

**UTILIZACIÓN EN CONSTRUCCIÓN DE RESIDUOS DE MADERA
MODIFICADA**

**ALEXANDER ESPITIA PINTO
ALEXSANDRO VERGEL CORREDOR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2004**

**UTILIZACIÓN EN CONSTRUCCIÓN DE RESIDUOS DE MADERA
MODIFICADA**

**ALEXANDER ESPITIA PINTO
ALEXSANDRO VERGEL CORREDOR**

**Trabajo de Grado presentado como requisito
para optar el Título de Ingeniero Civil**

**Director
RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ
Ingeniero Civil Ph. D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2004**

DEDICATORIA

A Dios, por ser solo el artífice del sueño que hoy cumplo. A mi papa Eutiquio que desde el cielo me guía y con quien tenia una promesa pendiente que hoy se la cumplo con todo el corazón, a las mejores de las madres doña Carmen que con sus desvelos, cantaleta y constancia es la verdadera ingeniera de este sueño. A mi hermano Edward que siempre estuvo hay dispuesto a colaborarme.

A José Miguel, Francisco, Jenny, Celina, Karen y a todos aquellos que desde ese primer día de ese primer semestre creyeron que si se podía.

ALEXANDER ESPITIA PINTO

DEDICATORIA

A DIOS y a la virgen MARIA por haberme dado la fuerza y la voluntad para no desfallecer y conseguir una meta mas en mi vida, porque gracias a EL no hay cosas imposibles.

A mi madre DORA Y doña ROSA que es como mi segunda madre, quienes con su apoyo desinteresado y la comprensión en todas las etapas de mi vida, han hecho posible la realización de las metas que me he propuesto.

A mis hermanas DIANA, CINDY, MAYERLI Y ZOILA por su apoyo fundamental en mi carrera y en mi vida.

A ERICKA, JOHANNA y la familia RODRIGUEZ RINCON, por su amistad y apoyo.

A todos y cada uno de mis amigos y socios que con sus aportes de índole personal contribuyeron a estructurar el profesional que esta dispuesto servir y ayudar a sus semejantes.

ALEXSANDRO VERGEL CORREDOR

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ricardo Alfredo Cruz H., Ingeniero Civil y Director de la Investigación, por su compromiso, colaboración, aportes y sus valiosas orientaciones.

Luis Ernesto Santander Pabón, por su colaboración económica y de logística durante toda su investigación.

Jairo Hernández Salazar, Técnico del Laboratorio de Materiales, por su colaboración fortuita a lo largo de la investigación y por su valiosa asesoría.

Miguel Antonio Agudelo, Técnico del Laboratorio de Resistencia de Materiales por su asesoría en la realización de las pruebas mecánicas.

Germán Hernández Ayala técnico del laboratorio de suelos de la escuela de ingeniería civil, por su colaboración en la pruebas de modulo de finura y granulometría.

Mario Torres López técnico del laboratorio de rocas y fluidos de la escuela de ingeniería de petróleos, por su colaboración en las pruebas de permeabilidad.

Eduardo Carreño Pérez técnico del laboratorio de operaciones unitarias de la escuela de ingeniería Química, por su colaboración en las pruebas de durabilidad.

Eder Carreño auxiliar del laboratorio de transferencia de calor en la escuela de ingeniería mecánica, por su colaboración en las pruebas de conductividad térmica.

Elkin Roa profesor de la escuela de ingeniería electrónica, por su colaboración en las pruebas de acústica.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron y nos colaboraron a la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. ESTUDIO DEL SECTOR DE LA MADERA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (AMB)	18
1.1 CANTIDAD DE RESIDUOS PRODUCIDOS	20
1.2 VALOR DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS	21
1.3 EMPLEO DE LOS RESIDUOS	21
1.4 NIVEL DE TECNIFICACION DEL SECTOR DE LA MADERA	22
1.5 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS	23
1.6 ENTIDADES INTERESADAS EN UTILIZAR LOS RESIDUOS	23
1.7 PROBLEMATICA AMBIENTAL DEL SECTOR	24
2. ESTUDIO GENERAL DE LOS RESIDUOS Y EL POLIMERO A UTILIZAR	26
2.1 LA MADERA COMO MATERIAL TÉCNICAMENTE AVANZADO	27
2.2 PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS (ASERRIN Y VIRUTA)	29
2.3 MINERALIZACIÓN	30
2.4 CARACTERIZACION DEL POLIMERO A UTILIZAR.	31
3. DESARROLLO DEL MATERIAL COMPUESTO	37
3.1 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS DE MADERA A UTILIZAR	37
3.1.1 Granulometría y modulo de finura	37
3.2 DOSIFICACION PARA OBTENER LA MEZCLA ÓPTIMA	39
3.3 CARACTERIZACION DEL MATERIAL COMPUESTO (RESIDUOS DE MADERA – POLIMERO)	44
3.3.1 Ensayo a compresión	44
3.3.2 Ensayo a flexión	47
3.3.3 Ensayo a tracción	49

3.3.4 Propiedades de conductividad térmica (K)	50
3.3.5 Propiedades acústicas	53
3.3.6 Ensayo de durabilidad a residuos de madera modificada	57
3.3.7 Ensayo de permeabilidad	61
3.3.8 Ficha técnica	64
4. ELEMENTOS DE MATERIAL COMPUESTO PROPUESTO	65
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Número de empresas de la madera registradas en la cámara de comercio de Bucaramanga, pertenecientes al AMB (2.000)	18
Tabla 2. Número de empresas de la madera registradas en la cámara de comercio de Bucaramanga, pertenecientes al AMB (2.003)	19
Tabla 3. Cantidad de residuos producidos	20
Tabla 4. Valor de los residuos producidos	21
Tabla 5. Empleo de los residuos producidos	21
Tabla 6. Nivel de tecnificación del sector de la madera	22
Tabla 7. Clasificación de los residuos	23
Tabla 8. Entidades interesadas en utilizar los residuos	24
Tabla 9. Áreas de intervención técnica en el sector de la madera.	25
Tabla 10. Peso unitario residuos de madera	30
Tabla 11. Orden tamices – Granulometría	37
Tabla 12. Modulo de finura residuos de madera	38
Tabla 13. Calibración del tubo de impedancia	55
Tabla 14. Coeficiente de reducción de ruido de residuos de madera modificada	56
Tabla 15. Valores de NRC para algunos materiales de construcción	56
Tabla 16. Tiempo en la camara- tiempo real	60
Tabla 17. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 4	83
Tabla 18. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 10	84
Tabla 19. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 20	85

Tabla 20. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 40	86
Tabla 21. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 60	87
Tabla 22. Resultados ensayos de resistencia a la flexión residuos, de	94
Tabla 23. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 10 a 630 Hz	96
Tabla 24. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 10 a 1000 Hz	97
Tabla 26. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 10 a 1500 Hz	97
Tabla 27. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 10 a 2000 Hz	97
Tabla 28. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 40 a 630 Hz	98
Tabla 30. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 40 a 1250 Hz	98
Tabla 31. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 40 a 1500 Hz	98
Tabla 32. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 40 a 2000 Hz	99
Tabla 33. Prueba de durabilidad resistencia a la compresión a las 100 horas	111
Tabla 34. Prueba de durabilidad resistencia a la compresión a las 200 horas	112
Tabla 35. Prueba de durabilidad resistencia a la compresión a las 500 horas	113
Tabla 36. Prueba de durabilidad resistencia a la compresión a las 1000 horas	114

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Porcentajes de residuos producidos	20
Grafica 2. Porcentajes por valores residuos producidos	21
Grafica 3. Porcentaje empleo de los residuos producidos	22
Grafica 4. Porcentaje nivel de tecnificación del sector de la madera	22
Grafica 5. Porcentaje clasificación de los residuos	23
Grafica 6. Porcentaje de entidades interesadas en utilizar los residuos	24
Grafica 7. Modulo de finura. Granulometría	38
Grafica 7. Curva Esfuerzo Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 4	88
Grafica 8. Curva Vs Deformación residuos de la madera retenidos en el	89
Grafica 9. Curva Esfuerzo Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 20	90
Grafica 10. Curva Esfuerzo Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 40	91
Grafica 11. Curva Esfuerzo Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 60	92
Grafica 12. Curva Carga Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 40	95
Grafica 13. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 10 a 630 Hz	100
Grafica 14. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 10 a 1000 Hz	101
Grafica 15. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 10 a 1250 Hz	102
Grafica 16. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 10 a 1500 Hz	103
Grafica 17. Ensayo acústico material I retenido en el tamiz # 10 a 2000 Hz	104

Grafica 18. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 630 Hz	105
Grafica 19. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 1000 Hz	106
Grafica 20. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 1250 Hz	107
Grafica 21. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 1500 Hz	108
Grafica 22. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 2000 Hz	109
Grafica 23. Prueba de durabilidad a las 100 horas ensayo de resistencia a la compresión	115
Grafica 24. Prueba de durabilidad a las 200 horas ensayo de resistencia a la compresión	116
Grafica 25. Prueba de durabilidad a las 500 horas ensayo de resistencia a la compresión	117
Grafica 26. Prueba de durabilidad a las 1000 horas ensayo de resistencia a la compresión	118

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Mineralización residuos de la madera	31
Foto 2. Clasificación residuos de madera	37
Foto 3. Miniproctor. Norma I.N.V. E 142	40
Foto 4. Probetas iniciales dosificación de mezclas	41
Foto 5. Formaletas pruebas a compresión y tracción	44
Foto 6. Formaletas para ensayos a flexión	44
Foto 7. Probetas ensayo de resistencia a la compresión	45
Foto 8. Ensayo de resistencia a la compresión	46
Foto 9. Ensayo de resistencia a la flexión	48
Foto 10. Ensayo de resistencia a la tracción	49
Foto 11. Montaje pruebas de conductividad térmica	51
Foto 12. Desarrollo pruebas de conductividad térmica	52
Foto 13. Montaje pruebas acústicas	54
Foto 14. Probetas para pruebas acústicas	54
Foto 15. Cámara de envejecimiento acelerado	58
Foto 16. Probetas dispuestas en la cámara de envejecimiento	60
Foto 17. Ensayos de resistencia a la compresión de probetas expuestas en la cámara de envejecimiento	60
Foto 18. Permeámetro de Gas Ruska	62
Foto 19. Probetas para ensayo de permeabilidad	63
Foto 20. Formaleta para panel	65
Foto 21. Panel desencofrado	66
Foto 22. Formaleta para vigas	66
Foto 23. Viga desencofrada	67
Foto 24. Formaletas para aligeramiento.	67
Foto 25. Posible aligeramiento para placas de entrapiso macizas	68

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Encuesta utilización de desechos de madera en la ingeniería	74
ANEXO B. Diagrama proceso de fabricación de muebles	80
ANEXO C. Desarrollo ensayo a compresión (tablas – graficas)	82
ANEXO D. Desarrollo ensayo a flexión (tablas – graficas)	93
ANEXO E. Desarrollo pruebas acústica (tablas – graficas)	96
ANEXO F. Desarrollo pruebas de durabilidad (tablas – graficas)	110

RESUMEN

TITULO: UTILIZACIÓN EN CONSTRUCCIÓN DE RESIDUOS DE MADERA MODIFICADA.*

AUTORES: ALEXANDER ESPITIA PINTO
ALEXANDRO VERGEL CORREDOR **

PALABRAS CLAVES: Madera, Polímero, Residuos, Modificador, Resistencia, Permeabilidad, Acústica, Térmicas, Durabilidad.

DESCRIPCION: El grupo de investigaciones en nuevos materiales y estructuras, (INME) con apoyo del sector maderero y el nodo de producción más limpia ha querido plantear una solución, debido a la poca o nula utilización de la gran cantidad de los residuos producidos por esta industria, ya que debido a esto, sé esta generando un grave problema ambiental y un problema de tipo logístico dentro de estas empresas.

Se busco la manera de unir dichos residuos utilizando algún elemento modificador de fácil adquisición y además económico.

Conociendo las características de los residuos y del elemento modificador o polímero, se clasificaron los residuos tamizándolos, para luego mineralizarlos y así junto con el polímero hallar una dosificación para una mezcla optima, después de encontrar dicha mezcla, será empleada en la elaboración de probetas, las cuales se usaran para hallar sus características en pruebas de resistencia, (flexión, compresión y tracción) durabilidad, permeabilidad, aislamiento térmico y acústico.

Las pruebas dieron como resultado un material muy resistente, durable, excelente aislante térmico y acústico con algunos problemas en su permeabilidad que pueden ser solucionados.

Se plantearon posibles usos en la construcción como paneles o muros divisorios y vigas para aligeramiento de placas, además pautas para futuras investigaciones en este material.

.

*Trabajo de Grado.

**Facultad de ciencias físico mecánicas, Escuela Ingeniería civil. Ricardo Alfredo Cruz Hernández

SUMMARY

TITLE: USAGE OF MODIFIED WOOD WASTE IN CONSTRUCTION*

AUTHORS: ALEXANDER ESPITIA
ALEXANDRO VERGEL**

PALABRAS CLAVES: Wood, Polymer, Waste, Modifier, Resistance, Permeability, Acoustics, Thermals, Durability.

DESCRIPTION: The group of researchers in new materials and structures (INME) with the lumber sector and the cleanest node of production has wanted to state a solution due to the little or null utilization of the great quantity of waste produced by this industry given the fact that due to this a serious environmental problem inside these factories.

A way to join this waste using some modifying element of an easy and economic acquisition was searched.

Knowing the characteristics of the waste and the modifying element or polymer, the waste was classified by sifting it to further mineralization so as to find a dosification for an optimal mixture together with the polymer. After finding such mixture, it will be used in the elaboration of test tubes, which will be used for finding its characteristics in resistance tests, (flexion, compression and traction) durability, permeability, acoustic and thermal isolation tests.

The tests gave as a result a very resistant and lasting material, which is an excellent thermal and acoustic insulator with some problems in its permeability that can be solved.

Possible uses in construction were proposed such as panels or dividing walls and beams for lightening sheets as well as guidelines for future investigations on material.

*

*Work of grade

**Faculty of science physicals mechanicals. School Engineer civil. Ricardo Alfredo Cruz Hernández.

INTRODUCCIÓN

Bucaramanga y su área metropolitana (Floridablanca, Girón, Piedecuesta) AMB son considerados en el ámbito nacional como uno de los principales centros de producción del sector maderero en Colombia, por su buena calidad y su gran volumen en producción y hoy en día se está presentando un aumento en el registro de empresas de este tipo ante la cámara de comercio.

Debido al gran problema presentado ya durante varios años con la gran cantidad y deposición final de los residuos de esta industria y el poco interés presentado por los sectores ambientales de la ciudad en encontrar una solución a corto plazo, se ha planteado hallar los medios que en conjunto con los empresarios del sector y el nodo de producción más limpio UIS Bucarica, den solución al empleo de estos residuos en forma rápida y concreta.

La Universidad Industrial de Santander y su escuela de ingeniería civil con el grupo de investigaciones INME (Grupo de investigación en nuevos materiales y estructuras) ha querido plantear una solución a la utilización de los residuos producidos por la industria maderera del AMB presentando una descripción de la industria en su producción de residuos, cantidad y precio para encontrar un empleo a estos.

Se buscará la manera de unir los desechos utilizando algún elemento de fácil adquisición, encontrando un polímero que se emplea en esta misma industria, para unidos residuos-polímero lograr hallar una mezcla óptima.

Encontrada dicha mezcla, será empleada en la elaboración de probetas las cuales se usarán en pruebas de resistencia, (Flexión, Compresión y Tracción) durabilidad, permeabilidad, aislamiento térmico y acústico.

Por último se dejarán pautas para nuevas investigaciones y contribuir a dar una solución al empleo de estos residuos en la construcción.

1. ESTUDIO DEL SECTOR DE LA MADERA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (AMB)

El sector de la madera estudiado, incluyó básicamente aserríos y fábricas de muebles, las cuáles transforman la madera para obtener productos como: madera para construcción, muebles de hogar, muebles de oficina, entre otros.

