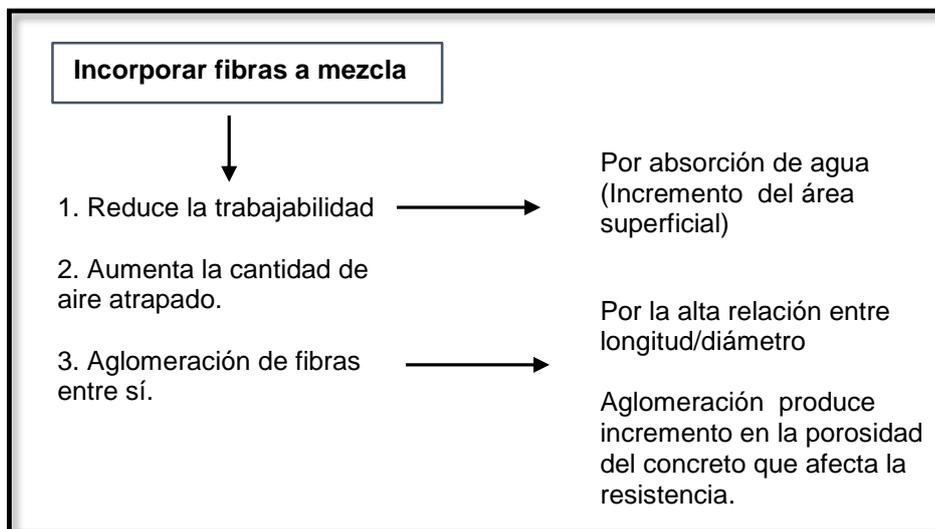
- Alta dispersión en sus propiedades, dependiendo de factores como el clima o el método de obtención.
- Alta absorción de agua, llegando a valores que sobrepasan el 100% en una hora de inmersión. Esto produce importantes variaciones de peso y volumen, afectando su durabilidad y resistencia mecánica.
- Bajo módulo de elasticidad
- Mala durabilidad en un medio alcalino.
- En general tiene baja resistencia al fuego.
- Falta de continuidad en los suministros y disponibilidad (dependiendo del tipo de fibra).
- El enlace entre los polímeros y las fibras naturales es débil.

## 2.3. Propiedades de concretos reforzados con fibras naturales

### 2.3.1. Propiedades en estado fresco.

Según (Aziz M., Paramasivam P. & Lee S., 1984) la adición de fibras a la mezcla tiende a reducir la trabajabilidad debido principalmente a la absorción de agua, al incremento del área superficial y especialmente a la forma y tamaño de las fibras en relación con las otras partículas que constituyen la mezcla. La incorporación de fibras también induce un aumento en la cantidad de aire atrapado. Otro aspecto importante es la tendencia que tienen las fibras de aglomerarse entre sí, esto ocurre principalmente cuando se tiene una alta relación de aspecto (longitud/diámetro).

**Cuadro 3:** Esquema de influencia de la fibra en mezcla en estado fresco.



**Fuente:** Aziz M., Paramasivam & Lee , 1984

**Elaboración:** Autor, 2016

### 2.1.3.2. Propiedades en estado endurecido.

Según el informe (ACI 544.1R-96, 2002):

Una de las propiedades importantes del material compuesto endurecido es su fuerza. La resistencia a la compresión no es afectada significativamente por la adición de fibras, mientras que la resistencia a la tracción y a la flexión se incrementa sustancialmente.

El concreto reforzado con fibra natural sin procesar es más vulnerable que otros hormigones reforzados con fibras en términos de durabilidad, el agua es altamente alcalina en el hormigón parece deteriorar las fibras, la durabilidad se puede mejorar sustancialmente mediante la sustitución de 40 a 50 por ciento del cemento con humo de sílice, que reacciona con la cal y reduce la alcalinidad del agua; también se puede mejorar durabilidad mediante el

recubrimiento de la fibra con productos químicos adecuados, tales como el ácido fórmico y esteárico.

Las propiedades que adquieren los materiales compuestos con la incorporación de fibras vegetales dependerán mucho del tipo de fibra además es necesario tener en consideración factores que se indican en el cuadro 4.

## 2.4. Efecto del volumen y la longitud de la fibra

**Cuadro 4:** Factores que influyen en las propiedades físicas de hormigones reforzados con fibras naturales.

<b>Factores</b>	<b>Variables</b>
<b>Tipo de fibra</b>	Coco, sisal, bagazo de caña, bambú, yute, madera, vegetales (Akwara, hierba elefante, agua caña, plátano y Musamba).
<b>Geometría de fibra</b>	Longitud, diámetro, sección transversal, anillos y los extremos en forma de gancho.
<b>Forma de fibra</b>	Monofilamento, hilos, engarzadas y solo anudado.
<b>Superficie de la fibra</b>	Suavidad y la presencia de recubrimientos.
<b>Propiedades de la matriz</b>	Tipo de Cemento, tipo y granulometría de los agregados, tipos de aditivos.
<b>Mezclas y proporciones</b>	El contenido de agua, ayudas de trabajabilidad, agentes antiespumantes, contenido de fibra.
<b>Métodos de mezclas</b>	Tipo de mezclador, secuencia de añadir método constituyentes de añadir fibras, la duración y la velocidad de la mezcla.
<b>Método de colocación</b>	Vibración convencional, deshidratación al vacío para miembro de rociado plano, vacío-prensa de desecado por miembro lechado deshidratado, extrusión y guanitado.
<b>Técnica de prueba</b>	Prueba de presión
<b>Método de curado</b>	Métodos convencionales y especiales

**Fuente:** ACI 544.1R-96(2002)

**Elaboración:** ACI 544.1R-96(2002)

Dentro de las investigaciones realizadas con refuerzo de fibras vegetales se han utilizado fibras cortas, largas y pulpa. En el estudio con fibras de sisal y cemento el refuerzo con fibras largas incrementan los valores en la tenacidad y resistencia al impacto, por otro lado a mayor cantidad de fibras se requería mayor cantidad de agua para mantener la misma trabajabilidad de la matriz, ya que la fibra absorbe una parte de ella. (Gram, 1988)

En concretos reforzados con fibras naturales la resistencia última depende del tipo, longitud y volumen de fibra que se agregue en la mezcla. Las fibras naturales presentan diferentes características y propiedades dependiendo su origen, la cantidad y volumen difieren según el tipo o especie, por otro lado un exceso de fibra en la mezcla dificulta la trabajabilidad y no permite una total adherencia que baja la resistencia. (Aziz, Paramaswivam & Lee, 1981)

Según (Rodríguez & Pérez, 1984), El objetivo es conseguir una dispersión uniforme de las fibras en la matriz para evitar el apelsonamiento de éstas. La segregación y el apelsonamiento de las fibras se deben: aspecto de las fibras, porcentaje en volumen de las mismas, cantidad y tamaño del árido grueso, relación agua- cemento, método de mezclado. Al aumentar el aspecto, el porcentaje de fibras y el tamaño y cantidad del árido grueso aumenta la tendencia al apelsonamiento.

Las fibras vegetales constituyen una alternativa como refuerzo por sus características y propiedades, brindan aportes estructurales y no estructurales para la obtención de materiales compuestos. En la tabla 2 se indica la influencia de longitud y volumen de la fibra de yute para formar un compuesto con matriz de cemento, además en la tabla 3 se muestran algunas fibras con sus propiedades.

**Tabla 2.** Efecto de la longitud de la fibra y la fracción de volumen en los parámetros de resistencia de yute reforzado con fibra de materiales compuestos de cemento.

Relación de mezcla cemento-arena	Fracción de volumen de fibra (%)	Longitud de fibra(mm)	Fuerza compresión (Mpa)	Fuerza tensión (Mpa)	Módulo de rotura (Mpa)	Flexión tenacida (Kg/cm)	Módulo a la compresión Young (Mpa)	Módulo a la tensión Young (Mpa)
1 : 0	0	-	31,44	1,21	2,83	0,35	15513,21	9652,66
	1	25,4	35,68	1,38	3,72	5,65	14134,26	9997,4
	2	25,4	29,99	1,96	4,48	8,87	12410,57	11721,09
	3	25,4	37,44	2,07	3,83	7,6	12755,3	11031,61
	4	25,4	34,99	1,67	3,31	7,03	13100,04	11376,35
	2	12,7	30,58	1,73	3,9	6,68	15168,47	10342,14
	2	17,8	28,68	2,34	4,14	8,53	11031,61	9997,4
	2	38,1	31,16	1,76	4,23	8,41	11721,09	9307,92
1 : 1	0	-	38,4	2,03	4,21	0,57	14823,73	15513,21
	2	12,7	37,44	2,52	5,62	8,98	14134,26	17926,37
	2	17,8	32,44	2,17	5,03	10,25	14134,26	13444,78
	2	25,4	32,75	2,17	4,48	11,18	12410,57	14478,99
	2	38,1	27,96	2,1	3,99	8,29	8618,45	17581,64
1 : 2	0	-	34,96	2,1	3,76	0,46	12065,83	17926,37
	2	12,7	27,96	2,31	4,45	8,41	9997,4	22752,7
	2	17,8	28,72	2,48	4,62	10,25	13444,78	22407,97
	2	25,4	32,47	2,03	3,93	8,18	14134,25	15857,95
	2	38,1	24,96	1,62	3,76	7,6	15168,47	16547,42

**NOTA.**  
Equivalencias métricas: 1 in. = 25,4mm ; 1Ksi = 1000 psi =6.895 Mpa ; 1 in.-lb =0.113 Nm

Fuente: ACI 544.1R-96(2002)

Elaboración: ACI 544.1R-96(2002)

**Tabla 3.** Propiedades típicas de las fibras naturales

Tipo de fibra	Coco	Sisal	Bagazo o caña de azucar	Bambú	Yute	Lino	Hierba elefante	Caña de agua	Platano	Musamba	Fibra de madera (pulpa Kraft)
<b>Longitud de la fibra (mm)</b>	50,8-101,6	N/A	N/A	N/A	177,79-304,79	508	N/A	N/A	N/A	N/A	2,54-5,08
<b>Diámetro de fibra (mm)</b>	0,1016-0,4064	N/A	0,2032-0,4064	0,0508-0,4064	0,1016-0,2032	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,0254-0,0762
<b>Gravedad específica(SG)</b>	1,12-1,15	N/A	1,2-1,3	1,5	1,02-1,04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,5
<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	18960,59 - 25993,24	12962,15 - 25993,24	14996,10 - 18960,59	32956,94 - 39989,6	25993,24 - 31991,68	374,74	4895,28	5171,07	1378,95	896,3	N/A
<b>Resistencia a la tracción</b>	0,12 - 0,20	0,28 - 0,57	0,18 - 0,29	0,34 - 0,5	0,25 - 0,34	0,99	0,1723	0,069	0,089	0,083	0,69
<b>Alargamiento de rotura (%)</b>	10 - 25	3- 5	N/A	N/A	1,5 - 1,9	1,8 - 2,2	3,6	1,2	5,9	9,7	N/A
<b>Absorción de agua (%)</b>	130- 180	60 -70	70 -75	40 - 45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	50 - 75
Nota. N/A = propiedades difícilmente disponibles o no aplicables											

Fuente: ACI 544.1R-96(2002)

Elaboración: ACI 544.1R-96(2002)

## 2.5. Consideraciones para mezclado de hormigón y fibras vegetales

Para conseguir un mezclado homogéneo debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- El tamaño no debe ser superior a 100 mm.
- El volumen de fibras no debe ser mayor del 2%.
- No se debe utilizar áridos de dimensiones mayores a 10mm, debido a la docilidad mezcla y la reducida separación entre fibras.
- La plasticidad de la mezcla debe ser adecuada por la dispersión de las fibras, se recomienda acoger las relaciones agua/cemento de 0.4 a 0.6, además de la utilización de aditivos como plastificantes, aireadores y controladores de la retracción.
- Disminución de proporciones de cemento utilizando cenizas volantes, esto afecta la resistencia a la tracción o la compresión.
- Los periodos de mezclado son iguales que en hormigones ordinarios y se puede hacer en hormigoneras convencionales. Los procesos de mezclado con buenos resultados consisten en mezclar los áridos y fibra previo a la incorporación del resto de componentes, también se puede realizar sumergiendo las fibras en una mezcla de agua y áridos e incorporando seguidamente la pasta de cemento.
- Para el curado se emplea las mismas técnicas que el hormigón convencional.
- Cuando se trata de piezas prefabricadas se emplea procedimientos de extrusión para aumentar la adherencia de las fibras con el hormigón. (Rodríguez & Perez, 1984)

## 2.6. Debilitamiento de las fibras vegetales en el hormigón

El tiempo y medio alcalino son los factores que influyen en la durabilidad de las fibras vegetales, en muchas investigaciones y publicaciones se refieren al debilitamiento al combinar matrices de cemento reforzados con fibra, debido a la presencia de poros de agua alcalina en el hormigón. Según (Bentur, Askerst & Parry, 1989) existen algunos mecanismos considerados para explicar cambios ocurridos en las propiedades mecánicas en productos de cemento basados en celulosa:

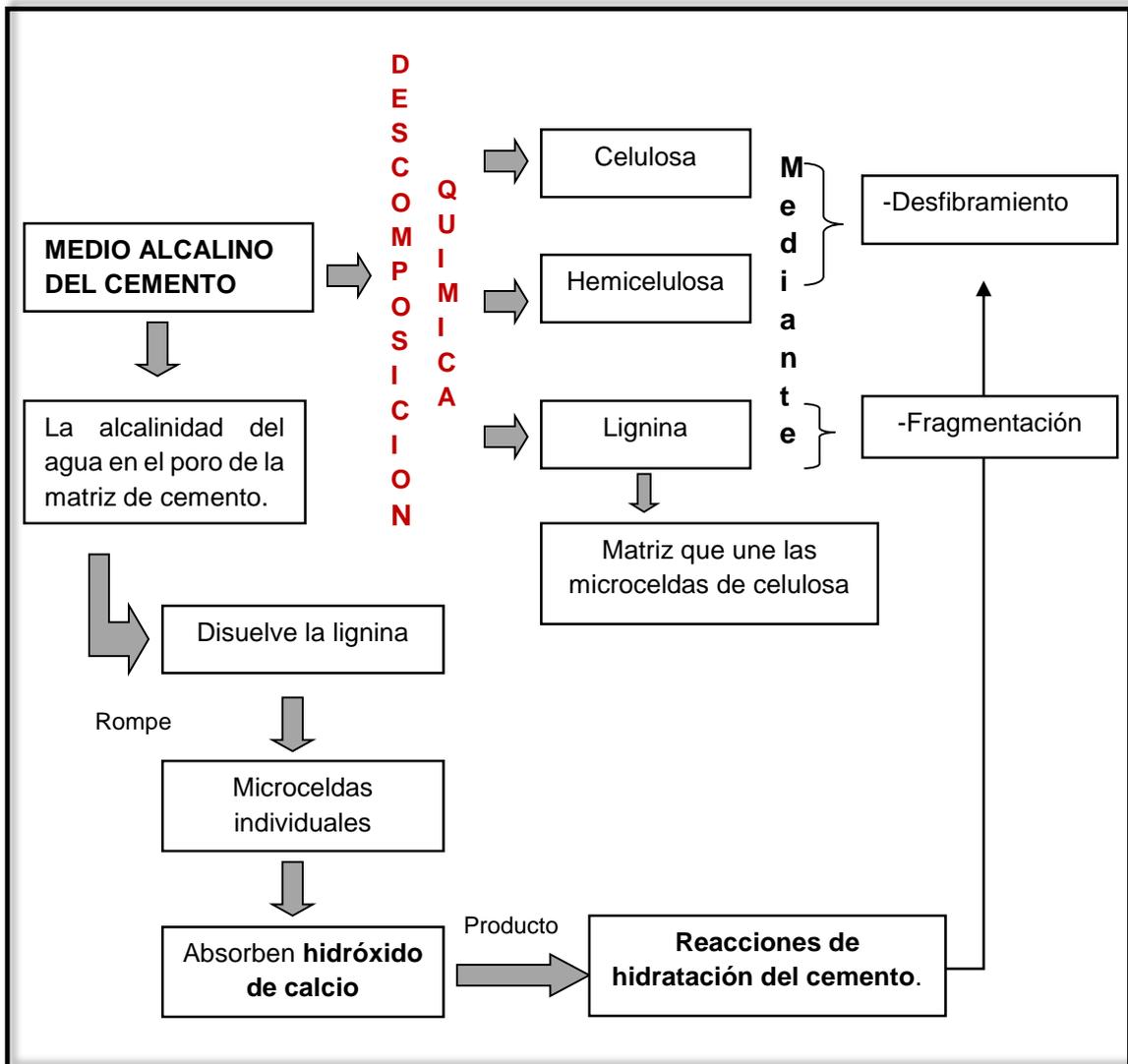
1. **Hidrólisis alcalina** de las moléculas de celulosa que causan la degradación de las cadenas, lo que lleva a una reducción en el grado de polimerización y disminución en la fortaleza.
2. **Disolución de la lignina y la hemicelulosa en la matriz alcalina**, lo que lleva a una ruptura de las uniones entre las células que forman las fibras.

3. **Ataque microbiológico** que ocurre preferentemente en matrices menos alcalinas.
4. **Incremento de la unión fibra matriz** que pueden llevar al debilitamiento de las fibras y bajo ciertas condiciones a un incremento en su fortaleza.

### 2.7. Proceso de deterioro de la fibra vegetal en un medio alcalino

La combinación de cemento Portland y fibras vegetales según estudios realizados traen la degradación de la fibra por el medio alcalino al que se expone. El deterioro de la fibra se produce por la descomposición química de la celulosa, hemicelulosa y lignina. La reacción del agua con el cemento disuelve la lignina y de esta manera se rompe la unión de las microceldas individuales las cuales absorben el hidróxido de calcio como resultado de la hidratación del cemento. (Gram, 1983)

**Cuadro 5:** Descomposición de la fibra natural en un medio alcalino.



Fuente: Gram, 1983  
 Elaboración: Autor, 2016

Por tanto, se considera que las fibras naturales son materia orgánica que se descomponen con el paso del tiempo, temperatura, humedad y organismos biológicos, al ser utilizadas como refuerzo de matrices de cemento estas se deterioran por las reacciones de la hidratación del cemento, sin embargo aplicando tratamientos que protegen la fibra, se puede obtener materiales compuestos con incrementos de resistencia mecánicas y físicas.

## **2.8. Tratamientos de protección de la fibra vegetal**

Para evitar la descomposición de la fibra vegetal en matrices de cemento, en algunas investigaciones han aplicado sustancias bloqueadoras, sustancias repelentes al agua y una combinación de ambos tipos de sustancias.

- Efecto de la impregnación de la fibra con sustancias bloqueadoras.  
Las sustancias bloqueadoras aplicadas a la fibra reaccionan con los componentes de la fibra que no permitiendo destruirla con facilidad. Los tratamientos utilizados en investigaciones, mediante la impregnación de las fibras con: sulfato de sodio, silicato de sodio, sulfato de magnesio etc.
- Efecto de la impregnación de la fibra con sustancias repelentes al agua.  
La impregnación de fibras con sustancias repelentes al agua que consiste en evitar que ingrese el agua alcalina al poro de la fibra y así no la descomponga químicamente, las sustancias empleadas en algunas investigaciones son: aceite de linaza, aceite de silicón, resinas fenol formaldehído, etc.
- Efecto de la impregnación de la fibra con sustancias bloqueadoras y repelentes al agua.  
Es la combinación de las dos anteriores, en algunos casos se obtienen buenos resultados, así la impregnación de Formine y Acido Esteárico o Nitrato de Bario y Acido Esteárico. (Gram, 1983)

Los planteamientos anteriores hacen referencia a la utilización de sustancias por impregnación aplicadas en algunas investigaciones, sin embargo existen otros procedimientos como son: la cornificación de la fibra que consiste en someter a la fibra a procesos de lavado y secado, este tratamiento evita que la fibra absorba el hidróxido de calcio, este tipo de tratamiento se utilizó en la pulpa de maderas suaves y fibras de algodón, los resultados obtenidos la fibra mejora su estabilidad dimensional, mejor adherencia con la

matriz y baja retención de agua (evitando absorción de hidróxido de calcio). (Claramunt et al, 2011)

## 2.9. Tratamiento con Hidróxido de Calcio o Cal Hidratada

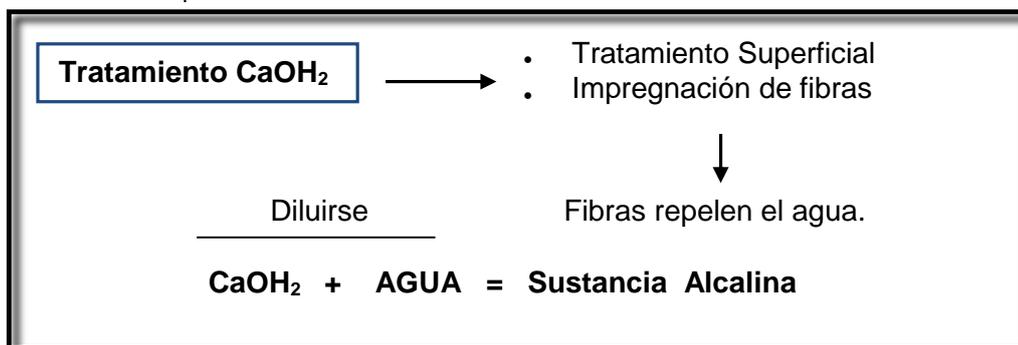
El hidróxido de calcio o cal apagada es utilizado para dar tratamientos a fibras vegetales en algunos trabajos de investigación.

Según (Macías, 2014) , manifiesta que al diluirse la cal en el agua; esta tiene la característica de **sustancia alcalina**, ideal para la función buscada, es decir, que no presenta riesgo de daño del material adhesivo, además de garantizar una buena adherencia con el cemento debido a que el cemento contiene un porcentaje considerable de óxido de calcio, con una participación del 65 por ciento, que al reaccionar con el agua de hidratación del cemento genera hidróxido de calcio, al ser el  $\text{CaOH}_2$  uno de los productos finales de reacciones exotérmicas álcalis hidrolisis del cemento, no existe participación reactiva en el proceso de curado sino que sólo se incorpora a este como un elemento más del cemento hidráulico ya fraguado.

### Ventajas de la utilización $\text{CaOH}_2$ para el tratamiento de fibras vegetales:

- Material de fácil adquisición
- Manejo y operación no necesita mano de obra especializada y con bajos niveles de seguridad.
- Rendimiento rápido como tratamiento superficial.
- Costo bajo.

**Cuadro 6:** Esquema Tratamiento con hidróxido de calcio.



**Fuente:** Macías, 2014  
**Elaboración:** Autor, 2016

En el trabajo de "Investigación, desarrollo e innovación de compósitos de fibras naturales aglutinados con cemento portland ordinario" realizada por Macías, 2014, aplican dos tipos de

tratamiento a la fibra de bagazo de caña de azúcar, el uno es con hidróxido de calcio (cal apagada) y otro con silicato de sodio.

El tratamiento con cal hidratada, se trata de la disolución del 10% de  $\text{CaOH}_2$  en relación del peso del agua dejándola en reposo de 3-4 días. Culinado el tiempo de reposo de la disolución, procedieron a la sumersión de las fibras de bagazo, para lograr la penetración del hidróxido de calcio en las fibras se deja en un periodo de 1-3 días, agitando las fibras en la disolución cada ocho horas, transcurrido el tiempo de mineralización de la fibra se lava con agua para remover impurezas y excesos de cal.

El tratamiento para dar propiedades puzolanas a la fibra es simple, consiste en agregar silicato de sodio en una décima parte en relación al peso del bagazo, para posteriormente agregar el cemento y el agua a la mezcla. De los dos tipos de tratamiento los mejores resultados obtenidos son del tratamiento con hidróxido de calcio. (Macías, 2014)



**Imagen 11:** Tratamiento con solución de hidróxido de calcio  
**Fuente y elaboración:** Macías A, 2014



**Imagen 12:** Tratamiento con silicato de sodio  
**Fuente:** Macías A, 2014  
**Elaboración:** Macías A, 2014

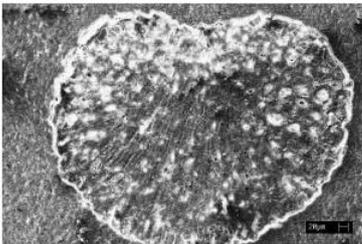
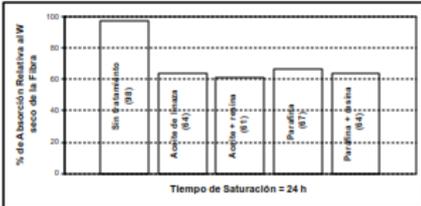
En otro trabajo también se utiliza el hidróxido de calcio como tratamiento para partículas de celulosa papel, este tratamiento consiste en hacer inerte a la fibra de celulosa mediante la

carbonatación de cal hidratada, según Bojórquez se requiere 10% de cal respecto al peso del material seco para mineralizar las fibras, la cal se aplica con un cernidor por varias capas para luego batir hasta formar una masa homogénea, seguidamente se coloca polietileno sobre repisas de hormigón para proteger la fibra de papel de contaminación. La mineralización de las partículas de celulosa con hidróxido de calcio se hace para evitar el ataque de los microorganismos a la materia orgánica. (Vargas, 2007)

## 2.8. Referentes de estudios de materiales compuestos reforzados con fibras vegetales

En los siguientes cuadros, se hace referencia a las investigaciones y trabajos realizados con fibras vegetales, como componente para la obtención de materiales para la construcción, además son referentes para este trabajo de experimentación aplicando métodos y tratamientos para el proceso elaboración del material compuesto.

**Cuadro 7:** Resumen de trabajo de investigación “Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo para materiales de construcción

<b>Referente: Revista Ingeniería de construcción Vol.19 N°2, Agosto del 2004</b>		
<b>Proyecto: Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción.</b>		
Descripción		
Elaboración material reforzada con fibra natural, aplicación de tratamientos químicos a la fibra de lechuguilla para garantizar su durabilidad y compatibilidad con la matriz del cemento.		
 <p>Fig. 2. Sección transversal de una fibra de lechuguilla.</p>	 <p>Fig. 9. Porcentaje de absorción de agua en fibras tratadas.</p>	 <p>Fig. 10. Ensayo a flexión para obtener el módulo de ruptura de especímenes de CRFN.</p>
<b>Metodología Experimental</b>	<b>Métodos de Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
<b>Caracterización de las fibras</b> Diámetro, longitud promedio, % de absorción de agua, densidad absoluta, porosidad y morfología de la fibra. <b>Tratamiento a la fibra previo al mezclado.</b> -Aceite de linaza. -Aceite de linaza +resina natural. -Parafina. -Parafina +resina natural. -Sellador de madera. -Creosota.	<b>Ensayos de Prueba Físico - Mecánicas</b> -Resistencia a la compresión. -Resistencia a la flexión. -Humedad. -Absorción.	-Las fibras de lechuguilla tienen significativas propiedades mecánicas. -El mejor tratamiento es la parafina por reducir su capacidad de absorción. -la fibra de la lechuguilla permite un comportamiento dúctil después del agrietamiento del concreto. -Las fibras largas en bajas cantidades permiten al concreto soportar mayores cargas a flexión.

**Fuente:** Revista ingeniería de la construcción, 2004

**Elaboración:** (Autor, 2016)

**Cuadro 8:** Resumen de trabajo de investigación “Estudio de materiales compuesto de cemento, papel reciclado, quitosano y fibra de sisal para la fabricación de calaminas y paneles utilizados en la construcción de viviendas económicas.”

<b>Referente: V congreso anual de ingeniería ASME USB 2006</b>		
<b>Proyecto:</b> Estudio de materiales compuestos de cemento, papel reciclado, quitosano y fibra de sisal para la fabricación de calaminas y paneles utilizados en la construcción de viviendas económicas.		
Descripción		
Estudio de las propiedades de las mezclas de cemento, fibras poliméricas de celulosa obtenidas partir del papel reciclado y las fibras de natural de sisal y del biopolímero quitosano.		
<b>Metodología Experimental</b>	<b>Métodos de Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
<p><b>Matriz:</b></p> <p>El cemento, la celulosa y el quitosano.</p> <p><b>Refuerzo:</b></p> <p>La fibra de sisal</p> <p>Las fases son insolubles pero se debe lograr una fuerte adhesión entre sus interfaces.</p> <p><b>Tratamiento de la fibra</b></p> <p>Se utilizó el 1% de quitosano disuelto en 100ml de solución de ácido acético.</p>	<p><b>Ensayos de Prueba</b></p> <p>-Ensayo a la flexión.</p> <p>-Ensayo a la biodegradación.</p> <p>-Ensayo a la densidad</p> <p>-Ensayo a la absorción de agua.</p>	<p>-la combinación de propiedades mecánicas corresponde a la mezcla de 55% de pasta de papel, y el 5% de quitosano representa el valor más alto de resistencia a la flexión.</p> <p>-disminución de la resistencia a la flexión al disminuir la longitud y aumento del contenido de la fibra.</p> <p>-El uso del quitosano evita el ataque de microorganismos, además evita la absorción de agua.</p>

**Fuente:** V congreso anual de ingeniería ASME USB 2006

**Elaboración:** Autor, 2016

**Cuadro 9:** Resumen de trabajo de investigación “Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre en la elaboración de material compuesto.”

<b>Referente: Luis Arturo Vargas Robles</b>		
<b>Proyecto:</b> Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre, en la elaboración de un material compuesto.		
Descripción		
Elaboración de un material compuesto mediante la experimentación de mezclas mediante la aplicación de método de Bojórquez.		
		
Metodología Experimental	Métodos de Ensayo	Resultados
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparación de la materia prima.</li> <li>2. Caracterización de la materia prima.</li> <li>3. Diseño de mezcla.</li> <li>4. Elaboración de muestras.</li> <li>5. Aplicación de pruebas</li> </ol> <p><b>Tratamiento de la fibra</b> Cal Hidratada</p>	<p><b>Ensayos de Prueba Físico - Mecánicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Densidad</li> <li>-Humedad</li> <li>-Absorción</li> <li>-Conductividad térmica</li> <li>-Compresión</li> <li>-Flexión</li> <li>-Compresión con saturación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La resistencia a la compresión se muestra un mayor aumento al incrementar contenido de cal.</li> <li>-la resistencia al flexión mostro un fallo inmediato con la aplicación de la fuerza.</li> <li>-A mayores proporciones de papel mayor humedad y absorción de agua.</li> <li>-A mayores proporciones de papel menor conductividad térmica por la relación directa de la densidad del material.</li> <li>-Una mayor proporción de cal o alumbre en la mezcla hacen que se eleve la resistencia a la compresión.</li> </ul>

**Fuente:** (Vargas, 2007)

**Elaboración:** (Autor, 2016)

En esta experimentación utilizan un proceso simple para la obtención de partículas de celulosa de papel, el cual será aplicado en esta investigación, el mismo que consiste en los siguientes pasos:

1. Separación de papel periódico
2. Fragmentación manual en piezas de .05x0.05m aproximadamente, seguidamente se coloca en remojo durante 3días.
3. Desfibrado y retiro de tintas del papel, mediante el uso de lavadora.
4. Filtración de pulpa y exprimido para retiro de exceso de agua.
5. Desmoronamiento del material (obtención de partículas de celulosa).
6. Mineralizado y secado de materia prima. (Vargas, 2007)

**Cuadro 10:** Resumen de trabajo “Investigación, desarrollo e innovación de los composites de fibras naturales aglutinados con cemento portland ordinario.”

<b>Referente: Ing. Aarón Macías Almazán</b>		
<b>Proyecto :</b> “Investigación, desarrollo e innovación de los composites de fibras naturales aglutinados con cemento portland ordinario”		
Descripción		
Elaboración de tableros aglomerados utilizando como materia prima el cemento y fibras del bagazo de caña de azúcar.		
		
<b>Metodología Experimental</b>	<b>Métodos de Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
<b>Tratamiento de la fibra</b> -Tratamiento con hidróxido de calcio o cal hidratada -Tratamiento para dar propiedades punzolanas a la fibra. <b>Diseño Experimental</b> -Estudio y combinación de variables -Preparación de mezclas	<b>Ensayos de Prueba Físico - Mecánicas</b> -Prueba Resistencia a la flexión. -Ensayo de Resistencia a la tracción.	-La combinación de 25:75 bagazo-cemento el mejor resultado fue con tratamiento $CaOH_2$ . -La combinación de 20:80 Bagazo-cemento es el mejor resultado con el tratamiento de silicato de sodio. -los mejores resultados que se obtuvieron fueron con el tratamiento de $CaOH_2$ .

**Fuente:** Macías, 2014

**Elaboración:** Autor, 2016

**Cuadro 11:** Resumen de trabajo de investigación “Elaboración de paneles ligeros a base de bagazo de caña de azúcar aglomerado con cemento.”

<b>Referente: Ing. Marco Antonio Cevallos Orbe</b>		
<b>Proyecto:</b> Elaboración de paneles ligeros a base de bagazo de caña de azúcar aglomerado con cemento portland.		
Descripción		
Análisis de diseño de mezclas considerando entre variables y la relación agua,-cemento(A/C), y fibra-cemento, además de las características físicas y mecánicas en el comportamiento del material.		
		