Dentro de la clasificación industrial internacional uniforme (CIIU)¹ el proceso de transformación de la madera se ejecuta principalmente en empresas clasificadas en las siguientes divisiones.

Tabla 1. Número de empresas de la madera registradas en la cámara de comercio de Bucaramanga, pertenecientes al AMB (2.000)

CIIU	Descripción	Empresas registradas
331101	Aserrado de madera	16
331103	Fca. de maderas contra chapadas	1
331104	Fca. de maderas aglomeradas	2
331105	Fca. de puestas ventanas y partes de madera	19
331106	Fca. De estructuras terminadas para construcción.	2
331107	Conservación tratamiento de la madera	1
331108	Fca. Obras y accesorios de madera para construcción	1
	Subtotal 3311	42
332001	Fca. de muebles para aparatos eléctricos	2
332002	Fca. de muebles para hogar	136
332003	Fca. de muebles de oficina	15
332005	Tapizado de muebles – Acabado restauración	21
332006	Fca. de colchones	16
332008	Fca. armazones de madera sin terminar	5
332009	Fca. muebles de madera sin terminar	1
	Subtotal 3320	196
	TOTAL	238

Tabla 2. Número de empresas de la madera registradas en la cámara de comercio de Bucaramanga, pertenecientes al AMB (2.003)

CIU	Descripción	Empresas registradas
331101	Aserrado de madera	18
331103	Fca. de maderas contra chapadas	2
331104	Fca. de maderas aglomeradas	2
331105	Fca. de puestas ventanas y partes de madera	19
331106	Fca. De estructuras terminadas para construcción.	2
331107	Conservación tratamiento de la madera	1
331108	Fca. Obras y accesorios de madera para construcción	30
	Subtotal 3311	74
332001	Fca. de muebles para aparatos eléctricos	15
332002	Fca. de muebles para hogar	130
332003	Fca. de muebles de oficina	20
332005	Tapizado de muebles – Acabado restauración	21
332006	Fca. de colchones	12
332008	Fca. armazones de madera sin terminar	8
332009	Fca. muebles de madera sin terminar	5
	Subtotal 3320	211
	TOTAL	285

Comparando las tablas 1 y 2 se deduce que el desarrollo de la industria de la madera es en aumento; ya que en los últimos 3 años se ha presentado un incremento del 19% en el registro ante la Cámara de Comercio y como consecuencia se obtiene un aumento en el volumen de producción de residuos en el AMB.

El sector de la madera ubicado en el AMB, se caracteriza por ser de pequeña mediana y alta industria, con un alto número de fábricas de muebles y talleres de carpintería ubicados principalmente en el centro de la ciudad. También existe un número menor de aserríos que se encuentran situados principalmente en las periferias de la ciudad como la vía al mar.

En las tablas se puede apreciar el número de empresas ubicadas en el AMB registradas en la Cámara de Comercio en los años de 2.000 y 2.003 en las

diferentes ramas del sector de la madera, sin embargo es claro que existen muchas empresas informales dedicadas a esta actividad que no hacen parte de este registro.

Algunas de estas fábricas fueron encuestadas para saber sus dificultades y sugerencias con la deposición final de los residuos por ellos producidos además de saber cantidad, empleo, costo. Anexo A. Fueron encuestadas 30 empresas productoras de residuos ubicadas en el AMB donde se encuentran aserrios, fábricas de puertas y ventanas, fábricas de muebles para el hogar y de oficina y carpinterías normales (fabricación de todos los productos).

Se hará un estudio especialmente a los puntos de mayor importancia para la investigación como son.

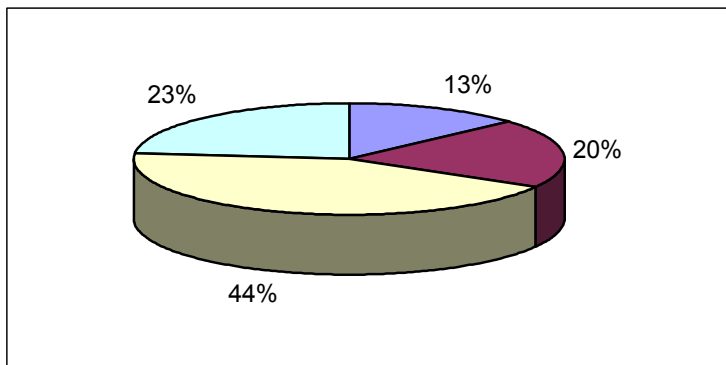
1.1 CANTIDAD DE RESIDUOS PRODUCIDOS

La cantidad de residuos producidos es relación directa del tipo de fábrica en estudio; de esta manera se puede ver que entre más grande la fábrica mayor es la cantidad de residuo. Sobresaliendo en su volumen los residuos de aserrios que se encuentran ubicados en la periferia de la ciudad.

Tabla 3. Cantidad de residuos producidos

BULTOS	EMPRESAS	PORCENTAJE
10 A 20	4	13
20 A 40	6	20
40 A 80	13	44
100 O +	7	23

Grafica 1. Porcentajes de residuos producidos



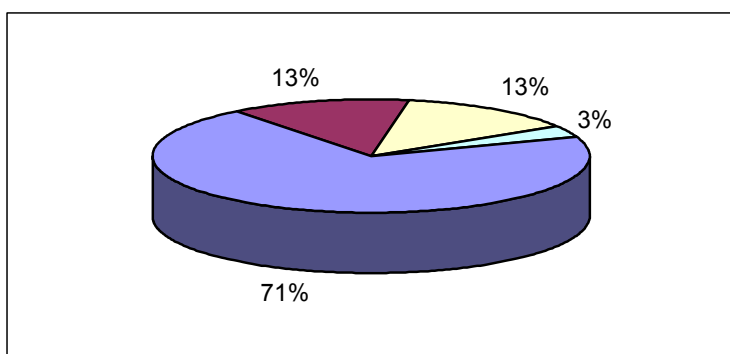
1.2 VALOR DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS

Para el desarrollo de la investigación fue indispensable saber el posible valor que tenían los residuos en los aserrios y carpinterías que lo producían y de esta manera saber si era conveniente utilizar este tipo de material en el desarrollo de nuevos elementos para la ingeniería; encontrando que en la mayoría de los casos su valor es cero o mínimo.

Tabla 4. Valor de los residuos producidos

VAL/ BULTO	EMPRESAS	PORCENTAJE
0	21	71
2000-3000	4	13
5000-6000	4	13
10000 O +	1	3

Grafica 2. Porcentajes por valores residuos producidos



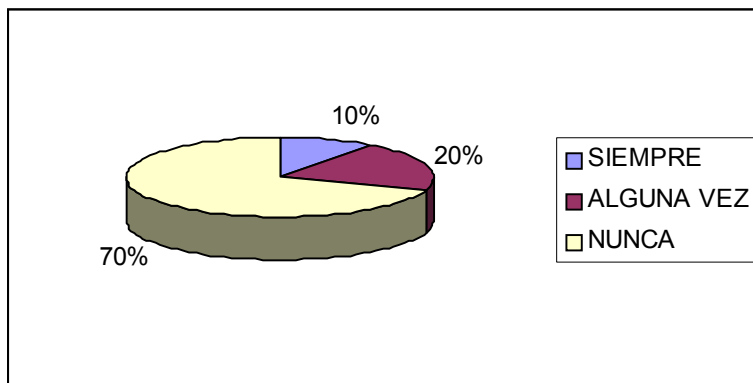
1.3 EMPLEO DE LOS RESIDUOS

Los residuos para la industria maderera se han convertido hoy en día en uno de los principales problemas por solucionar, ya que en la actualidad estos residuos en la gran mayoría de las industrias no son empleados de ninguna manera pero si ocupan un lugar importante en el área de distribución de la planta física.

Tabla 5. Empleo de los residuos producidos

EMPLEO	EMPRESAS	PORCENTAJE
SIEMPRE	3	10
ALG. VECES	6	20
NUNCA	21	70

Grafica 3. Porcentaje empleo de los residuos producidos



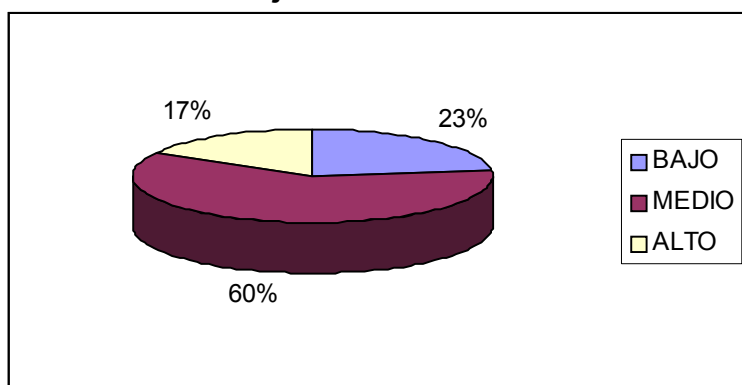
1.4 NIVEL DE TECNIFICACION DEL SECTOR DE LA MADERA

El AMB es considerado en el ámbito nacional como el centro de desarrollo de la industria maderera del oriente colombiano. El nivel de tecnificación es considerado por sus propietarios en términos de medio-alto con empresas dedicadas a ofrecer productos no solo en el ámbito regional sino en algunos casos hasta en el exterior. Otro número de empresas ya no tan grande son los que trabajan de una manera más simple y artesanal que cubren un pequeño círculo de producción.

Tabla 6. Nivel de tecnificación del sector de la madera

TECNIFICACION	EMPRESAS	PORCENTAJE
BAJO	7	23
MEDIO	18	60
ALTO	5	17

Grafica 4. Porcentaje nivel de tecnificación del sector de la madera



1.5 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS

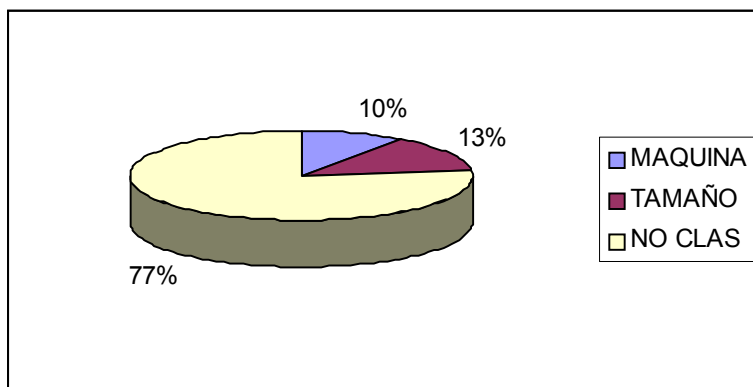
En la mayoría de los casos se encontró que se hace una deposición final del residuo dentro del área física de la fabrica teniendo un lugar determinado en esta para la deposición; pero sin una clasificación previa. Estos son recogidos y llevados hasta el sitio, momentos después que son producidos colocándolos unos tras de otros sin importar su tamaño y su procedencia.

Cuando la industria es más pequeña y tienen menos maquinaria se recoge el desecho en el sitio de producción por medio de sacos quedando clasificada de una forma general. Otra manera de clasificación es cuando se realizan trabajos que dejan residuo de un tamaño mayor que son dejados a parte para luego movilizarlos.

Tabla 7. Clasificación de los residuos

CLASIFICACION	EMPRESAS	PORCENTAJE
MAQUINA	3	10
TAMAÑO	4	13
NO CLAS.	23	77

Grafica 5. Porcentaje clasificación de los residuos



1.6 ENTIDADES INTERESADAS EN UTILIZAR LOS RESIDUOS

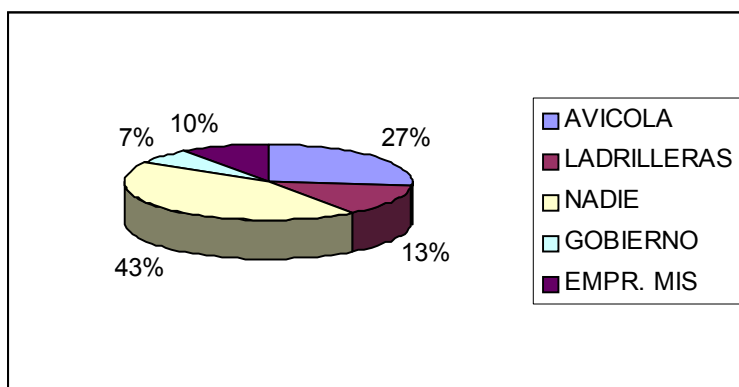
A través de los tiempos los residuos de la madera han sido utilizados de diferente manera. Como es el caso de los galpones, las ladrilleras para sus hornos y en algunas oportunidades el gobierno a estado preocupado en estos residuos para dar un manejo ambiental pero no ha sido constante esta preocupación. Como conclusión de los propietarios de estas empresas, estos residuos en la mayoría de los casos son depositados en el Carrasco por el poco interés en el uso de estos y

encontrar así una solución fácil y rápida a este problema.

Tabla 8. Entidades interesadas en utilizar los residuos

INTERESADOS	EMPRESAS	PORCENTAJE
AVICOLAS	8	27
LADRILLERAS	4	13
NADIE	13	43
GOBIERNO	2	7
EMPR. MISMA	3	10

Grafica 6. Porcentaje de entidades interesadas en utilizar los residuos



1.7 PROBLEMATICA AMBIENTAL DEL SECTOR

Si bien el sector de la madera ofrece una variada problemática ambiental en la tala de bosques, la situación aquí planteada incluye básicamente los impactos de la manufactura de la madera, sin incluir la temática de bosques, la cual debe ser objeto de estudios más específicos.

Dentro de los impactos ambientales más significativos producidos por las empresas de procesamiento de madera, se pueden destacar la alta generación de residuos sólidos como el aserrín, viruta y retales de madera. Anexo B

Como podemos apreciar en el anexo B los principales impactos ambientales del proceso de fabricación de muebles son la generación de grandes cantidades de residuos sólidos como virutas, aserrín y retales de madera, así como la emisión de vapores orgánicos.

En el aspecto ambiental, los empresarios de la madera plantean que su principal problema es la acumulación de residuos y sobrantes, que en gran parte tiene como sitio de disposición final el relleno El carrasco.

En la discusión inicial que se mantuvo con los empresarios, ellos plantearon su preocupación por la falta de un programa conjunto para estudiar la reutilización de los residuos de madera. De esta forma se hizo una reflexión sobre el proceso productivo de cada uno de los empresarios, de manera que se analizará como cada empresario en el ámbito individual y dentro de la colectividad, podía ser gestor de la solución.

Los problemas identificados como prioritarios en el sector de la madera y las diferentes actividades planteadas para dar solución a los mismos, se presentan a continuación:

Tabla 9. Áreas de intervención técnica en el sector de la madera.

PROBLEMAS PRIORITARIOS	INTERVENCION TECNICA
<ul style="list-style-type: none"> • Uso irracional de la madera como materia prima. 	<ul style="list-style-type: none"> • Propuesta de eco-diseño y análisis de ciclo de vida del producto
<ul style="list-style-type: none"> • Altos niveles de ruido en las plantas y sus alrededores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de mecanismos de control de ruido
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de organización en las plantas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prediseño de sistemas de extracción y recolección de material y residuos sólidos
<ul style="list-style-type: none"> • Recolección inadecuada de residuos sólidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reorganización de los procesos productivos.
<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de aprovechamiento de los residuos sólidos de la madera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de factibilidad para el manejo colectivo de los residuos sólidos de la madera, (elaboración de elementos para las diferentes ramas de la industria..)

Dentro de las acciones ejecutadas, se han definido estrategias preventivas y de control que permitirán mitigar el impacto ambiental generado por esta actividad industrial, como se describe a continuación.

SISTEMAS DE EXTRACCION Y RECOLECCION DE MATERIAL ARTICULADO Y RESIDUOS SÓLIDOS.

Como se ha indicado, una de las principales preocupaciones ambientales, viene dada por el impacto, del mal manejo interno de los residuos sólidos

como la viruta y el aserrín que se acumulan indiscriminadamente en varias zonas de la planta hallando que la generación de material virutas trae problemas como.

- Afectación a comunidades vecinas.
- Altos tiempos en la recolección y empaque de estos residuos.
- Enfermedades laborales (afecciones respiratorias).
- Problemas de calidad en el acabado de los productos de madera.
- Alto riesgo de incendios en las plantas.
- Costos elevados en el mantenimiento y reparación de equipos (motores eléctricos, lubricación y desgaste de la maquinaria).

Llegando a la conclusión que el óptimo manejo de los residuos sólidos (viruta y aserrín), radica principalmente en la construcción de un sistema de utilización y extracción eficaz.

2. ESTUDIO GENERAL DE LOS RESIDUOS Y EL POLIMERO A UTILIZAR

Se puede hablar hoy de un aprovechamiento integral de la madera. La parte que no resulta apta para su incorporación a los procesos productivos, como la corteza, se aprovecha también en la elaboración de diversidad de aplicaciones en diferentes productos. Si se incluyeran los costos de reciclabilidad o eliminación de residuos en el precio de los productos industriales, pocos materiales podrían competir con la madera.

2.1 LA MADERA COMO MATERIAL TÉCNICAMENTE AVANZADO

Como es sabida la energía necesaria para la fabricación de la madera es nula. El árbol utiliza la energía solar (función clorofílica) para su desarrollo.

El consumo de energía en el proceso de transformación de la madera es muy inferior cuando se compara con los del acero, aluminio o cemento.

- 1 tonelada de madera 430 Kwh.
- 1 tonelada de aluminio 17.000 Kwh.
- 1 tonelada de acero 2.700 Kwh.

La madera es un material fabricado por la naturaleza con un elevado grado de especialización y de complejidad. Tiene una estructura tubular hueca cuyos componentes principales son los siguientes.

- La celulosa, arrollada helicoidalmente en la pared tubular, con una resistencia a la tracción de 10.000 Kp /cm^2 (superior a la del acero).
- La lignina, que constituye la masa de la pared tubular, actuando como aglomerante de la celulosa, con una resistencia a la compresión de 2.400 Kp /cm^2 (superior a la del hormigón).

Esta estructura de haz tubular y hueca, realmente optimizada, en la que cada tubo puede considerarse como una columna hueca zunchada gracias a la disposición de las cadenas de celulosa, permite una economía de peso sorprendente al compararla con su resistencia.

En la actualidad los materiales compuestos de reciente aparición utilizan estrategias similares empleando dos materiales con diferentes propiedades que se complementan para lograr un resultado óptimo.

El conocimiento de la madera y el desarrollo de su tecnología en los aspectos de secado, técnicas de tratamiento y transformación permite garantizar el éxito en su utilización.

El origen orgánico de la madera la hace susceptible de ser degradada por organismos xilófagos. Este hecho nos hace considerarla como un material

naturalmente biodegradable. Sin embargo, para la actuación de la mayoría de estos organismos, se requieren contenidos de humedad o situaciones que no son frecuentes.

Las técnicas de tratamiento y los productos protectores de la madera permiten en la actualidad evitar los riesgos de ataque en las situaciones comprometidas. La protección de los materiales de construcción frente a la agresión del medio (tratamiento contra la corrosión del acero, anodizado del aluminio, recubrimientos mínimos en el hormigón armado, etc.), son procedimientos asumidos por la práctica. Sería por tanto injusto pretender utilizar la madera sin ninguna protección, si las condiciones de utilización lo requieren.

En el caso de la madera existen razones que permiten un buen comportamiento ante el fuego, en una situación de incendio.

- La baja conductividad térmica hace que la temperatura exterior no llegue rápidamente al interior.

- La carbonización superficial, con una conductividad térmica inferior, aumenta el efecto anterior.

- La dilatación térmica es despreciable.

- Los gases de la combustión no son tóxicos.

De esta forma es fácil conseguir tiempos elevados de estabilidad al fuego para los elementos estructurales, con el fin de permitir la evacuación del edificio o la extinción del incendio.

Debe recordarse que la tecnología de la transformación de la madera, en evolución continua en las últimas décadas, ha permitido todavía una optimización mayor de sus características y propiedades. La industria de los tableros ha conducido a la obtención de elementos constructivos de gran superficie y con mejora de sus propiedades en todas las direcciones de su plano. La tecnología de la madera laminada, la madera micro laminada y los productos prefabricados de composición mixta, se orientan hacia una especialización y optimización cada vez mayores.

2.2 PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS (ASERRIN Y VIRUTA)

El aserrín y la viruta son residuos de la madera que es el material encontrado como principal contenido del tronco de una planta, especialmente en árboles. Los árboles se caracterizan por troncos que crecen cada año y son compuestos de fibras de celulosa unidos con lignita. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas.

La madera es producida por la planta para fines estructurales y, porque resulta ser un material estructural efectivo y eficiente.

Una vez cortada y secada, la madera es utilizada para diferentes propósitos en los cuales se empieza a producir residuos. Artistas y carpinteros tallan y unen trozos de madera con herramientas especiales, para fines prácticos dependiendo los usos a obtener, cumpliendo etapas en cuales se genera residuos.

Los residuos producidos tienen como principal y más importante componente la celulosa que determinan la estructura de la pared celular de las plantas. Y podemos explicarla de la siguiente manera.

Estructura de la celulosa: la estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas de β -glucosa a través de enlaces β -1,4- glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua. Es una hexosana que por hidrólisis da glucosa. Larga cadena polimérica de peso molecular variable, con fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n = 200$

Función de la celulosa: la celulosa es un polisacárido estructural en las plantas ya que forma parte de los tejidos de sostén. La pared de una célula vegetal joven contiene aproximadamente un 40% de celulosa.

A pesar de que está formada por glucosas, el hombre no puede utilizar a la celulosa como fuente de energía, ya que no cuenta con la enzima necesaria para romper los enlaces β -1,4- glucosídicos, sin embargo, es importante incluirla en la dieta humana (fibra dietética) porque al mezclarse con las heces, facilita la digestión y defecación.

En el intestino de los rumiantes y otros herbívoros, existen microorganismos que atacan al enlace β -1,4-glucosídico y al hidrolizarse la molécula de celulosa quedan disponibles las glucosas como fuente de energía.

El otro componente importante es la lignita que es un grupo de compuestos químicos en las paredes celulares de las plantas para crear madera. La lignita está formada por la extracción irreversible del agua de los azúcares,

creando compuestos aromáticos. Los polímeros de ligníta son estructuras transconectadas con un peso molecular de 10.000 uma.

Ya específicamente para la investigación se determinó la densidad específica aparente o peso unitario, en condiciones normales, (tal como se encuentra en las pilas de los aserríos), para la viruta, el aserrín.

Las muestras se tomaron del material que pasa por el Tamiz de 4 pues, se desechó el que pasaba el No 3/8" debido a su poca trabajabilidad y mal acabado. Esto para el agregado grueso (viruta), para el agregado fino se usó el aserrín en mezclas de diferentes porcentajes.

Se obtuvieron los siguientes resultados promedios del peso unitario.

Tabla 10. Peso unitario residuos de madera

MATERIAL	Pu. (kg/M ³)
VIRUTA	227.0
ASERRIN	285.0

Color: completamente variable, según el tipo de madera del cual provenga el residuo. Abundaron los colores pardo y rojizo.

Aspecto: fibroso para la viruta y de polvo para el aserrín.

Contenido de humedad: en condiciones normales de almacenamiento es decir, ambiente seco y aireado.

Humedad relativa (W): 15.7% a 100° C.

2.3 MINERALIZACIÓN

La mineralización de los residuos a emplear es una etapa importante que se debe cumplir antes de mezclar con los demás componentes y garantizar la protección de los residuos del ataque de agentes externos que lo pueden biodegradar, además ayudar para el correcto funcionamiento del conjunto residuo-polímero.

Consiste en la inmersión de los agregados orgánicos en soluciones mineralizantes con el fin de que se formen en los residuos cristales dentro y fuera de ellos, tomando mayor resistencia a los cambios de humedad, descomposición, aplicación de cargas y los residuos no experimentar así alteraciones (Foto 1).

-Mineralizantes ensayados

Cloruro de calcio, CaCl_2
Cemento Pórtland, tipo I (lechada)
Cal (lechada)
Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Se han desarrollado formas de mineralización como es la cal al 10% del peso del agua, esta proporción a pesar de ser pobre en porcentaje de cal esta comprobado que aumenta la resistencia a la compresión y cortante de los elementos.

Para este caso la mineralización se hace mezclando la solución agua-cal a la cual se le sumerge el agregado quedando la solución sobre nadante dos centímetros sobre el agregado, está permanecerá 24 horas y luego se seca al sol permitiendo la fijación de la cal. La cantidad de material es libre y se recomienda remover la solución para ayudar a la fijación y la mezcla.

La cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que se utilizó tiene una gravedad específica aproximada de 2.35.

Foto 1. Mineralización residuos de la madera



2.4 CARACTERIZACION DEL POLIMERO A UTILIZAR.

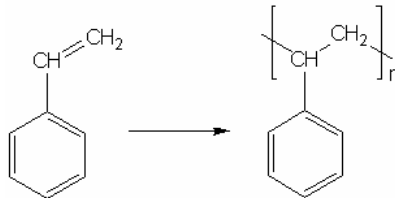
2.4.1 Información general: los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Como ejemplo se tiene el poli estireno que es un polímero formado a partir de la unidad repetitiva del el estireno, este monómero que es una molécula de pequeña masa molecular unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos,

generalmente covalentes, forman macromoléculas que se conocen con el nombre de polímeros de estireno.

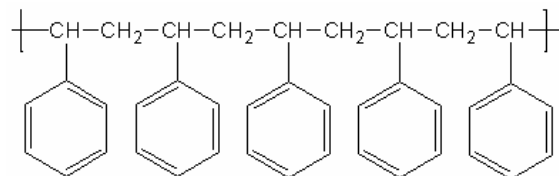
La palabra monómero procede del griego mono- "**one**" y mero "**parte**".

La unión de pocos monómeros, generalmente menos de 10, forma los oligómeros, que pueden ser dímeros, trímeros, tetrámeros, pentámeros.

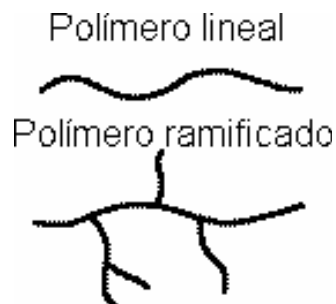
Polimerización y estructura: la reacción por la cual se sintetiza un polímero a partir de sus monómeros se denomina polimerización. Según el mecanismo por el cual se produce la reacción de polimerización para dar lugar al polímero, ésta se clasifica como polimerización por pasos o como polimerización en cadena. En cualquier caso, las moléculas obtenidas en la síntesis artificial de polímeros son de distinto tamaño entre sí, y por tanto de distinto peso molecular.



Polimerización del estireno para dar poli estireno
n indica el grado de polimerización



La estructura puede ser lineal o ramificada (aparte de poder presentar entrecruzamientos). También pueden adoptar otras estructuras, por ejemplo radiales.



Los polímeros lineales son los formados por una única cadena de monómeros, y bien ésta cadena puede presentar ramificaciones de mayor o menor tamaño.

También se pueden formar entrecruzamientos provocados por el enlace entre átomos de distintas cadenas.

La naturaleza química de los monómeros, su peso molecular y otras propiedades físicas, así como la estructura que presentan determinan diferentes características para cada polímero. Por ejemplo, si un polímero presenta un alto grado de entrecruzamientos, el material será mucho más difícil de fundir que si no presentara ninguno.

En el caso de que el polímero provenga de un único tipo de monómero se denomina homopolímero y si proviene de varios monómeros se llama copolímero. Por ejemplo, el poli estireno es un homopolímero pues proviene de un único tipo de monómero, el estireno, mientras que si se parte de estireno y acrilonitrilo se puede obtener un copolímero de estos dos monómeros.

En un copolímero los monómeros se sitúan en diferentes posiciones. Pueden estar alternándose, con una disposición aleatoria, habiendo partes de la cadena ocupadas por monómeros de un único tipo, etc.



- a) Homopolímero
- b) Copolímero alternante
- c) Copolímero bloque
- d) Copolímero aleatorio
- e) Copolímero de injerto

Finalmente, los extremos de los polímeros son distintos a los del resto de la cadena polimérica, sin embargo es mucho más importante el resto de la cadena que estos extremos debido a que la cadena es de una gran extensión comparada con los extremos.

Clasificación: los polímeros se pueden clasificar según el proceso de obtención.

Polímeros naturales: existen en la naturaleza muchos polímeros y las biomoléculas que forman los seres vivos son macromoléculas de polímeros. Por ejemplo, las proteínas, la celulosa, el caucho natural, etc.

Polímeros semisintéticos: se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa, el caucho vulcanizado, etc.

Polímeros sintéticos: muchos polímeros se obtienen industrialmente a partir de los monómeros. Por ejemplo, el nailon, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno, etc.

Según su estructura o propiedades se pueden dividir de la siguiente forma.

Plástico: normalmente se incluyen dentro del término genérico de "plásticos" los termoplásticos, que son polímeros que no presentan entrecruzamientos, lineales o ramificados, y los termoestables, polímeros que presentan un alto grado de entrecruzamiento.

Elastómeros: son polímeros con un bajo grado de entrecruzamiento.

Fibras: recubrimientos, adhesivos

2.4.2 Polímero utilizado como modificador Al iniciarse el estudio de la viruta-aserrín modificada con un polímero, se escogió el 216 F E L polímero sintético – plástico, combinación de urea con formaldehído por ser el más económico de los polímeros rígidos, el de mas uso en experiencias similares y el principal factor, por el ser de producción nacional, y de fácil disponibilidad.

Generalidades: el polímero 216 FE L es una resina líquida viscosa producida por condensación de la urea con formaldehído de aspecto blanco opaco.

Es una resina en estado intermedio de polimerización con muy bajo contenido de formol libre. La polimerización se logra por la acción de un catalizador (sulfato amonio) y / o la acción del calor lográndose un polímero rígido cristalino y termoestable. Se caracteriza por su rápido curado alta resistencia química y mecánica gran dureza y alto poder de adhesión.

Despacho: se despacha en garrafas plásticas de 56 galones o carro tanques.

Almacenamiento: para prevenir daño en el producto se debe almacenar bajo techo y a temperaturas inferiores a 25°C.

Recomendaciones de salud y seguridad: no está clasificado como peligroso para la salud.

Aplicaciones: es una resina especialmente diseñada como ligante en el proceso de fabricación de tableros aglomerados de madera o fibra de caña de azúcar, en general es un excelente ligante de fibras celulósicas. También es utilizado para la fabricación de triples o minados de madera de diversos espesores.

En la industria de la madera en general se usa como pegante para fabricar muebles, puertas entambradas o entableradas unir formica con tablero aglomerado etc.

En todas las aplicaciones anteriores es necesario el uso de un catalizador ácido (sal de amoníaco, ácido clorhídrico o ácido fosfórico) o temperatura y presión para lograr el pegue completo de las piezas.

Se cita a continuación los procesos a que va ser sometido el polímero dentro del desarrollo del estudio.

Impregnación: la impregnación de una estructura porosa con un polímero líquido, consiste en la penetración del polímero en el substrato del material.

Polimerización: consiste en una reacción de adición de las moléculas del polímero, mediante la presencia de un catalizador que esencialmente es un peróxido orgánico (en nuestro caso será por suministro de temperatura.), el cual se descompone en fragmentos que se adicionan al doble enlace para formar una molécula compleja de elevado peso molecular.

Para la reacción de polimerización, se utilizó un horno eléctrico, como medio de suministro térmico.

El material que resulta de la polimerización es sólidos, incoloro, insaboro, no tóxico, resistente al ataque de los ácidos y las bases y aislante eléctrico.