<b>Metodología Experimental</b>	<b>Métodos de Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
a).Caracterización de los componentes. b).Diseño del experimento, selección de variables. c).Determinación de las propiedades a evaluar el elemento. d).Proceso y análisis de resultados e).Determinación de la dosificación óptima para las propiedades requeridas. f).Análisis de durabilidad <b>Tratamiento de la fibra</b> Mineralización con Silicato de sodio	<b>Ensayos de Prueba Físico - Mecánicas</b> -Módulo de rotura por flexión -Propiedades físicas del compuesto -Durabilidad	-El uso de fibras de caña de azúcar como refuerzo, permite obtener materiales compuestos durables. -En las combinaciones que utiliza las relación de $a/c=0.40$ y $f/c=10\%$ se obtuvo las mejores características física y mecánicas. -el costo del panel de bagazo es menor a los que se ofrecen en el mercado.

**Fuente:** Cevallos, 2011, **Elaboración:** Autor, 2016

Sobre base de las investigaciones anteriores, para este trabajo se aplica para la experimentación:

- El proceso para obtención de partículas de celulosa de papel realizada por Vargas (2007)
- Mineralización de la celulosa de papel con Hidróxido de calcio realizada por Vargas (2007)
- Tratamiento de la fibra de Abacá con Hidróxido de calcio realizada por Macías (2014)

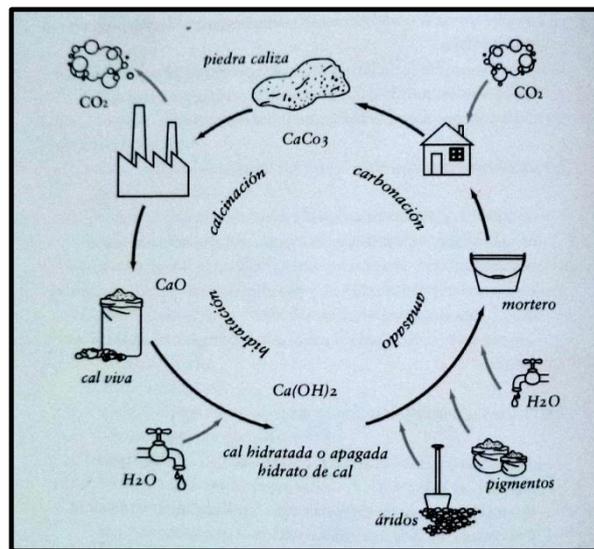
**CAPITULO III**  
**ESTUDIO DE COMPONENTES Y DESARROLLO DE EXPERIMENTACIÓN**

### 3.1. Componentes del material

La selección de la materia prima para realizar la experimentación y obtención del material compuesto, se fundamenta en el estudio, análisis y comportamiento de cada uno de los componentes. A continuación se describe los aspectos más importantes de la cal, yeso, cemento, aditivo, celulosa de papel y fibra de Abacá.

#### 3.1.1 Cal Hidratada o Hidróxido de calcio.

La cal (hidróxido de calcio o magnesio) es considerado como el endurecedor más empleado en la fabricación de morteros tradicionales desde la antigüedad. La cal es producto de un proceso denominado ciclo de la cal que va desde la obtención de la materia prima de la cantera hasta su puesta en obra (Imagen 13). La cal aérea o grasa es un óxido de calcio apagada con agua se convierte en hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , en este proceso hay un aumento de volumen y desprendimiento de calor (Goma, 1979).



**Imagen 13:** Proceso de la obtención de la cal hidratada  
**Fuente:** <https://www.google.com/search?q=PROCESO+CAL>, (2007)  
**Elaboración:** <https://www.google.com/search?q=PROCESO+CAL>, (2007)

#### Reacción química para la obtención de la cal



#### Reacción química Calcinación

consiste en calentar la piedra caliza en hornos.



Cuando la cal viva se pone en contacto con el agua se produce un fenómeno de hidratación, al reaccionar el agua con los óxidos se lleva a cabo una fuerte reacción exotérmica que genera una liberación de calor de 950KJ/kg y modifica el pH del agua de los poros de una

alcalinidad de 12.6. Además se produce un aumento de volumen al transformarse el óxido de calcio en hidróxido de calcio en un 90%. (Keyser, 1972)

El hidróxido de calcio o cal hidratada se obtiene al incorporar agua (H<sub>2</sub>O) a la cal viva (CaO)

**CaO+H<sub>2</sub>O=CaOH<sub>2</sub>** (Composición química del cal hidratada)

La cal hidratada (CaOH<sub>2</sub>) al adicionarle agua, físicamente inicia una reacción de endurecimiento, al ponerse en contacto con el anhídrido carbónico del aire para formar **CaCO<sub>3</sub>** (Taylor, 1978). Con la hidratación se da el proceso de fraguado que va de espesamiento del material a un endurecimiento lento esto se debe a una desecación por evaporización del agua, amasado y seguidamente a una carbonatación por absorción de anhídrido carbónico del aire.

La cal apagada o hidróxido de calcio es utilizada en la industria de la construcción en morteros para revoques, además en la elaboración de materiales de cemento y fibras vegetales. En el capítulo II se describe el tratamiento de la cal hidratada en compuestos de cemento con fibras vegetales, el medio alcalino del cemento al reaccionar con el agua destruye la fibra vegetal, la cal hidratada representa una alternativa para evitar el deterioro debido que al diluirse la cal en agua esta presenta característica sustancia alcalina lo que permite una incorporación de la fibra sin dañarla. Otra característica de la cal hidratada es que evita el ataque de microorganismos a la materia orgánica, en este caso a la fibra de celulosa de papel la hace inerte por el proceso de carbonatación además de proporcionarle cierta aspereza para un mejor adherencia con el aglomerante.

Por lo indicado anteriormente, se utilizó el hidróxido de calcio proveniente de la piedra caliza triturada, calcinada e hidratada, que es utilizada en la acuicultura para regulación de acidez del suelo y agua, en la agricultura en la regulación de acidez del suelo, en la industria azucarera para refinamiento de azúcar y finalmente en acabados para la construcción (Indami, 2016). En efecto por las bondades que ofrece la cal, en este trabajo se la utilizó para tratamientos de celulosa de papel y la fibra de Abacá.

### **3.1.2. Yeso.**

El uso del yeso se remonta desde la antigüedad en países de clima seco, Egipto, Grecia, Roma entre otros. La piedra de yeso o Aljez está en la naturaleza compuesta por sulfato cálcico dihidrato SO<sub>4</sub>Ca+2H<sub>2</sub>O, se lo obtiene mediante la deshidratación parcial de la roca. (Villarino, 2000) En estado natural el aljez, piedra de yeso o yeso crudo, contiene 79,07 % de sulfato de calcio anhidro y 20,93 % de agua y es considerado una roca sedimentaria, incolora

o blanca en estado puro, sin embargo, generalmente presenta impurezas (arcilla, óxido de hierro, sílice, caliza, vermiculita, etc.) que le confieren variadas coloraciones.

La calcinación de la piedra de yeso a diferentes temperaturas lo transforma en diversas fases y estados alotrópicos. El yeso comercial en polvo utilizado en la construcción es un aglomerante bajo la forma de hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ), el cual se obtiene deshidratando a temperaturas relativamente bajas ( $100\text{-}130^\circ\text{C}$ ) al sulfato de calcio dihidratado (Gomá, 1979). Con el agregado de agua recupera las moléculas perdidas durante el proceso de calentamiento y se vuelve a transformaren dihidrato, más poroso y menos denso que el original (González & Madariaga, 2005).



**Imagen 14:** Afloramiento de Aljez.

**Fuente:** Villareño, 2000

**Elaboración:** Villareño, 2000

El yeso es un material que se destaca por sus propiedades tales como: facilidad para moldear, es liviano; como aislante térmico y acústico es uno de los mejores; de fácil adherencia a materiales porosos y de fraguado rápido; resistente al fuego además de su bajo costo. Los principales factores para la calidad de los yesos se dan por las siguientes características: tiempo de utilización y fraguado, resistencias y expansión diferencial (Goma 1979).

- Tiempo de utilización y de fraguado

En la tabla 4, se especifican los tiempos de utilización para yesos blancos, hemihidratos y yesos que usan aditivos retardantes de fraguado .La medición de tiempo de fraguado en yesos blancos los valores de fraguado inicial oscilan entre 3 y 5 minutos y los de fraguado final de 7 y 11minutos. Los tiempos de fraguado admisible para cualquier tipo de yeso varían de un fraguado inicial de 2 y 18 minutos y un fraguado final de 6 y 90minutos.

**Tabla 4:** Tiempo de utilización y fraguado de yesos.

	Hemihidrato	Yeso blanco	Yeso con retardante	Yeso con retardantes y plastificantes
Duración en min.	3 a 5	5 a 7	7 a 12	hasta 60min

**Fuente:** Goma ,1979 , **Elaboración:** Goma ,1979

- Las Resistencias

Las resistencias del yeso hace referencia a la flexotracción teniendo en consideración el secado de probetas con una temperatura no superior a 45°C y una relación de agua/yeso de 0.80 determina los valores mínimos según los tipos de yeso en la tabla 5.

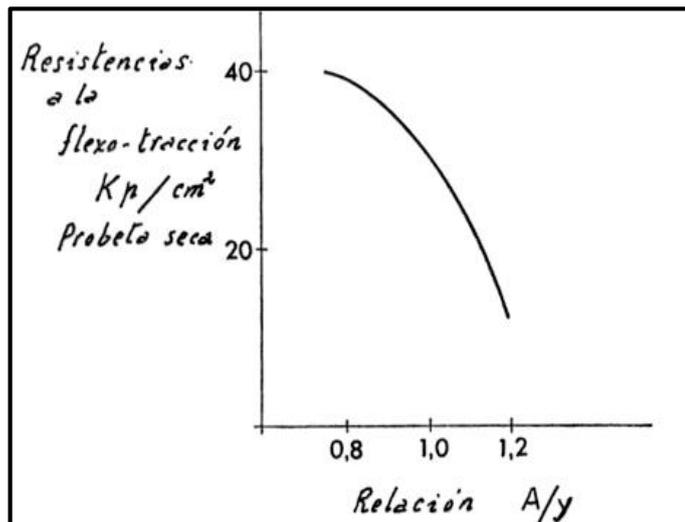
**Tabla 5:** Resistencias a la flexotracción de yesos.

Tipo de yeso	Resistencia a la flexotracción mínima en $kp/cm^2$	Empleo
Y-12	12	revestimientos toscos enrasillados
Y-20	20	revestimientos de acabado o blanqueos y prefabricados
Y-25 G	25	revestimientos de acabado o blanqueos y prefabricados
Y-25 F	30	revestimientos de acabado o blanqueos y prefabricados
E-30	30	revestimientos de acabado o blanqueos y prefabricados
E-35	35	moldeos

**Fuente:** Goma, 1979.

**Elaboración:** Goma, 1979

Los factores que determinan los valores de resistencia es el grado de humedad de muestras, la relación agua /yeso utilizado en la mezcla, cuyo valor no debe sobrepasar de 1, en este punto la resistencias se anulan y los yesos se deterioran progresivamente, en la Imagen 15 se deja entre ver las resistencia de los yesos en relación a la variable agua/yeso. (Goma, 1979) Las consideraciones anteriores dejan entre ver la importancia de la relación agua/ yeso para obtener la resistencia del material, mientras mayor sea la cantidad de agua más baja será la resistencia y si sobrepasa el rango de 1 las resistencias serán nulas.



**Imagen 15:** Influencia de relación agua/yeso en la resistencia a la flexotracción.

**Fuente:** Goma, 1979

**Elaboración:** Goma, 1979

- Expansión diferencial

Al mezclar el yeso con agua y seguidamente su endurecimiento se produce una variación de dimensiones transcurrido el tiempo de fraguado a este proceso se denomina expansión diferencial. Estas variaciones dependen del tipo de yeso, velocidad del secado, la relación agua yeso (A/Y) y las condiciones de mezclado. (Goma, 1979)

Goma F. (1979) manifiesta “la expansión normal del yeso debido a la hidratación cortos plazos de curado a 20°C y por humedad relativa del 50% oscila entre 1 a 1,6mm por cuando se ha empleado una relación A/Y=0,6”.

### Aplicaciones de los yesos.

El yeso es utilizado en la elaboración de morteros, molduras, estucos, elementos prefabricados (bloques de yeso, placas para tabiques, techos falsos, paneles, etc.). Los diferentes usos del yeso se rigen bajo normativas que debe cumplir, en las siguientes tablas se indica los requerimientos según normas de diferentes países.

**Tabla 6:** Requisitos de resistencia a la compresión según normas de diferentes países.

Norma	Designación del yeso	Resistencia a la compresión		Dimensiones de Probetas
Norma Oficial chilena NCh143.Of1999	Yeso calcinado	≥130Kgf/cm <sup>2</sup>		40x40x160mm(1)
Norma Europea EN13279-1:2008	Gypsum building plaster (B1)(2)	≥2.0N/mm <sup>2</sup> ≈ 20Kgf/cm <sup>2</sup>		40x40x160mm(1)
Norma Brasileña NBR 13207:1994(3)	Yeso para la construcción civil	>8.4 Mpa (≈84 Kgf/cm <sup>2</sup> )		50x50x50 mm
Norma Venezolana COVENIN 3638:2000(4)	Yeso para la construcción	≥10.342 Kpa (1500 lb/pulg <sup>2</sup> ) (≈105 Kgf/cm <sup>2</sup> )		2x2x2 in (50,8X50,8 X50,8 mm)
Norma Argentina IRAM 1607:70	Yeso cocido para revoques	Tipo A	Tipo B	70,70x70,7x 70,7mm
		≥ 80 daN/cm <sup>2</sup> (1 daN/cm <sup>2</sup> )	≥ 60daN/cm <sup>2</sup> ≈1Kgf/cm <sup>2</sup>	
El ensayo a la compresión se practica sobre el par de trozos remanente del ensayo a flexión. (2) Yeso de construcción (B1), AENOR (UNE-EN 13279-1,2009). (3) Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 13207,1994). (4) Fondo para la Normalización y Certificación de la calidad (COVENIN 3638,2000).				

**Fuente:** Revista de la construcción (2013).

**Elaboración:** Revista de la construcción (2013).

**Tabla 7:** Según ATEDY Normativa para yesos prefabricados.

<b>NORMA : UNE 102-010 Referencia Yesos prefabricados</b>	
<b>E-30(sulfato cálcico semihidratado: SO<sub>4</sub>Ca.½H<sub>2</sub>O)</b>	Resistencia Mecánica a flexo tracción mínimo =30Kgp/cm <sup>2</sup>
	Trabajabilidad (tiempo en pasar de estado plástico). <b>máximo en minutos=8</b>
	Trabajabilidad (duración en estado plástico). <b>mínimo en minutos =10</b>
	USOS: prefabricados techos y tabiques
<b>E-35(sulfato cálcico semihidratado: SO<sub>4</sub>Ca.½H<sub>2</sub>O) con una mayor pureza que la E-30 (mínimo de 92%)</b>	Resistencia Mecánica a flexotracción mínimo =35Kgp/cm <sup>2</sup>
	Trabajabilidad (tiempo en pasar de estado plástico). <b>máximo en minutos=8</b>
	Trabajabilidad (duración en estado plástico). <b>mínimo en minutos =10</b>
	USOS: prefabricados techos, bovedillas y paneles para tabiques

**Fuente:** Norma UNE 102-010

**Elaboración:** Autor, 2016

**Tabla 8:** Normativa Europea UNE EN 12859 para paneles de yeso.

<b>NORMA EUROPEA UNE EN 12859. Características y especificaciones para paneles de Yeso</b>	
<b>Espesor mínimo:</b>	50mm
<b>Espesor máximo:</b>	150mm
<b>Longitud máxima:</b>	1000mm
<b>Altura:</b>	Nota: las dimensiones preferentes son: espesor: 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 100 mm; longitud: 666 mm; altura: 500 mm. Los paneles usados para el doblado de muros, podrán tener un espesor inferior a 50 mm
<b>Determinada por la superficie total de un panel de 0.20m<sup>2</sup></b>	
<b>Densidad:</b>	Alta: 1100 ≤ d < 1500 Kg/m <sup>3</sup> , media: 800 ≤ d ≤ 1100 Kg/m <sup>3</sup> , baja: 600 ≤ d < 800 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Uniformidad en la masa:</b>	La desviación máxima de la masa de cada panel con respecto a la masa de Seis paneles, no será superior al 5%.
<b>Contenido en humedad:</b>	La humedad media de la muestra no será superior al 6% y ningún valor individual podrá superar el 8%
<b>Resistencia mecánica:</b>	30-35 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Dureza superficial:</b>	Expresa en unidades Shore C, medida durómetro y es la siguiente:
	Alta densidad: valor mínimo 80 unidades
	Media densidad: valor mínimo 55 unidades
	Baja densidad: valor mínimo 40 unidades
<b>Capacidad de Absorción de agua:</b>	En el caso de los paneles hidrofugados, la absorción de agua de un panel, será inferior al 5% del peso del panel cuando esté seco y a una temperatura constante.

**Fuente:** Norma UNE EN 12859

**Elaboración:** Autor, 2016

Por lo consideraciones anteriores, para este trabajo se utilizó un yeso blanco artesanal producto de la calcinación de aljerez o piedra de yeso, de granulometría gruesa que se utiliza en estucos y morteros para enlucir, estos yesos que tienen una resistencia a la flexotracción de 12-20Kg/cm<sup>2</sup>, el tiempo de fraguado de 5-7 minutos. Por otro lado en lo que respecta a la relación de agua/yeso fue de 0.6 valor que está dentro del rango de 1, además en las tablas 6,7 y8 detallan la normativa que deben cumplir los tipos de yeso, en este caso se considera lo datos de normativa para paneles de yeso cuyos resultados que se indican más adelante en los ensayos.

### 3.1.3. Cemento.

Según la norma UNE-EN 197-1 (2011) el cemento es “un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que, cuando es amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

El cemento utilizado para la elaboración de la matrices es de marca Holcim Rocafuerte, Portland Tipo IP que cumple la NTE INEN 490, es un cemento puzolánico de resistencia inicial o temprana de 13 MPa desarrollada a los tres días y de 18 MPa a los 28 días. Posee una densidad de 3050 Kg/m<sup>3</sup>. Los cementos punzolánicos se utilizan en prefabricados de hormigón como: bloques, bordillos, postes viguetas en la tabla 9 se especifica la composición química del cemento utilizado

**Tabla 9:** Composición química del Cemento Rocafuerte, Portland Tipo IP.

OXIDO	(%) PESO
(Óxido de calcio)CaO	63
(Silice-Dióxido de Silicio) SiO <sub>2</sub>	22
(Óxido de Aluminio) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
(Óxido Ferrico) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5
(Óxido de Magnesio) MgO	2.6
(Óxido de Sodio) K <sub>2</sub> O	0.6
(Óxido de Azufre) Na <sub>2</sub> O	0.3
(Trióxido de Azufre) SO <sub>3</sub>	2.0

**Fuente:** Cemento Rocafuerte

**Elaboración:** Autor, 2016

Para la experimentación del material compuesto se utiliza morteros de cemento que por lo general se componen de arena y cemento Portland, los mismo que alcanzan altas

resistencias, las condiciones de trabajabilidad son variables depende de las proporciones de cemento y agregados.

Dentro de la utilización del cemento como componente de materiales compuestos están las láminas planas de fibrocemento que según la Norma NTE INEN 2084 (1996) (Spanish): Láminas planas de fibro-cemento, que se definen y de deben cumplir con los siguientes aspectos:

- Las láminas planas de fibro-cemento deben estar compuestas de una combinación de cemento hidráulico, o un aglutinante de silicato de calcio con fibras orgánicas o fibras sintéticas inorgánicas. Dentro del proceso pueden añadirse rellenos y pigmentos que sean compatibles con el cemento reforzado con fibras.

- Las láminas planas comprendidas en esta norma se clasifican en dos tipos:

**Tipo A.** Láminas destinadas a aplicaciones externas donde puedan estar sujetas a la acción directa del sol y la lluvia. Las láminas planas están adicionalmente clasificadas en cinco categorías de acuerdo con su módulo de rotura. (Ver tabla 10)

**Tipo B.** Láminas que están destinadas a:

a) Aplicaciones internas,

b) aplicaciones externas donde no estén sujetas a la acción directa del sol y la lluvia.

Las láminas están también clasificadas en cinco categorías de acuerdo a su módulo de rotura. (Ver tabla 10)

**Tabla 10:** Módulo de rotura mínimo de láminas de fibro - cemento.

CATEGORÍA	RESISTENCIA EN HUMEDO	RESISTENCIA EN
	TIPO A	EQUILIBRIO TIPO B
	MPa	MPa
1	--	4
2	--	7
3	7	10
4	13	16
5	18	22

NOTA. Si el fabricante incluye la resistencia del producto en su información, deberá indicar claramente su estado, según el método especificado en la NTE INEN 2 080. Debe indicarse si los valores son medios o mínimos. Los deben basarse en los mismos procedimientos de muestreo e inspección como para clasificación de tabla 1.

**Fuente:** Norma NTE INEN 284.

**Elaboración:** Norma NTE INEN 284.

La clasificación de las láminas en función al uso, durabilidad y resistencia , permitirán dentro de esta investigación ubicar las muestras dentro de alguna categoría según resultados de ensayos de laboratorio

#### **3.1.4. Celulosa de Papel.**

La pasta de papel se compone de materia prima lignocelulósicos de origen forestal y agrícola, su principal componente es fibra de celulosa procedente de los árboles constituyendo el 50% del peso de la madera y corteza de los mismos. Las maderas utilizadas para la fabricación del papel proceden de dos tipos de madera:

- Madera de las coníferas que son blandas y de fácil manejo en este grupo están la picea y el pino, además estas presentan fibras largas con longitudes de 3 y 5mm con las que se fabrica papeles de alta resistencia mecánica, pero presentan una desventaja obteniendo un tipo de papel con superficies ásperas.
- Madera de frondosas es una madera dura, las más utilizadas son el eucalipto el abedul, el álamo o el haya, este tipo de madera presenta fibras cortas con longitudes de 0.75 y 2 mm de largo estas presentan superficie lisa.(Rodriguez,2006)

Por sus propiedades la pulpa de papel es aprovechada para la elaboración de materiales de fibrocemento, crea micro refuerzos que mejoran las propiedades y limitaciones del cemento. El concreto tiene baja resistencia a la tracción y fragilidad por ende, tiende a fisurarse, mediante la incorporación de celulosa de papel le aporta al cemento un refuerzo tridimensional. Este refuerzo evita la propagación del micro grietas y paralizan su expansión debido a la presencia de las fibras de celulosa que actúa como un soporte de la mezcla y funciona como millones de puentes que distribuyen uniformemente los esfuerzos internos de retracción, además aportan con resistencia a la flexión .(Fuentes, 2006)

#### **3.1.5. Fibra de Abacá.**

Para la investigación se propone la utilización de la fibra de Abacá como refuerzo de la matriz, a continuación se detalla las características y propiedades de esta fibra.

### 3.1.5.1 Generalidades.

El Abacá es conocida también como “Cáñamo de Manila “, pertenece a la familia de las Musáceas de las monocotiledóneas o plantas de fibra dura. El Abacá es pariente del banano por lo que presenta similitud morfológica. (Sánchez, 1990)

El Abacá es originario de Filipinas se cultiva desde el siglo XVI, esta especie es introducida en América Central y Sudamérica, en el Ecuador por sus condiciones climáticas existentes esta especie tuvo mayor acogida que en otros países, sin embargo, Filipinas aun es el mayor productor mundial de abacá, con aproximadamente el 80% de la producción mientras que en Ecuador ocupa el segundo puesto con el 17%.(Pontón & Guerrero, 2010)



**Imagen 16.** (A) Planta de Abacá.

**Fuente y elaboración:**

<http://www.abate.com><<https://goo.gl/ew6zis> 2011>

Según (Rodríguez, 2006) la planta se asemeja a la del platanero, pero con hojas más pequeñas y frutos no comestibles. Es una hierba con aspecto de árbol que crece por encima de los 6 m, con un tronco formado por la superposición de hojas. Las fibras se extraen de las capas superficiales de las envolturas de las hojas. La longitud de la fibra varía entre 2,5 y 12 mm y de 16 y 36  $\mu\text{m}$  (micra) de diámetro (Moore, 1996).

El cultivo y tiempo de cosecha de la fibra se da en un periodo de 18 o 24 meses luego de la plantación, el tiempo de cultivo debe hacerse cuando aparecen las primera flores en la inflorescencia, además el corte de los tallos debe hacerse cerca del suelo con un ángulo inclinado (Sánchez, 1995), la extracción de las fibras se inicia con el corte de las hojas, seguidamente el corte del tallo y separación de las capas para disponerlas en tirillas de 5 a 8cm de ancho. Las tirillas se pasan por la maquina desfibadora para finalmente ponerlas a secar al aire libre.



**Imagen 17:** Corte de hojas y tallo.  
**Fuente y elaboración:** Jadán, 2017



**Imagen 18.** Separación de capas del tallo y disposición en tirillas.  
**Fuente y elaboración:** <<https://goo.gl/ew6zis> 2011>



**Imagen 19:** Desfibrado del Abacá.  
**Fuente y elaboración:**  
 <<https://goo.gl/ew6zis> 2011>



**Imagen 20:** Secado de la fibra de Abacá.  
**Fuente y elaboración:**  
 <<https://goo.gl/ew6zis> 2011>

La calidad de la fibra depende de la ubicación de las capas en el tallo así, las de mayor calidad se encuentran en las capas internas que presentan un color habano claro y brillante, mientras que las fibras de baja calidad son las exteriores de color marrón negro, la producción de la fibra varía según el manejo y las condiciones ambientales, así la óptima producción de plantación tiene de 7 a 10 años, y la producción baja cuando la plantación tiene de 10 a 15 años. (Maiti, 1995)

La fibra de abacá por sus características como: fibra fuerte, tersa, rígida, ligera de peso, de color crema y resistente al agua salada se la utiliza en diferentes áreas como materia prima para realizar los siguientes productos:

- Fabricación de redes de pesca.
- En la industria del papel para la fabricación de papeles de bolsitas de té y de envolturas de embutidos.
- Como materia prima para la fabricación de papel de seguridad y de alta calidad, mediante la elaboración de papel moneda, pañales, servilletas, papel tisú, filtros para maquinaria, accesorios para hospitales (mandiles, gorras, guantes) y cables de conducción eléctrica, entre otros.(Rodriguez,2006)

Además a partir de las fibras de Abacá, en algunas investigaciones se han elaborado materiales para construcción que en conjunto con resinas y aglomerantes constituyen nuevas alternativas de materiales para la construcción,

### 3.1.5.2. *Abacá en el Ecuador.*

En el Ecuador el Abacá alcanza los 20 pies aproximadamente, existen variedades de Abacá las principales que se cultivan son: Bugalanón (tipo negro y rojo), Tangogón (tipo negro, rojo y meristemático). El Bugalanón se siembra en mayor cantidad presenta tallos pequeños y delgados, es considerada una especie precoz por su tamaño, el Tangogón tienen un tallo de mayor diámetro y longitud la fibra de esta especie es fuerte y resistente a plagas. (Leamath et al., 2000).

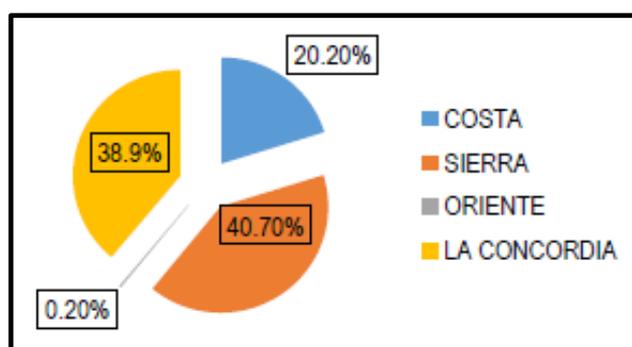
En la Tabla 11, se indica la composición química de la fibra de Abacá en sus variedades, dejando entre ver que el mayor contenido de celulosa lo posee la variedad de Bungalanón.

**Tabla 11:** Composición química de las principales fibras de Abacá en el Ecuador.

Variedad	Lignina (%)	+/-	Celulosa (%)	+/-
Bungalanón	9,93	0,48	74,03	0,82
Tangogón			68,58	1,84

**Fuente:** Bonilla y Guerrero, 2007 **Elaboración:** Bonilla y Guerrero, 2007

El Ecuador es el segundo país de mayor producción en el mundo, la fibra de abacá de mayor calidad es la del Bungalanón, esta variedad al envejecer disminuye la producción. Las exportaciones de la fibra se hacen en su estado natural por no existir tecnologías que permita ser industrializada. La fibra que se vende es muy resistente y se la utilizan para fabricar cordeles, papel, cables marinos, cuerdas par tuberías entre otras aplicaciones. (Bonilla 2012)



**Imagen 21:** Producción del Abacá en el Ecuador

**Fuente y elaboración:** Chang A. & Montero G. (2015)

El Abacá se cultiva en las provincias de Esmeraldas, Santo Domingo y Pichincha. La mayor producción dominante es Santo Domingo de los Tsachilas con un 36% y La Concordia con 39%, la menor producción se registra en área de la región costa. Las plantaciones de Abacá en el Ecuador registran un promedio de 14.831 hectáreas. (JUNOVICH, 2002)

En el trabajo de investigación : “Propiedades Mecánicas de compuestos Biodegradables elaborados a base de Acido Polilactico reforzado con fibras de Abaca”, utilizan el refuerzo de fibra de abaca del Ecuador de variedad Tangongón rojo de la zona de Santo Domingo de los Tsachilas, cuyas propiedades se describen en la tabla 12.

**Tabla 12:** Propiedades de la fibra de Abacá de variedad Tangongón rojo.

Propiedad	Valor
Finura	38,0
Densidad, (g/cm <sup>3</sup> )	1,3
Resistencia última a la tracción,(Mpa)	774,7-1261,30
Elongación antes de la ruptura,(%)	2,0-3,0

**Fuente:** Lima & Auras. 2008. **Elaboración:** Lima & Auras. 2008

### 3.1.6. Aditivos.

Los aditivos son materiales que se agregan en morteros y hormigones durante el proceso de mezclado para modificar sus propiedades. (NTE INEN 1762,2014) Los aditivos son sustancias o productos que al agregarse a morteros y hormigón durante el mezclado, no deben ser mayores al 5% del peso del cemento (salvo casos especiales). Estas sustancias modifican las propiedades de hormigones en estado físico y /o endurecido (Norma UNE 83-200-84)

#### Clasificación de Aditivos

La norma ASTM C-494. Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto, hace una clasificación según acciones que ejercen en combinaciones:

**Cuadro 12:** Clasificación de Aditivos.

CLASIFICACIÓN DE ADITIVOS	
TIPO	Características según actuación
A	Reductores de agua.
B	Retardantes del tiempo de fraguado.
C	Acelerantes.
<b>D</b>	<b>Reductores de agua y retardadores</b>
E	Reductores de agua y acelerantes.
F	Reductores de agua de alto rango.
G	Reductores de agua de alto rango y retardantes.

**Fuente:** ASTM C-494, **Elaboración:** Autor, 2016

Para el presente trabajo de investigación se utilizó un aditivo de tipo Plastificante, por las características que proporcionan este aditivo a pastas y hormigones. Según (Montoya P., Méseguer Á. & Morán, 2000) “Estos componentes permiten que el hormigón aumente su docilidad y trabajabilidad haciendo fácil su puesta en obra o bien reduciendo el agua de amasado en beneficio de su resistencia o de la dosificación del cemento”.

Existen dos tipos de plastificantes según la actuación que se describen a continuación:

- Actúa mecánica y físicamente.-producto cuyo componentes son polvos finos (diatomeas, bentonita, cales grasas o hidráulicas finas, cenizas volantes y puzolanas molidas).Estos componentes actúan en el cemento mejorando la trabajabilidad e impermeabilidad del hormigón, en el mismo sentido cuando el hormigón carece de finos o posee áridos de baja coeficiente de forma se vuelve altamente eficaz su utilización.
- Actúa en procesos físico-químico.-este tipo de plastificante son por lo general productos orgánicos de molécula larga, tenso activa que son utilizados en jabones de resinas y el lignosulfato sódico o cálcico(Montoya P., Méseguer Á. & Morán, 2000)

En la experimentación de este trabajo se empleara el sika Cem plastificante, aditivo de color pardo oscuro, súper plastificante para mezclas de concreto permite una reducción de agua de hasta 20% según la dosificación utilizada. Sika Cem Plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y tipo G.



**Imagen 22:** Aditivo Sika Cem

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

Según Hoja técnica de Sika Cem Plastificante es utilizado en “todo tipo de mezclas de concreto o mortero que requiera reducir agua, mejorar la trabajabilidad (fluidez del concreto) o ambos casos para lograr reducir costos de: mano de obra, materiales (cemento) y/o tiempo”.

Además presenta las siguientes características y ventajas:

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Mejores acabados
- Mayor adherencia al acero.
- Mejor trabajabilidad (fluidez) en el tiempo
- Permite reducir hasta el 20% del agua de la mezcla.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.
- Ayuda a reducir la formación de cangrejas.

### 3.2. Preparación de la materia prima

Previo al diseño de mezclas, se procedió a transformar el papel reciclado en partículas de celulosa de papel, mediante procedimiento utilizado por Vargas L. en su investigación “Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre, en la elaboración de un material compuesto” descrito en el capítulo II. Además para el tratamiento de fibra de Abacá se aplicó una disolución en hidróxido de calcio o conocida también como cal apagada ejecutado por Macías A. en su trabajo de “Investigación, desarrollo e innovación de composites de fibras naturales aglutinados con cement Portland ordinari” descrito en el capítulo II, el tratamiento de cal también fue recomendado por el Dr. Francisco Hernández Olivares Prometeo de la Universidad Técnica particular de Loja durante el 2014-2016.

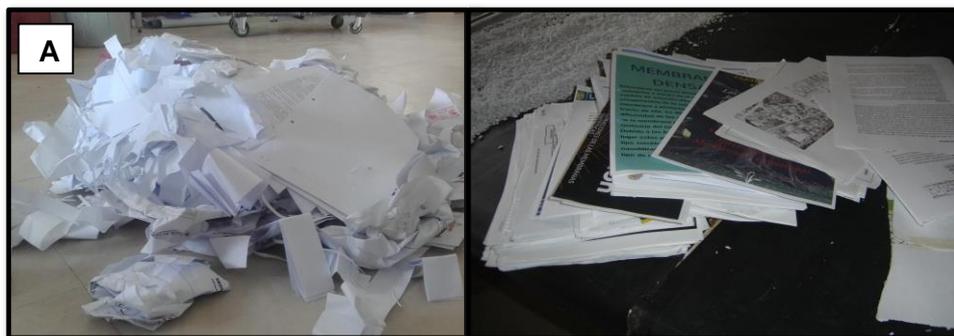
A continuación se describen los procesos desarrollados en esta investigación.

#### 3.2.1. Obtención de celulosa de papel reciclado.

Las partículas de celulosa se obtuvieron del papel reciclado, a continuación se describe el proceso realizado:

##### 3.2.1.1. Preparación del papel reciclado previo al desfibrado.

**Etapa 1:** Adquisición de láminas de papel boom formato A1 y A4 impresos en las dos caras, se los obtuvo en oficina de impresión de planos Serviploter(A).



**Imagen 23:** Materia prima hojas de papel A1 y A4 impresas.

**Fuente:** Elaboración Autor, 2016 62

## Etapa 2:

Los papeles reciclados se llevaron al laboratorio de Arquitectura para seleccionar y agruparlos (B), seguidamente se siguieron los siguientes pasos:

- Peso y fragmentación del papel reciclado(C) y (D).- se procedió a pesar en una balanza digital 3000gr de papel, seguidamente se pica el papel en pedazos de 0.05x0.05m aproximadamente y luego se los sumergió en un balde con agua, para dejarlo en remojo durante 3 días.



**Imagen 24:** (B) y (C) selección y peso de papel, (D) picado de papel, (E) remojo de papel  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016

Durante los tres días que se dejó el papel sumergido en el agua (E), se procedió a batir a mano el papel en remojo dos veces por día, así también se reemplazó del agua con residuos de tinta por agua limpia una vez por día, este procedimiento se lo realizó con la finalidad de retirar la mayor cantidad de tinta y químicos del papel.

### **3.2.1.2. Desfibrado de papel y filtrado de pulpa.**

Para el desfibrado del papel y filtrado de pulpa se utilizó herramientas como: licuadora, balanza digital, cernidor metálico, fundas de tela de lienzo y guantes(A).

Las fibras de papel suspendidas en un medio acuoso se conocen como pulpa, las mismas que fueron licuadas durante un periodo de 5 minutos hasta obtener una mezcla homogénea para luego colocarlo en una tina (F). Posteriormente se procedió a colocar la pulpa licuada en un filtro (funda tela de lienzo) (G), exprimiendo para retirar el exceso de agua (H).



**Herramientas:**

- Licuadora
- Cernidor metálico
- fundas de tela de lienzo
- Balanza digital
- Guantes

**Imagen 25:** Herramientas para obtener la celulosa de papel (partículas).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016



**Imagen 26:** Licuado de pulpa y colocación en tina.  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016



**Imagen 27:** Filtrado de pulpa (G).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016



**Imagen 28:** Exprimido de pulpa (H).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016

### 3.2.1.3. *Desmenuzado.*

Exprimida la pulpa, seguidamente se procedió a desmoronar con las manos el material, para finalmente obtener la fibra en forma de partículas dejándolas de la menor dimensión posible (I).



**Imagen 29:** Desmenuzado de material (partículas de celulosa de papel).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016.

### 3.2.1.4. *Proceso de Mineralización.*

Obtenidas las partículas de celulosa de papel, se realizó la mineralización de la celulosa para lo cual se procedió a la aplicación de cal hidratada cernida y expandida sobre las partículas en varias capas (J), para luego mezclarla manualmente (K) hasta lograr que todas las partículas de celulosa queden impregnadas homogéneamente, la cantidad de cal 300gr (10% del peso del papel seco).



**Imagen 30:** Aplicación de cal hidratada sobre partículas de celulosa (J), Mezclado de cal y partículas de celulosa (K).

**Fuente:**Elaboración Autor, 2016

### 3.2.1.5. *Secado de las partículas de celulosa de papel.*

Realizada la mineralización de la fibra se procedió a colocarlas sobre una lona expandiéndola para que seque bajo cubierta durante 15 días (L).



**Imagen 31:** Secado de las partículas de celulosa (L).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2016

### 3.2.2. **Control de humedad de la celulosa de papel.**

Para contar con datos de peso y secado de las partículas de celulosa, se realizó un control de humedad de las partículas mediante el control del peso, para esto se tomó una muestra de 500gr pesando cada 3 días las partículas, los valores que se obtuvieron se detallan en la Tabla 13.

De los resultados obtenidos se pudo determinar que a partir del día 10 la variación del peso en las partículas es mínima, por lo tanto la celulosa de papel está completamente seca y las variaciones en los siguientes días se debieron a la humedad ambiental. Las condiciones climáticas en los días que se realizó el secado de las partículas fueron durante el mes de mayo con una temperatura de 17 a 20 °C.

**Tabla 13:** Control de humedad de la celulosa de papel.

<i>Día</i>	<i>Peso (gramos)</i>
<b>Viernes (1)</b>	<b>500</b>
<b>Lunes(3)</b>	<b>335</b>
<b>Jueves(6)</b>	<b>234</b>
<b>Lunes(10)</b>	<b>224</b>
<b>Jueves(12)</b>	<b>226</b>
<b>Viernes(15)</b>	<b>225</b>

**Fuentes:** Elaboración Autor, 2016

### 3.2.3. Control de calidad de agua del papel en remojo.

Para extraer las tintas y otros químicos presentes en el papel se puso en remojo el papel durante tres días. Cada día se procedió a batir dos veces manualmente además se cambió el agua contaminada por agua limpia, durante el proceso se pudo observar los grados de turbiedad en el agua durante los tres días.



**Imagen 32:** Turbiedad de agua del día 1.

**Fuente:** Elaboración Autor, 2016



**Imagen 33:** Turbiedad de agua del día 2.

**Fuente:**Elaboración Autor, 2016



**Imagen 34:** Turbiedad de agua del día 3.

**Fuente:**Elaboración Autor, 2016

#### **3.2.4. Análisis de lixiviación.**

El procedimiento para eliminar la mayor cantidad de tintas y sustancias en el papel reciclado, se realizó acorde al trabajo de titulación de Cesar Prado, en donde el análisis de lixiviación o análisis de metales pesados presentes agua residual de celulosa fueron analizados por la empresa Gruentec, dando como resultado para el plomo es  $< 0,001\text{mg/l}$  y para el mercurio es  $< 0,002\text{mg/l}$ . Valores por debajo de los límites de exposición permisibles.

De los estudios de lixiviación se concluyó que cumple la norma OSHA (Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional) los límites de exposición permisibles de contaminantes químicos, de plomo y mercurio deben ser  $< 0,05\text{mg/l}$  y  $< 0,025\text{mg/l}$  respectivamente.



**Imagen 35:** Muestra de Análisis de Lixiviación.

**Fuente:** Prado ,2015

**Elaboración:** Prado ,2015

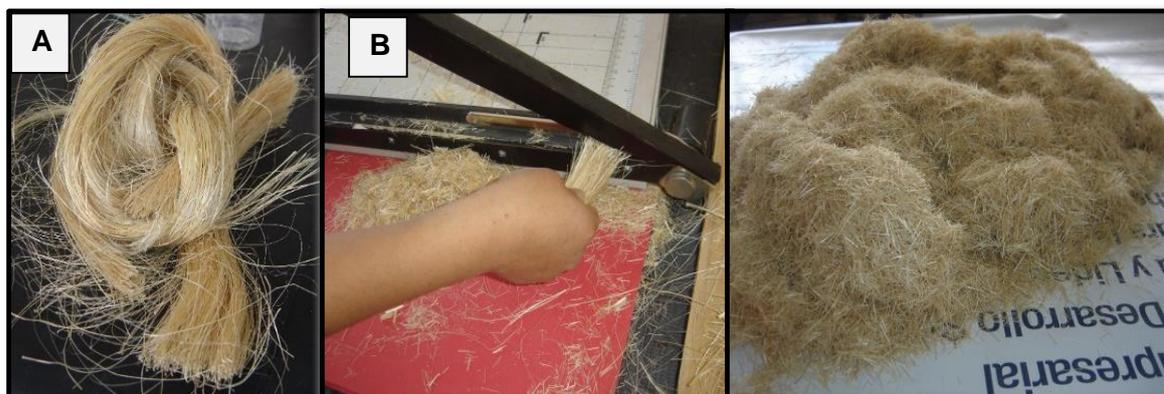
#### **3.2.5. Tratamiento de la Fibra de Abacá.**

El tratamiento de la fibra de abacá se realizó con una disolución de hidróxido de calcio aplicado por Macías A. Este tipo de tratamiento además ha sido recomendado por el Dr. Francisco Hernández, la fibra de Abacá utilizada en esta investigación fue traída de Santo

Domingo de los Tsáchilas de la variedad Tangongón Rojo considerada una especie fuerte y resistente a las plagas, a continuación se describe el proceso realizado.

### 3.2.5.1. *Corte de la fibra de Abacá.*

En esta etapa se procedió a cortar la fibra de abacá, utilizando una guillotina con una longitud de 25 mm aproximadamente (B), para posteriormente sumergirla en la solución de hidróxido de calcio. El tamaño de la fibra de 25mm se realizó bajo parámetros de similitud con la fibra de yute (yute reforzado con fibra de materiales compuestos de cemento, Capítulo II).



**Imagen 36:** Abacá en estado natural (A), Corte de fibras de Abacá 25mm (B).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016

### 3.2.5.2. *Preparación de la solución de Hidróxido de calcio.*

En un recipiente con 14.000gr de agua se disolvió 1400gr de cal que corresponde el 10% del peso del agua, seguidamente se dejó en reposo durante 3 días (C).



**Imagen 37:** Preparación de solución de Hidróxido de calcio (C).  
**Fuente:**Elaboración Autor, 2016

### 3.2.5.3. *Sumersión de la fibra en el hidróxido de calcio y secado de la fibra*

Transcurrido los tres días de haber dejado en reposo la disolución de hidróxido de calcio, se sumergió las fibras de abacá durante un día realizando movimientos cada 4 horas para lograr mayor penetración de la solución de hidróxido de calcio en las fibras (D). Posteriormente de haber sumergido las fibras en hidróxido de calcio se enjuaga con abundante agua para quitar las impurezas y exceso de cal, luego se dejó a secar la fibra a la intemperie (E) y mediante el control de peso se determinó el tiempo de secado fue el día 5.



**Imagen 38:** Sumersión y reposo de la fibra en solución de Hidróxido de calcio (D).

**Fuente:**Elaboración Autor, 2016



**Imagen 39:** Secado de la fibra de Abacá.

**Fuente:**Elaboración Autor, 2016

## 3.4. **Diseño de Mezclas**

Para la obtención de las dosificaciones de muestras se siguió un proceso de observación y análisis del comportamiento de los componentes del material.

Según (Cottier, 1995) las mezclas de concreto o “Diseño de mezclas”, es un proceso que consiste en la selección de los ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas para producir, tan económicamente sea posible, concreto con el grado requerido de manejabilidad que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volúmen y apariencias adecuadas.

Por lo tanto, a continuación se describe las experimentaciones previas a la obtención de dosificaciones óptimas para elaborar probetas para ensayos.

### 3.4.1. Diseño experimental previo a la obtención de dosificaciones definitivas.

En la experimentación previa a la obtención de dosificaciones se tomó como guía criterios y conceptos que a continuación se describen (Ver capítulos I y Capítulo II):

- El modelo de multitabla de Bojórquez que hace referencia a las relaciones entre variables para obtener un compuesto con características de homogeneidad, trabajabilidad, resistencia y baja densidad.
- Consideraciones para diseño previo de materiales compuestos de Matthews et al (2000).
- Criterios de morteros y pastas, relaciones agua/cemento, agua/ yeso.
- Estudio de fibras vegetales además de trabajos de investigaciones descrito en capítulo II.
- Normativas: Ecuatoriana, Chilena, Española.

#### Experimentación # 1:

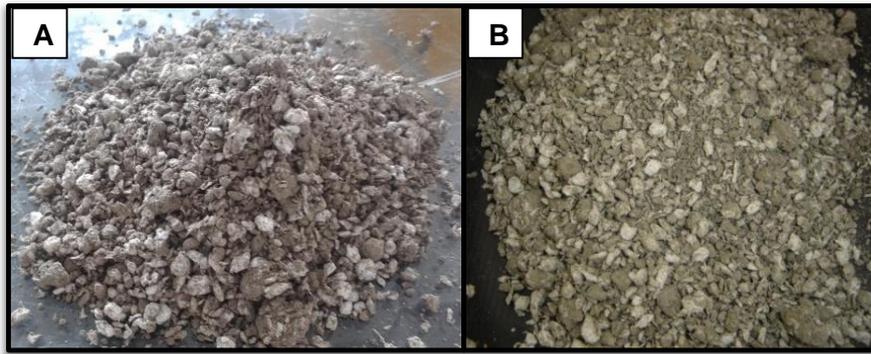
En la primera experimentación se consideró la trabajabilidad del compuesto, así mediante las relaciones entre variables se pudo observar la fluidez y consistencia de la mezcla al aumentar o disminuir las proporciones de los componentes en la Tabla 14 se detalla los resultados:

**Tabla 14:** Resultados de la experimentación #1.

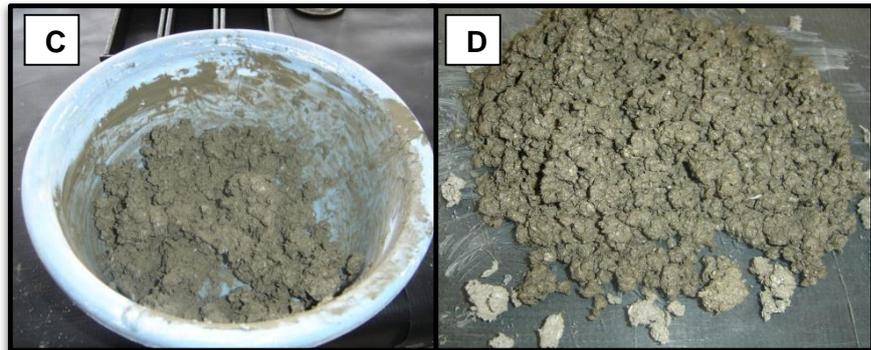
Experimentación de mezclas # 1					
Muestra	Cemento(CM)	R:CP/CM	R: Ag/CM	% CP	Resultados
M1	1	1	0,8	100	* Mezcla no trabajable
M2	1	0,5	0,8	50	* Mezcla no trabajable
M3	1	0,4	0,7	40	* Mezcla no trabajable
M4	1	0,3	0,7	30	◇ Mezcla poco trabajable
M5	1	0,2	0,5	25	● Mezcla trabajable
* Mezcla seca con fibras de papel dispersas que no forman una masa compacta. ◇ Mezcla seca compacta un poco trabajable ● Mezcla un poco seca compacta que se puede moldear.					

NOTA: Se denomina CP/CM a la relación celulosa de papel –cemento, Ag/CM a la relación agua-cemento y %CP al porcentaje de celulosa de papel.

Fuente: Elaboración Autor, 2016



**Imagen 40:** Muestras M1 (A), muestra M2 (B).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016



**Figura 41:** Muestras M3 (C), muestra M4 (D).  
**Fuente:**Elaboración Autor, 2016



**Imagen 42:** Muestra M5 (E).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016

Realizadas las dosificaciones de las muestras en la experimentación # 1 se pudo observar los siguientes aspectos:

- Las proporciones de cemento son constantes en todas las mezclas y los componentes de celulosas de papel y agua están en función del cemento.
- Variante de proporción de celulosa de papel en seco con rangos de 100, 50, 40,30 y 20%.
- Variante de la relación Agua-Cemento (Ag/Cm) en función de trabajabilidad.

- Las partículas de celulosa agregadas fueron secas, se pudo observar que absorbieron parte del agua de la pasta, además una ineficiente cohesión entre partícula y pasta.

## Experimentación #2

Con los resultados de la experimentación #1, se tomó los siguientes aspectos para la experimentación #2 y experimentación #3:

- El volumen de celulosa de papel menor a 25%.
- La relación Ag/CM de 0.5, además para el yeso la relación de Ag/YS de 0,6.
- La saturación en agua de la fibra de celulosa de papel para mejor adherencia y evitar absorción de parte del agua de la pasta.
- Utilización de aditivo plastificante y reductor de agua Sika Cem del 1.5% en relación al peso del cemento.

La saturación de las partículas de celulosa en agua garantiza una mejor cohesión entre partículas y pasta de cemento, la desventaja es el incremento de agua en la mezcla que está relacionada con la resistencia final del compuesto. Después de las observaciones anteriores se hizo necesaria la utilización de aditivo reductor de agua para que este incremento de agua no afecte en la resistencia, en la tabla 15 se estima el porcentaje de absorción de agua en las partículas.

**Tabla 15:** Absorción de agua de las fibras de celulosa de papel.

Muestra	Celulosa Seca(gr)	Celulosa Saturada(gr)	Absorción (gr)	Absorción (%)	Absorción Promedio (%)
M1	80	200	120	60	<b>58.80</b>
M2	70	185	115	62	
M3	65	170	105	62	
M4	50	125	75	60	
M5	40	90	50	56	
M6	35	75	40	53	

**Fuente:** Autor, 2016

**Elaboración:** Autor, 2016

Hechas las observaciones anteriores en la tabla 16 y tabla 17 se detallan los resultados que definirán las proporciones más idóneas para las pruebas de ensayo.

**Tabla 16:** Resultados de la experimentaciones #2

Exérimentacion de mezclas # 2						
Muestra	Cemento(CM)	R:CP/CM	R: Ag/CM	% CP	%AD	Resultados
M1	1	0,2	0,5	20	2	Mezcla trabajable
M2	1	0,18	0,5	18	2	Mezcla trabajable
M3	1	0,14	0,5	14	2	Mezcla trabajable
M4	1	0,1	0,5	10	2	Mezcla trabajable
M5	1	0,06	0,5	6	2	Mezcla trabajable

En la muestras **M1** y **M2** las mezclas son trabajables, sin embargo las proporciones de celulosa de papel del 20 y 18% dificulta la consistencia de la masa.

En las muestras **M8,M9** y **M10** las mezclas son trabajables presentando una buena consistencia y cohesividad.

**Fuente:** Autor, 2016

**Elaboración:** Autor, 2016

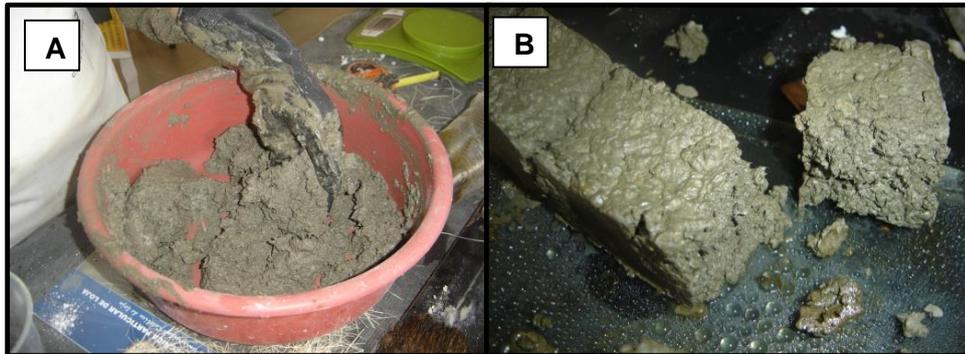
**Tabla 17:** Resultados de la experimentaciones # 3

Exérimentacion de mezclas # 3						
Muestra	Yeso(YS)	R:CP/YS	R: Ag/YS	% CP	%AD	Resultados
M6	1	0,2	0,6	20		Mezcla trabajable
M7	1	0,18	0,6	18		Mezcla trabajable
M8	1	0,14	0,6	14		Mezcla trabajable
M9	1	0,1	0,6	10		Mezcla trabajable
M10	1	0,06	0,6	6		Mezcla trabajable

En la muestras **M6** y **M7** las mezclas son trabajables, sin embargo las proporciones de celulosa de papel del 20 y 18% dificulta la consistencia de la masa.

En las muestras **M8,M9** y **M10** las mezclas son trabajables presentando una buena consistencia y cohesividad.

**Fuente:** Elaboración autor, 2016



**Imagen 43:** Muestra M1 (A), muestra M2 (B).

**Fuente:**Elaboración Autor, 2016



**Imagen 44:** Muestra M3.

**Fuente:** Elaboración Autor, 2016



**Imagen 45:** Muestra M4.  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016



**Imagen 46:** Muestra M5.  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2016

### 3.4.2. Diseño de dosificaciones para elaboración de muestras definitivas.

De las experimentaciones anteriores se tomó las muestras M3, M4 y M5 que corresponden a las muestras de cemento y M8, M9 y M10 correspondientes a las muestras de yeso, siendo las más idóneas por la trabajabilidad de la mezcla y por los porcentajes de la celulosa de papel que determinan la densidad del material compuesto. Con estas muestras se estableció un **GRUPO A** que constituye la matriz del compuesto tanto para aglomerado de cemento y yeso que no contiene fibra de Abacá. El **GRUPO B** formado por la matriz del grupo A y el refuerzo de la fibra de Abacá, a continuación se describen los componentes, variables de cada grupo y la nomenclatura utilizada:

#### **Grupo A: Cemento**

- Aglomerante de Cemento (CM).
- Celulosa de Papel (CP).
- Agua (Ag).

#### **GRUPO A-MATRIZ: Cemento (CM) + Celulosa de Papel (CP) + Agua (Ag) + Aditivo (AD)**

Variable 1: Agua / Cemento (Ag/Cm)

Variable 2: Celulosa de Papel / Cemento (CP/CM)

### **Grupo A: Yeso**

- Aglomerante de Yeso (YS).
- Celulosa de Papel (CP).
- Agua (Ag).

**GRUPO A -MATRIZ: Yeso (YS) + Celulosa de Papel (CP) + Agua (Ag)**

**Variable 1:** Agua / Yeso (A/YS).

**Variable 2:** Celulosa de papel / Yeso (CP/YS).

**El GRUPO B** es la fase de refuerzo en este se adicionó a las matrices la fibra de Abacá de longitud de 25mm en 1.5% en relación con el cemento y yeso.

### **GRUPO B: Matriz + Refuerzo**

Cemento (CM) + Celulosa de Papel (CP) + Agua (Ag) + Aditivo (AD) + **Fibra de Abacá (FA)**  
Yeso (YS) + Celulosa de Papel (CP) + Agua (Ag) + **Fibra de Abacá (FA)**

Definidas la matriz y matriz + refuerzo, las dosificaciones para la elaboración de muestras quedaron constituidas 12 muestras agrupadas de la siguiente manera:

- Las 6 muestras con aglomerante de cemento, de las cuales 3 no contienen fibra de Abacá y 3 contienen fibra de Abacá.
- Las 6 muestras con aglomerante de yeso, de las cuales 3 no contienen fibra de Abacá y 3 contienen fibra de Abacá.

A continuación en la tabla 18 y tabla 19 se detallan las proporciones y dosificaciones de las 12 muestras. La nomenclatura utilizada para las muestras está en función al tipo de aglomerante, así para muestras de cemento se utilizó CM-T (tipo de dosificación) y para las muestras con aglomerante de yeso se utilizó YS-T (tipo de dosificación).

**Tabla 18:** Dosificaciones de muestras con aglomerante de Cemento.

Grupo A: Dosificaciones con aglomerante de Cemento y Celulosa de papel										
Muestra	Dosificación	CM(gr)	CP(gr)	Ag(gr)	AD(gr)	FA(gr)	R:Ag/CM	CP (%)	AD (%)	FA (%)
CM-T1	1: 0.14	600	80	240	12		0,4	14	2	
CM-T2	1: 0.10	660	65	260	13		0,4	10	2	
CM-T3	1: 0.06	700	45	300	14		0,4	6	2	
Grupo B: Dosificaciones con aglomerante de Cemento, Celulosa de papel y fibra de Abacá										
CM-T4	1:0.14 : 0.015	600	80	240	12	9	0,4	14	2	1,5
CM-T5	1:0.10 : 0.015	660	65	260	13	10	0,4	10	2	1,5
CM-T6	1:0.06 : 0.015	700	45	300	14	11	0,4	6	2	1,5

Fuente: Autor, 2016

Elaboración: Autor, 2016

**Tabla 19:** Dosificaciones con aglomerante de Yeso.

Grupo A: Dosificaciones con aglomerante de Yeso y Celulosa de papel									
Muestra	Dosificación	YS(gr)	CP(gr)	Ag(gr)	FA(gr)	R:Ag/YS	CP (%)	FA (%)	
YS-T1	1: 0.14	560	80	360		0,6	14		
YS-T2	1: 0.10	600	65	400		0,6	10		
YS-T3	1: 0.06	640	45	410		0,6	6		
Grupo B. Dosificaciones con aglomerante de Yeso , Celulosa de papel y fibra de Abacá									
YS-T4	1:0.14: 0.015	560	80	360	9	0,6	14		1,5
YS-T5	1:0.10: 0.015	600	65	400	10	0,6	10		1,5
YS-T6	1:0.06: 0.015	640	45	410	11	0,6	6		1,5

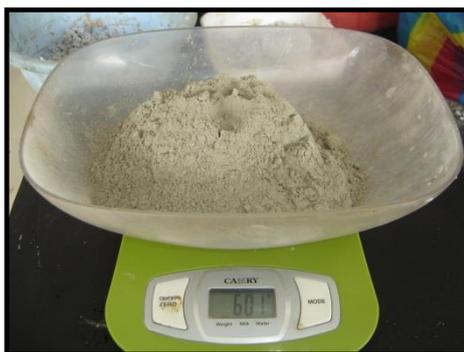
Fuente: Elaboración Autor, 2016

### 3.5. Elaboración de muestras para ensayos de laboratorio

Para la elaboración de las probetas para los ensayos se siguieron los siguientes pasos:

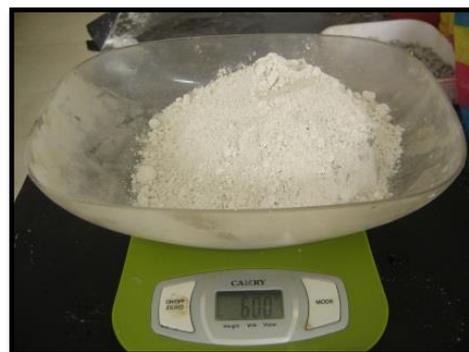
#### 3.5.1. Peso de componentes para muestras.

- Cemento /Yeso (Imagen 47, Imagen 48).
- Celulosa de papel (Imagen 49).
- Fibra de Abacá (Imagen 50).
- Agua (Imagen 51).
- Aditivo (Imagen 52).



**Imagen 47:** Peso del Cemento

Fuente: Elaboración Autor, 2017



**Imagen 48:** Peso del Yeso

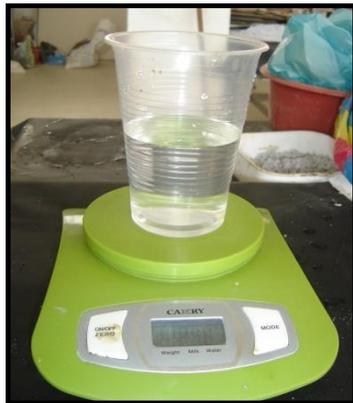
Fuente: Elaboración Autor, 2017



**Imagen 49:** Peso de la celulosa de papel  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 50:** Peso de la fibra de Abacá  
**Fuente:**Elaboración Autor, 2017



**Imagen 51:** Peso del Agua  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 52:** Peso de Aditivo  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

### 3.5.2. Preparación de moldes.

Se utilizó moldes bajo norma ASTM C 1185 para paneles fibrocemento sin asbesto con las siguientes dimensiones según norma:

- Ancho  $6 \pm 1/16$  plg ( $152 \pm 1.6$  mm).
- Largo  $12 \pm 1/16$  plg ( $305 \pm 1.6$ mm).
- El espesor a discreción del fabricante, sin embargo se consideró los de  $1/2$  plg (13mm) espesor requerido para tableros aislantes de fibras celulósicas según norma ASTM C208 (1995).

Con referencia a lo anterior, las dimensiones de los moldes utilizados fueron adaptadas a valores aproximados de  $300 \times 150 \times 12.7$ mm. Estos moldes se utilizaron para elaboración de muestras para las siguientes pruebas:

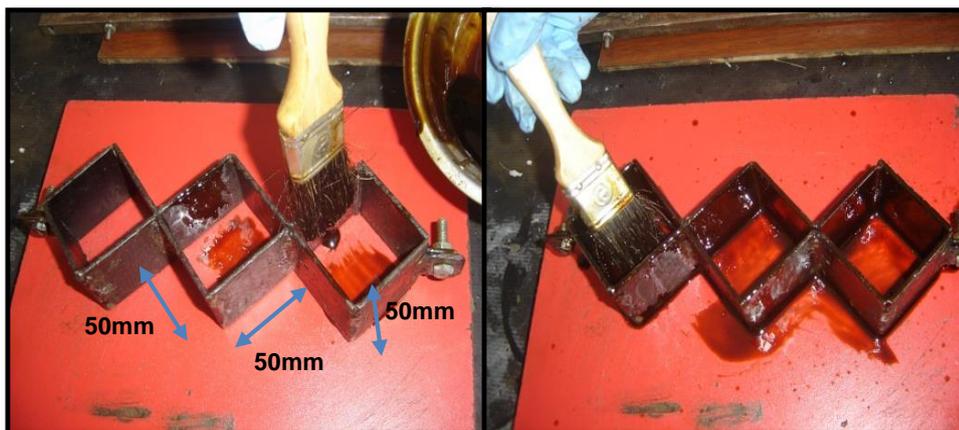
- Pruebas mecánicas: flexión.
- Pruebas físicas: densidad, conductividad térmica, prueba al fuego.

La preparación de los moldes se hizo mediante la impregnación de aceite en las áreas del molde y de la base soporte antes del vaciado de mezcla. (Imagen 53)



**Imagen 53:** impregnación con aceite a moldes (muestras para pruebas a flexión).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

Para los ensayos a compresión se utilizó moldes bajo la norma ecuatoriana NTE INEN 0488 (2009) (Spanish): Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista, además se los utilizo para las pruebas físicas de contenido de humedad y de absorción.



**Imagen 54:** Impregnación con aceite a moldes (muestras para pruebas a compresión).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

### 3.5.3. Elaboración de mezclas definitivas.

El método para la elaboración de mezclas se determinó por las características de los componentes y la manera de hacer las combinaciones para obtener materiales compuestos (Mattews et al 2000). El orden de incorporación de componentes de la mezcla se realizó de la siguiente manera:

### 3.5.3.1. *Elaboración de muestras del Grupo A, matriz de cemento sin fibra de Abacá y matriz de yeso sin fibra de Abacá.*

En la matriz de cemento del grupo A, se procedió a agregar en un recipiente una proporción de cemento y agua, la relación Ag/CM utilizada es de 0.5 que se la obtiene en conjunto con el aditivo, es decir el agua en relación al cemento de 0,4 y 0,1 de aditivo. (Imagen 55 y 56)



**Imagen 55:** Elaboración de la pasta de cemento.

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 56:** Incorporación de aditivo a pasta de cemento.