Proceso de polimerización: se debe impregnar los residuos de manera homogénea para facilitar su manejabilidad y hacer las probetas para luego ser colocadas en el horno a una temperatura de 150°C, dentro de recipientes cerrados que tienen por objeto crear una atmósfera saturada del polímero, y de esta manera disminuir la evaporación. Cuando se ha cumplido el tiempo de residencia en el horno, (5 horas) se someten las probetas a un

enfriamiento lento para luego ser sacadas de los recipientes y dejarlas enfriar en su totalidad.

3. DESARROLLO DEL MATERIAL COMPUESTO

3.1 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS DE MADERA A UTILIZAR

Los residuos fueron recogidos sin ninguna clasificación en los aserrios y transportados hasta el laboratorio de suelos donde se clasificaron por su tamaño según su granulometría de acuerdo con la norma I.N.V. E 123 para clasificación de un suelo (Foto 2).

La disposición de los tamices fue la siguiente.

Tabla 11. Orden tamices – Granulometría

Malla no.	Abertura mm.
3/8	9.52
No.4	4.75
10	2.
20	0,84
40	0,42
60	0,25
Fondo	

Foto 2. Clasificación residuos de madera



3.1.1 Granulometría y modulo de finura La granulometría muestra la distribución por tamaños de las partículas que componen un material determinado.

El modulo de finura es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material.

Este modulo esta definido como la suma de los porcentajes retenidos acumulados desde el tamiz numero 60 en adelante hasta el máximo tamaño, en nuestro caso el tamiz de 3/8, dividido por 100.

Se realizó granulometría a los residuos de la madera, los cuales se utilizaron en las diferentes pruebas.

Peso de la tara: 254gr

Tara + muestra: 754gr

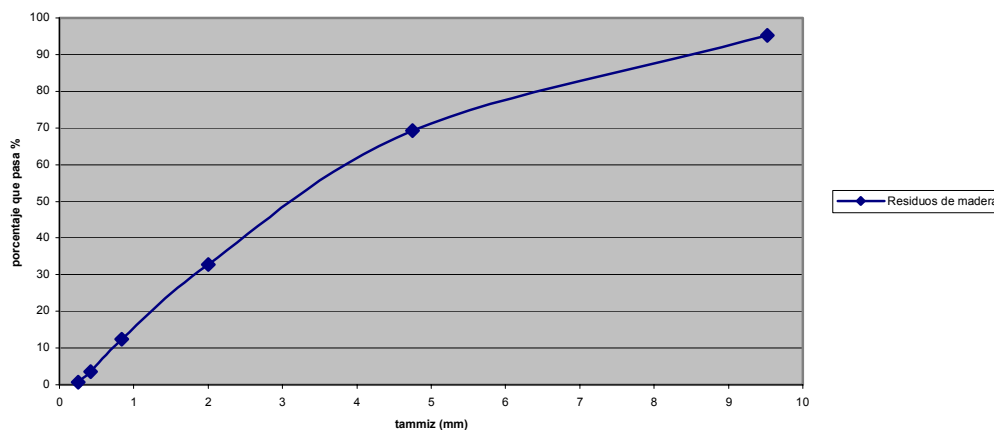
Peso de la muestra: 500gr

Tabla 12. Modulo de finura residuos de madera

Grafica 7. Modulo de finura. Granulometría

Malla no.	Abertura mm.	Peso suelo retenido en gr	Porcentaje retenido %	Porcentaje retenido acumulado %	% que pasa
3/8	9.52	24	4,8	4,8	9,2
No.4	4.75	130	26	30,8	69.2
10	2.	182	36,4	67,2	32,8
20	0,84	102	20,4	87,6	12,4
40	0,42	44	8,8	96,4	3,6
60	0,25	15	3	99,4	0,6
Fondo		3	0,6	100	0

Granulometría de los residuos de la madera



El modulo para los residuos de la madera es de 3,86.

El modulo de finura se puede interpretar como un factor que indica de manera practica el predominio de partículas finas o gruesas dentro de la distribución granulométrica. En la medida en que se acerca a cero indica un agregado fino y en la medida en que aumenta su valor indica que el agregado es más grueso.

Con la ayuda de la distribución granulométrica de los residuos de la madera se puede establecer un predomino de partículas gruesas.

3.2 DOSIFICACION PARA OBTENER LA MEZCLA ÓPTIMA

En la presente etapa de la investigación se escogieron los materiales con los cuales se va a preparar la mezcla, se procede a establecer la dosificación teniendo en cuenta la manejabilidad, estabilidad y consistencia.

Proceso experimental: como primera instancia se busca la manera de hacer un diagnostico rápido y fácil de la manejabilidad, estabilidad y consistencia de las posibles mezclas a utilizar donde se pudiera emplear en pequeñas cantidades los residuos y el modificador. Se decidió utilizar el mini-proctor según la norma I.N.V. 142 de proctor modificado por utilizar las mismas variables que se tendrán en cuenta en el desarrollo de la investigación como son número de golpes y número de capas, utilizando un pisón largo de 904 gr. de peso, 24 cm de alto y 2,54 cm de diámetro.

Foto 3. Miniproctor. Norma I.N.V. E 142



Dando como resultado cilindros de 7cm. de altura y 3,5 cm. de diámetro en los cuales se variara el numero de capas, el numero de golpes en busca de una primera mezcla optima en manejabilidad y estabilidad. Las variables a tener en cuenta fueron.

- Material clasificado
- Temperatura
- Número de capas
- Número de golpes
- Cantidad de polímero

Escogimos 3 materiales los retenidos en el tamiz número 4, 10, 40. ya que después de clasificarlos por tamaño, se presentan en mayor cantidad.

- Muestra A

Residuos de madera de tamiz no.4: 50gr

Temperatura: ambiente

Capas: 3

Golpes: 30

Polímero: 5ml

- Muestra B

Residuos de madera de tamiz no.10: 50gr

Temperatura: ambiente

Capas: 3

Golpes: 30

Polímero: 5ml

- Muestra C

Residuos de madera de tamiz no.40: 50gr

Temperatura: ambiente

Capas: 3

Golpes: 30

Polímero: 5ml

Al sacar las muestras de las probetas y dejarlas a temperatura ambiente y transcurrido dos días, se observó que las mezclas no tenían una buena consistencia, se deformaron y grietaron con facilidad y se optó por agregar temperatura para lo cual las introduciremos en el horno; además se agregó más polímero ya que la mezcla a simple vista se veía muy seca y poco manejable.

Foto 4. Probetas iniciales dosificación de mezclas



- Muestra D

Residuos de madera de tamiz no.4: 50gr

Temperatura: 150°

Capas: 3

Golpes: 30

Polímero: 7.5ml

- Muestra E

Residuos de madera de tamiz no.10: 50gr

Temperatura: 150°

Capas: 3

Golpes: 30

Polímero: 7.5ml

- Muestra F

Residuos de madera de tamiz no.40: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 3
Golpes: 30
Polímero: 7.5ml

Se observó que la mezcla se seguía deformando y grietando, se decidió agregar más polímero, para así llenar sus vacíos.

- Muestra G

Residuos de madera de tamiz no.4: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 3
Golpes: 30
Polímero: 10ml

- Muestra H

Residuos de madera de tamiz no.10: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 3
Golpes: 30
Polímero: 10ml

- Muestra I

Residuos de madera de tamiz no.40: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 3
Golpes: 30
Polímero: 10ml

Las probetas se mantenían deformando pero en una menor proporción, observando que se encontraba cerca la proporción del polímero a utilizar.

- Muestra J

Residuos de madera de tamiz no.4: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 3
Golpes: 30
Polímero: 15ml

-Muestra K

Residuos de madera de tamiz no.10: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 3
Golpes: 30
Polímero: 15ml

- Muestra L

Residuos de madera de tamiz no.40: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 3
Golpes: 30
Polímero: 15ml

La mezcla se acerco a lo que se buscaba y para llenar espacios y no utilizar más polímero se decidió agregar una capa más y aumentar el número de golpes.

-Muestra M

Residuos de madera de tamiz no.4: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 4
Golpes: 40
Polímero: 15ml

- Muestra N

Residuos de madera de tamiz no.10: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 4
Golpes: 40
Polímero: 15ml

- Muestra O

Residuos de madera de tamiz no.40: 50gr
Temperatura: 150°
Capas: 4
Golpes: 40
Polímero: 15ml

La temperatura se suministro durante un periodo de 5 horas.

Con esta mezcla se obtuvo lo que veníamos buscando manejabilidad, consistencia y estabilidad, ahora se encontrara sus características y propiedades.

La relación del polímero con el material fue: por cada 50 gr. de material se utilizo 15ml de polímero

3.3 CARACTERIZACION DEL MATERIAL COMPUESTO (RESIDUOS DE MADERA – POLIMERO)

Para realizar la caracterización del nuevo material se deben hacer formaletas con las especificaciones necesarias para cada ensayo (Foto 5 – 6).

Foto 5. Formaletas pruebas a compresión y tracción



Foto 6. Formaletas para ensayos a flexión



3.3.1 Ensayo a compresión Este ensayo es el más usado y conocido puede medir el comportamiento de elementos fabricados con residuos de madera modificada (Foto 7), bajo cargas de compresión, se utilizaron residuos de madera retenidos en los tamices No. 4, 10, 20, 40, 60.

Foto 7. Probetas ensayo de resistencia a la compresión



Se emplearon probetas cilíndricas con una altura igual a dos veces el diámetro; donde $h = 150 \text{ mm}$ y $\phi = 75 \text{ mm}$ según NTC 550. En la elaboración de estas probetas (compactación y número de capas) se siguieron parámetros de acuerdo a la NTC 1377, y siguiendo las medidas de la mezcla óptima. Se debió refrendar las probetas para una mayor exactitud en el desarrollo de la prueba según NTC 504

Para determinar la resistencia a la compresión se tomo como guía la NTC 673 aplicándolo para nuestro caso de especímenes cilíndricos de madera modificada. Anexo c.

El ensayo de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL (Foto 8), dentro de los rangos de velocidad y carga permitidas. En la evaluación de los resultados se debieron tomar en cuenta las indicaciones complementarias de la misma norma en cuanto a los cilindros defectuosos y sus correspondientes valores de aceptación.

Procedimiento: se coloca la probeta , sobre la mesa o plato de la maquina de ensayo , se alinea cuidadosamente, el eje de la probeta con el centro de presión del plato de la maquina, se aplican las cargas continuamente y sin impactos, se leen los datos de las cargas aplicadas junto con los valores que indica el deformimetro, hasta llegar a la falla.

Este mismo proceso se realizara con las otras probetas de los otros materiales retenidos en los tamices No. 4,10,20,40.60, por cada material son tres probetas.

Foto 8. Ensayo de resistencia a la compresión



Cálculos: para calcular la resistencia σ última a la compresión, se calcula dividiendo la carga ultima aplicada (P), en el área transversal de la probeta o cilindro (A).

σ :Resistencia ultima a la compresión =P/A

Para los residuos de la madera retenidos en el tamiz # 4.
 $\sigma = 1700\text{Kgf}/44.177\text{cm.}^2 = 38.48\text{Kgf/cm.}^2 = 377.33 \text{ N/cm.}^2$

Para los residuos de la madera retenidos en el tamiz # 10.
 $\sigma = 1700\text{Kgf}/44.177\text{cm.}^2 = 38.48\text{Kgf/cm.}^2 = 377.33 \text{ N/cm.}^2$

Para los residuos de la madera retenidos en el tamiz # 20.
 $\sigma = 2700\text{Kgf}/44.177\text{cm.}^2 = 61.11\text{Kgf/cm.}^2 = 599.24 \text{ N/cm.}^2$

Para los residuos de la madera retenidos en el tamiz # 40.
 $\sigma = 2800\text{Kgf}/44.177\text{cm.}^2 = 63.37\text{Kgf/cm.}^2 = 621.40 \text{ N/cm.}^2$

Para los residuos de la madera retenidos en el tamiz # 60.
 $\sigma = 2000\text{Kgf}/44.177\text{cm.}^2 = 45.27\text{Kgf/cm.}^2 = 443.91 \text{ N/cm.}^2$

El material que más resistió cargas a compresión fueron los residuos de Madera retenidos en el tamiz No.40 y a este material se le realizarán el resto de las pruebas.

3.3.2 Ensayo a flexión Las probetas para ensayo a flexión serán vigas rectangulares elaboradas y endurecidas con en el eje mayor en posición horizontal. La longitud de las vigas será al menos 50 mm mayor que tres veces la

profundidad en posición del ensayo la relación entre el ancho y la profundidad no excederá de 1.5 con variaciones de no mas del 2% de la medida de profundidad. Según norma ASTM C 293-79

Los lados de la probeta formaran ángulos rectos con las superficies superior e inferior de la misma. Todas las superficies en contacto con los bloques de apoyo y de aplicación de la carga serán suaves y estarán libres de rasguños, muescas, hendiduras.

Las probetas se realizarán lo más rápido posible sobre una superficie plana, horizontal, plana rígida, libre de vibraciones y de otras turbaciones y lo mas cerca posible donde se a de almacenar.

Colocación del material: para nuestro caso utilizamos residuos de madera modificada retenidos en tamiz No. 40.

Colocar el material en el molde utilizando una pala, palustre o cuchara. Seleccione cada cucharada del material (residuos de madera modificada) en forma que sea representativa de la mezcla. premezcle el material restante en la bandeja durante el proceso de llenado, la herramienta con que se llena se moverá para un llenado uniforme. Antes de iniciar la compactación el material debe distribuirse con la varilla para compactar.

Numero de capas: para una viga de profundidad 10 cm compactar con un pisón cuadrado de dimensiones 10x10 cm y 1874 gr. de peso, cuatro capas con una profundidad para cada capa igual a profundidad / 4. se realizara el terminado con manipuleo mínimo o necesario para producir una superficie plana a ras con el borde del molde y que no presente huecos o salientes de más de 3 mm.

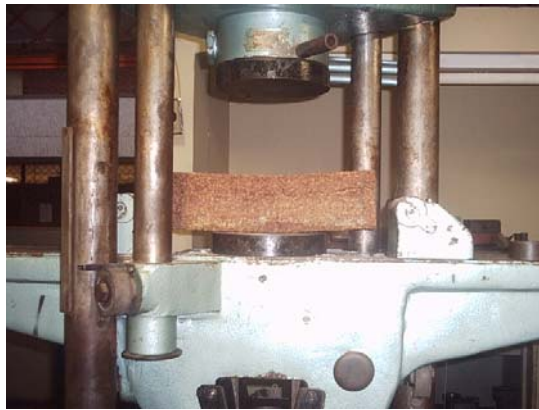
Aparatos: la maquina de ensayo debe cumplir con los requisitos aplicables a la norma ASTM que no permite el empleo de maquinas que no proporciona carga continua durante la operación de la misma. El método de carga en el centro de la luz se utiliza para ensayos a flexión empleando bloques de soportes tales que garanticen que las fuerzas aplicadas sean perpendiculares a las caras y estén aplicadas sin excentricidad; durante el ensayo las reacciones deben ser paralelas a la dirección de la aplicación de la carga.

Las probetas cumplirán los requisitos que aparecen en los métodos ASTM C31 y C192

Procedimiento: centre la probeta sobre los bloques de apoyo, centre el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Coloque el bloque de aplicación de carga, en contacto con la superficie de la probeta en el centro de la luz entre apoyos. Emplee empaques de cuero únicamente cuando la separación entre la superficie y los bloques no sea mayor que 0.4 mm.

La carga podrá ser aplicada rápidamente hasta alcanzar el 50 % de la carga de rotura, luego aplicarla a una rata constante que incremente los esfuerzos de la probeta.

Foto 9. Ensayo de resistencia a la flexión



Cálculos: una característica importante por analizar es la resistencia a la flexión de elementos de residuos de madera modificada por medio de vigas de sección cuadrada y falladas por aplicación de cargas en el centro de la luz (Anexo d); sabiendo que el esfuerzo de flexión máximo denominado modulo de rotura se calcula así:

$$MR : 3PL / 2bd^2$$

R : modulo de rotura N/mm²

P : carga máxima aplicada según lo indica la maquina de ensayo.