**Fuente:**Elaboración Autor, 2017

En lo que respecta a la matriz de yeso del grupo A, se agregó en un recipiente una proporción de yeso seguidamente el agua, la relación agua/yeso empleada es de 0.6 en esta matriz no se utilizó ningún tipo de aditivo. (Imagen 57)



**Imagen 57:** Elaboración de pasta de yeso.

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

### 3.5.3.1.1. *Incorporación de la celulosa de papel en pastas de cemento y yeso del grupo A.*

Previo a agregar las partículas de celulosa en las pastas de cemento y yeso, se las colocó en remojo durante 5 minutos. Realizada la pasta de cemento se incorporó las partículas de celulosa a esta, seguidamente se procedió a batir manualmente la mezcla durante 2 minutos aproximadamente hasta lograr una mezcla homogénea. (Imagen 58 y 59)



**Imagen 58:** Incorporación de la celulosa de papel en pasta de cemento.  
**Fuente:**Elaboración Autor, 2017



**Imagen 59:** Batido de pasta de cemento con partículas de celulosa de papel.  
**Fuente:**Elaboración Autor, 2017

Realizada la pasta de yeso se incorporó las partículas de celulosa a esta, seguidamente se procedió a batir manualmente la mezcla durante 60 segundos aproximadamente hasta lograr una mezcla homogénea. (Imagen 60)



**Imagen 60:** Batido de pasta de yeso con partículas de celulosa de papel.  
**Fuente:**Elaboración Autor, 2017

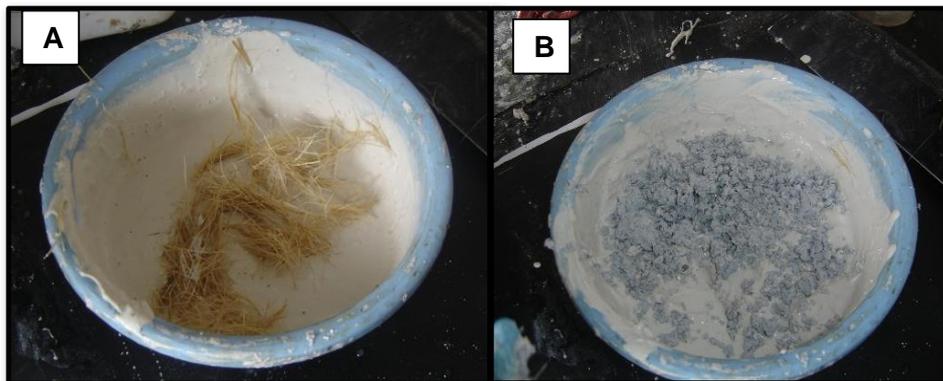
### 3.5.3.2. *Elaboración de muestras del Grupo B, matriz de cemento con fibra de Abacá y matriz de yeso con fibra de Abacá.*

En este grupo se incorporó la fibra de abacá en 1.5% en las mezclas de cemento y yeso correspondiente a cada una de las dosificaciones, la variante se da en la incorporación de los componentes los cuales se realizaron de la siguiente manera:

**Grupo B-cemento:** Cemento + Agua + Aditivo + Celulosa de papel + **fibra de Abacá**

**Grupo B- yeso:** Yeso + Agua + **fibra de Abacá** + Celulosa de papel.

La variación en la secuencia de los componentes es por la fluidez de las pastas y el tiempo de fraguado, en el caso del yeso la pasta se presenta más espesa (granulometría gruesa) y al agregar en primer lugar las partículas de celulosa y luego la fibras esta no se reparte de manera homogénea en la mezcla (Imagen 61 y 62). En el mismo sentido en que respecta al cemento se incorpora a la pasta de cemento en primer lugar la celulosa de papel y después la fibra de Abacá debido a la fluidez de la pasta del cemento (granulometría fina). (Imagen 63 y 64)



**Imagen 61:** Incorporación de fibra a pasta de yeso(A), incorporación de celulosa de papel a mezcla de pasta de yeso con fibra de Abacá(B).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 62:** Batido de mezcla (pasta de yeso, fibra de Abacá y celulosa de papel).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 63:** Pasta de cemento y celulosa de papel(C), incorporación de fibra de Abacá a pasta de cemento con partículas de celulosa de papel (D).

**Fuente:**Elaboración Autor, 2017



**Imagen 64:** Batido de mezcla (pasta de cemento, celulosa de papel y fibra de Abacá)

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

### 3.5.3.3. *Vaciado de mezcla y compactación.*

El vaciado de mezclas en los moldes de cubos de 50mm se realizó según norma ecuatoriana NTE INEN 0488, que se refiere al llenado de los moldes en un intervalo de tiempo no menor a 2 minutos y 30 segundos. Además la colocación de la mezcla se hará en dos capas de 25mm aproximadamente la mitad del molde, por otro lado se procederá a apisonar o compactar para asegurar un llenado uniforme de los moldes, la compactación consiste en dar 32 golpes en rondas de 8 golpes en forma perpendicular a la anterior en un tiempo de 10 segundos.

El vaciado y compactación de las mezclas se realizó con el procedimiento descrito anteriormente según norma NTE INEN 0488 de cubos para ensayos a compresión, este mismo procedimiento se aplicó para las probetas para flexión.



**Imagen 65:** Vaciado de mezcla en molde y compactación (muestras para pruebas a compresión).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 66:** Pulido de cara superior de muestras de cemento (muestras para pruebas a compresión). **Fuente:**Elaboración Autor, 2017



**Imagen 67:** Vaciado de mezcla en molde (muestras para pruebas a flexión).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 68:** Compactación y pulido de cara superior de muestras de cemento.

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 69:** Muestras de cemento terminadas.

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 70:** Elaboración de muestras de yeso (muestras para pruebas a compresión).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



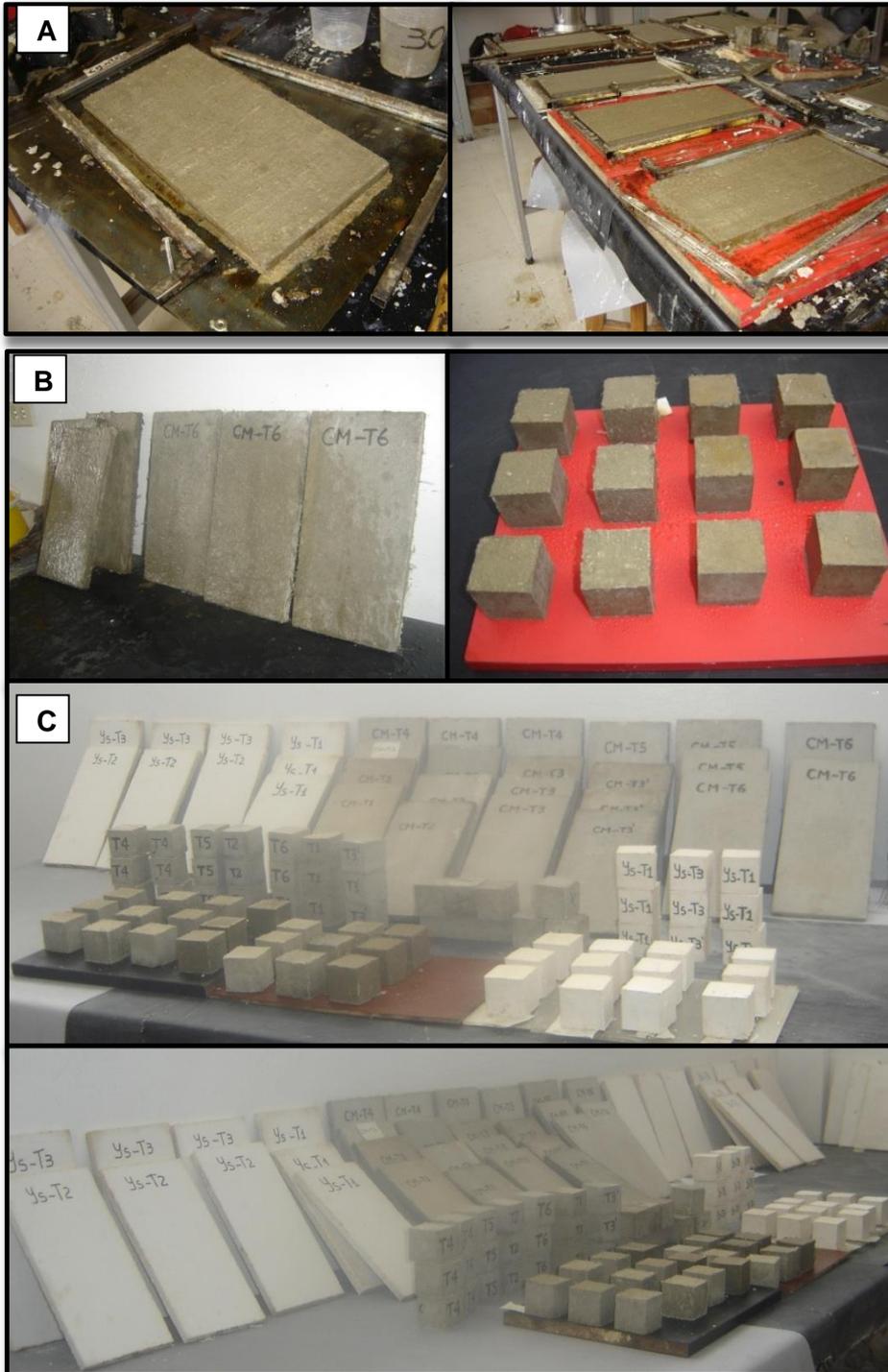
**Imagen 71:** Elaboración de muestras de yeso (muestras para pruebas a flexión).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

### **3.5.3. Retiro de moldes, curado y secado de muestras.**

El retiro de moldes se hizo pasadas 24 horas realizadas las muestras, posteriormente se realizó el curado de las muestras de cemento rociando agua tres veces por día durante catorce días. El periodo de secado de las muestras se realizó durante 28 días para posteriormente realizar los ensayos de laboratorio.

La nominación de las muestras fue en función del tipo de aglomerante así, las muestras de cemento se colocó la nomenclatura de CM-T (tipo de dosificación) y a las muestras de yeso se utilizó YS-T (tipo de dosificación).



**Imagen 72:** Retiro de moldes(A), Curado de muestras (B), Secado de muestras(C).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

**CAPITULO IV**  
**ENSAYOS MECÁNICOS Y FISICOS**

#### 4.1. Ensayos de Resistencia Mecánica

Todos los materiales utilizados en la construcción poseen propiedades que le permiten resistir cargas, la determinación de estas resistencias se la realiza mediante estudios, análisis y ensayos de laboratorio. Los ensayos de laboratorio de resistencia mecánica permiten determinar la capacidad de deformación del material sometida a acción de cargas.

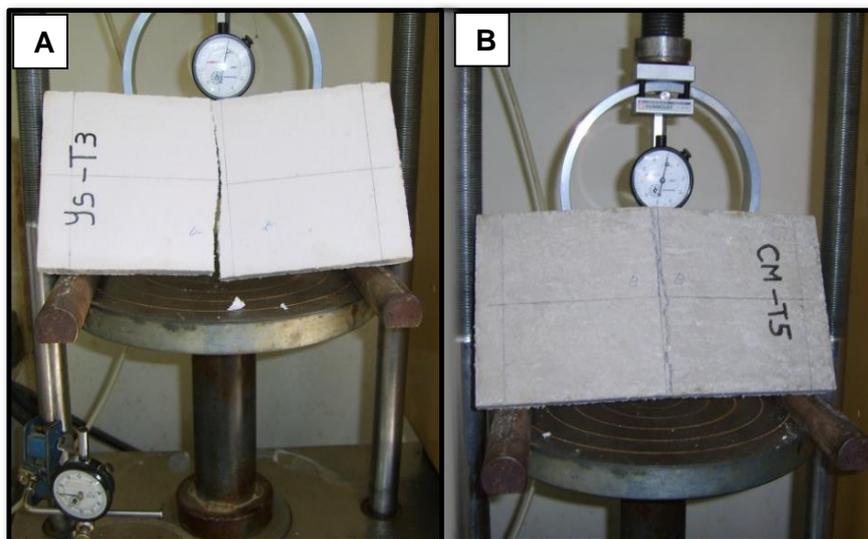
##### 4.1.1. Resistencia a la flexión.

El ensayo de resistencia a la flexión se realizó bajo la norma NTE INEN 0652(2000): Baldosas Cerámicas. Determinación del módulo de rotura y la resistencia a la rotura. Este ensayo consistió en la aplicación de una fuerza a una velocidad establecida, la maquina utilizada fue VERSA TESTER (Imagen 73).



**Imagen 73:** Ensayo de resistencia a la flexión.  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

El procedimiento que se realizó, fue la colocación de las probetas en la máquina sobre rodillos de apoyo, seguidamente se colocó un rodillo central equidistantes a los apoyos de soporte para finalmente aplicar la fuerza hasta el fallo del material. Este procedimiento se realizó para cada una de las muestras (3 probetas por cada muestra).



**Imagen 74:** Ensayo de resistencia a la flexión de muestra de yeso(A), ensayo de resistencia a la flexión de muestra de cemento (B).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

Posteriormente a cada probeta se calculó la resistencia a la flexión con la siguiente formula:

$$R = \frac{3FL}{2bh^2}$$

En donde:

**F** = es la carga de rotura.

**L** = es la distancia entre los rodillos de apoyo.

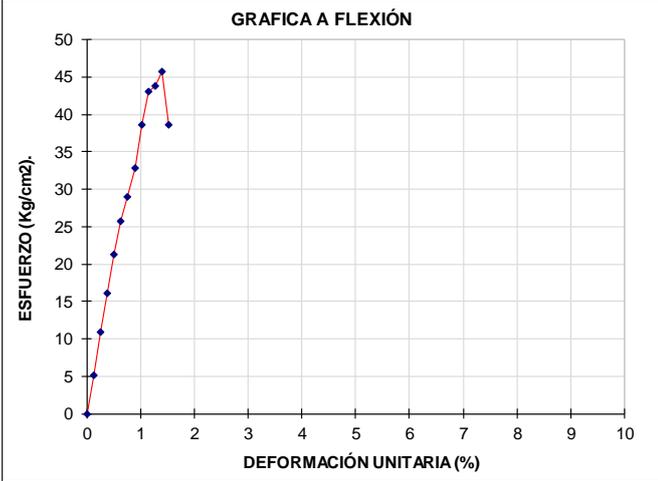
**b** = es el ancho de la baldosa.

**h** = es el espesor mínimo de la probeta de ensayo.

La fórmula de resistencia a la flexión fue aplicada en cada una de las probetas, cabe señalar que para cada tipo de dosificación se realizaron 3 muestras denominándolas A, B y C respectivamente para cada dosificación de los dos grupos.

En la tabla 20 y tabla 21 se detalla los resultados obtenidos mediante la aplicación de la fórmula descrita anteriormente, como anexos se adjuntan el resto de tablas de las muestras del grupo A y grupo B. Además el análisis de estos resultados se describe en el capítulo V.

**Tabla 20:** Resultados de resistencia a la flexión muestra del Grupo A, aglomerante de cemento sin fibra (CM-T1A)

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>					
<b>ENSAYO A FLEXIÓN</b>					
<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>				
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" <span style="float: right;"><b>NORMA:</b> INEN - 652</span>				
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche <span style="float: right;"><b>MUESTRA:</b> CM-T1A</span>				
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega				
<b>FECHA :</b>	feb-17				
<b>DATOS DE LA MUESTRA.</b>					
<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.				
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.				
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.				
<b>PESO :</b>	754 gr.				
<b>CONSTANTE DEL ANILLO</b>					
<b>K : 0,83 kg/dv.</b>					
<b>DATOS DE LA PRUEBA</b>					
Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	8,5	0,25	7,06	25,00	10,94
15	12,5	0,38	10,38	25,00	16,08
20	16,5	0,51	13,70	25,00	21,23
25	20,0	0,64	16,60	25,00	25,73
30	22,5	0,76	18,68	25,00	28,95
35	25,5	0,89	21,17	0,00	32,81
40	30,0	1,02	24,90	0,00	38,60
45	33,5	1,14	27,81	0,00	43,10
50	34,0	1,27	28,22	15,00	43,74
55	35,5	1,40	29,47	0,00	45,67
60	30,0	1,52	24,90	15,00	38,60
<b>RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=</b>					<b>45,67</b>
<b>GRAFICA A FLEXIÓN</b> 					
<b>OBSERVACIONES:</b> Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.					
<b>Ing. Ángel Tapia Ch.</b> <b>DOCENTE</b>			<b>Egda. Doris Sinchire C.</b> <b>TESISTA</b>		

Fuente: Elaboración Autor, 2017

**Tabla 21:** Resultados de resistencia a la flexión muestra del Grupo A aglomerante de yeso sin fibra YS-T1A)

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL					
ENSAYO A FLEXIÓN					
<b>PROYECTO :</b> <b>TESIS:</b> <b>REALIZADO</b> <b>SOLICITADO :</b> <b>FECHA :</b>	<b>ECOMATERIALES</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche Mgs. Alexandra Moncayo Vega feb-17				
<b>NORMA:</b> INEN - 652					
<b>MUESTRA:</b> YS-T1A					
<b>DATOS DE LA MUESTRA.</b>					
<b>ANCHO (b) :</b> <b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L)</b> <b>ESPESOR (h) :</b> <b>PESO :</b>	15 cm. 25,0 cm. 1,27 cm. 590 gr.				
<b>CONSTANTE DEL ANILLO</b>					
<b>K :</b> 0,83 kg/dv.					
<b>DATOS DE LA PRUEBA</b>					
Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	7,5	0,25	6,23	25,00	9,65
15	11,5	0,38	9,55	25,00	14,79
20	15,0	0,51	12,45	25,00	19,30
25	15,5	0,64	13,50	25,00	20,93
30	13,0	0,76	10,79	25,00	16,72
35	10,5	0,89	8,72	25,00	13,51
<b>RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=</b>					<b>20,93</b>
<b>GRAFICA A FLEXIÓN</b> 					
<b>OBSERVACIONES:</b> Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.					
Ing. Ángel Tapia Ch. DOCENTE			Egda. Doris Sinchire C. TESISTA		

Fuente: Elaboración Autor, 2017

#### 4.1.2. Resistencia a la Compresión.

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó bajo la norma NTE INEN 0488(2009). Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista. Para este ensayo la maquina utilizada fue ACCU-TEK que consistió en la aplicación de una carga de efecto aplastante hasta el fallo del material.



**Imagen 75:** Medición de muestras (A), Colocación de muestras en máquina de ensayo (B), Muestras sometidas a ensayo de compresión(C).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

Para el ensayo se utilizaron cubos de 0.05x0.05x0.05m que se midieron con un calibrador en sus tres dimensiones (largo, ancho y altura) para obtener un promedio de sus dimensiones, seguidamente se colocó las probetas en la máquina para ser sometidas a carga aplastante

hasta el fallo del material. Posteriormente a cada probeta se calculó la resistencia a la compresión con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{AC}$$

En donde:

$\sigma$  = es el esfuerzo a compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

**P**= es la carga máxima (Kg).

**AC** = es el ancho área de la cara del cubo (cm<sup>2</sup>)

La fórmula de resistencia a la compresión fue aplicada en cada una de las probetas, cabe señalar que para cada tipo de dosificación se realizaron 3 muestras denominándolas A, B y C respectivamente para cada dosificación de los dos grupos.

En la tabla 22 y tabla 23 se detalla los resultados obtenidos mediante la aplicación de la fórmula descrita anteriormente, como anexos se adjuntan el resto de tablas de las muestras del grupo A y grupo B. Además el análisis de estos resultados se describe en el capítulo V.

**Tabla 22:** Resultados de resistencia a la compresión muestra del Grupo A aglomerante de cemento sin fibra (CM-T1)

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b> <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>						
<b>PROYECTO: ECOMATERIALES</b>						
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."						
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche					<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega					<b>MUESTRA:</b> CM-T1	
<b>FECHA:</b> feb-17						
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg /cm <sup>2</sup> )	
A	174,01	30,90	3153,04	26,16	120,52	
B	173,08	31,30	3193,85	25,20	126,74	
C	172,50	31,30	3193,85	24,80	128,78	
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>125,35</b>	
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.						
Ing. Berenice Zuñiga. DOCENTE			Egda. Doris Sinchire C. TESISTA			

Fuente: Elaboración Autor, 2017

**Tabla 23:** Resultados de resistencia a la compresión muestra del Grupo A aglomerante de yeso sin fibra (YS-T1)

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b> <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>						
<b>PROYECTO: ECOMATERIALES</b>						
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."						
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche					<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega						
<b>FECHA:</b> feb-17					<b>MUESTRA:</b> YS-T1	
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
A	141,57	11,6	1183,66	27,72	42,70	
B	136,47	10,5	1071,42	27,46	39,02	
C	134,85	10,9	1112,24	26,06	42,68	
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>41,47</b>	
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.						
Ing. Berenice Zuñiga.				Egda. Doris Sinchire C.		
<b>DOCENTE</b>				<b>TESISTA</b>		

Fuente: Elaboración Autor, 2017

#### 4.1.3. Ensayo de Densidad.

La densidad está en función del volumen y el peso de los cuerpos estos dos aspectos determinan el tamaño de los cuerpos, además una baja densidad en materiales de la construcción disminuyen los requerimientos en sistemas de anclaje y garantiza una mayor resistencia térmica. En este ensayo se realizaron las mediciones de las muestras con calibrador para determinar el volumen de cada de ellas, posteriormente se pesó cada muestra en balanza digital obtenidos estos datos se aplicó la siguiente formula:

$$p = \frac{m}{V}$$

En donde:

$p$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  = Masa (Kg)

$V$  = Volumen (m<sup>3</sup>)



**Imagen 76:** Peso y medición de muestras para ensayo de densidad.  
**Fuente:**Elaboración Autor, 2017

En la tabla 24 y tabla 25 se detalla los resultados obtenidos mediante la aplicación de la fórmula descrita anteriormente, como anexos se adjuntan el resto de tablas de las muestras del grupo A y grupo B. Además el análisis de estos resultados se describe en el capítulo V.

**Tabla 24:** Resultados de ensayo de densidad muestra del Grupo A aglomerante de cemento sin fibra (CM-T1).

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>				
<b>PROYECTO:</b>	<b>ECOMATERIALES</b>			
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."			
<b>REALIZADO:</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche			
<b>SOLICITADO:</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega			
<b>FECHA:</b>	feb-17			<b>MUESTRA: CM-T1</b>
#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	754,00	0,754	0,000559	1349,44
B	762,00	0,762	0,000563	1354,67
C	752,00	0,752	0,000542	1387,61
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1363,91</b>
Ing. Ángel Tapia Ch. <b>DOCENTE</b>		Egda. Doris Sinchire C. <b>TESISTA</b>		

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017.

**Tabla 25:** Resultados de ensayo de densidad muestra del Grupo A aglomerante yeso sin fibra (YS-T1).

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>				
<b>PROYECTO:</b>	<b>ECOMATERIALES</b>			
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."			
<b>REALIZADO:</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche			
<b>SOLICITADO:</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega			
<b>FECHA:</b>	feb-17			<b>MUESTRA: YS-T1</b>
#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	590,00	0,59	0,000576	1024,31
B	588,00	0,588	0,000572	1028,87
C	582,00	0,582	0,000565	1029,89
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1027,69</b>
<b>Ing. Ángel Tapia Ch.</b> <b>DOCENTE</b>			<b>Egda. Doris Sinchire C.</b> <b>TESISTA</b>	

Fuente: Elaboración Autor, 2017.

#### 4.1.4. Ensayo de contenido de humedad y absorción.

El contenido de humedad es una de las características a considerar para materiales compuestos, la humedad y absorción deterioran el material por la presencia de agua.

Los ensayos de contenido de humedad y absorción se realizaron basadas en la norma ASTM C 1185 (ASTM, 1995). Para este ensayo se utilizó probetas cúbicas de 0.05x0.05x0.05m que fueron pesadas en balanza de lectura digital, seguidamente se las colocó en horno de secado eléctrico durante 24 horas a 90°C. Transcurrido el tiempo de secado en el horno se retiró las muestras y se volvió a pesar posteriormente se dejó enfriar las muestras, para luego sumergirlas en un recipiente con agua durante 24 horas.

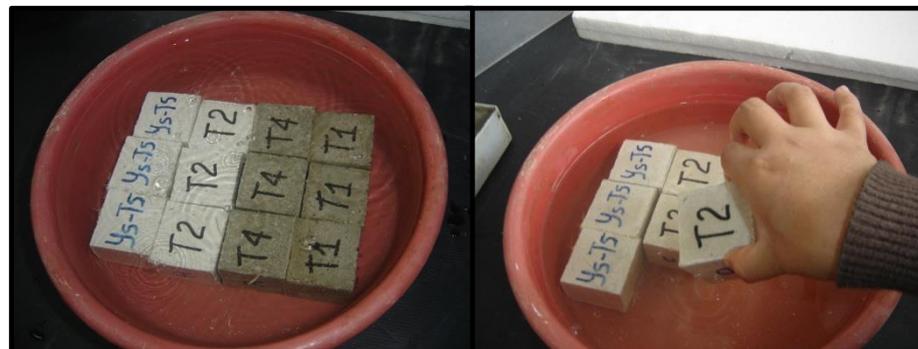
Cumplido el tiempo de inmersión y saturación de las muestras se procedió a extraerlas del recipiente, retirar el exceso de agua y volver a pesar. (Cabe señalar que las muestras que fueron sometidas a este ensayo fueron aquellas que se obtuvieron los mejores resultados en las pruebas mecánicas CM-T1, CM-T4, YS-T2 y YS-T5).



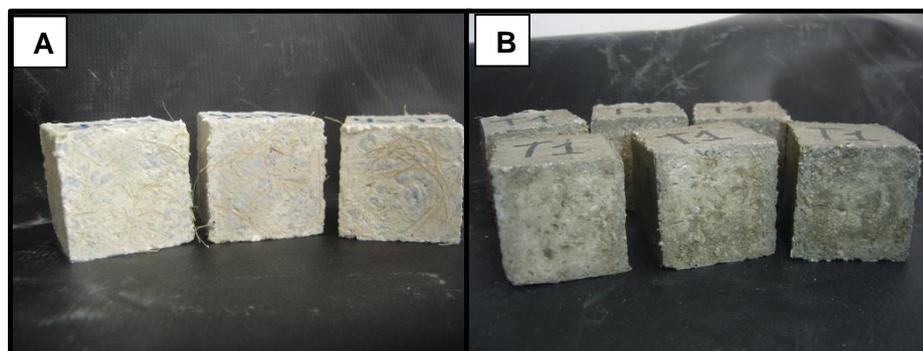
**Imagen 77:** Peso de Muestras.  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 78:** Colocación de muestras en horno eléctrico.  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 79:** Sumersión de muestras en recipiente de agua.  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 80:** Muestras de yeso saturadas retiradas del recipiente con agua (A).  
 Muestras de cemento saturadas retiradas del recipiente con agua (B).  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017.

Obtenidos los datos mediante el ensayo se procedió a aplicar la siguiente formulas en cada probeta cabe señalar que se utilizó tres probetas por tipo de muestra.

Contenido de Humedad:

$$\text{Hum} = 100 \left[ \frac{(W_i - W_d)}{W_d} \right]$$

En donde:

Hum= Contenido de humedad (gr)

Wi= Peso inicial (condiciones ambientales) de la muestra (gr)

Wd = Peso seco de la muestra (gr)

**Absorción:**

$$\text{Abs} = 100 \left[ \frac{(W_s - W_d)}{W_d} \right]$$

En donde:

Abs= Absorción (gr)

Ws= Peso saturado de la muestra (gr)

Wd = Peso seco de la muestra (gr)

Las fórmulas de contenido de humedad y absorción fueron aplicadas a cada una de las muestras (3 muestras por tipo de dosificación A, B, C), estas pruebas se realizaron a las muestras de aglomerante de cemento del Grupo A: CM-T1 y del Grupo B: CM-T4, además de las muestras de aglomerante de yeso del Grupo A: YS-T2 y del Grupo B: YS-T5 por presentar los mejores resultados en las pruebas mecánicas. En el capítulo V se detallan los resultados obtenidos de las pruebas de contenido de humedad y absorción.

#### **4.1.5. Ensayo de Transferencia de Calor.**

Según (Kreith, Manglik & Bohn, 2011), “El proceso mediante el cual tiene lugar el transporte de energía se conoce como transferencia de calor, lo que se denominado calor.”

El transporte de calor tiene relación directa con la conductividad térmica de los materiales, densidad y el gradiente de temperatura, a menor conductividad térmica menor flujo de calor que puede atravesar por un material. Cada material posee un valor de conductividad térmica que determina su eficiencia como aislante de calor o energía, la principal característica que tiene los materiales aislantes es disminuir la transmisión de calor atreves de sus paredes. (Kreith, Manglik & Bohn, 2011)

Este ensayo se basó en la aplicación de ley Fourier (Ver capítulo I). Para realizar este ensayo se sometió las probetas a radiación solar en periodo de 15 minutos en diferentes horas del día, transcurrido ese tiempo se procedió a tomar la temperatura interna y externa de probetas mediante la utilización de un medidor de temperatura.

Realizado el ensayo y obtenidos los datos, se procedió a calcular del flujo de calor con la siguiente ecuación de la ley de Fourier:

$$Q = -KA \left[ \frac{(T1 - T2)}{L} \right]$$

En donde:

**Q** = Flujo de Calor. (W)

**K** = Conductividad térmica de los materiales.(W/m.°C)

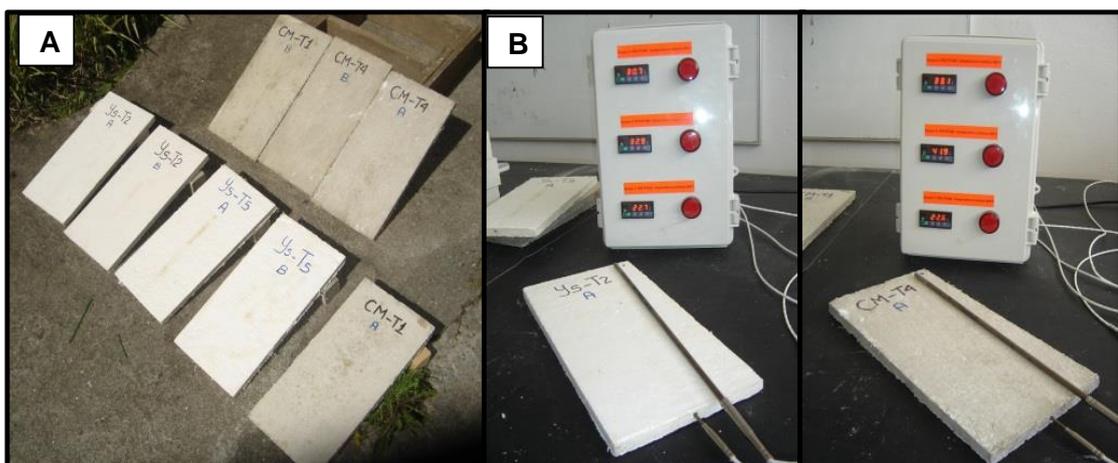
**A** = Área de transferencia. (m<sup>2</sup>)

**T1**= Temperatura exterior. (°C)

**T2** = Temperatura interna. (°C)

**L**= Distancia entre los dos puntos. (m)

Para este ensayo se consideraron los valores de materiales que tienen similitud de los componentes y densidad del material. Así se tomó las del fibro-cemento de 0.23 W/m.K(0.23 W/m.°C) consideradas para las probetas de cemento. Por otro lado para las de yeso se utilizó las de Yeso –cartón de 0.31 W/m.K (0.31W/m.°C). ( Valores en capítulo I)



**Imagen 81:** Muestras de cemento y yeso expuestas a radiación solar(A), medición de temperatura de muestras (B).

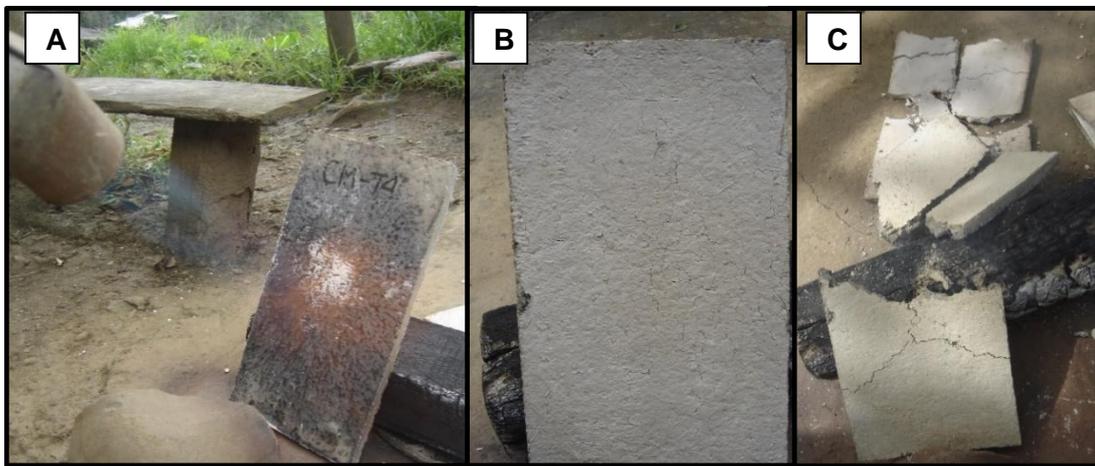
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

En el capítulo V se detallan los resultados obtenidos de las pruebas de transferencia de calor.

#### 4.1.6. Ensayo de resistencia al fuego.

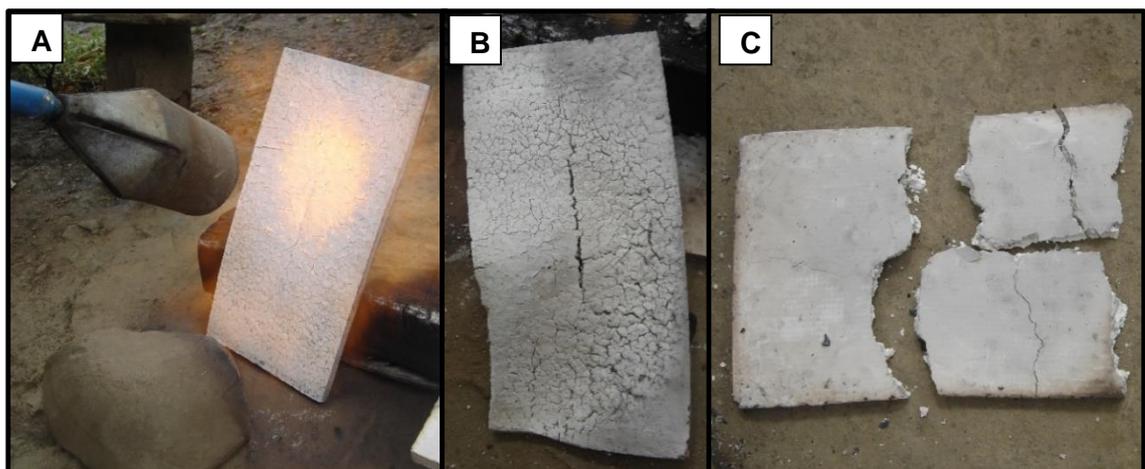
El ensayo se realizó bajo la Norma NTE INEN 804. Prevención de incendios, determinación de la Resistencia al fuego de elementos constructivos. Este ensayo consistió en someter a fuego las muestras de cemento y yeso. Se procedió colocar las muestras en ángulo de 90°, seguidamente usando un soplete a gas se expuso las muestras al fuego tomando el tiempo hasta su combustión.

La resistencia al fuego es la capacidad que tiene un material para resistir al fuego o proteger del fuego. La resistencia está en función del tiempo de combustión, cuando supera 30 minutos su uso será para vivienda, mientras que para edificios deberá superar los 60 minutos. (NTE INEN 804)



**Imagen 82:** Muestra de cemento sometida a fuego(A), fisuración de muestra después de estar expuesta al fuego(B), colapso de muestra(C).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017



**Imagen 83:** Muestras de yeso sometida a fuego(A), fisuración de muestra después de estar expuesta al fuego (B), colapso de muestra(C).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

En el capítulo V se detallan los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia al fuego.

## **CAPITULO V**

### **ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO**

## 5.1. Análisis de resultados de ensayos Mecánicos y físicos

Realizadas las pruebas de laboratorio y obtenidos los resultados, a continuación en este capítulo se realiza un análisis de cada una de las pruebas.

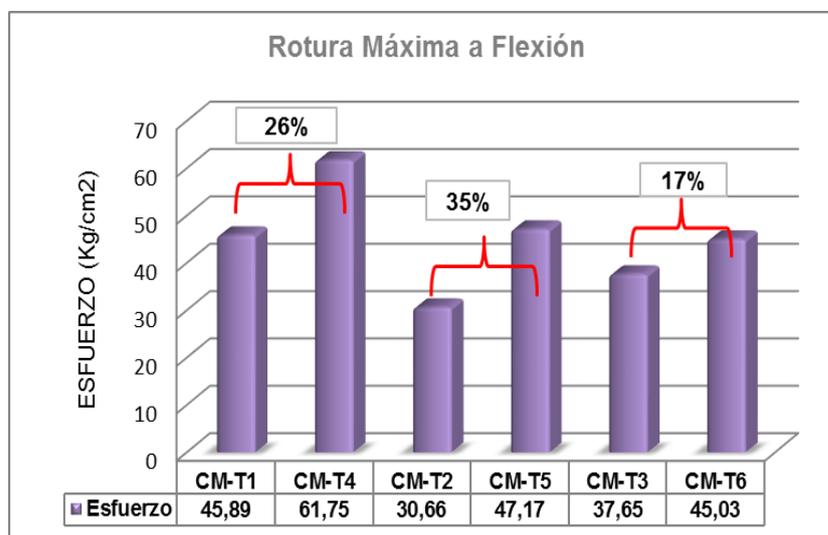
### 5.1.1. Análisis de resultados de ensayo a flexión.

A continuación se indican en la tabla 26 y gráfico 1 los resultados obtenidos de la prueba a flexión.

**Tabla 26:** Resultados de ensayo de resistencia a la flexión de muestras de cemento.

Resistencia a la Flexión del GRUPO A: Muestras de cemento sin fibra de Abaca						
PROBETA	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )					
	CM-T1		CM-T2		CM-T3	
A	45,67	45,89	30,88	30,66	37,31	37,65
B	46,96		32,81		38,34	
C	45,03		28,3		37,31	
Resistencia a la Flexión del GRUPO B: Muestras de cemento con fibra de Abaca						
PROBETA	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )					
	CM-T4		CM-T5		CM-T6	
A	61,75	61,75	47,60	47,17	46,31	45,03
B	61,11		48,24		45,67	
C	62,40		45,67		43,10	

Fuente: Elaboración Autor, 2017.

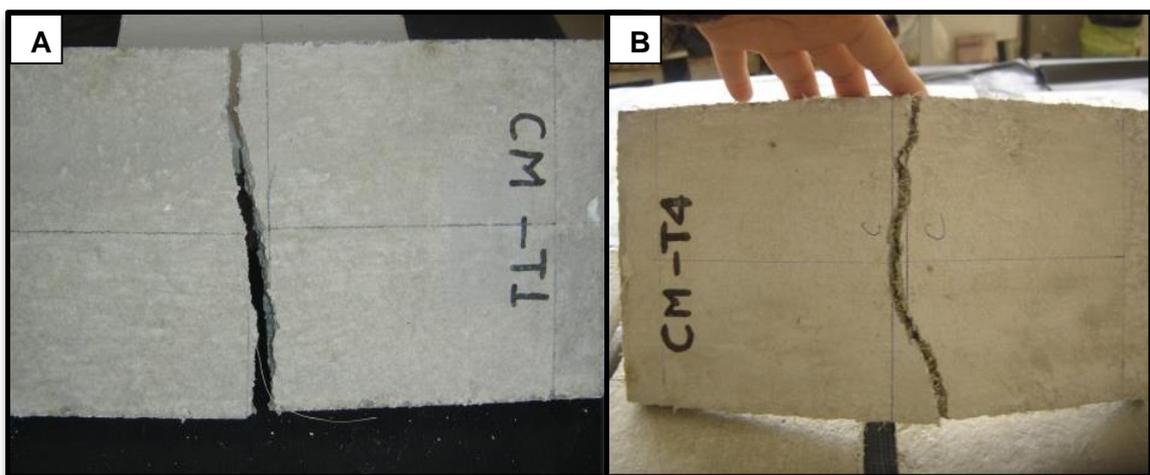


**Gráfico 1:** Comparativo de la Rotura máxima a flexión de muestras de cemento del Grupo A y Grupo B.

Fuente: Elaboración Autor, 2017

Las variaciones de resultados en las muestras con cemento dejan entre ver el comportamiento del material debido a los siguientes aspectos:

- Las muestras del Grupo A: CM-T1, CM-T2 y CM-T3 que no contienen fibra de Abacá, el valor más elevado de resistencia es de 45,89Kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a la muestra CM-T1 que contiene el 14% de celulosa de papel.
- Las muestras del Grupo B: CM-T4, CM-T5 y CM-T6 que contienen el refuerzo de fibra de Abacá, el valor más elevado de resistencia es de 61,75Kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a la muestra CM-T4 que contiene el 14% de celulosa de papel y 1.5 % de fibra de Abacá.
- Los porcentajes de contenido de celulosa de papel en las muestras de Grupo A y Grupo B constituyen un refuerzo que les proporciona tenacidad y rigidez, así en las muestras del grupo A : CM-T1 (contiene 14% de celulosa de papel) presenta el valor más alto respecto a las muestras CM-T2 (contiene 10% de celulosa de papel) que presenta el valor más bajo de 30,66 Kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo en la muestra CM-T3 (contiene el 6% de celulosa de papel) presenta un valor considerable 37,65 Kg/cm<sup>2</sup> por poseer la mayor proporción cemento respecto a CM-T1 Y CM-T2.
- Las muestras del Grupo B: CM-T4, CM-T5 y CM-T6 que tienen el refuerzo de fibra de Abacá presentan un incremento de resistencia en un 26%, 35% y 17 % respectivamente en comparación con las muestras del Grupo A: CM-T1, CM-T2 y CM-T3 que no poseen la fibra de Abacá, por lo tanto el refuerzo con fibra de Abacá incrementa la resistencia a la flexión.



**Imagen 84:** Fisuración de muestra de cemento con celulosa de papel (A), fisuración de muestra de cemento con celulosa de papel y fibra de Abacá (B).

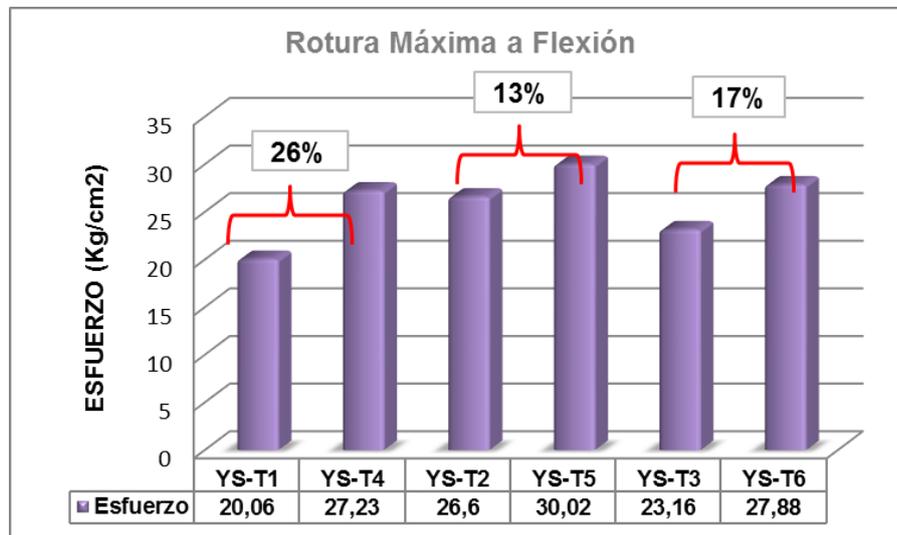
**Fuente:**Elaboración Autor, 2017.

En la tabla 20 y grafica 2 de las muestras con aglomerante de yeso del Grupo A y Grupo B se indican los resultados de los ensayos realizados.

**Tabla 27:** Resultados de ensayos de Resistencia a la flexión de muestras de yeso.

Resistencia a la flexión del GRUPO A: Muestras de Yeso sin fibra de Abacá						
PROBETA	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )					
	YS-T1		YS-T2		YS-T3	
A	20,93	20,06	27,7	26,60	22,51	23,16
B	19,94		26,37		23,16	
C	19,3		25,73		23,8	
Resistencia a la flexión GRUPO B : Muestras de Yeso con fibra de Abacá						
PROBETA	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )					
	YS-T4		YS-T5		YS-T6	
A	28,3	27,23	30,88	30,02	28,95	27,88
B	27,02		30,23		27,66	
C	26,37		28,95		27,02	

Fuente: Elaboración Autor, 2017.



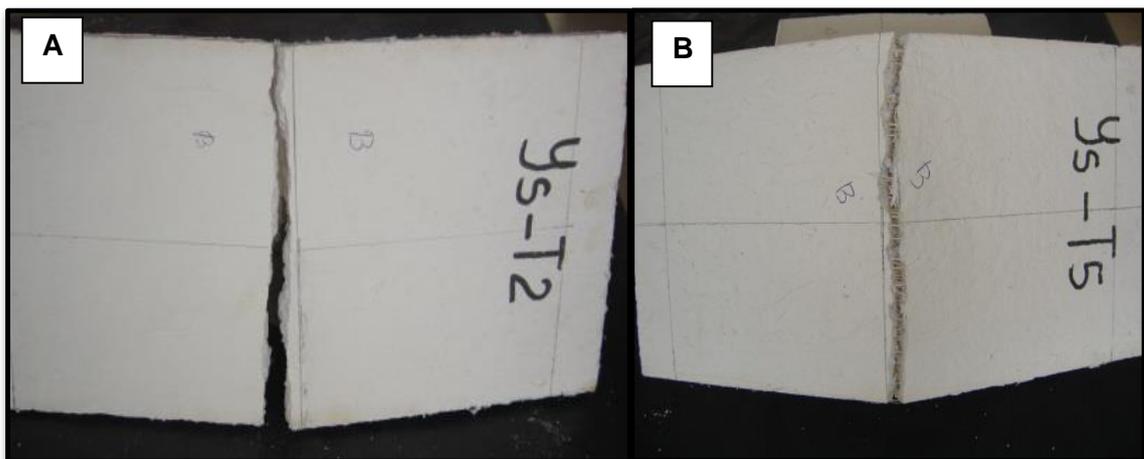
**Gráfico 2:** Comparativo de la Rotura máxima a flexión de muestras de yeso del Grupo A y Grupo B.

Fuente: Elaboración Autor, 2017

Las variaciones de los resultados de los ensayos de resistencia a flexión en muestras de yeso dejan entre ver el comportamiento del material en los siguientes aspectos:

- Las muestras del Grupo A: YS-T1, YS-T2 y YS-T3 que no contienen fibra de Abacá, el valor más elevado de resistencia es de 26,60Kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a la muestra YS-T2 que contiene el 10% de celulosa de papel.
- Las muestras del Grupo B: YS-T4, YS-T5 y YS-T6 que contienen el refuerzo de fibra de Abacá, el valor más elevado de resistencia es de 30,02Kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a la muestra YS-T5 que contiene el 10% de celulosa de papel y 1.5 % de fibra de Abacá.

- Los resultados de las muestras YS-T2 y YS-T5 que presentan los valores más altos de resistencia a la flexión constituyen incrementos significativos, teniendo en consideración que el yeso en su estado natural presenta una resistencia a la flexotracción de 12 a 20 Kg/cm<sup>2</sup> (yesos utilizados para revestimientos).
- Las muestras del Grupo B: YS-T4, YS-T5 y YS-T6 que tienen el refuerzo de fibra de Abacá presentan un incremento de resistencia en 26%, 13% y 17 % respectivamente en comparación con las muestras del Grupo A: YS-T1, YS-T2 y YS-T3 que no poseen la fibra de Abacá, por lo tanto el refuerzo con fibra de Abacá incrementa la resistencia a la flexión.
- El cemento y el yeso presentan una baja resistencia a la tracción y fragilidad al ser sometidas al impacto, la utilización de partículas de celulosa de papel y fibra de abacá mejoran la resistencia a la tracción y al impacto.



**Imagen 85:** Fisuración d muestra de yeso con celulosa de papel (A), fisuración de muestra de yeso con celulosa de papel y fibra de Abacá (B) .

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

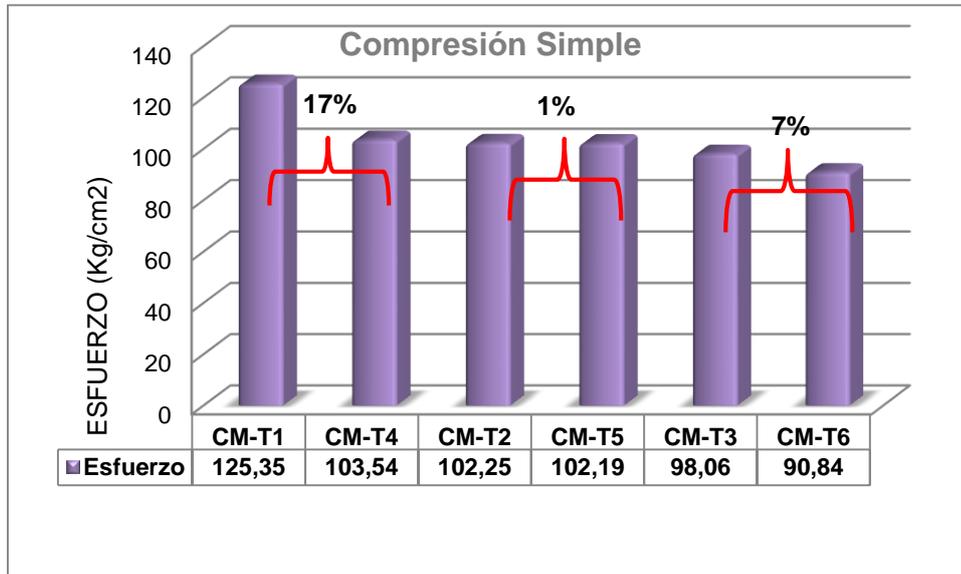
### 5.1.2. Análisis de resultados de ensayo de la resistencia a la Compresión.

A continuación se indican en la tabla 21 y gráfico 3 los resultados obtenidos de la prueba a flexión de las muestras con aglomerante de cemento del Grupo A y Grupo B.

**Tabla 28:** Resultados de ensayo de resistencia Compresión de muestras cemento.

Resistencia a la Compresión del GRUPO A : Muestras de cemento sin fibra de Abacá						
PROBETA	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )					
	CM-T1		CM-T2		CM-T3	
A	120,52	125,35	105,99	102,25	102,83	98,06
B	126,74		105,79		91,33	
C	128,78		94,96		100,03	
Resistencia a la Compresión del GRUPO B : Muestras de cemento con fibra de Abacá						
PROBETA	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )					
	CM-T4		CM-T5		CM-T6	
A	117,52	103,54	99,84	102,19	86,17	90,84
B	116,11		107,49		94,19	
C	76,99		99,25		92,16	

Fuente: Elaboración Autor, 2017



**Grafica 3:** Comparativo de ensayo de resistencia a la compresión simple de muestras de cemento.

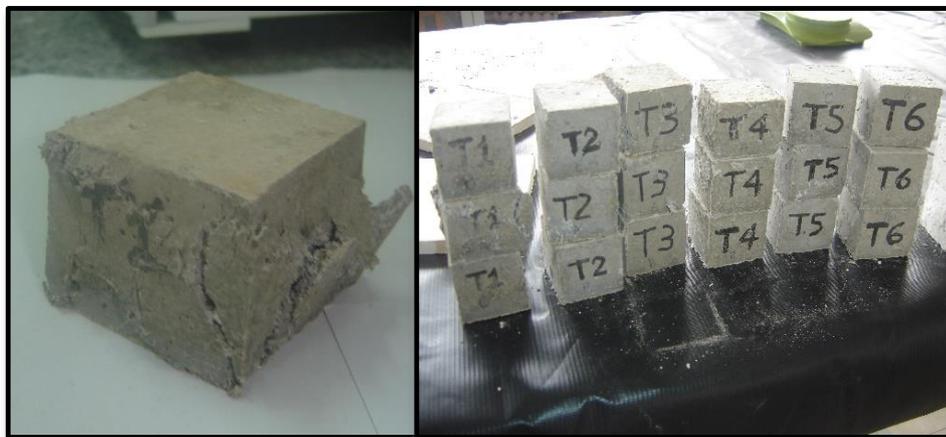
Fuente: Elaboración Autor, 2017

Los resultados obtenidos del ensayo presentan valores significativos entre las muestras de aglomerante de cemento del Grupo A y Grupo B, a continuación se detallan los aspectos del comportamiento del material sometido a compresión:

- el valor más alto de la resistencia a la compresión corresponde a la muestra de cemento del Grupo A, CM-T1 con 125,35 Kg/cm<sup>2</sup> que contiene el 14% de celulosa de papel, mientras que en las muestras de CM-T2 y CM-T3 se produce una disminución de

resistencia, por tanto al disminuir las proporciones de celulosa de papel menor resistencia a la compresión.

- La disminución de resistencia a la compresión en muestras del Grupo B de CM-T4, CM-T5 y CM-T6 del 17 %, 1% y 7% respectivamente, en relación a las muestras del Grupo A de CM-T1, CM-T2 y CM-T3, se debería al contenido de fibra de Abacá en las muestras del Grupo B al producirse apelmamientos por la presencia de la fibra que generan espacios de aire en la mezcla, además del incremento de agua ya que para incorporar la fibras a la mezcla previamente son sumergidas en agua, estos factores contribuyen a la disminución de la resistencia.
- La carga aplicada en ensayo a la compresión es una carga de aplastamiento, por tanto mientras mayor sea el contenido de partículas de celulosa de papel mayor resistencia a la compresión, además la pasta de cemento en conjunto con agregados poseen elevadas resistencias a la compresión y ofrecen baja resistencia a la flexión. Por tanto, la pasta de cemento y las partículas de celulosa (agregado liviano) utilizados presentan resultados significativos de resistencia a la compresión.



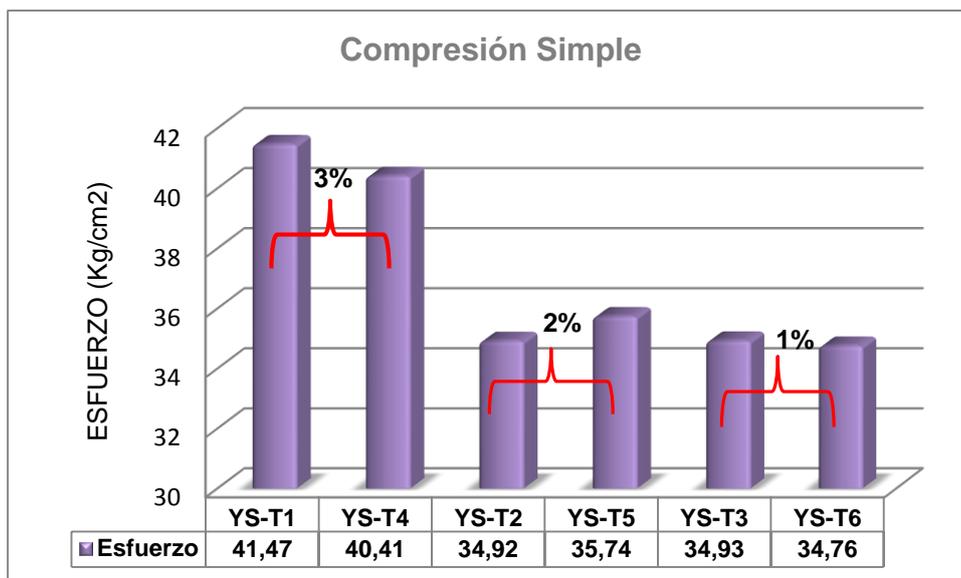
**Imagen 86:** Muestras de cemento sometidas a prueba a la compresión.  
**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

Los resultados obtenidos del ensayo a la compresión en la tabla 29 y grafica 4 de las muestras con aglomerante de yeso dejan entre ver el comportamiento del compuestos sometido a carga de aplastamiento.

**Tabla 29:** Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de yeso

Resistencia a la compresión del GRUPO A: Muestras de yeso sin fibra Abacá						
PROBETA	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )					
	YS-T1		YS-T2		YS-T3	
A	42,7	41,47	32,33	34,92	37,01	34,93
B	39,02		36,91		33,78	
C	42,68		35,52		33,99	
Resistencia a la compresión del Grupo B: Muestras de yeso con fibra Abacá						
PROBETA	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )					
	YS-T4		YS-T5		YS-T6	
A	34,93	40,41	34,02	35,74	35,04	34,76
B	49,82		35,87		32,26	
C	36,48		37,32		36,98	

Fuente: Elaboración Autor, 2017



**Gráfica 4:** Comparativo ensayo de resistencia a la compresión simple de muestras de yeso. Fuente: Elaboración Autor, 2017.

Los resultados obtenidos del ensayo presentan valores significativos entre las muestras de aglomerante de yeso del Grupo A y Grupo B, a continuación se detallan los aspectos del comportamiento del material:

- La resistencia a compresión en muestras de yeso del Grupo A: YS-T1, YS-T2 y YS-T3 presentan una disminución de resistencia con la disminución de contenido de celulosa de papel, así el valor más alto de este grupo es de YS-T1 con 41,47 Kg/cm<sup>2</sup> que posee el 14% de celulosa de papel.

- El aumento y disminución de resistencia a la compresión de las muestras del Grupo B: YS-T4, YS-T5 y YS-T6 con respecto al Grupo A YS-T1, YS-T2 y YS-T3, no son tan significativos cuyas diferencias tienen su origen a la presencia de la fibra y en otros casos por mayor contenido de yeso.

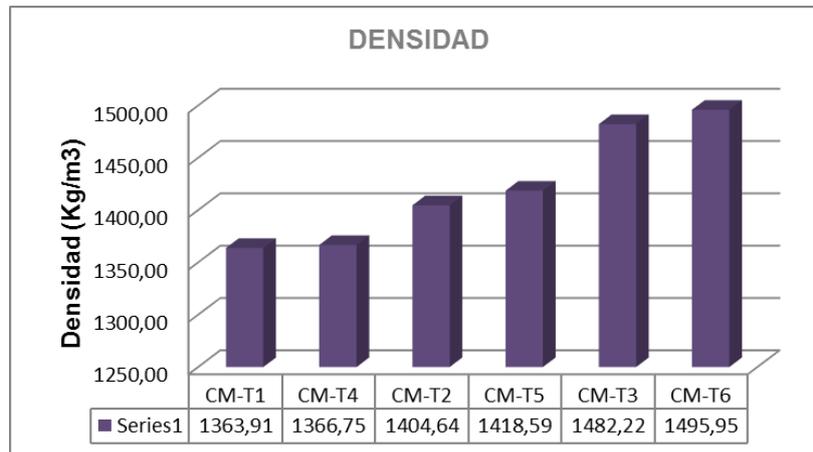
### 5.1.3. Análisis de resultados de ensayo de densidad.

A continuación se indican en la tabla 30 y gráfico 5 los resultados obtenidos de la prueba de densidad de las muestras con aglomerante de cemento del Grupo A y Grupo B.

**Tabla 30:** Resultados de ensayo de densidad de muestras cemento.

ENSAYO DE DENSIDAD DEL GRUPO A :Probetas de cemento sin fibra de Abacá						
PROBETA	DENSIDAD(Kg/m3)		DENSIDAD(Kg/m3)		DENSIDAD(Kg/m3)	
	CM-T1		CM-T2		CM-T3	
A	1349,44	1363,91	1390,88	1404,64	1492,98	1482,22
B	1354,67		1378,83		1450,98	
C	1387,61		1444,2		1502,7	
ENSAYO DE DENSIDAD DEL GRUPO B :Probetas de cemento con fibra de Abacá						
PROBETA	DENSIDAD(Kg/m3)		DENSIDAD(Kg/m3)		DENSIDAD(Kg/m3)	
	CM-T4		CM-T5		CM-T6	
A	1386,61	1366,75	1397,57	1418,59	1465,98	1495,95
B	1361,81		1423,41		1510,44	
C	1351,84		1434,78		1511,44	

Fuente: Elaboración Autor, 2017



**Gráfica 5:** Comparativo de ensayo de densidad de muestras de cemento.

Fuente: Elaboración Autor, 2017.

Los resultados del ensayo dejan entre ver un incremento y disminución de densidad que se detallan en los siguientes aspectos:

- Las muestras con aglomerado de cemento que presentan la densidad más baja son: CM-T1 con una densidad de 1363,91 Kg/m<sup>3</sup> y la muestra CM-T4 con una densidad de

1366,75 Kg/m<sup>3</sup>, que contienen el mayor porcentaje de celulosa de papel correspondiente al 14 %.

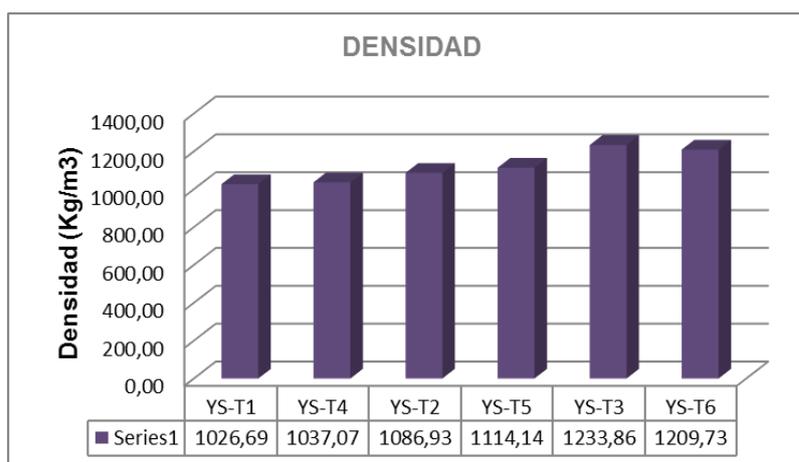
- Las muestras con aglomerado de cemento que presentan la densidad más alta son: CM-T3 con una densidad de 1482,22 Kg/m<sup>3</sup> y la muestra CM-T6 con una densidad de 1495,95 Kg/m<sup>3</sup>, que contienen el mayor porcentaje de cemento y un bajo contenido de celulosa de papel correspondiente al 6 %.
- Por tanto, se presenta una correlación entre contenido de celulosa de papel y densidad, así mientras mayor sean las proporciones de celulosa de papel más baja será la densidad del material.

A continuación se indican en la tabla 24 y gráfico 6 los resultados obtenidos de la prueba de densidad de las muestras con aglomerante de cemento del Grupo A y Grupo B.

**Tabla 31:** Resultados de ensayo de densidad de muestras yeso.

ENSAYO DE DENSIDAD DEL GRUPO A: Probetas de yeso sin fibra de Abacá						
PROBETA	DENSIDAD(Kg/m3)		DENSIDAD(Kg/m3)		DENSIDAD(Kg/m3)	
	YS-T1		YS-T2		YS-T3	
A	1024,31	1026,69	1080,1	1086,93	1227,6	1233,86
B	1028,87		1088,7		1254,76	
C	1026,89		1092,0		1219,23	
ENSAYO DE DENSIDAD DEL GRUPO B: Probetas de yeso con fibra de Abacá						
PROBETA	DENSIDAD(Kg/m3)		DENSIDAD(Kg/m3)		DENSIDAD(Kg/m3)	
	YS-T4		YS-T5		YS-T6	
A	1031,87	1037,07	1107,64	1114,14	1212,12	1209,73
B	1048,11		1118,17		1215,69	
C	1031,22		1116,6		1201,39	

Fuente: Elaboración Autor, 2017



**Grafica 6:** Comparativo de ensayo de densidad de muestras de yeso.

Fuente: Elaboración Autor. 2017.

Los resultados del ensayo dejan entre ver un incremento y disminución de densidad que se detallan en los siguientes aspectos:

- Las muestras con aglomerado de yeso que presentan la densidad más baja son: YS-T1 con una densidad de 1026,69 Kg/m<sup>3</sup> y la muestra YS-T4 con una densidad de 1037,07 Kg/m<sup>3</sup>, que contienen el mayor porcentaje de celulosa de papel correspondiente al 14 %.
- Las muestras con aglomerado de yeso que presentan la densidad más alta son: YS-T3 con una densidad de 1482,22 Kg/m<sup>3</sup> y la muestra YS-T6 con una densidad de 1495,95 Kg/m<sup>3</sup>, que contienen el mayor porcentaje de yeso y un bajo contenido de celulosa de papel correspondiente al 6 %.
- Por tanto, para los dos tipos de aglomerante se presenta una correlación entre contenido de celulosa de papel y densidad, así mientras mayor sean las proporciones de celulosa de papel más baja será la densidad del material. Las partículas de papel constituyen un tipo de agregado liviano o ligero que permite obtener una baja densidad en muestras de cemento y muestras de yeso.

#### 5.1.4. Análisis de los resultados del ensayo de contenido de humedad y absorción.

A continuación se indican en la tabla 32 y tabla 33 los resultados de las pruebas de contenido de humedad y absorción, cabe señalar que estas pruebas se realizaron a las muestras con los mejores resultados en las pruebas mecánicas: CM-T1, CM-T4, YS-T2 y YS-T5.