L : luz libre entre apoyos en mm.

b :lado de la viga, en mm.

d : altura de la viga en mm

Carga Máxima: 560Kgf 560x9.806=5491.36 N

$$MR: 3*5491.36N*290mm/2*100mm*10000mm^2=2.38 N/mm^2$$

Se encontró que el modulo de rotura para el ensayo a flexión de residuos de Madera modificada retenido en el tamiz # 40 es de 2.38N/mm^2

3.3.3 Ensayo a tracción La maquina de ensayo debe cumplir los requisitos de la NTC 673, debe tener suficiente capacidad y reunir las condiciones de velocidad y cargas establecidas, el ensayo se debe realizar según norma NTC 722.

Se debe utilizar platinas de apoyo suplementarias, inferior y superior de dimensión igual o superior al del cilindro a ensayar. Las superficies de las platinas deben ser planas dentro de una tolerancia de 0.025 mm medida sobre cualquier línea de contacto del área del apoyo, la platina debe colocarse de tal forma que la carga sea aplicada sobre la longitud total del cilindro.

Para mayor precisión se deben cortar dos tiras de cartón o dos listones de madera laminada, libres de imperfecciones de 3 mm de espesor, 25 mm de ancho y longitud igual o ligeramente superior a la del cilindro, los listones de apoyo deben colocarse entre el cilindro y las placas superiores e inferior del apoyo de la maquina o entre el cilindro y la platina de apoyo. Los listones deben usarse solamente una vez.

Los cilindros utilizados fueron hechos con residuos de la madera retenidos en el tamiz no. 40 y no. 4.

Colocación de los listones de apoyo: se coloca un listón de apoyo a lo largo del centro de la placa inferior. Se pone el cilindro sobre el listón de manera que el punto de tangencia de las dos bases concentrado sobre la lamina de apoyo. Se coloca el segundo listón longitudinalmente sobre el cilindro colocado en formar similar al anterior.

La velocidad de aplicación de carga al cilindro debe ser de forma continua evitando impacto de hasta que se rompa el cilindro. Por lo tanto la velocidad de aplicación para cilindros normales esta comprendida entre 5000 y 10000 kgf/min.

Se anota la carga de la maquina en el momento de la falla.

Foto 10. Ensayo de resistencia a la tracción



Cálculos: el esfuerzo de tracción indirecta del cilindro se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T = 2P / \pi Ld$$

T: Esfuerzo de tracción indirecta con aproximación de $1\text{N}/\text{cm}^2$

P: Carga máxima indicada por la maquina de ensayo (N)

L: longitud el cilindro (cm)

d : Diámetro del cilindro (cm)

Para el cilindro con los residuos más finos (no.40)
Carga Máxima : 1400 Kgf $1400 \times 9.806 = 13728.4 \text{ N}$
 $T = 2 \times 13728.4 \text{ N} / 3,1415 \times 15\text{cm} \times 7,5\text{cm} = 77.68\text{N}/\text{cm}^2$

Para el cilindro con los residuos más gruesos (no.4)
Carga Máxima : 600 Kgf $600 \times 9.806 = 5883.6 \text{ N}$
 $T = 2 \times 5883.6\text{N} / 3,1415 \times 15\text{cm} \times 7,5\text{cm} = 1200/353.41 = 33.30\text{N}/\text{cm}^2$

3.3.4 Propiedades de conductividad térmica (K)

Elaboración de la probeta: se deben hacer elementos rectangulares de $9 \times 10 \text{ cm}$ y de ancho conocido de los residuos de madera modificada, de todas las mezclas a analizar. debe disponerse de un cubo $10 \times 2.5 \times 4.5 \text{ cm}$ de acrílico transparente ubicado en posición vertical con un orificio en la parte inferior para conectar una manguera por donde saldrá el flujo condensado.

Descripción del equipo: estufa de donde por medio de una llama se suministrara calor a un banco metálico hueco donde estará agua depositada para que sea convertida en vapor por medio de calor suministrado también cuenta con un orificio superior por el cual es conducido el vapor a la parte

inferior de la probeta puesta en contacto con el banco; además una termocupla (sensor de temperatura) que nos controlara la temperatura en la parte interior del banco. El banco debe estar sellado para evitar fugas de vapor tanto en su entorno como en el contacto con la probeta para minimizar fugas y posibles errores. Se debe tener hielo y una manguera para ubicar en el orificio de la parte inferior del acrílico evitando fugas de liquido y un vaso previamente pesado donde será recogida el agua convertida en liquido y un cronometro para medir tiempos.

Foto 11. Montaje pruebas de conductividad térmica



Prueba experimental: se debe hacer el montaje del equipo banco-probeta. El banco en su interior con agua y la probeta ubicada en contacto con este. Se debe suministrar calor al banco durante un periodo de tiempo donde se garantice que el agua cambie de estado y sea convertida en vapor que fluirá por el orificio superior del banco hasta encontrar la probeta de residuos de madera modificada. En la parte superior se debe ubicar hielo, en el interior del acrílico, hielo que estará en contacto con la probeta de residuos de madera modificada y se ira descongelando de manera como sea transmitido el calor por la placa de residuos del nuevo material. En el momento que se empieza a descongelar el hielo y se convierte en liquido se transmitirá esta por medio de la manguera al vaso previamente pesado; este flujo debe ser constante y será necesario tomar el tiempo que dura este.

Foto 12. Desarrollo pruebas de conductividad térmica



El ensayo tiene como fundamento la ley de Fourier que dice:

$$K = QL / A\Delta T \quad \text{donde:}$$

Q : calor por método experimental.

$Q = E / T$ E : Caloría T : tiempo

L : espesor de la placa (probeta)

A : área de contacto probeta-banco.

ΔT : diferencia de temperatura. ($T - T_{\infty}$)

Se debe tener un ambiente caliente y uno frío se deben tener dos ambientes diferentes para que pueda haber transferencia de calor por eso se garantiza en la parte superior 0° .

Que es el cambio de fase de sólido a líquido del agua; en la parte inferior se tiene 96° medidos por la termocupla cambio de líquido a gaseoso del agua en Bucaramanga.

Se debe aislar térmicamente del ambiente el hielo colocando una tapa sobre el acrílico para tener un aislamiento total de factores externos que puedan influir en la medición.

Teniendo un ambiente superior frío y uno inferior caliente se debe esperar que en la parte inferior se establezca la temperatura (vapor) y en la parte superior (líquido) suceda lo mismo y se empiece a tener un flujo masico (masa-tiempo).

Del flujo masico y la definición de caloría (energía necesaria para descongelar un gramo de agua a cero grados) obtenemos la transferencia de calor entre el medio caliente (vapor) y el medio frío (hielo). Es necesario medir el tiempo que dura el flujo masico y el peso del agua depositada en el vaso para realizar los cálculos.

Se realizaron pruebas con diferentes materiales para poder comparar los resultados obtenidos de estos con los datos experimentales los residuos de la madera modificada.. se obtuvo una conductividad térmica (K).

- Acero : 40 vatios / m °c
- Vidrio : 0.81 vatios / m °c
- Madera : 0.11 vatios / m °c
- Residuos de madera modificada: 0.15 a 0.26 vatios / m °c

De los resultados obtenidos se puede concluir que los residuos de madera modificada mantienen las propiedades térmicas de la madera normal. Sabiendo que los valores del acero son de un buen conductor térmico y los valores del vidrio, la madera, y el nuevo material son valores de posibles aislantes.

3.3.5 Propiedades acústicas Este método abarca el uso del tubo de impedancia, alternativamente llamado aparato de ondas permanentes, en la medición de la absorción de la incidencia del coeficiente de absorción normal y la relación de la impedancia normal específica de un material acústico.

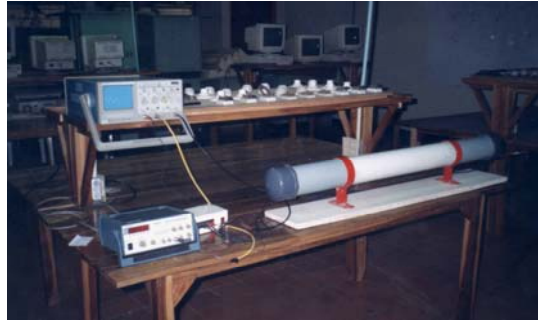
Resumen del método: una onda plana viajando en una dirección bajo un tubo es reflejada hacia atrás por el espécimen de prueba para producir una onda que puede ser explorada con un micrófono de prueba.

El coeficiente de absorción normal, (α_n) es determinado por la relación de la onda permanente usualmente medida en decibeles. Para determinar la relación de impedancia en cualquier frecuencia es necesario una medida de la onda permanente con relación a la cara de la probeta o del espécimen. Las relaciones de impedancia y los coeficientes de absorción son función de la frecuencia. Las mediciones se realizan en un número de frecuencias determinado.

Descripción del aparato: el aparato es esencialmente un tubo de PVC con un espécimen de prueba en uno de sus extremos y un parlante en el otro. Un micrófono de prueba que debe ser movido a lo largo de la longitud el cual es utilizado para explorar las ondas, la señal del tubo es filtrada amplificada. Se utiliza un generador de sonido que nos envía ondas de diferentes magnitudes que pueden ser senoidales, rectangulares y mixtas;

en un punto intermedio entre el parlante y el generador, es necesario adaptar un amplificador para acoplar la diferencia de impedancias entre estos dos; además se debe ubicar un osciloscopio con capacidad de recepción y registro hasta de 20 MHz donde se realizaran las mediciones necesarias.

Foto 13. Montaje pruebas acústicas



Probetas para el ensayo: el espécimen a probar debe tener la misma área que la sección transversal del tubo, nunca más o menos y se harán con el material con mejores resultados en las pruebas de resistencia a la compresión como fue el material de residuos retenidos en el tamiz #40 y otro con el retenido en el tamiz # 10 para compararlo con el anterior. El espécimen debe colocarse de manera no tan apretada para que no se deflece, ni tan libre que haya espacio en sus bordes contra el tubo. El espécimen debe tener una superficie relativamente plana.

Foto 14. Probetas para pruebas acústicas



Calibración: se debe tener la manera de comparar los resultados de las mediciones hechas con datos conocidos comercialmente. Se desarrollo las mediciones de igual manera como se hacen con las probetas del nuevo material.

Como se pretende establecer que tan confiables son los datos obtenidos con el tubo de impedancia frente a datos estándares, se trabaja con probetas de laminas de cielos rasos acústicos como es el caso de Second Look con un

coeficiente de reducción del ruido (NRC) en el intervalo de valores 0.50 – 0.55 y Minatone con un NRC en el intervalo 0.55 – 0.60. Estos datos comparados frente a los que proporciona el fabricante permite concluir que el tubo de impedancia sirve para medir los coeficientes con los cuales son reconocidos los materiales acústicos en el mercado.

De los gráficos se saca el valor del primer máximo y del primer mínimo para cada frecuencia y se determina el coeficiente de absorción y el NRC como sigue:

$$K = V_{\max} / V_{\min} \quad k = K - 1 / K + 1$$

$$\alpha = 1 - k^2 \quad \text{NRC} = \sum \alpha \div n \quad \text{Donde:}$$

K : relación de onda constante

V_{max} : Voltaje del primer máximo

V_{min} : Voltaje del menor mínimo

k : Coeficiente de reflexión

α : Coeficiente de absorción

NRC : Coeficiente de reducción del ruido.

Tabla 13. Calibración del tubo de impedancia

MATERIAL	FRECUENCIA	VMAX	V MIN	K	k	alfa	NRC
SECOND LOOK IV	630 Hz	451	70.5	6.400	0.730	0.466	0.483
	1000 Hz	782	127	6.150	0.720	0.481	
	1250 Hz	385	65	5.923	0.711	0.494	
	1500 Hz	289	66	4.380	0.629	0.521	
	2000 Hz	233	35	6.657	0.739	0.453	
MINATONE	630 Hz	489	92	5.315	0.684	0.532	0.571
	1000 Hz	395	77.5	5.097	0.672	0.548	
	1250 Hz	538	102	5.251	0.678	0.539	
	1500 Hz	428	100	4.280	0.620	0.615	
	2000 Hz	512	122	4.196	0.615	0.621	

Análisis de resultados para probetas de residuos de madera modificada.
Anexo E

Tabla 14. Coeficiente de reducción de ruido de residuos de madera modificada

MATERIAL	FRECUENCIA	VMAX	V MIN	K	k	alfa	NRC
Retenido # 40	630 Hz	392	128	3.062	0.507	0.742	0.843
	1000 Hz	642	188	3.414	0.546	0.701	
	1250 Hz	222	92	2.413	0.414	0.828	
	1500 Hz	181	114	1.587	0.226	0.948	
	2000 Hz	106	94	1.127	0.059	0.996	
Retenido #10	630 Hz	222	102	2.176	0.370	0.863	0.936
	1000 Hz	644	366	1.759	0.275	0.924	
	1250 Hz	193	114	1.692	0.257	0.933	
	1500 Hz	127.5	90.5	1.416	0.172	0.970	
	2000 Hz	108.5	91	1.192	0.0875	0.992	

Es importante comprender el comportamiento de una onda acústica dependiendo del material sobre el cual incide. Al estrellarse una onda sonora sobre una superficie existen dos posibilidades: a) que la absorba o b) que la refleje dependiendo de la clase del material sobre el cual se refleja. Por ejemplo el material que se adopta en un auditorio es de tipo b ya que se necesita que la onda se absorba para evitar el eco o la requerida en sitios de alta contaminación por ruido donde se espera que la onda sonora choque con las paredes y se refleje completamente sin que transmita al otro lado o que al transmitirla reduzca notablemente su intensidad para así garantizar tranquilidad en el lugar.

Los materiales de construcción generalmente poseen valores de NRC bajos debido a su gran rigidez. A continuación se muestra valores de algunos materiales comunes en construcción comparados con el de los residuos de madera modificada.

Tabla 15. Valores de NRC para algunos materiales de construcción

MATERIAL	NRC(Coeficiente de Reducción de Ruido)
Ladrillo no esmaltado	0.05
Bloque de hormigón tosco	0.35
Madera	0.10

Vidrio (cristal ordinario de ventana)	0.10
Residuos de madera retenido # 10	0.936
Residuos de madera retenido # 40	0.843
Yeso	0.30
Second Look IV	0.50
Minatone	0.55

Comparando los valores de NRC de los diferentes materiales existentes en el comercio y los obtenidos con los residuos de madera modificada se puede concluir que se tiene un muy buen aislante acústico.

3.3.6 Ensayo de durabilidad a residuos de madera modificada La durabilidad es definida como la fiabilidad que caracteriza la aptitud de un material para el fin que se ha destinado y también la capacidad de mantener sus características durante un largo tiempo, tanto mecánica como estéticamente.

Cualquiera que sea el caso, es necesario definir tres grupos de los que se tiene certeza de su influencia en la durabilidad de una pieza.

- Factores que dependen del material: Composición, estructura, impurezas, morfología.
- Factores que dependen de la aplicación: Forma de la pieza, estado de la superficie, contacto con otros materiales, tensiones, etc.
- Factores que dependen del medio ambiente: Temperatura, humedad, agentes biológicos, radiaciones, etc.

Para medir la durabilidad del material se opto por realizar el ensayo en la cámara de envejecimiento acelerado.

Envejecimiento: la mayor parte de los materiales utilizados por el hombre, metales, tejidos, plásticos, maderas, sufren una evolución según la naturaleza y la agresividad del medio ambiente. Esta evolución, según los casos, se denomina corrosión, erosión, oxidación o putrefacción.

En término general el envejecimiento puede definirse como un fenómeno global de evolución lenta e irreversible de las propiedades físicas y químicas de un material.

Tipos de envejecimiento.

Envejecimiento natural: envejecimiento de un material sometido a la influencia de los elementos naturales, intemperie, o en sus condiciones de utilización.