**Tabla 32:** Resultados de ensayo de contenido de humedad de muestras cemento y yeso

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL					
$\text{Hum} = 100 \left[ \frac{(W_i - W_d)}{W_d} \right]$					
Ensayo de Contenido de Humedad : Probetas de cemento y yeso					
PROBETA		Peso Inicial(Wi) (gr)	Peso en Seco(Wd) (gr)	Contenido de Humedad (Hum)(gr)	Hum (%)
GRUPO A <b>CM-T1</b> sin fibra	A	161,29	148,38	<b>8,95</b>	5,41
	B	167,06	153,35		
	C	168,19	154,03		
Promedio:		<b>165,51</b>	<b>151,92</b>		
GRUPO B <b>CM-T4</b> Con fibra	A	165,25	151,25	<b>9,17</b>	5,52
	B	167,74	153,82		
	C	164,89	150,96		
Promedio:		<b>165,96</b>	<b>152,01</b>		
GRUPO A <b>YS-T2</b> sin fibra	A	130,52	111,8	<b>17,33</b>	13,62
	B	125,01	106,09		
	C	126,02	107,27		
Promedio:		<b>127,18</b>	<b>108,38</b>		
GRUPO B <b>YS-T5</b> Con fibra	A	120,83	102,04	<b>18,04</b>	15,37
	B	117,53	99,98		
	C	113,73	96,26		
Promedio:		<b>117,36</b>	<b>99,42</b>		
Ing. Diego Mata <b>DOCENTE</b>			Egda. Doris Sinchire C. <b>TESISTA</b>		

Fuente: Elaboración Autor, 2017

**Tabla 33:** Resultados de ensayo de absorción de muestras cemento y yeso.

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>					
$Abs = 100 \left[ \frac{(Ws - Wd)}{Wd} \right]$					
Ensayo de absorcion: Probetas de cemento y yeso					
PROBETA		Peso Saturado(Ws) (gr)	Peso en Seco(Wd) (gr)	Absorcion (Abs) (gr)	Abs (%)
GRUPO A <b>CM-T1</b> Sin fibra	A	207,88	148,38	<b>39,49</b>	18,63
	B	213,53	153,35		
	C	214,35	154,03		
	Promedio:		<b>211,92</b>		
GRUPO B <b>CM-T4</b> Con fibra	A	211,05	151,25	<b>39,58</b>	18,65
	B	214,67	153,82		
	C	210,83	150,96		
	Promedio:		<b>212,18</b>		
GRUPO A <b>YS-T2</b> Sin fibra	A	186,46	111,8	<b>68,03</b>	22,23
	B	178,23	106,09		
	C	181,67	107,27		
	Promedio:		<b>182,12</b>		
GRUPO B <b>YS-T5</b> Con fibra	A	185,12	102,04	<b>82,07</b>	24,89
	B	180,96	99,98		
	C	176,99	96,26		
	Promedio:		<b>181,02</b>		
Ing. Diego Mata DOCENTE			Egda. Doris Sinchire C. TESISTA		

Fuente: Elaboración Autor, 2017

En los resultados y comportamiento de las muestras de cemento y yeso bajo ensayo, se puede observar la influencia de los componentes en los siguientes aspectos:

- Los valores de contenido de humedad son mayores en muestras de yeso, así en las muestras YS-T2 con el 13.62% y YS-T5 con el 15.37% estas contienen el 10% de celulosa de papel.
- En las muestras de cemento los porcentajes de contenido de humedad son bajos en relación las muestras de yeso, así CM-T1 con el 5.41% y CM-T4 con el 5.52% contienen el 14% de celulosa de papel mayor en relación a muestras de yeso, esto se debe al tipo de aglomerante, el cemento posee propiedades de impermeabilidad.
- Las muestras del GRUPO B de cemento y yeso que contienen la fibra de abacá presentan un incremento no tan significativo de contenido de humedad y absorción en

relación a las muestras del Grupo A de cemento y yeso, esto se debe al carácter hidrofílico de las fibras.

- Existe correlación entre el contenido de humedad, absorción y partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá. Mientras mayor sean las proporciones de celulosa de papel y fibra, mayor será el contenido de humedad y absorción, debido a la afinidad por el agua de las partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá.

#### **5.1.5. Análisis de los resultados de transferencia de calor.**

La cantidad de calor que puede atravesar por un material está determinado por los componentes de los materiales y por la conductividad térmica característica intrínseca de los mismos. En la tabla 34 y tabla 35 se indican los resultados de la transferencia de calor es decir el flujo de calor, realizado este ensayo se observan los siguientes aspectos:

- La transferencia de calor tiene relación directa con la temperatura, así a mayor temperatura mayor flujo de calor, las muestras que presentan mayor flujo de temperatura son las de cemento CM-T1 con el 0,56 W y CM-T4 con el 0,52W en relación a las muestras de yesos YS-T2 con el 0,23W y YS-T5 con el 0,21W.
- La presencia de la fibra de Abacá en las muestra del Grupo B CM-T4 y YS-T5, presenta un valor poco significativo de disminución de flujo de calor en relación con muestra del Grupo A CM-T1 y YS-T2 que no poseen fibra, por lo que podría concluirse que la presencia de fibra tiene cierta influencia en la disminución de la transferencia de calor.
- La característica de los materiales aislantes es disminuir la transmisión de calor a través de las paredes, las muestras YS-T2 y YS-T5 presentan los valores más bajos de flujo de calor, por tanto son mejores aislantes que las muestras de cemento CM-T1 y CM-T4.
- La conductividad térmica es una propiedad de los materiales, en este caso se tomó como referencia la del fibrocemento y la del yeso cartón, teniendo en consideración la similitud en cuanto a densidad y componentes del compuesto, por lo tanto los valores obtenidos son referenciales que permitieron determinar el flujo de calor de las muestras.

**Tabla 34:** Resultados de ensayo de transferencia de calor de las muestras de cemento.

 <b>DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA Y ARTES PLASTICAS</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>									
Ensayo de Tranferencia de Calor : Probetas de Cemento y Yeso									
$Q = -KA \left[ \frac{(T1 - T2)}{L} \right]$									
Muestra	Hora minutos	Temperatura Exterior T1 (°C)	Promedio T1 (°C)	Temperatura Interna T2 (°C)	Promedio T2 °C	Conductividad K (W/m.°C)	Área A (m2)	Distancia entre puntos L (m)	Flujo Calor Q Watio(W)
<b>CM-T1</b> <b>GRUPO A</b> <b>Sin fibra</b>	10:00-10:15	27	29,87	36,8	38,03	0,23	0,00381	0,0127	0,56
	10:30-10:45	30,9		36,9					
	11:00-11:15	32,1		37,1					
	11:30-11:45	32,2		39,7					
	12:00-12:15	29,7		39,4					
	12:30-12:45	29,4		37,8					
	13:00-13:15	31,1		40,1					
	13:30-13:45	33		39,6					
	14:00-14:15	26		39,7					
	14:30-14:45	27,3		33,2					
<b>CM-T4</b> <b>GRUPO B</b> <b>Con fibra</b>	10:00-10:15	31,4	31,66	35,6	39,26	0,23	0,00381	0,0127	0,52
	10:30-10:45	31,3		40,5					
	11:00-11:15	31,9		40,2					
	11:30-11:45	34,6		41,3					
	12:00-12:15	32,5		42					
	12:30-12:45	32,5		39,8					
	13:00-13:15	32,9		42,2					
	13:30-13:45	29,5		39					
	14:00-14:15	30,3		37,6					
	14:30-14:45	29,7		34,4					

**NOTA:** Los valores de conductividad térmica se tomaron de materiales que tienen similitud en componentes y densidad, así para las muestras cemento se utilizaron las de fibro-cemento con 0.23 W/m.K (1Kelvin =1°C)

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

**Tabla 35:** Resultados de ensayo de transferencia de calor de las muestras de yeso.

 <b>DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA Y ARTES PLASTICAS</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>									
Ensayo de Tranferencia de Calor : Probetas de Cemento y Yeso									
$Q = -KA \left[ \frac{(T1 - T2)}{L} \right]$									
Muestra	Hora minutos	Temperatura Exterior T1 (°C)	Promedio T1 (°C)	Temperatura Interna T2 (°C)	Promedio T2 °C	Conductividad K (W/m.°C)	Área A (m2)	Distancia entre puntos L (m)	Flujo Calor Q Watio(W)
<b>YS-T2</b> <b>GRUPO A</b> <b>Sin fibra</b>	10:00-10:15	28,6	30,22	28,8	32,73	0,31	0,0381	0,0127	0,23
	10:30-10:45	31		32					
	11:00-11:15	30		33,4					
	11:30-11:45	32,6		34,7					
	12:00-12:15	29		34,3					
	12:30-12:45	29,8		31,3					
	13:00-13:15	29,6		33,1					
	13:30-13:45	31,9		34,1					
	14:00-14:15	31,2		34,6					
	14:30-14:45	28,5		31					
<b>YS-T5</b> <b>GRUPO B</b> <b>Con fibra</b>	10:00-10:15	25,2	29,1	26,6	31,33	0,31	0,0381	0,0127	0,21
	10:30-10:45	28,9		30,6					
	11:00-11:15	29,6		32,2					
	11:30-11:45	27		32					
	12:00-12:15	30,3		33					
	12:30-12:45	30,5		33,5					
	13:00-13:15	31,8		28,1					
	13:30-13:45	30,8		33,7					
	14:00-14:15	30,1		33,5					
	14:30-14:45	26,8		30,1					

115

**NOTA:** Los valores de conductividad térmica se tomaron de materiales que tienen similitud en componentes y densidad, así para las muestras cemento se utilizaron las de Yeso- cartón con 0.31 W/m.K (1Kelvin =1°C)

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

### 5.1.6. Análisis de los resultados del ensayo de Resistencia al fuego.

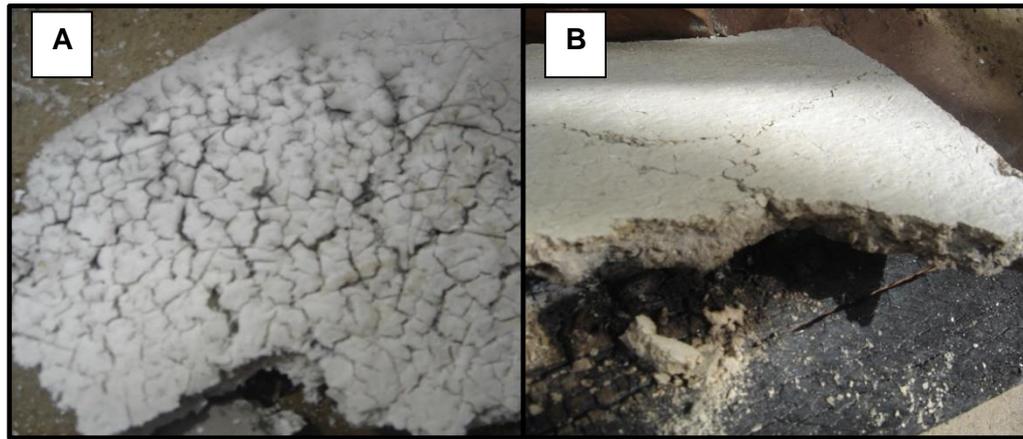
En la tabla 36 se describe el comportamiento de las muestras sometidas al ensayo de resistencia al fuego.

**Tabla 36:** Resultados de ensayo de resistencia al fuego de muestras de cemento y yeso.

Ensayo de Resistencia al Fuego					
Muestra	IntegridadTiempo (min)		Combustión	Opacidad de humos	Caída de gotas incandescentes
	# Muestras	Promedio			
GRUPO A CM-T1	A: 50 B: 42 C: 44	45	*Descomposición: Cenizas y solidos *No Inflamable *Se fisura previo a desintegrarse	Baja	No existe
GRUPO B CM-T4	A: 52 B: 49 C: 54	52	*Descomposición: Cenizas y solidos *No Inflamable *La fisuración previo a desintegrarse demora un poco mas que la CM-T1	Baja	No existe
GRUPO A YS-T2	A: 31 B: 39 C: 33	34	*Descomposición: Cenizas y solidos *No Inflamable *Se fisura previo a desintegrarse	Baja	No existe
GRUPO B YS-T5	A: 38 B: 36 C: 41	39	*Descomposición: Cenizas y solidos *No Inflamable *La fisuración previo a desintegrarse demora un poco mas que la YS-T2	Baja	No existe

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

- En las muestras CM-T1 se observó que el material pierde la integridad a los 45 minutos de estar expuesto al fuego, previo al colapso este tiende a fisurarse. En la muestra CM-T4 el material pierde la integridad superados los 51 minutos de estar expuesto al fuego y como ocurre en la muestra CM-T1 también se fisura previo al colapso.
- En las probetas YS-T2 el colapso se dio a los 34 minutos de ser expuesto al fuego, además previo al colapso se presentan fisuras en el material, por otro lado las muestras YS-T5 pierden su integridad transcurridos los 39 minutos, previo al colapso tiende a fisurarse.
- Las muestras CM-T4 y YS-T5 demoran en colapsar minutos después de las muestras CM-T1 y YS-T2, presentan mayor resistencia por la presencia de la fibra de Abacá. Las probetas de yeso y cemento según norma se sujetarían para aplicación en viviendas por superar los 30 minutos establecidos por norma NTN INEN 804.



**Imagen 87:** Muestra de yeso fisurada por exposición al fuego(A), muestra de cemento fisurada por exposición al fuego (B).

**Fuente:** Autor, 2017

### 5.1.7. Resumen de los resultados de ensayos realizados: Mecánicos y físicos.

En la tabla 30 se indica en resumen los resultados de ensayos mecánicos y físicos de la muestras de cemento y yeso. Cabe señalar que para ensayos de flexión, compresión y densidad fueron sometidas 12 muestras; 6 de cemento y 6 de yeso respectivamente. Obtenidos estos resultados se seleccionó las muestras CM-T1, CM-T4, YS-T2 y YS-T5 que fueron los valores más óptimos de las pruebas mecánicas.

**Tabla 37:** Resumen de los resultados de ensayos: Mecánicos y físicos.

Resumen de los resultados de Ensayos realizados: Mecánico y Físicos							
Muestras	Ensayo Mecánicos		Ensayos físicos				
	Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de humedad (%)	Absorción (%)	Transferencia de calor (W)	Resistencia al fuego (min)
GRUPO A: CM-T1	45,89	125,35	1363,91	5,41	18,63	0,56	45
GRUPO B: CM-T4	61,75	103,54	1366,75	5,53	18,65	0,52	51
GRUPO A: YS-T2	26,6	34,92	1086,93	13,63	22,23	0,23	34
GRUPO B: YS-T5	30,02	35,74	1114,14	15,37	24,89	0,21	39

**NOTA:**  
**GRUPO A:**  
**Matriz** (aglomerante de **CEMENTO** +celulosa de papel).  
**Matriz** (aglomerante de **YESO** +celulosa de papel).  
**GRUPO B:**  
**Matriz** (aglomerante de **CEMENTO** + celulosa de papel) + **Refuerzo** (fibra de Abacá).  
**Matriz** (aglomerante de **YESO** + celulosa de papel) + **Refuerzo** (fibra de Abacá).

**Fuente:** Elaboración Autor, 2017

### 5.1.8. Presupuesto.

A continuación en las tablas 38, 39,40 y 41, se detalla los análisis del costo de las muestras CM-T4 y YS-T5, estas muestras se seleccionaron por tener los mejores resultados y contienen fibra de Abacá como refuerzo.

**Tabla 38:** Análisis de precios de la muestra CM-T4.

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO					
<b>Rubro :</b> Material de cemento con celulosa de papel y fibra de Abacá(MUESTRA CM-T4)					
<b>Unidad:</b> metro cuadrado (m2)					
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Jornal /Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo total
Albañil	1	2,75	2,75	0,2	0,55
Peón	1	2,25	2,25	0,125	0,28
<b>SUBTOTAL (A)</b>					<b>0,83</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total	
Cemento	Kg	6,1	0,28	1,71	
Celulosa de papel	Kg	0,9	0,28	0,25	
Aditivo	Kg	0,15	1,75	0,26	
Agua	Litros	40,0	0,022	0,88	
Fibra de Abacá	Kg	0,1	2,0	0,2	
Cal apagada(tratamiento)	Kg	0,1	0,2	0,02	
<b>SUBTOTAL (B)</b>					<b>3,32</b>
<b>EQUIPO</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total	
Herramienta menor	5%MO			0,042	
<b>SUBTOTAL (C)</b>					<b>0,042</b>
<b>TOTAL (A+B+C)</b>					<b>4,20</b>
<b>INDIRECTOS</b>					<b>0.00</b>
<b>TOTAL USD</b>					<b>4,20</b>
<b>SON CUATRO DOLARES CON 20/100 POR m2</b>					

Fuente: Elaboración Autor, 2017

**Tabla 39:** Análisis de precios de la muestra CM-T4, incluye estructura de anclaje.

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO					
<b>Rubro :</b> Material de cemento con celulosa de papel y fibra de Abacá(MUESTRA CM-T4)					
incluye estructura de panel ( estructura utilizada en paneles de gypsum, fibrocemento y yeso)					
<b>Unidad:</b> metro cuadrado (m2)					
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Jornal /Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo total
Albañil(elaboración material)	1	2,75	2,75	0,2	0,55
Peón(elaboración material)	1	2,25	2,25	0,125	0,28125
Albañil(estructura sujeción)	1	2,75	2,75	0,4	1,1
Peón(estructura de sujeción)	1	2,25	2,25	0,4	0,9
<b>SUBTOTAL (A)</b>					<b>2,83</b>

<b>MATERIALES</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total
Cemento	Kg	6,1	0,28	1,71
Celulosa de papel	Kg	0,9	0,28	0,25
Aditivo	Kg	0,15	1,75	0,26
Agua	Litros	40	0,022	0,88
Fibra de Abacá	Kg	0,1	2,00	0,2
Cal apagada(tratamiento)	Kg	0,1	0,2	0,02
<b>SUBTOTAL (B)</b>				<b>3,32</b>
<b>Estructura</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total
Perfil (TRACK)	U	4	0,3	1,2
Perfil(STUD)	U	4	0,3	1,2
Tornillo cabeza plana 6mm	U	8	0,016	0,13
Tornillo punta de broca(8mm)	U	8	0,018	0,14
Cinta para juntas	m	1	1,5	1,5
<b>SUBTOTAL (C)</b>				<b>4,17</b>
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total
Herramienta menor	5%MO			0,18
<b>SUBTOTAL (D)</b>				<b>0,18</b>
<b>TOTAL (A+B(2)+C+D)</b>				<b>10,51</b>
<b>INDIRECTOS</b>				0.00
<b>TOTAL USD</b>				<b>10,51</b>
SON DIEZ DOLARES CON 51/100 POR m2				

Fuente: Elaboración Autor, 2017

**Tabla 40:** Análisis de precios de la muestra YS-T5.

<b>ANALISIS DE PRECIO UNITARIO</b>					
<b>Rubro :</b> Material de yeso con celulosa de papel y fibra de Abacá(MUESTRA YS-T5)					
<b>Unidad:</b> metro cuadrado (m2)					
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Albañil	1	2,75	2,75	0,2	0,55
Peón	1	2,25	2,25	0,125	0,28
<b>SUBTOTAL (A)</b>					<b>0,83</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total	
Yeso	Kg	6,1	0,48	2,928	
Celulosa de papel	Kg	0,9	0,28	0,252	
Agua	Litros	40	0,022	0,88	
Fibra de Abacá	Kg	0,1	2	0,2	
Cal apagada(tratamiento)	Kg	0,1	0,2	0,02	
<b>SUBTOTAL (B)</b>					<b>4,28</b>
<b>EQUIPO</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total	
Herramienta menor	5%MO			0,042	
<b>SUBTOTAL (C)</b>					<b>0,042</b>
<b>TOTAL (A+B+C)</b>					<b>5,15</b>
<b>INDIRECTOS</b>					0.00
<b>TOTAL USD</b>					<b>5,15</b>
SON CINCO DOLARES CON 15/100 POR m2					

Fuente: Elaboración Autor, 2017

**Tabla 41:** Análisis de precios de la muestra YS-T5, incluye estructura de anclaje.

<b>ANALISIS DE PRECIO UNITARIO</b>					
<b>Rubro :</b> Material de yeso con celulosa de papel y fibra de Abacá(MUESTRA YS-T5)					
incluye estructura de panel ( estructura utilizada en paneles de gypsum, fibrocemento y yeso)					
<b>Unidad:</b> metro cuadrado (m2)					
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Albañil(elaboración material)	1	2,75	2,75	0,2	0,55
Peón(elaboración material)	1	2,25	2,25	0,125	0,28125
Albañil(estructura sujeción)	1	2,75	2,75	0,4	1,1
Peón(estructura de sujeción)	1	2,25	2,25	0,4	0,9
<b>SUBTOTAL (A)</b>					<b>2,83</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total	
Yeso	Kg	6,10	0,48	2,928	
Celulosa de papel	Kg	0,9	0,28	0,252	
Agua	Litros	40,0	0,022	0,88	
Fibra de Abacá	Kg	0,1	2	0,2	
Cal apagada(tratamiento)	Kg	0,1	0,2	0,02	
<b>SUBTOTAL (B)</b>					<b>4,28</b>
<b>Estructura</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total	
Perfil (TRACK)	U	4	0,3	1,2	
Perfil(STUD)	U	4	0,3	1,2	
Tornillo cabeza plana 6mm	U	8	0,016	0,13	
Tornillo punta de broca(8mm)	U	8	0,018	0,14	
Cinta para juntas	m	1	1,5	1,5	
<b>SUBTOTAL (C)</b>					<b>4,2</b>
<b>EQUIPO</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo total	
Herramienta menor	5%MO			0,18	
<b>SUBTOTAL (D)</b>					<b>0,18</b>
<b>TOTAL (A+B(2)+C+D)</b>					<b>11,46</b>
<b>INDIRECTOS</b>					0.00
<b>TOTAL USD</b>					<b>11,46</b>
SON ONCE DOLARES CON 46/100 POR m2					

Fuente: Elaboración Autor, 2017

Con los resultados del análisis de precios del material propuesto, los costos son bajos en relación a los vigentes en el mercado tal es el caso del gypsum cuyo valor es de \$20. 45 dólares (ver anexo 5 costo de gypsum). El costo de las muestras que incluyen estructura de anclaje para CM-T4 es de \$10, 51 dólares, el valor de YS-T5 es de \$11,46 dólares, por tanto la disminución de costos es significativo en relación al precio de gypsum.

### COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

En esta investigación la hipótesis planteada fue: **Si realizamos biocompuestos con aglomerantes (yeso y cemento), celulosa de papel y fibra vegetal de Abacá para mejorar su resistencia, entonces obtendremos algunas muestras con características especiales que mejoren sus condiciones físico mecánicas, por lo tanto obtendremos probetas con mejores características físico mecánicas aptas para la elaboración de paneles divisorios aplicables en vivienda de bajo costo en la ciudad de Loja y el país.** Por tanto realizados los ensayos de laboratorio, los resultados dejan entrever el mejoramiento de las propiedades mecánicas y físicas de algunas muestras utilizando celulosa de papel y fibra de Abacá, además mediante al análisis de costos se determinó que el material presenta un bajo costo en relación a los vigentes en el mercado.

## CONCLUSIONES

Realizado el trabajo de experimentación para obtener un material compuesto, a continuación se describe los aspectos más relevantes del trabajo:

- Los criterios y base teórica que se fundamenta esta investigación permitió obtener las muestras del material para ensayos de laboratorio.
- Con las experimentaciones previas a la obtención de muestras para ensayos, se pudo observar el comportamiento de los componentes al ser mezclados con aglomerados tal, es el caso de las partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá.
- El tratamiento de celulosa de papel y fibra de Abacá se realizó con hidróxido de calcio en los dos casos por su fácil accesibilidad, fácil manejo y operación, además por su bajo costo.
- De los resultados obtenidos de la prueba de la flexión en las muestras de cemento cumplen con la resistencia para láminas de fibrocemento, que están dentro del rango de  $40\text{Kg/cm}^2$  a  $70\text{Kg/cm}^2$  el material compuesto puede ser utilizado para tabiquería, las muestras que cumplen con la norma son CM-T1 con  $45,89\text{ Kg/cm}^2$  y CM-T4 con  $61,75\text{ Kg/cm}^2$ .
- Las muestras de yeso YS-T5 con  $30,02$  cumple con la norma con la norma Europea UNE EN 12859. Características y especificaciones para paneles de yeso cuya resistencia va de  $30\text{Kg/cm}^2$  a  $35\text{Kg/cm}^2$ , esta muestra podría ser utilizada como panel para interiores.
- Para hormigones livianos se designan en la norma ACI 213R (1987) como aquellos que poseen una densidad menor a  $1850\text{ Kg/m}^3$ . Por otro lado placa comercial fibrocemento densidad de  $1434\text{ Kg/m}^3$ . De los resultados obtenidos las muestras CM-T1 con  $1363,91$  y CM-T4 con  $1366,75$  de cemento cumple con lo requerido por la norma de densidades.
- Los resultados de las densidades cumplen con la norma Europea UNE EN 12859. Características y especificaciones para paneles de yeso, estima valores de densidades: alta  $1100 \leq d < 1500\text{Kg/m}^3$ , media:  $800 \leq d \leq 1100\text{ Kg/m}^3$ , baja:  $600 \leq d < 800\text{Kg/m}^3$ fg. La muestra YS-T5 según norma presenta densidad alta con un valor de  $1114.14\text{ Kg/cm}^3$ .
- En las pruebas físicas, en las de contenido de humedad y absorción presentan valores considerables que van de  $5\%$  -  $28\%$  aproximadamente esto se debe al contenido de celulosa de papel que representa un tipo de agregado poroso, sin embargo se podría

buscar alternativas para disminuir los porcentajes de humedad y absorción mediante la utilización de aditivos o sustancias repelentes al agua.

- La transferencia de calor es por radiación solar, en las muestras sometidas a esta prueba se pudo verificar que existe una transferencia de calor y los datos obtenidos son una aproximación por la utilización de valores de conductividad térmica de otros materiales, por no existir el equipo para determinar la conductividad de cada muestra.
- Los resultados obtenidos de las prueba de resistencia al fuego fueron positivos y cumple la norma de resistencia al fuego.
- Realizado el análisis de costos del material, se concluye que el costo del material es bajo en relación a los vigentes en el mercado, sin embargo estos pueden disminuir, al realizar planteamientos de la estructura sujeción utilizando materiales de origen vegetal como podría ser la chonta o buscar alternativas que podrían ser propuesto para otro trabajo de investigación.

## RECOMENDACIONES

- En el proceso de experimentación se debe observar el comportamiento de los componentes del material desde obtención de materia prima, tratamientos hasta la obtención del material compuesto.
- La degradación de las fibras vegetales al ser expuesta a la alcalinidad del cemento es una desventaja, en esta investigación se utiliza un tratamiento con hidróxido de calcio, sin embargo se recomienda buscar otras alternativas de tratamientos diferentes al hidróxido de calcio para establecer comparaciones.
- En la etapa de adición de la fibras a pasta de yeso se produce apelmamientos por la granulometría de este aglomerante y rápido fraguado, de ahí se recomienda usar un aditivo que retarde el proceso de fraguado.
- En lo que se refiere al batido de mezcla se realizó manualmente, proceso que no permite un batido totalmente homogéneo que se refleja en los resultados de ensayos. Por lo dicho anteriormente se recomienda hacerlo con equipo específico.
- Todos los moldes de encofrado deben mantener iguales dimensiones, con la finalidad de no se alterar los resultados en ensayos por el incremento en lo que se refiere a peso del material.
- Una correcta compactación permitirá evitar espacios vacíos en la mezcla ya que generan disminución en la resistencia, en este caso se presentó cierta dificultad en la compactación por la presencia de partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACI Committee 544, "State-of-the-Art on Fiber Reinforced Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part 5, 1998.
- ASTM C-494. Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.
- American Society for testing and Materials. (1995). Annual book of ASTM standards, Estados Unidos.
- Avellan V., Donoso A. & González L. (2010). Diseño de componentes constructivos con Ecomateriales para edificaciones de la costa (Tesis de pregrado). Universidad Santiago de Guayaquil. Ecuador.
- Begliardo, H. Sánchez, M. Panigatti, M. & Garrappa, S. (2013). Reutilización de yeso recuperado de construcciones: un estudio basado en requisitos de aptitud de normas argentinas y chilenas Revista de la construcción.
- Bojórquez I. (2005). Desarrollo de un material a base de fibras orgánicas del sudeste mexicano en matriz de cemento Portland para producir paneles ligeros. Instituto Politécnico José Antonio Echeverría. México.
- Bledzki A.K., Reihmane S., Gassan J. (1996). Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites. Institut für Werkstofftechnik, University Kassel. Kassel. Germany.
- Bailón E. & Espinosa R., (2015) Contexto y análisis de la vivienda en la región sur del Ecuador. Loja, Ecuador.
- Bentur, A. and Akerst, S.A.S. The microstructure and ageing of cellulose fibre reinforced cement composites cured in a normal environment. The International Journal of Cement Composites and Lightweight. Vol. 11, Number 2, 1989.
- Besednjak, A., Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones. Náutica UPC. 2005, Barcelona.
- Bonilla ,O. (2012). Procesamiento de la fibra de Abacá para los tejidos y no tejidos. Primer encuentro de productores artesanales de fibra natural.
- Chang A. & Montero G. Análisis del comportamiento del sector exportador del Abacá en el Ecuador, periodo 2000-2013. Universidad Católica Santiago de Guayaquil. Ecuador (2015)
- Cottier J. (1995) Tecnología del concreto. México
- Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón (2005). Fibras Utilizadas Para la Producción de Papel. <http://www.reciclapapel.org/htm/info/tecnica/>. España.
- Department of Polymer University of Southern Mississippi (2003). Science of the Macrogalleria version 2.5. Mississippi. USA.
- Departamento de Engenharia de Construcao Civil da Escola Politécnica, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo.
- De Garrido, Luis. (2001-2012). Un nuevo paradigma en arquitectura, Barcelona.

- Edwards, Brian. Hyett, Paul. (2001). Guía Básica de la Sostenibilidad, Barcelona.
- Euronit “Panel Bluclad. (Online)Available: <http://www.euronit.es/sistemas/fachadas-ventiladas/buclad>.
- Euronit “Sistema Catedral”.(online)Available: <http://www.euronit.es/sistemas/fachadas-ventiladas/catedral>.
- Erazo R. “Variación de la conductividad térmica con humedad. “ Tesis. Chile.20grt07.
- Fuentes C. Estudio de materiales compuestos de cemento, papel reciclado, Quitosano y fibra de sisal para la fabricación de calaminas y paneles utilizados en la construcción de viviendas económicas. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú (2006)
- Flink HP, Ganster J., Fraatz J. Akzo (1994). Nobel Viscose Chemistry Seminar Challenges in Cellulosic Manmade Fibers.Stockholm.Suecia.
- Gutierrez, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Gram, H.E. Durability of natural fabrics in concrete. Stockholm S: w eden Ed. Swedsh Cement and Concrete. Research Institute, 1983.
- Goma F, 1979. El cemento portland y otros aglomerantes. Barcelona. España. Printed in spain.
- J. Claramunt Blanes, “Utilització de fibres vegetals per a l’elaboració de morters d’ altes prestacions (SHCC). “Universitat Politècnica de Catalunya.
- J.Claramunt, M. Ardanuy, J.A. Garcia-Hortal, and R. D. T. Filho, “The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites”, Cem. Concr. Compos, vol 33, no.5. 2011.
- Jadán R., (2017). Composite de matriz de cemento y Refuerzo de Abacá. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador
- H.-E. Gram, “Natural fibre concrete roofing”, in Natural fibre reinforced cement and concrete. Vol V, first edit, R.N. Swamy, Ed.Glasgow and London: Blackie and Son Ltd., 1988.
- Hoja Técnica Sika® Cem Plastificante 22.01.15, Edición 3
- <https://www.google.com.ec/search?q=residuos+de+la+construccion&biw=1366&bih=631&source=lnms&tb>
- <https://reciclajeverde.wordpress.com/2012/08/04/reciclaje-de-residuos-de-construccion-una-posibilidad-de-negocio>
- [https://www.google.com.ec/search?q=residuos+de+la+construccion&biw=1366&bih=631&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjdydOamJnOAhXDPB4KHaxeDWgQ\\_AUIBigB#tbn=isch&q=Museo+Hist%C3%B3rico+de+Ningbo+-+China&imgsrc=YO9IxCsQs0axfM%3A](https://www.google.com.ec/search?q=residuos+de+la+construccion&biw=1366&bih=631&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjdydOamJnOAhXDPB4KHaxeDWgQ_AUIBigB#tbn=isch&q=Museo+Hist%C3%B3rico+de+Ningbo+-+China&imgsrc=YO9IxCsQs0axfM%3A)
- <http://ccqc.pangea.org/cast/sosteni/soscast.htm>.