Envejecimiento acelerado: envejecimiento realizado en unas condiciones tales que la vida útil se acorta.

Envejecimiento artificial: Es un caso particular del envejecimiento acelerado en las cuales se controlan la condiciones de exposición, que se mantienen constantes o varían según ciclos simples o regulares. El envejecimiento artificial se realiza en unos equipos o cámaras de envejecimiento que simulan de modo mas o menos fiel un ciclo natural.

El laboratorio de operaciones unitarias, de la escuela de Ingeniería Química posee en sus instalaciones una cámara climática o cámara de envejecimiento acelerado, que según la norma ASTM G53-88 es capaz de reproducir el envejecimiento natural, que se produce sobre diferentes materiales, utilizados bajo condiciones de intemperie.

Su principal característica es su preparación para poder programar ciclos de envejecimiento acelerado, simulando así largos periodos de trabajo de distintos materiales, operando en condiciones atmosféricas adversas.

Por ello esta cámara dispone de componentes tales como:

- Lámparas ultravioleta de 15 watts, que permite emitir radiación ultravioleta en las mismas longitudes de onda que la radiación solar.
- Porta muestras que aseguran el envejecimiento uniforme sobre la superficie de la muestra.
- Ventilador que emite aire seco, que simula la exposición del material a la intemperie.

Foto 15. Cámara de envejecimiento acelerado



Principio del método: esta cámara es capaz de someter a los materiales a ciclos de envejecimiento acelerado, para poder evaluar posteriormente las pérdidas de sus propiedades físicas y químicas.

Ciclo de exposición: el ensayo fue diseñado para un tiempo total de 1000 horas de exposición mediante el ciclo:

Radiación más aire seco: este ciclo simula el efecto de la luz solar y calor, que es el más importante en la degradación del material y en la simulación de las condiciones ambientales.

El sistema se trabajo manteniendo la temperatura en 40°C mediante aire seco proveniente de una turbina.

Procedimiento experimental

- Se fabricaron cuatro probetas cilíndricas de residuos de madera retenido en el tamiz # 40 de dimensiones 15cm de lado y 7.5cm de diámetro.
- Se introdujeron en la maquina de envejecimiento, tomando el día y la hora y midiendo el caudal del flujo de aire seco.
- Se sacaron al cumplir 100, 200, 500 y 1000 horas para poder evaluar posteriormente las pérdidas de sus propiedades en este caso pruebas de resistencia (compresión).

La equivalencia de las 1000 horas de exposición en la cámara de envejecimiento en tiempo real de exposición al sol seria aproximadamente 40 meses.

Tabla 16. Tiempo en la cámara- tiempo real

Tiempo en la cámara de envejecimiento (horas)	Tiempo real equivalente (meses)
0	0
200	8,14
400	16,28
600	24,42
800	32,56
1000	40,70

Foto 16. Probetas dispuestas en la cámara de envejecimiento



Pruebas de durabilidad. Ensayo a compresión: para medir los cambios producidos por los residuos de madera expuestos en la cámara de envejecimiento, se tomo como el mas importante el ensayo a compresión. Este se realizado teniendo en cuenta las mismas normas que para encontrar la resistencia a la compresión de probetas con residuos de madera modificada. (capitulo 3.3.1)

Foto 17. Ensayos de resistencia a la compresión de probetas expuestas en la cámara de envejecimiento



Los valores que se encontraron en los ensayos a compresión, indican que el material adquiere más resistencia con el tiempo y estéticamente no cambio. Anexo F

3.3.7 Ensayo de permeabilidad La permeabilidad es la cualidad o estado, para admitir el paso de agua y de vapor de agua en, a través de, y por los poros e intersticios, sin causar roturas ni desplazamientos.

Existen materiales permeables, resistentes al agua, repelentes al agua e impermeables, según el grado de permeabilidad.

- Permeable: Hay rajaduras, hendiduras, fugas o agujeros más grandes que los poros capilares que permiten el flujo o que haya goteras. El material puede tener o no poros capilares.
- Resistente al agua: Aunque existen poros capilares que permiten el paso del agua y de vapor de agua, hay pocas o ninguna abertura más grande que los capilares, que permitan el goteo de cantidades importantes de agua.
- Repelente al agua: Significa que no se moja por el agua; por lo tanto, no es capaz de transmitirla mediante fuerzas capilares únicamente. Sin embargo el material puede permitir transmisión de agua bajo presión y ser permeable al vapor de agua.
- Impermeable: Cuando no hay ninguna abertura presente que permita el goteo o paso de agua y vapor de agua. El material es impenetrable por el agua y vapor de agua, se encuentre esta bajo presión o sin ella.

Mediante la utilización del Permeámetro de gas Ruska, se realizara el ensayo para medir la permeabilidad del material.

Foto 18. Permeametro de Gas Ruska



Principio del Método: la permeabilidad al gas de una muestra del material se determina con base en la ley de Darcy (flujo de fluidos), midiendo en un rotámetro la tasa de flujo de un gas que se hace pasar a través de la muestra bajo un gradiente de presión. El gas a utilizar es de viscosidad conocida.

El valor de permeabilidad que se determina en este equipo es de permeabilidad absoluta. La permeabilidad se calcula utilizando el caudal de gas que pasa a través del núcleo, las dimensiones del mismo, el gradiente de presión y la viscosidad del gas.

Los equipos, elementos y accesorios empleados fueron: Permeámetro de gas Ruska con todos sus accesorios y muestras del material previamente preparadas y reseñadas.

Procedimiento Experimental

- ◆ Se fabricaron 2 probetas cilíndricas.
- ◆ Colocar la muestra en el receptor de caucho adecuado (el más preciso), insertar en la copa y ajustar en el Permeametro.
- ◆ Se debe comenzar por probar la posición de “large” de la válvula selectora del flowmeter y fijar una presión de 0.25 atmósferas en el manómetro. Si el flotador se encuentra en el rango de lectura entre 20 y 140 divisiones, tomar la lectura estimando el centro del flotador suspendido; de lo contrario,
- ◆ probar la posición “medium” y fijar una presión de 0.50 atmósferas, verificar si se puede tomar la lectura; de lo contrario, probar la

siguiente posición "small", fijando para esta una presión de 1 atmósfera y tomar la lectura.

- ◆ Cerrar la válvula reguladora y retirar la muestra.

Foto 19. Probetas para ensayo de permeabilidad



La permeabilidad obtenida mediante el Permeámetro de gas Ruska se calculó utilizando el caudal de gas que pasa a través del núcleo, el gradiente de presión, la viscosidad del gas y las dimensiones de la probeta.

La viscosidad del gas (μ) se obtiene a partir de la temperatura ambiente al momento de analizar la muestra. Con las lecturas flowmeter, R_f , y la escala de flowmeter (S, M, o L) se obtienen los datos de la tasa promedio de flujo, Q (cm/seg), mediante gráficos de conversión; estos valores y junto con los datos de gradiente de presión P (atm), área de la sección transversal de la muestra, A (cm²), y longitud de la muestra, L (cm), se procede a hallar la permeabilidad utilizando la siguiente expresión:

$$K = \frac{\mu \times Q \times L}{A \times P} = \text{Darcy}$$

$$K = \frac{0,01887 \times 100 \times 4}{0,25 \times 19,63} = 1,54 \text{ Darcys} = 1540 \text{ milidarcys}$$

Se realizaron tres pruebas con probetas de residuos de madera modificada retenidos en el tamiz # 40 dando como resultados que en los tres casos los valores fueron iguales, debido a su alta permeabilidad siempre se trabajó con la presión mínima 0.25 atm. ya que el flujo del gas siempre pasaba y el material no lo retenía.

Según los rangos que se manejan en el laboratorio de rocas de la Escuela de Ingeniería de Petróleos el material presenta una alta permeabilidad, ya

que una permeabilidad baja esta dentro de 0-100 milidarcys y las muestras presentaron 1540 milidarcys de permeabilidad.

3.3.8 Ficha técnica

- **Nombre** : Residuos de madera modificada utilizados en construcción
- **Material utilizado**: - Residuos de madera retenidos en el tamiz No. 40.
-Polímero 216 FEL
- **Recomendaciones de salud y seguridad** : no presenta ninguna restricción de manejo ni prevención. utilizar guantes y tapa boca para evitar aspirar partículas diminutas de residuos.
- **Temperatura de aplicación**: 150°C durante 4 a 6 horas.
- **Numero de capas**: cuatro capas por cada 15 cm de longitud.
- **Numero de golpes**: 40 golpes por capa.
- **Resistencia a la compresión**: 621.40 N/cm².
- **Resistencia a la flexión**: 2.38N/mm²
- **Resistencia a la tracción**: 70.68 N/cm².
- **Aislante térmico**: 0.16 a 0.26 vatios / m °c
- **Aislante acústico**: NRC = 0.8
- **Permeabilidad alta K**: 1540 Darcys muy permeable.
- **Durabilidad**: mejora sus características de resistencia con el tiempo cuando es expuesto al sol. Mantiene su color y aspecto.

4. ELEMENTOS DE MATERIAL COMPUESTO PROPUESTO

Después de haber realizado las pruebas y ensayos, obteniendo los resultados en la caracterización del nuevo material se propone utilizar los residuos de madera modificada retenidos en el tamiz # 40; por haber presentado mejores resultados en las pruebas de compresión, tracción y dando un excelente aislamiento térmico y acústico, manteniendo su apariencia al ser expuesto en las pruebas de durabilidad.

Paneles o muros divisorios: se debe disponer de una formaleta que en será cuadrada de dimensiones 1.5 cm de altura y 70 cm de lado; en otros casos se podrá utilizar cualquier otra dimensión teniendo especial cuidado en la medida del lado que no sea inferior a 1.0 cm para tener un mejor desempeño en la compactada de los residuos y un mejor acabado. Se recomienda hacer una mezcla totalmente homogénea y de gran cantidad para que en ningún momento de la elaboración del panel llegue a faltar el material.

Se utilizaron 4000 gr. de residuos de madera impregnada con 1200 ml del polímero se revolvió el material constantemente hasta lograr una mezcla homogénea. Se empieza a disponer el material en la formaleta de manera uniforme en capas iguales a $\frac{1}{4}$ de la altura de la formaleta y mantener las características del numero de capas de la investigación, la compactación se realiza capa a capa cada una con 40 golpes, utilizando el pisón cuadrado de 1874 gr de peso y 10 cm de lado, se debe realizar uniformemente y no deben presentarse zonas de mayor o menor compactación por ultimo se debe enrasar para luego depositar la formaleta en el horno durante un periodo de cinco horas a una temperatura de 150°.

Foto 20. Formaleta para panel



Foto 21. Panel desencofrado



Vigas rectangulares como sistema de aligeramiento para placas : se cuenta con una formaleta metálica de dimensiones 15 cm *15 cm *120 cm de fácil desencofrada. Se utilizaron 8000 g r. de residuos de madera impregnandolos con 2400 ml de polímero y realizando el mismo proceso de fabricación del panel.

Foto 22. Formaleta para vigas



Foto 23. Viga desencofrada



Vigas cilíndricas como sistema de aligeramiento para placas : se utilizó como formaleta un tubo de PVC de 4" de diámetro cortado por la mitad para lograr un fácil desencofrado, con un juego de abrazaderas dispuesta cada 15cm y lograr una buena compresión en las paredes del tubo la longitud total del tubo fue de 60cm pudiendo utilizarse cualquier otra longitud. se utilizaron 3000 gr de residuos de madera 40 impregnado con 900 ml del polímero. Se realiza una relación de la longitud del tubo con la longitud de las probetas utilizadas para saber que número de capas se debe utilizar y se compacta con un una varilla de 3/4" de 20 cm de largo manteniendo el número de golpes por capa..

Foto 24. Formaletas para aligeramiento.



Foto 25. Posible aligeramiento para placas de entrepiso macizas



CONCLUSIONES

Después del estudio de un número representativo a través de la encuesta realizada a los empresarios del sector de la madera además de los registros en aumento de empresas registradas en la cámara de comercio se concluye que el material es abundante y se puede conseguir a bajo precio.

Se encuentra que el primer y más grande problema a solucionar es de tipo ambiental, por el poco interés que prestan las entidades ambientales del AMB como es el caso de la Corporación de la Defensa de Bucaramanga que a realizado estudios pero en ningún caso a tomado medidas claras para solucionar este problema.

Los empresarios encuestados y otro gran número agrupados en Madercoop (cooperativa de sector maderero) se encuentran muy interesados y dispuestos a colaborar en la posibilidad del empleo de los residuos de madera.

El polímero utilizado respondió de gran forma a los requerimientos de la investigación. Se encontró una muy buena adherencia y rápida respuesta en el momento de adicionar calor a la mezcla. La mezcla optima se obtuvo con la siguiente dosificación : por cada 50 gr de material se utilizo 15 ml de polímero para cuatro capas cada una de 40 golpes y una temperatura de 150°C .

El polímero puede reaccionar de una manera más lenta en el momento de aplicar presión y secado al aire. Para la investigación se decidió aplicar temperatura por la facilidad de equipos en los laboratorios y la mayor rapidez para el desarrollo de la investigación.

Comparando los valores de la conductividad térmica de materiales muy conocidos como el acero el vidrio y madera los cuales presentan valores de conductividad muy diferentes , siendo el acero un conductor muy bueno, el vidrio un posible aislante y la madera un aislante se encontró que el nuevo material conserva las características de un aislante al tener una conductividad en los valores de 0.15 - 0.26 vatios /m °c

El nuevo material presenta excelentes resultados de aislante acústico encontrando un coeficiente de reducción del ruido muy bueno 0.8 - 0.9 siendo mejor que los valores ofrecidos por algunos fabricantes de paneles para aislamiento acústico.

Luego de emplear probetas para las pruebas de resistencia a la compresión que fue el factor de mayor importancia en la investigación con los residuos de madera retenidos de los diferentes tamices 4,10,20,40,60, se encuentra que los mejores resultados los tienen los residuos retenidos en el tamiz # 40. Los de mayor resistencia a la compresión, tracción y flexión son los residuos finos el retenido en el tamiz No. 40 con una resistencia a la compresión de 63.37Kgf/cm.^2

Las pruebas de resistencia a la flexión con residuos de madera retenidos en el tamiz # 40 dio como $MR = 216.38\text{N/mm}^2$ y en el caso del ensayo a tracción se compararon valores de pruebas de residuos finos y de gruesos dando como resultado los retenidos en el tamiz #4 = 30.10N/cm^2 y los retenidos en el tamiz # 40 = 70.32N/cm^2

Con el tiempo 100, 200, 500 Y 1000 horas mejoran sus características de resistencia posiblemente por continuar reaccionando el polímero y aumentar su resistencia, estéticamente no cambio se mantuvo el color y su apariencia.

Se presenta una dificultad al ser el material muy permeable y poder presentar dificultades en presencia de líquidos. presentando un $K = 1540$ DARCY

Es un material dúctil ya que las fallas presentadas durante las pruebas de compresión fueron por aplastamiento.

RECOMENDACIONES

Buscar otro polímero o combinaciones de otros que se puedan utilizar en continuar en la búsqueda de nuevos materiales aplicables a la ingeniería.

Buscar mezclas de materiales de residuos de madera en proporciones de finos y grueso (aserrín-viruta) para mirar cambios y buscar mejorar propiedades físicas y mecánicas..

Involucrar a los sectores interesados en la solución del problema para que en conjunto se den soluciones rápidas y concretas.

Utilizar otros materiales de residuo por ser de fácil adquisición y de gran abundancia.

Realizar pruebas con probetas secadas al ambiente para buscar economía en el gasto de energía por transmisión de calor.

Hacer ensayos de degradación biológica ante la acción o ataque de bacterias y hongos.

Mejorar la permeabilidad Utilizando algún recubrimiento y en le mejor de los casos que sea también de origen residual.

Mejorar el método de medición de conductividad térmica para que sea de mayor confiabilidad.