- Instituto de recursos naturales y agrobiología de Sevilla del consejo superior de investigaciones científicas. (2006). Caracterización química de las fibras de plantas herbáceas utilizadas para la fabricación de pastas de papel de alta calidad.
- Kreith F., Manglik R. & Bohn M. (2012). Transferencia de Calor. Séptima edición. Cengage Learning. México
- Llerena A. (2014). Estudio de compuestos cementíceos reforzados con fibras vegetales. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.
- Leatham D. (2000). Factores económicos afectando a la producción de Abacá en el Ecuador.
- Lim L. & Auras R. Processing technologies for poly (lactic acid); University of Gueph-Canada; Elsevier. 2008
- M.A. Aziz, P. Paramasivam, S.L. Lee, "Concrete reinforced with natural fibres", Concrete technology and Desing Vol. 2, Surrey University Press, 1984.
- M.A. Aziz, P. Paramasivam, S.L. Lee, " Prospects of natural fiber reinforced concretes in construction", Cement composites and lightweight concrete, vol.3.
- MOHANTY, A; Natural Fiber and Biocomposites. Taylor & Francis Group, 2005.
- NCh (1999). Norma chilena 853.Of91. Acondicionamiento térmico- Envoltente térmico de edificios -Calculo de resistencias y transmitancias térmicas.
- Mattews, F., Davies, G., Hitchings, D., y Soutis, C. (2000). Finite element modeling of Composite materials and structures, Inglaterra: Woodhead Publishing Limited
- Macías A. "Investigación, desarrollo e innovación de compositos de fibras naturales aglutinados con cement Portland ordinari". Instituto Politécnico Nacional Cicata-IPN, Altamira. (2014)
- Maiti, Ratikanta (1995). Fibras vegetales del mundo -Aspectos botánicos, calidad y utilidad. Primera edición. México D.F., México. Editorial Trillas.
- Montoya, P., Méseguer, A., &Morán (2000).No title (Gustavo Gi).
- NTE INEN 1762. (2014). Hormigon.Deficiniciones y terminología. Quito.
- Prado C. (2014). Propuesta de diseño de viviendas sostenibles para climas andinos ecuatoriales. Universidad Tecnica Particular de Loja. Ecuador
- Parry, J. P. M. Development and Testing of Roof Cladding Materials Made from Fibre Reinforced Cement. Appropriate Technology Vo. 8. 1981.
- Pontón P. Gurrero V. (2010). Obtención de Materiales Compuestos Matriz Poliéster reforzados con fibra de Abacá mediante Estratificación manual. Revista Tecnológica ESPOL. Vol. 23, No.259
- Ponce S., & Guerrero V. (2014). Propiedades Mecánicas de Compuesto Biodegradables elaborados a base de Ácido Poliláctico reforzados con fibras de Abacá. Revista EPN, Vol.33

- Reyes C. "Estudio del comportamiento d morteros reforzados con fibras de maíz, para componentes de vivienda de bajo costo", Universidad Politécnica de Catalunya, 2009.
- Rodríguez I. "Caracterización química de fibras de plantas Herbáceas utilizadas para la fabricación de pastas de papel de alta calidad. Tesis Doctoral Universidad de Sevilla. (2006)
- Rodríguez L. (2014). Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano (Tesis de Maestría). Universidad de Colombia. Colombia.
- Raymond A. Young, Alcides Leao, Francisco Carvalho, Elisabete Frollini Lignocellulosic Plastic Composites, Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Applications. 1997
- Rodríguez, F., & Pérez, D. (1984). Hormigón con la incorporación de fibras. Revista de obras Públicas.
- Rueda A. (2017). Paneles de yeso con fibra de banano y su uso en la construcción. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja. Ecuador
- Savastano Jr., (2000). "Materiais à base de dimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de residuos para a construcao de baixo custo," Tesis Concurso de Livre-Docencia,
- Sánchez Alberto (1990). Cultivo de fibras. México D. F., México. Editorial Trillas
- Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006). Aplicación de las fibras Naturales en desarrollo de materiales compuestos y como biomasa. Revista Tecnológica ESPOL, vol 19(1).
- UNE 83-200-84. Aditivos. Definición y funciones. España
- V. M. John, V. Agopyan, and A. Derolle,"Durability of blast furnace-slag-based cement mortar reinforced with coir fibres as building materials, first edit., H. Sobral, Ed. London, etc.: Chapman and Hall, 1990.
- Vargas L. "Uso de las fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre, en la elaboración de un". Material compuesto Universidad de Coloma, Coquimatlán. (2007).

## **ANEXOS**

## ANEX 1. Imágenes complementarias de la experimentación



**Imagen 88:** Celulosa de papel obtenida de cubetas de huevo, celulosa de papel obtenida de papel boom.

**Fuente:** Autor, 2016



**Imagen 89:** Partículas de celulosa de cubetas de huevo y celulosa de papel boom.

**Fuente:** Autor, 2016



**Imagen 90:** Muestras de mezclas previas a la obtención de dosificaciones finales

**Fuente:** Autor, 2016



**Imagen 91:** Muestras de cemento previas a la obtención de dosificaciones finales.  
**Fuente:** Autor, 2016



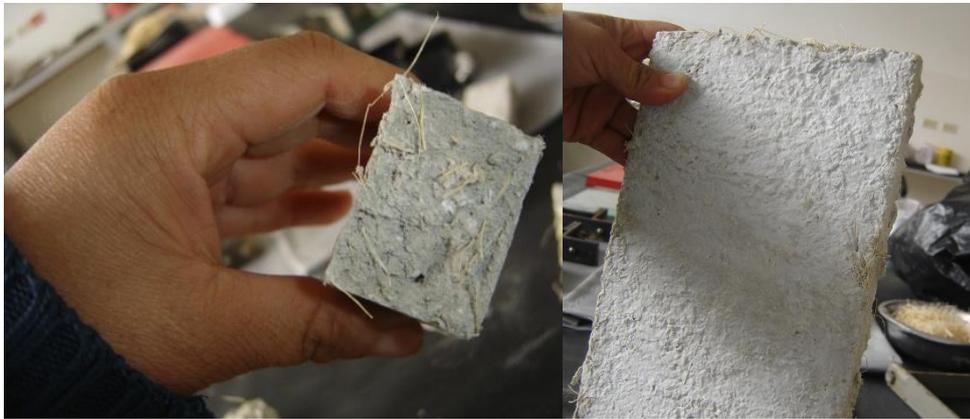
**Imagen 92:** Apariencia de partículas de celulosa de papel con cemento y yeso.  
**Fuente:** Autor, 2016



**Imagen 93:** Muestras elaboradas en una de las experimentaciones.  
**Fuente:** Autor, 2016



**Imagen 94:** Combinaciones de cemento y celulosa de papel, combinación de cemento celulosas de papel y fibra de Abacá.  
**Fuente:** Autor, 2016

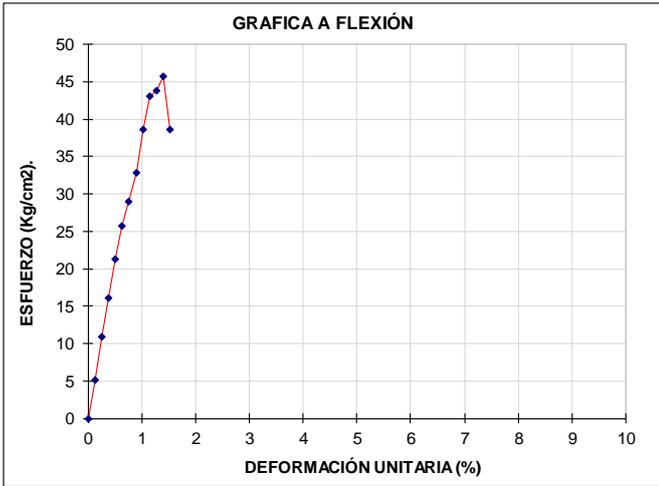


**Imagen 95:** Muestras secas de yeso con fibra de Abacá.  
**Fuente:** Autor, 2016



**Imagen 96:** Muestras de cemento y yeso CM-T1, CM-T4, YS-T2 y YS-T5 pintadas con pintura para exteriores, expuestas al sol y lluvia por dos meses.  
**Fuente:** Autor, 2016

**ANEXO 2:** Tablas de resultados de ensayo de resistencia a la flexión.

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>					
<b>ENSAYO A FLEXIÓN</b>					
<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>				
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" <b>NORMA:</b> INEN - 652				
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche <b>MUESTRA:</b> CM-T1A				
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega :				
<b>FECHA :</b>	feb-17				
<b>DATOS DE LA MUESTRA.</b>					
<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.				
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.				
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.				
<b>PESO :</b>	754 gr.				
<b>CONSTANTE DEL ANILLO</b>					
<b>K :</b> <b>0,83 kg/dv.</b>					
<b>DATOS DE LA PRUEBA</b>					
Dial de Deform. .001 "	Lecturas Dial Carga .001 "	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	8,5	0,25	7,06	25,00	10,94
15	12,5	0,38	10,38	25,00	16,08
20	16,5	0,51	13,70	25,00	21,23
25	20,0	0,64	16,60	25,00	25,73
30	22,5	0,76	18,68	25,00	28,95
35	25,5	0,89	21,17	0,00	32,81
40	30,0	1,02	24,90	0,00	38,60
45	33,5	1,14	27,81	0,00	43,10
50	34,0	1,27	28,22	15,00	43,74
55	35,5	1,40	29,47	0,00	45,67
60	30,0	1,52	24,90	15,00	38,60
<b>RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=</b>					<b>45,67</b>
<b>GRAFICA A FLEXIÓN</b> 					
<b>OBSERVACIONES:</b> Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.					
<b>Ing. Ángel Tapia Ch.</b> <b>DOCENTE</b>			<b>Egda. Doris Sinchire C.</b> <b>TESISTA</b>		



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** CM-T1B  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 762 gr.

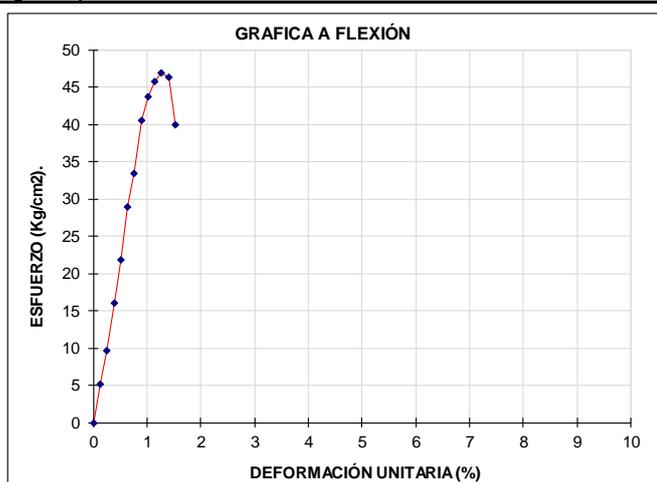
**CONSTANTE DEL ANILLO**

**K :** 0,83 kg/dv.

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	7,5	0,25	6,23	25,00	9,65
15	12,5	0,38	10,38	25,00	16,08
20	17,0	0,51	14,11	25,00	21,87
25	22,5	0,64	18,68	25,00	28,95
30	26,0	0,76	21,58	25,00	33,45
35	31,5	0,89	26,15	0,00	40,52
40	34,0	1,02	28,22	0,00	43,74
45	35,5	1,14	29,47	0,00	45,67
50	36,5	1,27	30,30	15,00	46,96
55	36,0	1,40	29,88	0,00	46,31
60	31,0	1,52	25,73	15,00	39,88

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)= 46,96**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

**PROYECTO :** **ECOMATERIALES**  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** CM-T1C  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 752 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

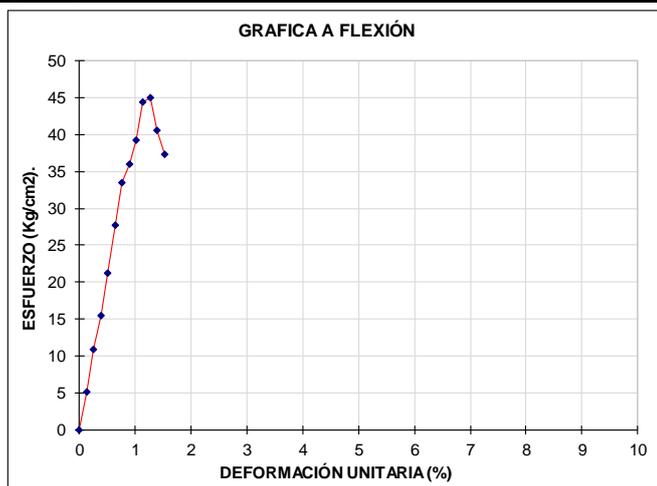
**K :** 0,83 kg/dv.

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	8,5	0,25	7,06	25,00	10,94
15	12,0	0,38	9,96	25,00	15,44
20	16,5	0,51	13,70	25,00	21,23
25	21,5	0,64	17,85	25,00	27,66
30	26,0	0,76	21,58	25,00	33,45
35	28,0	0,89	23,24	0,00	36,02
40	30,5	1,02	25,32	0,00	39,24
45	34,5	1,14	28,64	0,00	44,38
50	35,0	1,27	29,05	15,00	45,03
55	31,5	1,40	26,15	0,00	40,52
60	29,0	1,52	24,07	15,00	37,31

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**45,03**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

**Ing. Ángel Tapia Ch.**  
DOCENTE

**Egda. Doris Sinchire C.**  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** CM-T2A  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 786 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

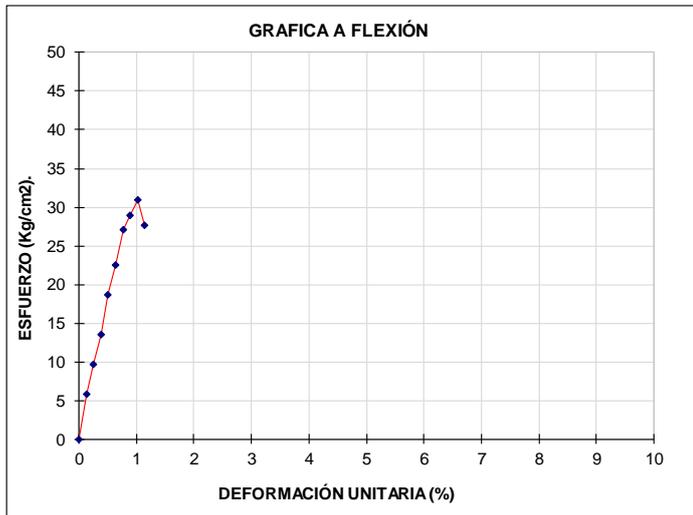
**K :** 0,83 kg/dv.

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%).	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4,5	0,13	3,74	25,00	5,79
10	7,5	0,25	6,23	25,00	9,65
15	10,5	0,38	8,72	25,00	13,51
20	14,5	0,51	12,04	25,00	18,65
25	17,5	0,64	14,53	25,00	22,51
30	21,0	0,76	17,43	25,00	27,02
35	22,5	0,89	18,68	25,00	28,95
40	24,0	1,02	19,92	25,00	30,88
45	21,5	1,14	17,85	25,00	27,66

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**30,88**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

**Ing. Ángel Tapia Ch.**  
DOCENTE

**Egda. Doris Sinchire C.**  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** CM-T2B  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 788 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

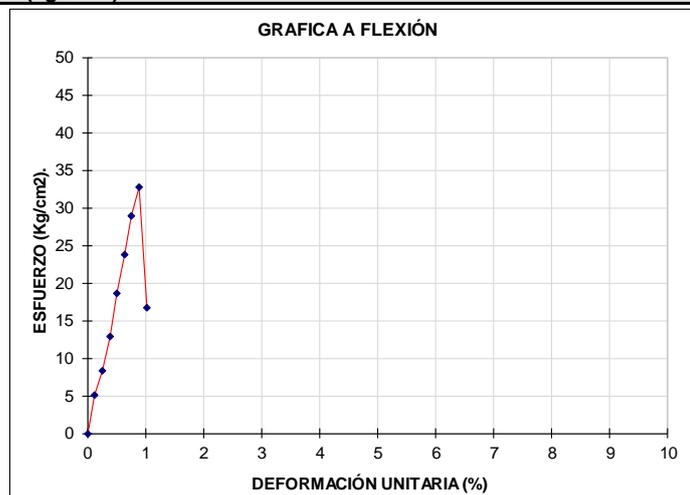
**K :** 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	6,5	0,25	5,40	25,00	8,36
15	10,0	0,38	8,30	25,00	12,87
20	14,5	0,51	12,04	25,00	18,65
25	18,5	0,64	15,36	25,00	23,80
30	22,5	0,76	18,68	25,00	28,95
35	25,5	0,89	21,17	25,00	32,81
40	13,0	1,02	10,79	25,00	16,72

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

32,81



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** CM-T2C  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 779 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

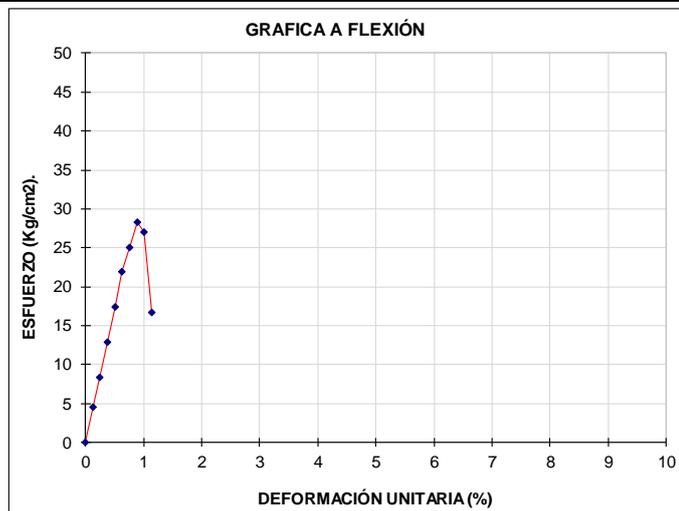
**K :** 0,83 kg/dv.

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,5	0,13	2,91	25,00	4,50
10	6,5	0,25	5,40	25,00	8,36
15	10,0	0,38	8,30	25,00	12,87
20	13,5	0,51	11,21	25,00	17,37
25	17,0	0,64	14,11	25,00	21,87
30	19,5	0,76	16,19	25,00	25,09
35	22,0	0,89	18,26	25,00	28,30
40	21,0	1,02	17,43	25,00	27,02
45	13,0	1,14	10,79	25,00	16,72

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**28,30**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

**Ing. Ángel Tapia Ch.**  
DOCENTE

**Egda. Doris Sinchire C.**  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** CM-T3A  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 837 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

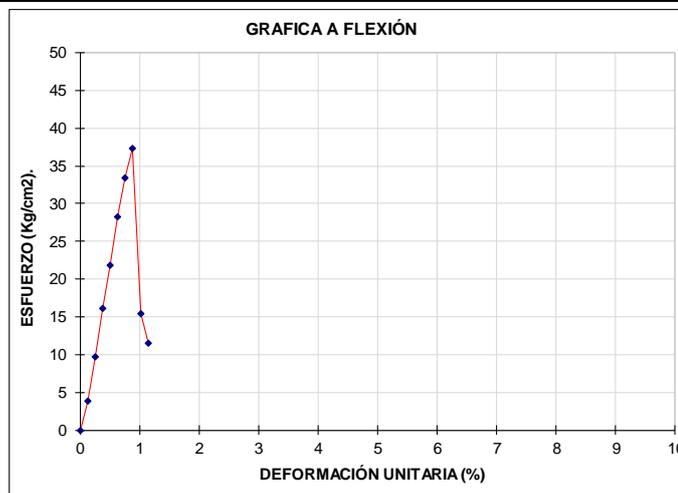
**K :** 0,83 kg/dv.

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3	0,13	2,49	25,00	3,86
10	7,5	0,25	6,23	25,00	9,65
15	12,5	0,38	10,38	25,00	16,08
20	17,0	0,51	14,11	25,00	21,87
25	22,0	0,64	18,26	25,00	28,30
30	26,0	0,76	21,58	25,00	33,45
35	29,0	0,89	24,07	25,00	37,31
40	12,0	1,02	9,96	25,00	15,44
45	9,0	1,14	7,47	25,00	11,58

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**37,31**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** CM-T3B  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 843 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

**K :** 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%).	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	7,5	0,25	6,23	25,00	9,65
15	12,0	0,38	9,96	25,00	15,44
20	16,5	0,51	13,70	25,00	21,23
25	20,5	0,64	17,02	25,00	26,37
30	25,0	0,76	20,75	25,00	32,16
35	29,8	0,89	24,73	25,00	38,34
40	10,0	1,02	8,30	25,00	12,87

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

38,34



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** CM-T3C  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 834 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

**K :** 0,83 kg/dv.

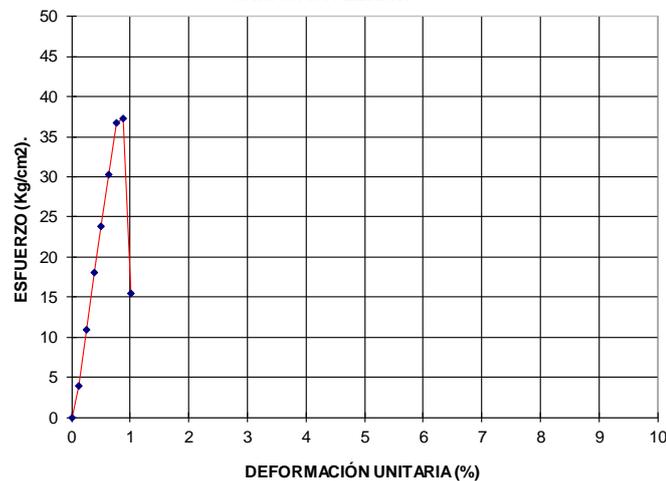
DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3	0,13	2,49	25,00	3,86
10	8,5	0,25	7,06	25,00	10,94
15	14,0	0,38	11,62	25,00	18,01
20	18,5	0,51	15,36	25,00	23,80
25	23,5	0,64	19,51	25,00	30,23
30	28,5	0,76	23,66	25,00	36,67
35	29,0	0,89	24,07	25,00	37,31
40	12,0	1,02	9,96	25,00	15,44

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

37,31

GRAFICA A FLEXIÓN



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biomaterial compuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> CM-T4A
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	
<b>FECHA :</b>	feb-17	

DATOS DE LA MUESTRA.

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	760 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

K : 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	0,13	4,15	25,00	6,43
10	9,5	0,25	7,89	25,00	12,22
15	14,0	0,38	11,62	25,00	18,01
20	18,0	0,51	14,94	25,00	23,16
25	22,5	0,64	18,68	25,00	28,95
30	28,0	0,76	23,24	25,00	36,02
35	30,0	0,89	24,90	25,00	38,60
40	36,0	1,02	29,88	0,00	46,31
45	41,0	1,14	34,03	25,00	52,75
50	43,0	1,27	35,69	25,00	55,32
55	48,0	1,40	39,84	25,00	61,75
60	47,0	1,52	39,01	25,00	60,47
65	39,0	1,65	32,37	25,00	50,17

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

61,75

GRAFICA A FLEXIÓN



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> CM-T4B
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	
<b>FECHA :</b>	feb-17	

DATOS DE LA MUESTRA.

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L) :</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	767 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

K : 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	0,13	4,15	25,00	6,43
10	10,0	0,25	8,30	25,00	12,87
15	15,0	0,38	12,45	25,00	19,30
20	21,0	0,51	17,43	25,00	27,02
25	25,5	0,64	21,17	25,00	32,81
30	31,5	0,76	26,15	25,00	40,52
35	37,0	0,89	30,71	25,00	47,60
40	40,0	1,02	33,20	25,00	51,46
45	45,0	1,14	37,35	25,00	57,89
50	47,5	1,27	39,43	25,00	61,11
55	47,5	1,40	39,43	25,00	61,11
60	40,0	1,52	33,20	25,00	51,46
65	35,0	1,65	29,05	25,00	45,03

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

61,11



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> CM-T4C
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	
<b>FECHA :</b>	feb-17	

**DATOS DE LA MUESTRA.**

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	770 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

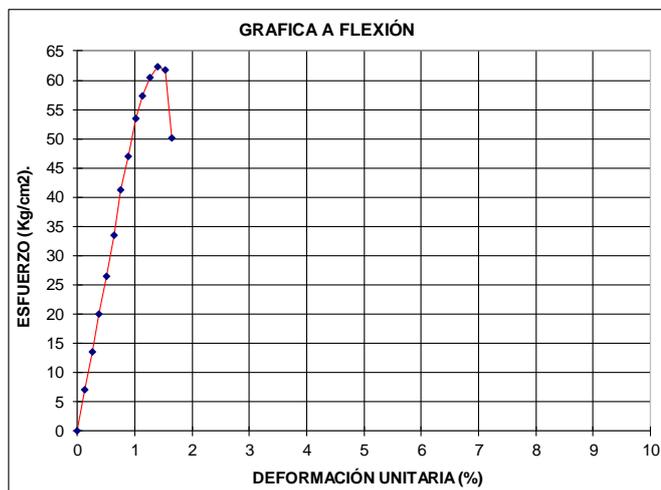
**K : 0,83 kg/dv.**

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5,5	0,13	4,57	25,00	7,08
10	10,5	0,25	8,72	25,00	13,51
15	15,5	0,38	12,87	25,00	19,94
20	20,5	0,51	17,02	25,00	26,37
25	26,0	0,64	21,58	25,00	33,45
30	32,0	0,76	26,56	25,00	41,17
35	36,5	0,89	30,30	25,00	46,96
40	41,5	1,02	34,45	0,00	53,39
45	44,5	1,14	36,94	25,00	57,25
50	47,0	1,27	39,01	25,00	60,47
55	48,5	1,40	40,26	25,00	62,40
60	48,0	1,52	39,84	25,00	61,75
65	39,0	1,65	32,37	25,00	50,17

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**62,40**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

**Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE**

**Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA**



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> CM-T5A
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	:
<b>FECHA :</b>	feb-17	

**DATOS DE LA MUESTRA.**

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (d) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	800 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

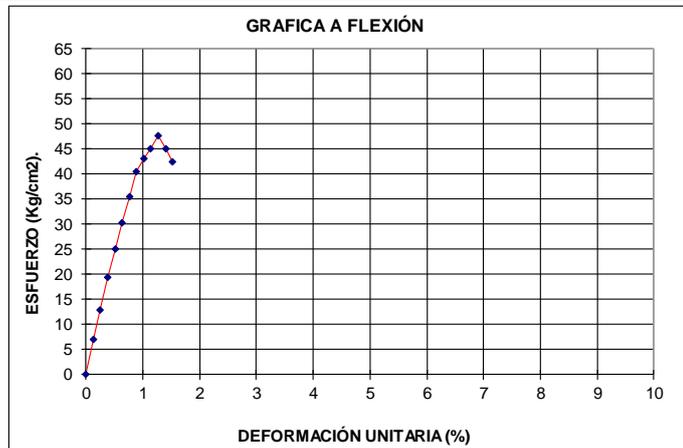
**K : 0,83 kg/dv.**

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%).	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5,5	0,13	4,57	25,00	7,08
10	10,0	0,25	8,30	25,00	12,87
15	15,0	0,38	12,45	25,00	19,30
20	19,5	0,51	16,19	25,00	25,09
25	23,5	0,64	19,51	25,00	30,23
30	27,5	0,76	22,83	25,00	35,38
35	31,5	0,89	26,15	25,00	40,52
40	33,5	1,02	27,81	25,00	43,10
45	35,0	1,14	29,05	25,00	45,03
50	37,0	1,27	30,71	25,00	47,60
55	35,0	1,40	29,05	25,00	45,03
60	33,0	1,52	27,39	25,00	42,45

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**47,60**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> CM-T5B
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	:
<b>FECHA :</b>	feb-17	

DATOS DE LA MUESTRA.

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	805 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

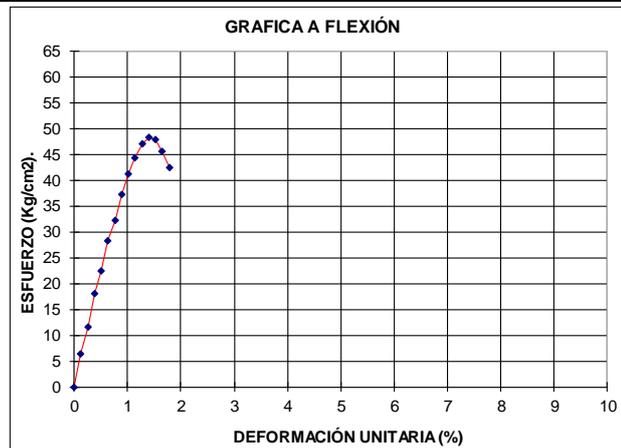
**K :** 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	0,13	4,15	25,00	6,43
10	9,0	0,25	7,47	25,00	11,58
15	14,0	0,38	11,62	25,00	18,01
20	17,5	0,51	14,53	25,00	22,51
25	22,0	0,64	18,26	25,00	28,30
30	25,0	0,76	20,75	25,00	32,16
35	29,0	0,89	24,07	25,00	37,31
40	32,0	1,02	26,56	25,00	41,17
45	34,5	1,14	28,64	25,00	44,38
50	36,5	1,27	30,30	25,00	46,96
55	37,5	1,40	31,13	25,00	48,24
60	37,2	1,52	30,88	25,00	47,86
65	35,5	1,65	29,47	25,00	45,67
70	33,0	1,78	27,39	25,00	42,45

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

48,24



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : **ECOMATERIALES**  
TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"  
REALIZADO Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
SOLICITADO : Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
FECHA : feb-17

NORMA: INEN - 652  
MUESTRA: CM-T5C

DATOS DE LA MUESTRA.

ANCHO (b) : 15 cm.  
LONGITUD ENTRE APOYOS (L): 25,0 cm.  
ESPESOR (d) : 1,27 cm.  
PESO : 790 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

K : 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	0,13	4,15	25,00	6,43
10	10,5	0,25	8,72	25,00	13,51
15	14,5	0,38	12,04	25,00	18,65
20	19,0	0,51	15,77	25,00	24,44
25	23,0	0,64	19,09	25,00	29,59
30	27,5	0,76	22,83	25,00	35,38
35	31,5	0,89	26,15	25,00	40,52
40	33,0	1,02	27,39	25,00	42,45
45	35,0	1,14	29,05	25,00	45,03
50	35,5	1,27	29,47	25,00	45,67
55	31,0	1,40	25,73	25,00	39,88
60	27,0	1,52	22,41	25,00	34,74

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

45,67



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> CM-T6A
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	
<b>FECHA :</b>	feb-17	

**DATOS DE LA MUESTRA.**

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	851 gr.

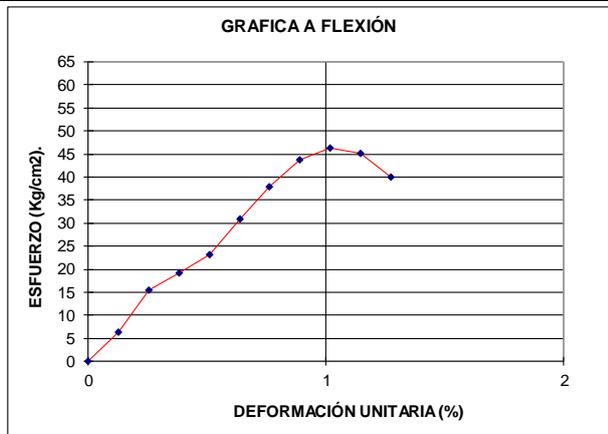
**CONSTANTE DEL ANILLO**

**K : 0,83 kg/dv.**

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. ( % ).	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm2.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	0,13	4,15	25,00	6,43
10	12,0	0,25	9,96	25,00	15,44
15	15,0	0,38	12,45	25,00	19,30
20	18,0	0,51	14,94	25,00	23,16
25	24,0	0,64	19,92	25,00	30,88
30	29,5	0,76	24,49	25,00	37,95
35	34,0	0,89	28,22	25,00	43,74
40	36,0	1,02	29,88	25,00	46,31
45	35,0	1,14	29,05	25,00	45,03
50	31,0	1,27	25,73	25,00	39,88

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)= 46,31**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

**Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE**

**Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA**



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**NORMA:** INEN - 652

**MUESTRA:** CM-T6B

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 845 gr.

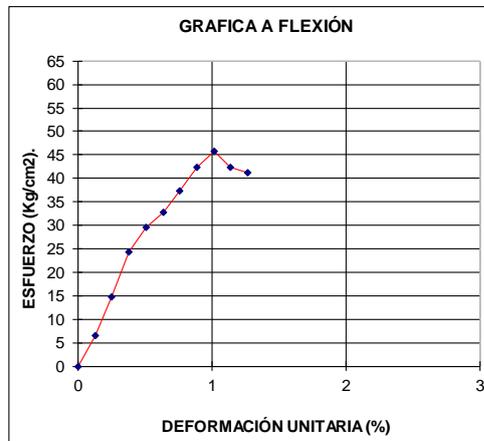
**CONSTANTE DEL ANILLO**

**K :** 0,83 kg/dv.

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm2.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	0,13	4,15	25,00	6,43
10	11,5	0,25	9,55	25,00	14,79
15	19,0	0,38	15,77	25,00	24,44
20	23,0	0,51	19,09	25,00	29,59
25	25,5	0,64	21,17	25,00	32,81
30	29,0	0,76	24,07	25,00	37,31
35	33,0	0,89	27,39	25,00	42,45
40	35,5	1,02	29,47	25,00	45,67
45	33,0	1,14	27,39	25,00	42,45
50	32,0	1,27	26,56	25,00	41,17

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)= 45,67**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

**Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE**

**Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA**



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : **ECOMATERIALES**  
TESIS : "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
REALIZADO Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** CM-T6C  
SOLICITADO : Mgs. Alexandra Moncayo Vega :  
FECHA : feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

ANCHO (b) : 15 cm  
LONGITUD ENTRE APOYOS (L): 25,0 cm.  
ESPESOR (d) : 1,27 cm.  
PESO : 806 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

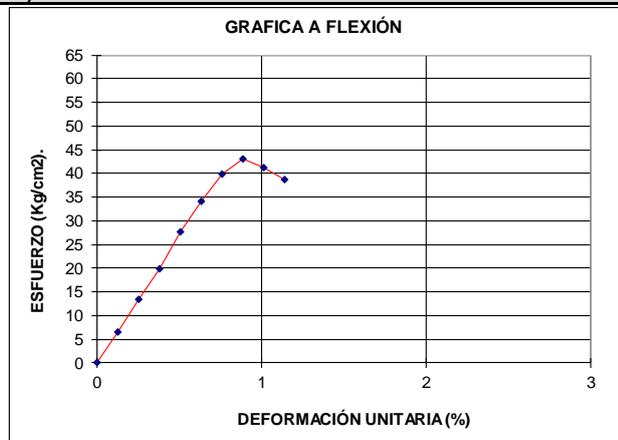
K : 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%).	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	0,13	4,15	25,00	6,43
10	10,5	0,25	8,72	25,00	13,51
15	15,5	0,38	12,87	25,00	19,94
20	21,5	0,51	17,85	25,00	27,66
25	26,5	0,64	22,00	25,00	34,09
30	31,0	0,76	25,73	25,00	39,88
35	33,5	0,89	27,81	25,00	43,10
40	32,0	1,02	26,56	25,00	41,17
45	30,0	1,14	24,90	25,00	38,60

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

43,10



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> YS-T1A
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	:
<b>FECHA :</b>	feb-17	

**DATOS DE LA MUESTRA.**

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L)</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	590 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

**K :** 0,83 kg/dv.

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	7,5	0,25	6,23	25,00	9,65
15	11,5	0,38	9,55	25,00	14,79
20	15,0	0,51	12,45	25,00	19,30
25	15,5	0,64	13,50	25,00	20,93
30	13,0	0,76	10,79	25,00	16,72
35	10,5	0,89	8,72	25,00	13,51

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**20,93**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : ECOMATERIALES  
TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" NORMA: INEN - 652  
REALIZADO Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche MUESTRA: YS-T1B  
SOLICITADO : Mgs. Alexandra Moncayo Vega :  
FECHA : feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

ANCHO (b) : 15 cm.  
LONGITUD ENTRE APOYOS (L) 25,0 cm.  
ESPESOR (h) : 1,27 cm.  
PESO : 588 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

K : 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001 "	Lecturas Dial Carga .001 "	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	2,5	0,13	2,08	25,00	3,22
10	5,0	0,25	4,15	25,00	6,43
15	7,5	0,38	6,23	25,00	9,65
20	10,5	0,51	8,72	25,00	13,51
25	13,0	0,64	10,79	25,00	16,72
30	15,5	0,76	12,87	25,00	19,94
35	15,5	0,89	12,87	15,00	19,94
40	14,0	1,02	11,62	15,00	18,01
45	12,5	1,14	10,38	25,00	16,08

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

19,94



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**NORMA:** INEN - 652  
**MUESTRA:** YS-T1C

DATOS DE LA MUESTRA.