Realizar los ensayos a la totalidad de los residuos retenidos en los diferentes tamices.

Buscar otros usos diferentes a los planteados, encontrar otras formas y otros diseños.

Incentivar la investigación en la Universidad Industrial de Santander ya que en los últimos tiempos se ha descuidado.

BIBLIOGRAFIA

- BALLESTEROS, Ximena y RONDON, Alberto. Desarrollo de un equipo para pruebas acusticas en concreto y mortero. Tesis de ingenieria civil. Universidad Industrial de Santander 1996.
- SÁNCHEZ, Diego. Tecnologia del concreto y del mortero. Bogotá D. E. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingenieria. 1998
- MORALES, Monica y ORJUELA, Miguel. Estudio de la ruta de síntesis de poliuretano atraves del tratamiento químico. Tesis de Ingenieria Química. Universidad Industrial de Santander. 2004-07-19
- ESCOBAR, Liliana y GUZMÁN, Jorge. Estudio de envejecimiento acelerado del polietileno de alta densidad usado en tuberías para acueductos. Tesis de Ingenieria Química. Universidad Industrial de Santander. 1996
- ABARCA, Jaime. Propiedades físicas y mecanicas de maderas santandereanas. Tesis de Ingenieria Mecanica. Universidad Industrial de Santander. 1980
- CARDENAS, Mario y HERNADEZ, Rafael. Estudio de las propiedades físico mecánicas de algunas maderas dela región de Santander y los usos en la construcción. Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Industrial Santander. 1985
- SEIVIANOVIM P. Estructuras prefabricadas. Montevideo – Uruguay. 1972._Desarrollo de procesos prefabricados a través del tiempo, fabricación y empleo en obras.
- GOMEZ, Marco A.; ARRIETA, Carlos. Estudio somero sobre los factores que influyen en la resistencia de las maderas. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ciencias Físico – Mecánicas. Ingeniería Civil.1992.
- BRICEÑO, Carlos Omar. Fortalecimiento de las propiedades Físico Mecánicas del KRAFT, mediante la adición y polímeros. Centro de investigación en Celulosa. Universidad Industrial de Santander. 1999.
- BILLMEYER, Free. Ciencias de los polímeros. Barcelona. 1985.

- SEYMOUR, Raimond. Introducción a la Química de los polímeros 1995.
- SHACKEFORD, James. Ciencias de los materiales para ingenieros.
- CARBONELL HIGUERA, Tomas Gerardo. Estudio de propiedades acústicas con concretos modificados con aditivos polimericos. Universidad Industrial de Santander. 1998.
- NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. Contenida en la NSR 98. Tomo I Icontec 1994.

ANEXO A
Encuesta utilización de desechos de madera en la ingeniería

**ENCUESTA
UTILIZACION DE DESECHOS
DE MADERA EN LA INGENIERIA**

I. IDENTIFICACION DE LA EMPRESA

1. NOMBRE DE LA EMPRESA: _____

2. DIRECCION: _____ Barrio: _____ Municipio: _____
Dirección _____ Correspondencia: _____
Tel/Fax _____

3. PROPIETARIO Y/O GERENTE: _____

4. RESPONSABLE DE LA PLANTA: _____

II. CARACTERIZACION DE LA EMPRESA

5. DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES DE LA EMPRESA: _____

6. AREA TOTAL DE LA PLANTA: _____ M²

7. ANTIGÜEDAD DE LA EMPRESA: _____ AÑOS

III. PROCESO PRODUCTIVO

8. PRODUCCION PROMEDIO DE PRODUCTOS PRINCIPALES:

PRODUCTOS	UNIDADES (Diaria Semanal o Mensual)

9. NIVEL DE TECNIFICACION DE LA EMPRESA: (Marque con una X)

Alto []

Medio []

Bajo []

10. ¿CUALES SON LAS PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS QUE USAN EN LA EMPRESA?

MATERIA PRIMA	FUENTE DE SUMINISTROS

IV. MANEJO AMBIENTAL

11. ¿CUÁLES PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EXISTEN EN LA LOCALIDAD?

12. CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS (Viruta, Aserrín, Empaques de Insumos, Papel y Carbón, Plásticos, Vidrio, Textiles, Metales, Residuos Orgánicos, etc.):

Tipo de Residuo Sólido	Fuentes de Generación	Cantidad (Por semana o mes)	Manejo/ Tratamiento	Destinación Final

13. ¿HACEN ACTIVIDADES DE SEPARACIÓN O MANEJO PREVIO QUE DISMINUYAN LA GENERACION DE ESTOS RESIDUOS SÓLIDOS? :
(Marque S o N)

S [] N []

14. ¿GASTO MENSUAL EN MANEJO Y DISPOSICIÓN DE ESTOS RESIDUOS SÓLIDOS? : \$ _____

15. ¿EN SU EMPRESA LOS DESECHOS SON UTILIZADOS DE ALGUNA MANERA?:

(A) SIEMPRE (B) ALGUNAS VECES (C) NUNCA

16. SI CONTESTÓ A O B, DE QUÉ MANERA SE ESTÁN UTILIZANDO?

17. LOS DESECHOS SON CLASIFICOS DEPENDIENDO DE:

- (A) POR LA MAQUINA QUE ES PRODUCIDA
- (B) POR EL TAMAÑO
- (C) NO ES CLASIFICADA

18. DEPENDIENDO DE LA MÁQUINA QUE PRODUCE LOS DESECHOS, CUÁL LOS PRODUCE EN MAYOR CANTIDAD (Ordenar de Mayor a Menor)

- 1) _____
- 2) _____
- 3) _____
- 4) _____

19. ¿ QUE CANTIDAD DE DESECHOS ES PRODUCIDO EN UNA SEMANA POR SU EMPRESA? (TOTAL)

20. ¿QUIENES HAN ESTADO INTERESADOS EN UTILIZAR ESTOS DESECHOS?

- (A) GOBIERNO
- (B) AVICOLAS
- (C) LADRILLERAS
- (D) LA EMPRESA MISMA
- (E) NADIE

21. ¿EN SU EMPRESA HAY DESTINADO ALGUN LUGAR PARA EL ALMACENAMIENTO DE LOS DESECHOS?

SI _____ NO _____

22. ¿CONSIDERA USTED QUE ESTOS DESECHOS PUEDEN SER UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE ALGUNA MANERA, CUAL?

23. ¿EN EL MERCADO ESTOS DESECHOS TIENEN ALGUN VALOR?

SI _____ NO _____

24. ¿CUÁNTO PODRIA VALER 1 M² DE DESECHOS

25. ¿CUÁNTO PODRIA VALER 10 KG DE DESECHOS?

26. DEPENDIENDO DE SU FORMA, TAMAÑO LOS DESECHOS PODRIAN VARIAR DE VALOR?

SI _____ NO _____

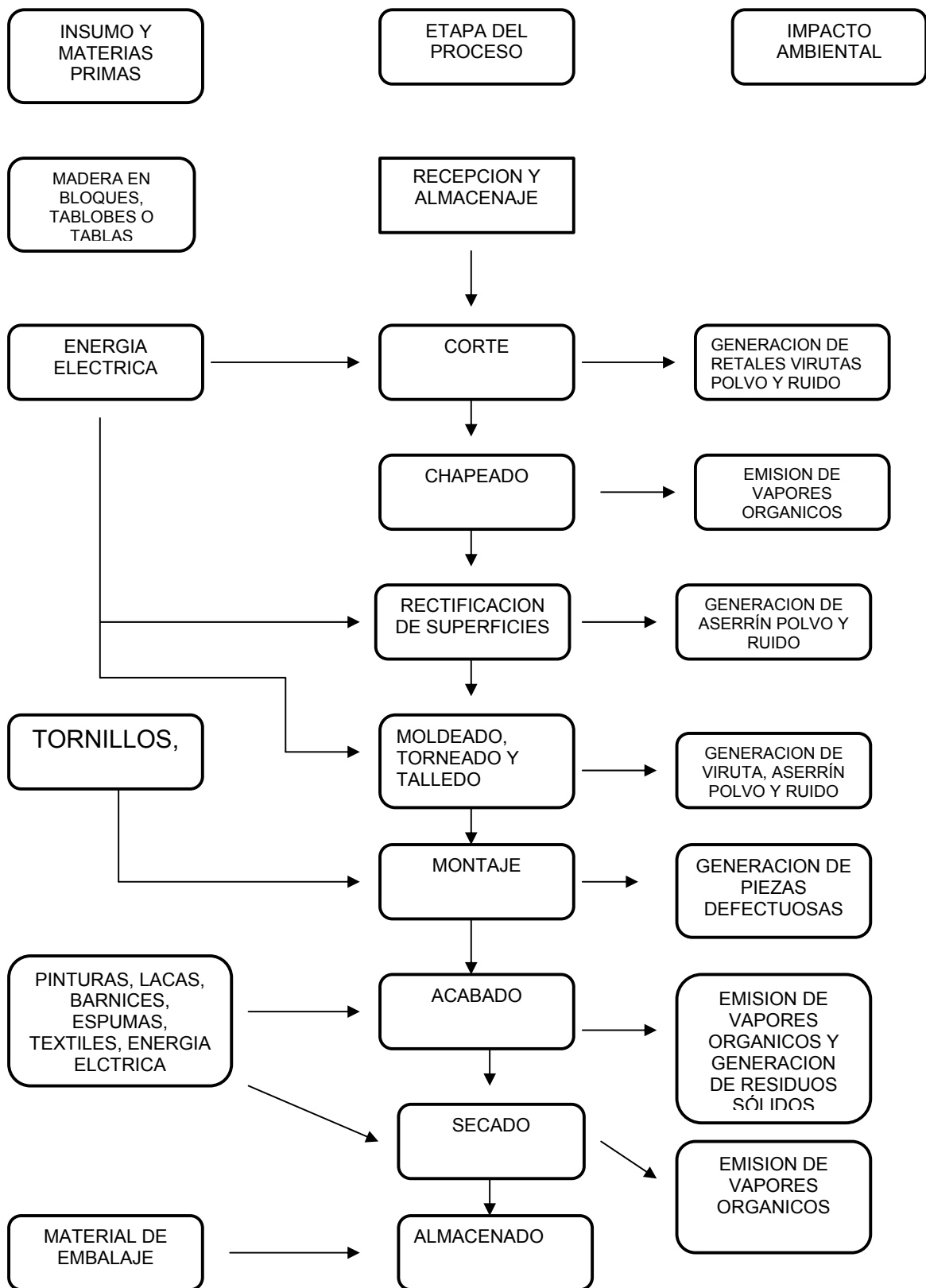
27. USTED ESTARIA DISPUESTO A REDUCIR LOS DESECHOS DE TAMAÑO

- (A) MUY PEQUEÑO (Sinfin) _____
- (B) PEQUEÑO (Planeadora) _____
- (C) MEDIANO (Cepillo manual) _____
- (D) GRANDE _____

28. ¿CONOCE USTED ALGUN TIPO DE LIGANTE QUE PUEDA SER UTILIZADO PARA AGLUTINAR DESECHOS DE TAMAÑO PEQUEÑO?

29. ESTARIAN DISPUESTOS A APOYAR INVESTIGACIONES QUE INVOLUCREN LA UTILIZACION DE LOS DESECHOS? DE QUE MANERA?

ANEXO B
Diagrama proceso de fabricación de muebles



ANEXO C
Desarrollo ensayo a compresión (tablas – graficas)

Tabla 17. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 4

ENSAYO A COMPRESIÓN. RESIDUOS # 4									
	PROBETA # 1			PROBETA # 2			PROBETA # 3		
P (kg)	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.
100	80	2.26	0.0135	70	2.26	0.0118	75	2.26	0.0127
200	122	4.53	0.0206	117	4.53	0.0198	119	4.53	0.0201
300	178	6.79	0.0301	183	6.79	0.0309	177	6.79	0.0299
400	239	9.05	0.0404	228	9.05	0.0386	233	9.05	0.0394
500	315	11.32	0.0533	312	11.32	0.0528	316	11.32	0.0535
560	469	12.68	0.0794	470	12.68	0.0795	473	12.68	0.0800
600	514	13.58	0.0870	521	13.58	0.0882	519	13.58	0.0878
660	561	14.94	0.0949	552	14.94	0.0934	555	14.94	0.0939
700	573	15.85	0.0970	575	15.85	0.0973	578	15.85	0.0978
760	596	17.20	0.1009	587	17.20	0.0993	593	17.20	0.1004
800	649	18.11	0.1098	638	18.11	0.1080	649	18.11	0.1098
860	722	19.47	0.1222	736	19.47	0.1246	729	19.47	0.1234
900	771	20.37	0.1305	779	20.37	0.1314	775	20.37	0.1312
960	844	21.73	0.1429	836	21.73	0.1415	834	21.73	0.1412
1000	893	22.64	0.1512	883	22.64	0.1495	891	22.64	0.1508
1060	962	23.99	0.1628	953	23.99	0.1613	958	23.99	0.1622
1100	1040	24.90	0.1761	1022	24.90	0.1730	1031	24.90	0.1745
1160	1063	26.26	0.1800	1057	26.26	0.1789	1057	26.26	0.1789
1200	1130	27.16	0.1913	1129	27.16	0.1911	1133	27.16	0.1918
1260	1159	28.41	0.1962	1146	28.41	0.1940	1158	28.41	0.1960
1300	1187	29.42	0.2009	1179	29.42	0.1996	1188	29.42	0.2011
1400	1269	31.69	0.2148	1266	31.69	0.2143			
1500	1351	33.95	0.2287	1359	33.95	0.2301			
1600				1435	36.22	0.2429			
1700				1542	38.48	0.2611			

Tabla 18. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 10

ENSAYO A COMPRESIÓN. RESIDUOS # 10									
	PROBETA # 1			PROBETA # 2			PROBETA # 3		
P (kgf)	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.
100	47	2.26	0.0080	56	2.26	0.0095	58	2.26	0.0098
200	74	4.53	0.0125	71	4.53	0.0143	76	4.53	0.0128
300	114	6.79	0.0193	119	6.79	0.0201	123	6.79	0.0216
400	155	9.05	0.0262	163	9.05	0.0287	159	9.05	0.0269
500	202	11.32	0.0342	198	11.32	0.0352	200	11.32	0.0338
600	264	13.58	0.0447	269	13.58	0.0460	268	13.58	0.0453
700	341	15.85	0.0577	332	15.85	0.0562	343	15.85	0.0580
800	431	18.11	0.0729	436	18.11	0.0743	435	18.11	0.0736
900	539	20.37	0.0912	547	20.37	0.0939	548	20.37	0.0927
1000	651	22.64	0.1102	643	22.64	0.1085	652	22.64	0.1104
1100	773	24.90	0.1308	774	24.90	0.1315	771	24.90	0.1305
1200	894	27.16	0.1513	899	27.16	0.1517	888	27.16	0.1503
1300	1006	29.42	0.1703	997	29.42	0.1688	1001	29.42	0.1695
1400	1106	31.69	0.1872	1105	31.69	0.1871			
1500	1191	33.95	0.2016	1186	33.95	0.2008			
1600				1283	36.22	0.2172			
1700				1397	38.48	0.2365			