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L)** 25,0 cm.  
**ESPESOR (d) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 582 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

**K :** 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1	0,13	0,83	25,00	1,29
10	3,5	0,25	2,91	25,00	4,50
15	6,5	0,38	5,40	25,00	8,36
20	10,5	0,51	8,72	25,00	13,51
25	15,0	0,64	12,45	25,00	19,30
30	15,0	0,76	12,45	25,00	19,30
35	14,5	0,89	12,04	25,00	18,65
40	11,0	1,02	9,13	25,00	14,15

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

19,30



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> YS-T2A
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	:
<b>FECHA :</b>	feb-17	

DATOS DE LA MUESTRA.

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L)</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	627 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

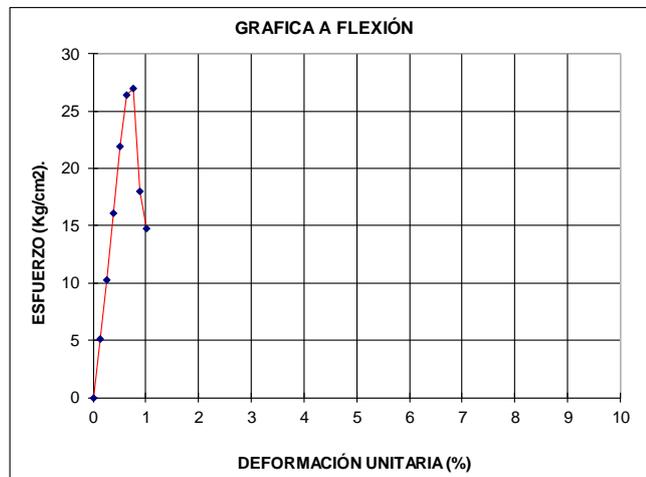
**K :** 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	8,0	0,25	6,64	25,00	10,29
15	12,5	0,38	10,38	25,00	16,08
20	17,0	0,51	14,11	25,00	21,87
25	20,5	0,64	17,02	25,00	26,37
30	21,0	0,76	17,43	25,00	27,02
35	14,0	0,89	11,62	25,00	18,01
40	11,5	1,02	9,55	25,00	14,79

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

27,02



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17  
**NORMA:** INEN - 652  
**MUESTRA:** YS-T2B

DATOS DE LA MUESTRA.

**ANCHO (b) :** 15 cm  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 625 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

**K :** 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001 "	Lecturas Dial Carga .001 "	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,5	0,13	2,91	25,00	4,50
10	7,5	0,25	6,23	25,00	9,65
15	12,0	0,38	9,96	25,00	15,44
20	16,5	0,51	13,70	25,00	21,23
25	20,5	0,64	17,02	25,00	26,37
30	11,5	0,76	9,55	25,00	14,79
35	9,5	0,89	7,89	25,00	12,22

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

26,37



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** YS-T2C  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 622 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

**K : 0,83 kg/dv.**

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001 "	Lecturas Dial Carga .001 "	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,5	0,13	2,91	25,00	4,50
10	7,0	0,25	5,81	25,00	9,01
15	11,0	0,38	9,13	25,00	14,15
20	14,5	0,51	12,04	25,00	18,65
25	17,0	0,64	14,11	25,00	21,87
30	20,0	0,76	16,60	25,00	25,73
35	11,5	0,89	9,55	25,00	14,79
40	9,5	1,02	7,89	25,00	12,22

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**25,73**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

**Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE**

**Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA**



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** YS-T3A  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 685 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

**K :** 0,83 kg/dv.

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	7,5	0,25	6,23	25,00	9,65
15	12,0	0,38	9,96	25,00	15,44
20	15,5	0,51	12,87	25,00	19,94
25	17,5	0,64	14,53	25,00	22,51
30	8,0	0,76	6,64	25,00	10,29

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**22,51**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> YS-T3B
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	:
<b>FECHA :</b>	feb-17	

**DATOS DE LA MUESTRA.**

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L)</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	680 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

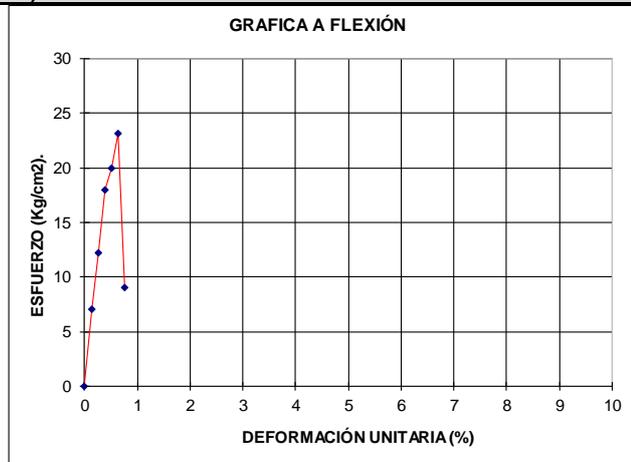
**K : 0,83 kg/dv.**

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5,5	0,13	4,57	25,00	7,08
10	9,5	0,25	7,89	25,00	12,22
15	14,0	0,38	11,62	25,00	18,01
20	15,5	0,51	12,87	25,00	19,94
25	18,0	0,64	14,94	25,00	23,16
30	7,0	0,76	5,81	25,00	9,01

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**23,16**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
**DOCENTE**

Egda. Doris Sinchire C.  
**TESISTA**



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : ECOMATERIALES  
TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" NORMA: INEN - 652  
REALIZADO Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche MUESTRA: YS-T3C  
SOLICITADO : Mgs. Alexandra Moncayo Vega :  
FECHA : feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

ANCHO (b) : 15 cm.  
LONGITUD ENTRE APOYOS (L): 25,0 cm.  
ESPESOR (h) : 1,27 cm.  
PESO : 689 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

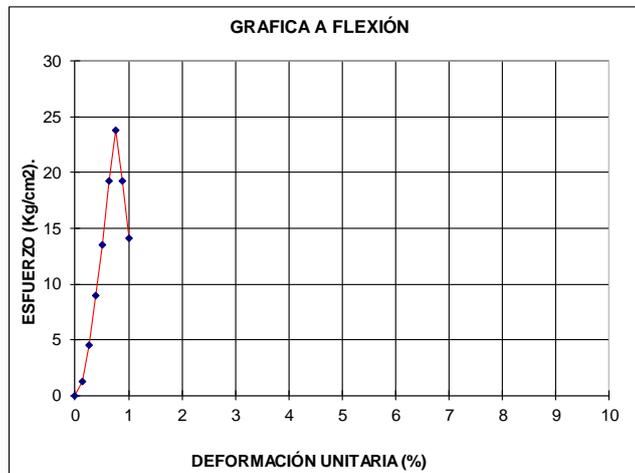
K : 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1	0,13	0,83	25,00	1,29
10	3,5	0,25	2,91	25,00	4,50
15	7,0	0,38	5,81	25,00	9,01
20	10,5	0,51	8,72	25,00	13,51
25	15,0	0,64	12,45	25,00	19,30
30	18,5	0,76	15,36	25,00	23,80
35	15,0	0,89	12,45	25,00	19,30
40	11,0	1,02	9,13	25,00	14,15

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

23,80



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** YS-T4A  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L)** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 599 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

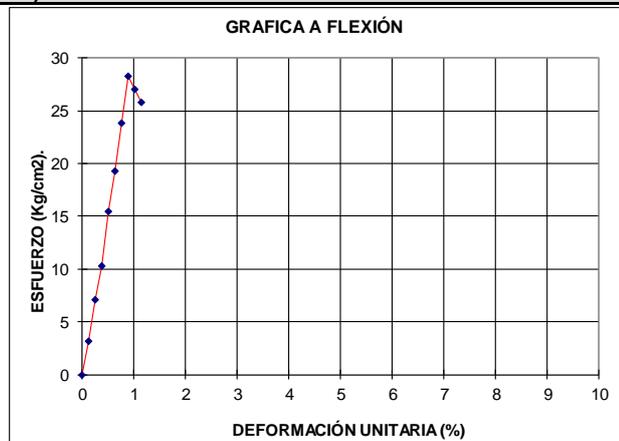
**K :** 0,83 kg/dv.

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001 "	Lecturas Dial Carga .001 "	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	2,5	0,13	2,08	25,00	3,22
10	5,5	0,25	4,57	25,00	7,08
15	8,0	0,38	6,64	25,00	10,29
20	12,0	0,51	9,96	25,00	15,44
25	15,0	0,64	12,45	25,00	19,30
30	18,5	0,76	15,36	25,00	23,80
35	22,0	0,89	18,26	25,00	28,30
40	21,0	1,02	17,43	25,00	27,02
45	20,0	1,14	16,60	25,00	25,73

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**28,30**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

**Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE**

**Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA**



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> YS-T4B
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	
<b>FECHA :</b>	feb-17	

**DATOS DE LA MUESTRA.**

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	597 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

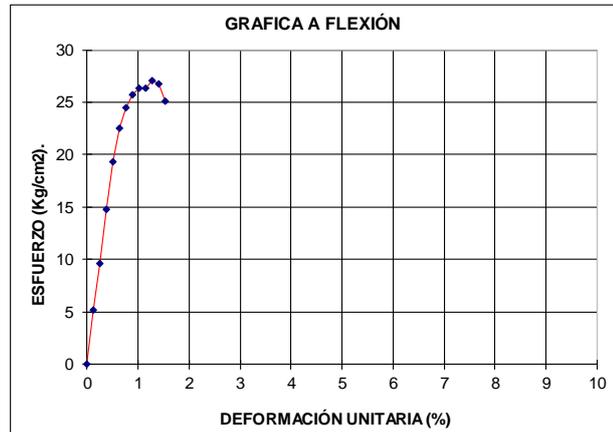
**K : 0,83 kg/dv.**

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	0,13	3,32	25,00	5,15
10	7,5	0,25	6,23	25,00	9,65
15	11,5	0,38	9,55	25,00	14,79
20	15,0	0,51	12,45	25,00	19,30
25	17,5	0,64	14,53	25,00	22,51
30	19,0	0,76	15,77	25,00	24,44
35	20,0	0,89	16,60	25,00	25,73
40	20,5	1,02	17,02	25,00	26,37
45	20,5	1,14	17,02	22,00	26,37
50	21,0	1,27	17,43	25,00	27,02
55	20,8	1,40	17,26	25,00	26,76
60	19,5	1,52	16,19	26,00	25,09

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**27,02**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> YS-T4C
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	:
<b>FECHA :</b>	feb-17	

**DATOS DE LA MUESTRA.**

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	592 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

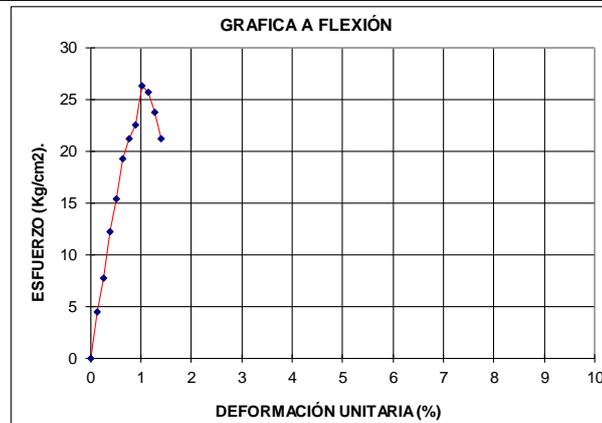
**K : 0,83 kg/dv.**

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,5	0,13	2,91	25,00	4,50
10	6,0	0,25	4,98	25,00	7,72
15	9,5	0,38	7,89	25,00	12,22
20	12,0	0,51	9,96	25,00	15,44
25	15,0	0,64	12,45	25,00	19,30
30	16,5	0,76	13,70	25,00	21,23
35	17,5	0,89	14,53	25,00	22,51
40	20,5	1,02	17,02	25,00	26,37
45	20,0	1,14	16,60	22,00	25,73
50	18,5	1,27	15,36	25,00	23,80
55	16,5	1,40	13,70	25,00	21,23

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**26,37**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

<b>PROYECTO :</b>	<b>ECOMATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá"	<b>NORMA:</b> INEN - 652
<b>REALIZADO</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche	<b>MUESTRA:</b> YS-T5A
<b>SOLICITADO :</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega	:
<b>FECHA :</b>	feb-17	

**DATOS DE LA MUESTRA.**

<b>ANCHO (b) :</b>	15 cm.
<b>LONGITUD ENTRE APOYOS (L):</b>	25,0 cm.
<b>ESPESOR (h) :</b>	1,27 cm.
<b>PESO :</b>	638 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

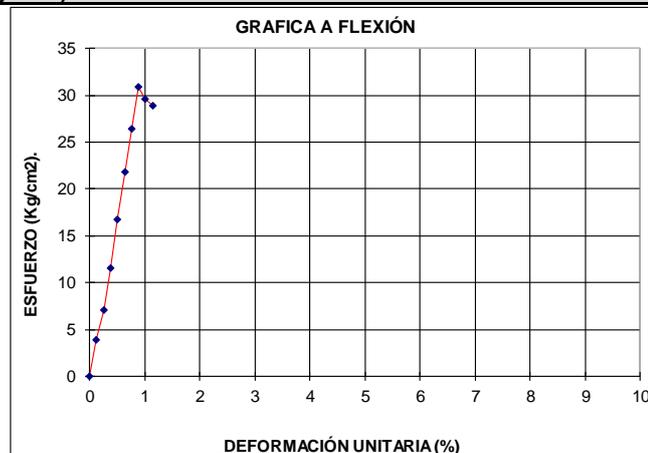
**K : 0,83 kg/dv.**

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%).	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3	0,13	2,49	25,00	3,86
10	5,5	0,25	4,57	25,00	7,08
15	9,0	0,38	7,47	25,00	11,58
20	13,0	0,51	10,79	25,00	16,72
25	17,0	0,64	14,11	25,00	21,87
30	20,5	0,76	17,02	25,00	26,37
35	24,0	0,89	19,92	25,00	30,88
40	23,0	1,02	19,09	25,00	29,59
45	22,5	1,14	18,68	25,00	28,95

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**30,88**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

**Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE**

**Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA**



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** YS-T5B  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

**ANCHO (b) :** 15 cm  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (h) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 634 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

**K :** 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. ( % ).	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,5	0,13	2,91	25,00	4,50
10	6,0	0,25	4,98	25,00	7,72
15	8,5	0,38	7,06	25,00	10,94
20	12,0	0,51	9,96	25,00	15,44
25	17,0	0,64	14,11	25,00	21,87
30	20,0	0,76	16,60	25,00	25,73
35	23,5	0,89	19,51	25,00	30,23
40	22,5	1,02	18,68	25,00	28,95
45	21,0	1,14	17,43	25,00	27,02

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

30,23

GRAFICA A FLEXIÓN



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : ECOMATERIALES  
TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" NORMA: INEN - 652  
REALIZADO Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche MUESTRA: YS-T5C  
SOLICITADO : Mgs. Alexandra Moncayo Vega :  
FECHA : feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

ANCHO (b) : 15 cm  
LONGITUD ENTRE APOYO 25,0 cm.  
ESPESOR (d) : 1,27 cm.  
PESO : 631 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

K : 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001 "	Lecturas Dial Carga .001 "	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,5	0,13	2,91	25,00	4,50
10	6,5	0,25	5,40	25,00	8,36
15	10,0	0,38	8,30	25,00	12,87
20	14,0	0,51	11,62	25,00	18,01
25	17,5	0,64	14,53	25,00	22,51
30	21,0	0,76	17,43	25,00	27,02
35	22,5	0,89	18,68	25,00	28,95
40	20,5	1,02	17,02	25,00	26,37
45	19,0	1,14	15,77	25,00	24,44

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

28,95



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO A FLEXIÓN**

**PROYECTO :** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
**REALIZADO** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** YS-T6A  
**SOLICITADO :** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA :** feb-17

**DATOS DE LA MUESTRA.**

**ANCHO (b) :** 15 cm.  
**LONGITUD ENTRE APOYOS (L):** 25,0 cm.  
**ESPESOR (d) :** 1,27 cm.  
**PESO :** 690 gr.

**CONSTANTE DEL ANILLO**

**K : 0,83 kg/dv.**

**DATOS DE LA PRUEBA**

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%).	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	0,13	4,15	25,00	6,43
10	8,0	0,25	6,64	25,00	10,29
15	12,0	0,38	9,96	25,00	15,44
20	17,0	0,51	14,11	25,00	21,87
25	18,0	0,64	14,94	25,00	23,16
30	21,0	0,76	17,43	25,00	27,02
35	22,5	0,89	18,68	25,00	28,95
40	15,0	1,02	12,45	25,00	19,30
45	14,0	1,14	11,62	25,00	18,01

**RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=**

**28,95**



**OBSERVACIONES:** Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : ECOMATERIALES  
TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" NORMA: INEN - 652  
REALIZADO Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche MUESTRA: YS-T6B  
SOLICITADO : Mgs. Alexandra Moncayo Vega :  
FECHA : feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

ANCHO (b) : 15 cm.  
LONGITUD ENTRE APOYOS (L): 25,0 cm.  
ESPESOR (d) : 1,27 cm.  
PESO : 687 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

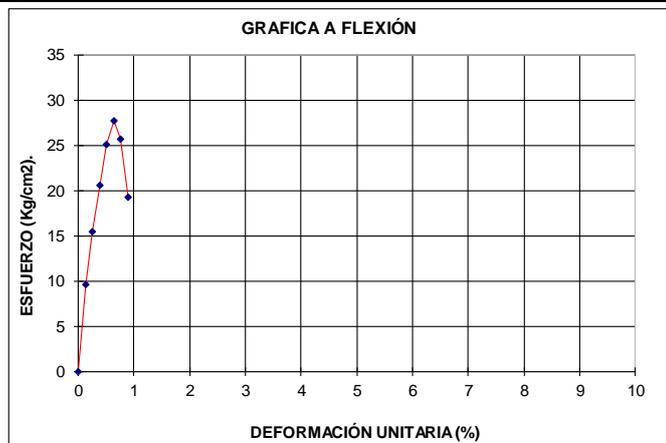
K : 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	7,5	0,13	6,23	25,00	9,65
10	12,0	0,25	9,96	25,00	15,44
15	16,0	0,38	13,28	25,00	20,58
20	19,5	0,51	16,19	25,00	25,09
25	21,5	0,64	17,85	25,00	27,66
30	20,0	0,76	16,60	25,00	25,73
35	15,0	0,89	12,45	25,00	19,30

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

27,66



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : **ECOMATERIALES**  
TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá" **NORMA:** INEN - 652  
REALIZADO Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche **MUESTRA:** YS-T6C  
SOLICITADO : Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
FECHA : feb-17

DATOS DE LA MUESTRA.

ANCHO (b) : 15 cm.  
LONGITUD ENTRE APOYOS (L): 25,0 cm.  
ESPESOR (h) : 1,27 cm.  
PESO : 692 gr.

CONSTANTE DEL ANILLO

K : 0,83 kg/dv.

DATOS DE LA PRUEBA

Dial de Deform. .001"	Lecturas Dial Carga .001"	Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Dimensiones probeta (cm.)	Modulo de rotura R (Kg/cm2.)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	7,5	0,13	6,23	25,00	9,65
10	13,0	0,25	10,79	25,00	16,72
15	16,5	0,38	13,70	25,00	21,23
20	18,5	0,51	15,36	25,00	23,80
25	21,0	0,64	17,43	25,00	27,02
30	20,0	0,76	16,60	25,00	25,73
35	15,0	0,89	12,45	25,00	19,30

RESULTADOS FLEXION (kg/cm2.)=

27,02



OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA

**ANEXO 3:** Tablas de resultados de ensayo de resistencia a la compresión.

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>  <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>						
<b>PROYECTO:</b> ECOMATERIALES						
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."						
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche					<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega					<b>MUESTRA:</b> CM-T1	
<b>FECHA:</b> feb-17						
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
A	174,01	30,90	3153,04	26,16	120,52	
B	173,08	31,30	3193,85	25,20	126,74	
C	172,50	31,30	3193,85	24,80	128,78	
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>125,35</b>	
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.						
Ing. Berenice Zuñiga.			Egda. Doris Sinchire C.			
<b>DOCENTE</b>			<b>TESISTA</b>			

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>  <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>						
<b>PROYECTO:</b> ECOMATERIALES						
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."						
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche					<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega					<b>MUESTRA:</b> CM-T2	
<b>FECHA:</b> feb-17						
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
A	170,50	26,70	2724,47	25,7049	105,99	
B	175,05	26,70	2724,47	25,7544	105,79	
C	178,11	24,30	2479,57	26,1121	94,96	
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>102,25</b>	
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.						
Ing. Berenice Zuñiga.			Egda. Doris Sinchire C.			
<b>DOCENTE</b>			<b>TESISTA</b>			



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A LA COMPRESIÓN

PROYECTO: ECOMATERIALES

TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."

REALIZADO: Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche

NORMA: NTE INEN 0488

SOLICITADO: Mgs. Alexandra Moncayo Vega

FECHA: feb-17

MUESTRA: CM-T3

# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	182,90	25,70	2622,43	25,50	102,83
B	191,67	25,00	2551,00	27,93	91,33
C	196,63	26,00	2653,04	26,52	100,03
Promedio ( $\sigma$ )					98,07

OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Berenice Zuñiga.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A LA COMPRESIÓN

PROYECTO: ECOMATERIALES

TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."

REALIZADO: Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche

NORMA: NTE INEN 0488

SOLICITADO: Mgs. Alexandra Moncayo Vega

FECHA: feb-17

MUESTRA: CM-T4

# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	148,55	29,60	3020,38	25,7	117,52
B	153,65	29,30	2989,77	25,75	116,11
C	148,69	19,70	2010,19	26,11	76,99
Promedio ( $\sigma$ )					103,54

OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Berenice Zuñiga.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b> <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>					
<b>PROYECTO: ECOMATERIALES</b>					
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."					
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche				<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega				<b>MUESTRA:</b> CM-T5	
<b>FECHA:</b> feb-17					
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	168,06	25,5	2602,02	26,06	99,84
B	164,87	27,4	2795,90	26,01	107,49
C	167,66	25,3	2581,61	26,01	99,25
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>102,20</b>
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.					
<b>Ing. Berenice Zuñiga.</b> <b>DOCENTE</b>			<b>Egda. Doris Sinchire C.</b> <b>TESISTA</b>		

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b> <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>					
<b>PROYECTO: ECOMATERIALES</b>					
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."					
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche				<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega				<b>MUESTRA:</b> CM-T6	
<b>FECHA:</b> feb-17					
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	164,59	23,10	2357,12	27,35	86,17
B	168,59	23,40	2387,74	25,35	94,19
C	163,70	24,00	2448,96	26,57	92,16
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>90,84</b>
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.					
<b>Ing. Berenice Zuñiga.</b> <b>DOCENTE</b>			<b>Egda. Doris Sinchire C.</b> <b>TESISTA</b>		



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A LA COMPRESIÓN

PROYECTO: ECOMATERIALES

TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."

REALIZADO: Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche

NORMA: NTE INEN 0488

SOLICITADO: Mgs. Alexandra Moncayo Vega

FECHA: feb-17

MUESTRA: YS-T1

# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	141,57	11,6	1183,66	27,72	42,70
B	136,47	10,5	1071,42	27,46	39,02
C	134,85	10,9	1112,24	26,06	42,68
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>41,47</b>

OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Berenice Zuñiga.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO A LA COMPRESIÓN

PROYECTO: ECOMATERIALES

TESIS: "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."

REALIZADO: Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche

NORMA: NTE INEN 0488

SOLICITADO: Mgs. Alexandra Moncayo Vega

FECHA: feb-17

MUESTRA: YS-T2

# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	131,15	8,70	887,75	27,46	32,33
B	124,12	9,50	969,38	26,27	36,91
C	127,09	9,00	918,36	25,85	35,52
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>34,92</b>

OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.

Ing. Berenice Zuñiga.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b> <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>					
<b>PROYECTO: ECOMATERIALES</b>					
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."					
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche				<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega				<b>MUESTRA:</b> YS-T3	
<b>FECHA:</b> feb-17					
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	141,83	9,60	979,58	26,47	37,01
B	145,53	9,30	948,97	28,09	33,78
C	143,80	9,20	938,77	27,62	33,99
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>34,93</b>
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.					
<b>Ing. Berenice Zuñiga.</b> <b>DOCENTE</b>			<b>Egda. Doris Sinchire C.</b> <b>TESISTA</b>		

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b> <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>					
<b>PROYECTO: ECOMATERIALES</b>					
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."					
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche				<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega				<b>MUESTRA:</b> YS-T4	
<b>FECHA:</b> feb-17					
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	120,59	9,40	959,18	27,46	34,93
B	120,84	13,00	1326,52	26,63	49,82
C	116,20	9,50	969,38	26,57	36,48
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>40,41</b>
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.					
<b>Ing. Berenice Zuñiga.</b> <b>DOCENTE</b>			<b>Egda. Doris Sinchire C.</b> <b>TESISTA</b>		

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b> <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>					
<b>PROYECTO: ECOMATERIALES</b>					
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."					
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche				<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega				<b>MUESTRA:</b> YS-T5	
<b>FECHA:</b> feb-17					
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	128,24	9,40	959,18	28,19	34,02
B	126,16	9,80	999,99	27,88	35,87
C	125,47	9,70	989,79	26,52	37,32
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>35,74</b>
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.					
<b>Ing. Berenice Zuñiga.</b> <b>DOCENTE</b>			<b>Egda. Doris Sinchire C.</b> <b>TESISTA</b>		

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b> <b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>					
<b>PROYECTO: ECOMATERIALES</b>					
<b>TESIS:</b> "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."					
<b>REALIZADO:</b> Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche				<b>NORMA:</b> NTE INEN 0488	
<b>SOLICITADO:</b> Mgs. Alexandra Moncayo Vega				<b>MUESTRA:</b> YS-T6	
<b>FECHA:</b> feb-17					
# Muestra	Peso (gr)	Carga Máxima P (KN)	Carga Máxima P (Kg)	Área de cara de cubo AC (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a la compresión $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	130,75	9,50	969,38	27,67	35,04
B	127,06	8,50	867,34	26,88	32,26
C	128,31	9,50	969,38	26,214	36,98
<b>Promedio (<math>\sigma</math>)</b>					<b>34,76</b>
OBSERVACIONES: Las probetas fueron realizadas por la Egda. Doris Sinchire y llevadas al laboratorio UTPL.					
<b>Ing. Berenice Zuñiga.</b> <b>DOCENTE</b>			<b>Egda. Doris Sinchire C.</b> <b>TESISTA</b>		

**ANEXO 4:** Tablas de resultados de ensayo de densidad.

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>				
<b>PROYECTO:</b>	<b>ECOMATERIALES</b>			
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."			
<b>REALIZADO:</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche			
<b>SOLICITADO:</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega			
<b>FECHA:</b>	feb-17			<b>MUESTRA: CM-T1</b>
#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	754,00	0,754	0,000559	1349,44
B	762,00	0,762	0,000563	1354,67
C	752,00	0,752	0,000542	1387,61
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1363,91</b>
Ing. Ángel Tapia Ch. DOCENTE		Egda. Doris Sinchire C. TESISTA		

 <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIOS UTPL</b>				
<b>PROYECTO:</b>	<b>ECOMATERIALES</b>			
<b>TESIS:</b>	"Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."			
<b>REALIZADO:</b>	Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche			
<b>SOLICITADO:</b>	Mgs. Alexandra Moncayo Vega			
<b>FECHA:</b>	feb-17			<b>MUESTRA: CM-T2</b>
#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	786,00	0,786	0,000565	1390,88
B	788,00	0,788	0,000572	1378,83
C	779,00	0,779	0,000539	1444,20
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1404,63</b>
Ing. Ángel Tapia Ch. DOCENTE		Egda. Doris Sinchire C. TESISTA		



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: CM-T3**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	837,00	0,837	0,000561	1492,98
B	843,00	0,843	0,000581	1450,98
C	834,00	0,834	0,000555	1502,70
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1482,22</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: CM-T4**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	760,00	0,76	0,000548	1386,61
B	767,00	0,767	0,000563	1361,81
C	770,00	0,770	0,000570	1351,84
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1366,75</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: CM-T5**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	805,00	0,805	0,000576	1397,57
B	798,00	0,798	0,000561	1423,41
C	790,00	0,790	0,000551	1434,78
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1418,59</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: CM-T6**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	851,00	0,851	0,000581	1465,98
B	845,00	0,845	0,000559	1510,44
C	806,00	0,806	0,000533	1511,44
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1495,95</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: YS-T1**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	590,00	0,59	0,000576	1024,31
B	588,00	0,588	0,000572	1028,87
C	582,00	0,582	0,000565	1029,89
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1027,69</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: YS-T2**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	627,00	0,627	0,000581	1080,10
B	625,00	0,625	0,000574	1088,70
C	622,00	0,622	0,000570	1092,00
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1086,94</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: YS-T3**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	685	0,685	0,000558	1227,60
B	680	0,68	0,000542	1254,76
C	689	0,689	0,000565	1219,23
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1233,86</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: YS-T4**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	599	0,599	0,000581	1031,87
B	597	0,597	0,000570	1048,11
C	592	0,592	0,000574	1031,22
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1037,07</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: YS-T5**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	638,00	0,638	0,000576	1107,64
B	634,00	0,634	0,000567	1118,17
C	631,00	0,631	0,000565	1116,60
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1114,13</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

**PROYECTO:** ECOMATERIALES  
**TESIS:** "Biocompuesto de aglomerantes de cemento, yeso con partículas de celulosa de papel y fibra de Abacá."  
**REALIZADO:** Egda. Doris Cumanda Sinchire Cartuche  
**SOLICITADO:** Mgs. Alexandra Moncayo Vega  
**FECHA:** feb-17 **MUESTRA: YS-T6**

#Muestra	Masa M (gr)	Masa M (Kg)	Volúmen V (m3)	Densidad $\rho$ (Kg/m3)
A	690,00	0,69	0,000569	1212,12
B	687,00	0,687	0,000565	1215,69
C	692,00	0,692	0,000576	1201,39
<b>(<math>\rho</math>) promedio</b>				<b>1209,73</b>

Ing. Ángel Tapia Ch.  
DOCENTE

Egda. Doris Sinchire C.  
TESISTA

**ANEXO 5:** Presupuesto de Gypsum.

*Análisis de precio unitario Gypsum.*

<b>ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO</b>				
<b>RUBRO: PANEL DE GYPSUM</b>				
<b>UNIDAD: metro cuadrado (m2)</b>				
<b>EQUIPO</b>				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO/HORA	C. TOTAL
Herramienta Menor	1,00	0,0060	0,50	0,012
<b>SUBTOTAL (A)</b>				<b>0,012</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL / HOR	RENDIMIENTO/HORA	C. TOTAL
Albañil	1,00	2,7500	4	0,688
Peón	2,00	1,87	4	0,935
<b>SUBTOTAL (B)</b>				<b>1,623</b>
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	C. TOTAL
Panel GYPSUM 12mm	U	0,67	15,00	10,05
TRACK	U	0,45	2,95	1,328
STUD	U	0,4000	2,25	1,485
Tornillo cabeza plana 6mm	U	8,00	0,0160	0,128
Tornillo punta de broca 8mm	U	8,00	0,0180	0,144
Cinta para juntas	m	4	1,00	4,00
<b>SUBTOTAL (C)</b>				<b>19,10</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	C. TOTAL
<b>SUBTOTAL (D)</b>				<b>0,000</b>
<b>TOTAL 1 (A+B+C+D)</b>				<b>20,73</b>
<b>INDIRECTOS</b>				<b>0,00</b>
<b>TOTAL USD</b>				<b>20,73</b>

SON VEINTE DOLARES CON 45/100 por m2

**Fuente:** Rueda A, 2017