Tabla19. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 20

ENSAYO A COMPRESIÓN. RESIDUOS # 20									
	PROBETA # 1			PROBETA # 2			PROBETA # 3		
P (kgf)	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.
100	25	2.26	0.00423	31	2.26	0.0063	33	2.26	0.0056
200	35	4.53	0.00593	41	4.53	0.0088	42	4.53	0.0071
300	58	6.79	0.00982	63	6.79	0.0112	57	6.79	0.0097
400	84	9.05	0.0142	92	9.05	0.0160	88	9.05	0.0149
500	110	11.32	0.0203	114	11.32	0.0235	117	11.32	0.0191
600	160	13.58	0.0270	167	13.58	0.0282	159	13.58	0.0269
700	170	15.85	0.0287	174	15.85	0.0301	173	15.85	0.0292
800	195	18.11	0.0330	199	18.11	0.0347	194	18.11	0.0328
900	230	20.37	0.0389	241	20.37	0.0408	235	20.37	0.0397
1000	255	22.64	0.0431	260	22.64	0.0455	262	22.64	0.0445
1100	285	24.90	0.0482	291	24.90	0.0499	289	24.90	0.0489
1200	310	27.16	0.0524	308	27.16	0.0555	314	27.16	0.0531
1300	345	29.42	0.0584	339	29.42	0.0574	346	29.42	0.0585
1400	400	31.69	0.0677	409	31.69	0.0709	407	31.69	0.0689
1500	425	33.95	0.0719	432	33.95	0.0748	426	33.95	0.0721
1600	460	36.22	0.0778	472	36.22	0.0799	468	36.22	0.0792
1700	505	38.48	0.0855	513	38.48	0.0868	506	38.48	0.0856
1800	550	40.74	0.0931	563	40.74	0.0970	551	40.74	0.0933
1900	600	43.02	0.1016	608	43.02	0.1029	609	43.02	0.1031
2000	660	45.27	0.1117	669	45.27	0.1166	672	45.27	0.1137
2100	720	47.53	0.1219	718	47.53	0.1215	722	47.53	0.1222
2200	790	49.79	0.1337	782	49.79	0.1324	873	49.79	0.1478
2300	860	52.06	0.1456	874	52.06	0.1513	875	52.06	0.1481
2400	930	54.32	0.1574	925	54.32	0.1566			
2500	1050	56.58	0.1778	1041	56.58	0.1762			
2600				1126	58.85	0.1906			
2700				1246	61.11	0.2109			

Tabla 20. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 40

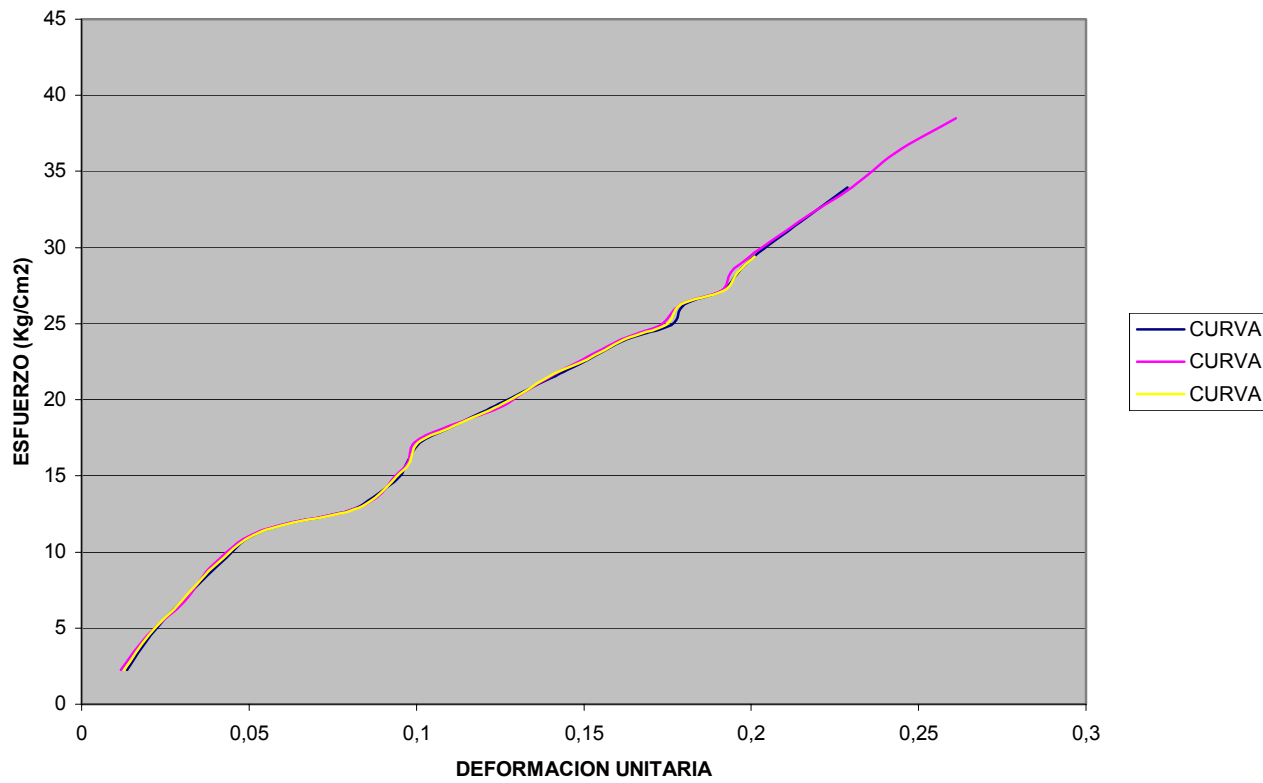
ENSAYO A COMPRESIÓN. RESIDUOS # 40									
	PROBETA # 1			PROBETA # 2			PROBETA # 3		
P (kgf)	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.
100	15	2.26	0.0025	21	2.26	0.0036	23	2.26	0.0039
200	30	4.53	0.0051	33	4.53	0.0064	35	4.53	0.0060
300	45	6.79	0.0076	49	6.79	0.0083	43	6.79	0.0073
400	60	9.05	0.0101	64	9.05	0.0104	68	9.05	0.0115
500	85	11.32	0.0143	91	11.32	0.0167	81	11.32	0.0137
600	100	13.58	0.0169	107	13.58	0.0181	110	13.58	0.0186
700	135	15.85	0.0228	142	15.85	0.0240	145	15.85	0.0245
800	160	18.11	0.0270	157	18.11	0.0265	164	18.11	0.0277
900	185	20.37	0.0313	183	20.37	0.0326	187	20.37	0.0316
1000	215	22.64	0.0364	210	22.64	0.0355	217	22.64	0.0367
1100	245	24.90	0.0414	249	24.90	0.0421	253	24.90	0.0428
1200	280	27.16	0.0474	289	27.16	0.0489	284	27.16	0.0480
1300	315	29.42	0.0533	321	29.42	0.0543	325	29.42	0.0550
1400	352	31.69	0.0596	349	31.69	0.0590	352	31.69	0.0596
1500	395	33.95	0.0668	399	33.95	0.0675	398	33.95	0.0673
1600	455	36.22	0.0770	449	36.22	0.0760	456	36.22	0.0772
1700	480	38.48	0.0812	477	38.48	0.0795	480	38.48	0.0812
1800	520	40.74	0.0880	523	40.74	0.0885	529	40.74	0.0895
1900	560	43.02	0.0948	564	43.02	0.0955	567	43.02	0.0960
2000	600	45.27	0.1016	608	45.27	0.1046	609	45.27	0.1031
2100	660	47.53	0.1117	671	47.53	0.1136	664	47.53	0.1124
2200	730	49.79	0.1236	728	49.79	0.1232	739	49.79	0.1251
2300	820	52.06	0.1388	826	52.06	0.1415	819	52.06	0.1386
2400	890	54.32	0.1507	897	54.32	0.1518			
2500	1010	56.58	0.1710	1003	56.58	0.1698			
2600				1114	58.85	0.1886			
2700				1228	61.11	0.2079			
2800				1302	63.37	0.2204			

Tabla 21. Resultados ensayos de resistencia a la compresión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 60

ENSAYO A COMPRESIÓN. RESIDUOS R # 60									
	PROBETA # 1			PROBETA # 2			PROBETA # 3		
P (kgf)	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.	Defor. (mp)	Esfuer. Kgf/Cm²	Defor. Unitar.
100	25	2.26	0.0042	29	2.26	0.0034	31	2.26	0.0052
200	37	4.53	0.0063	40	4.53	0.0051	38	4.53	0.0064
300	50	6.79	0.0085	54	6.79	0.0094	56	6.79	0.009
400	62	9.05	0.0104	64	9.05	0.0108	61	9.05	0.0103
500	77	11.32	0.0130	81	11.32	0.0118	83	11.32	0.0140
600	92	13.58	0.0155	95	13.58	0.0165	98	13.58	0.0159
700	110	15.85	0.0186	118	15.85	0.0206	115	15.85	0.0194
800	130	18.11	0.0220	142	18.11	0.0252	138	18.11	0.0233
900	145	20.37	0.0238	149	20.37	0.0257	142	20.37	0.0240
1000	166	22.64	0.0272	168	22.64	0.0284	171	22.64	0.0289
1100	186	24.90	0.0306	191	24.90	0.0326	193	24.90	0.0326
1200	215	27.16	0.0364	214	27.16	0.0379	217	27.16	0.0367
1300	240	29.42	0.0406	242	29.42	0.0409	246	29.42	0.0421
1400	270	31.69	0.0457	276	31.69	0.0484	278	31.69	0.0470
1500	304	33.95	0.0514	306	33.95	0.0518	303	33.95	0.0513
1600	336	36.22	0.0568	339	36.22	0.0574			
1700	372	38.48	0.0629	378	38.48	0.0640			
1800				386	40.74	0.0653			
1900				395	43.02	0.0685			
2000				403	45.27	0.0699			

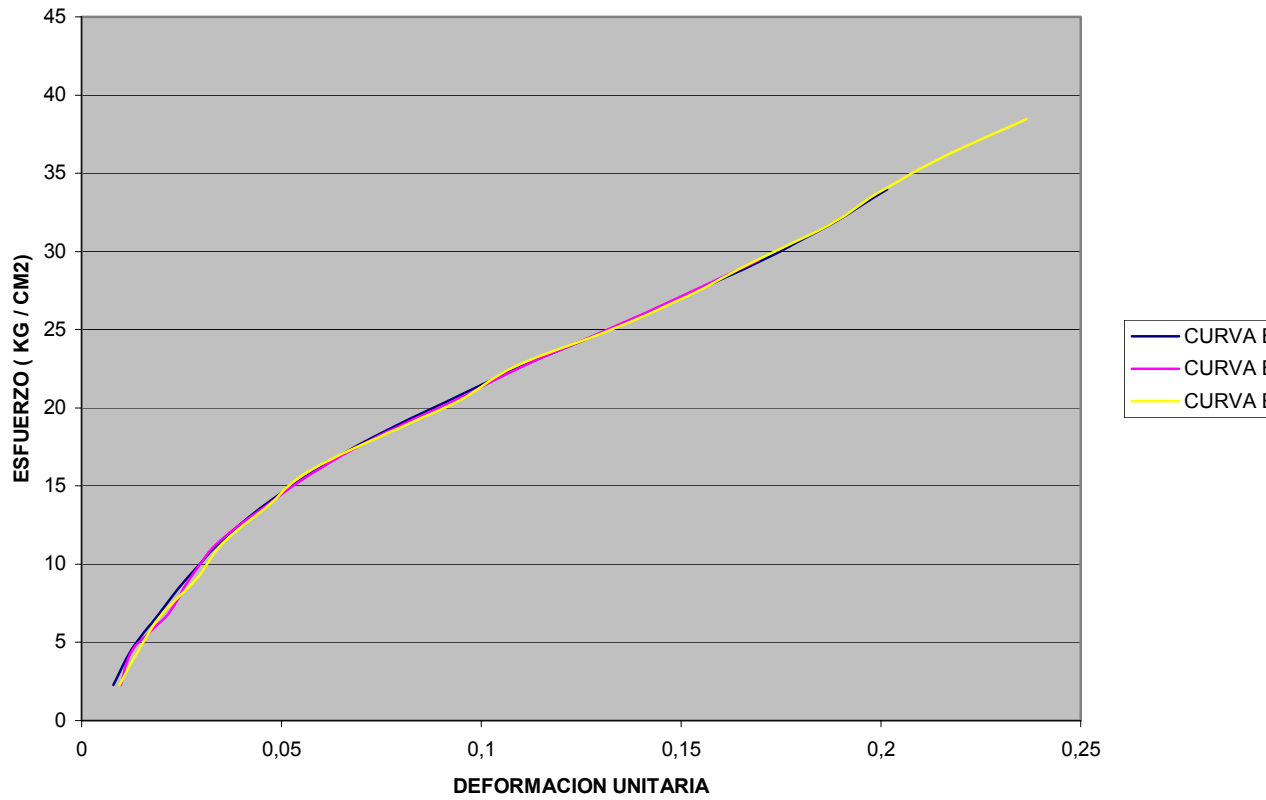
Grafica 7. Curva Esfuerzo Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 4

ENSAYO A COMPRESION DE LOS RESIDUOS DE LA MADERA RETENIDOS EN EL TAMIZ No. 4



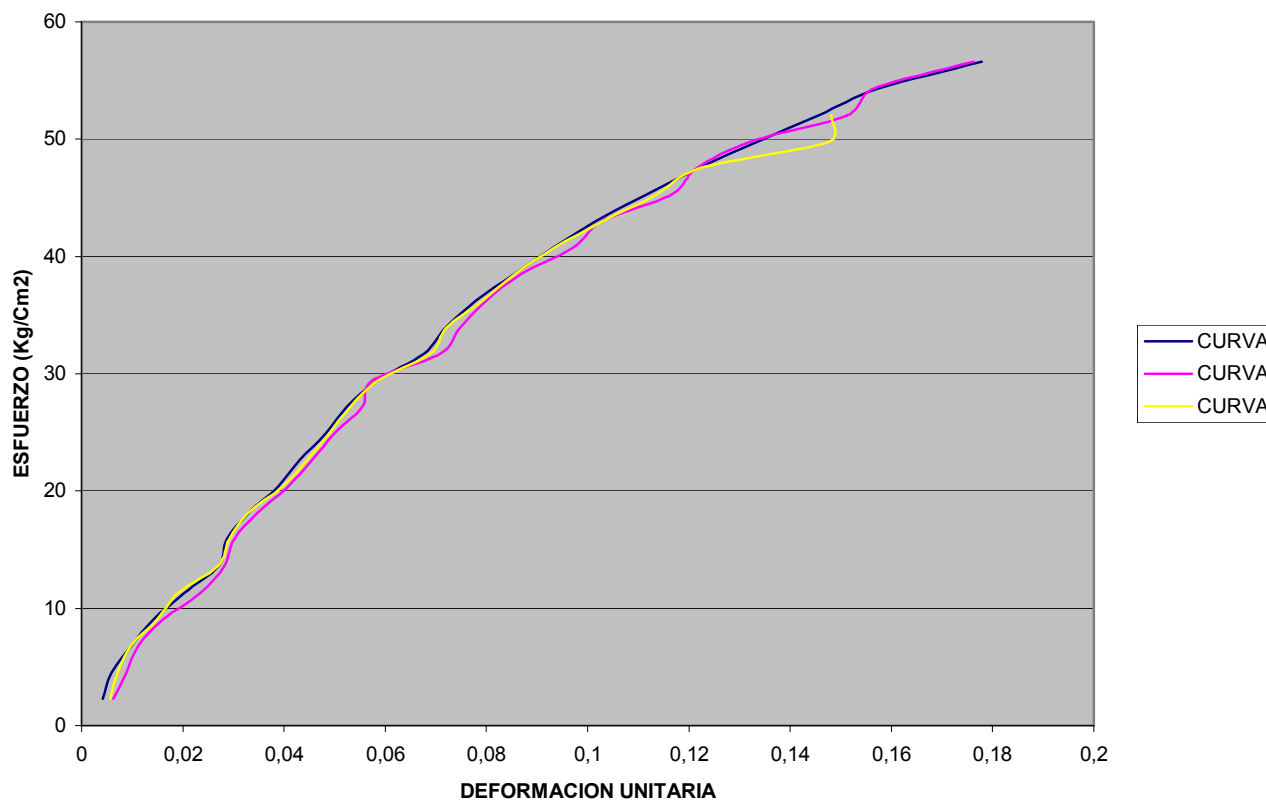
Grafica 8. Curva Vs Deformación residuos de la madera retenidos en el Tamiz # 10

ENSAYO A COMPRESION DE LOS RESIDUOS DE MADERA RETENIDOS EN EL TAMIZ #10



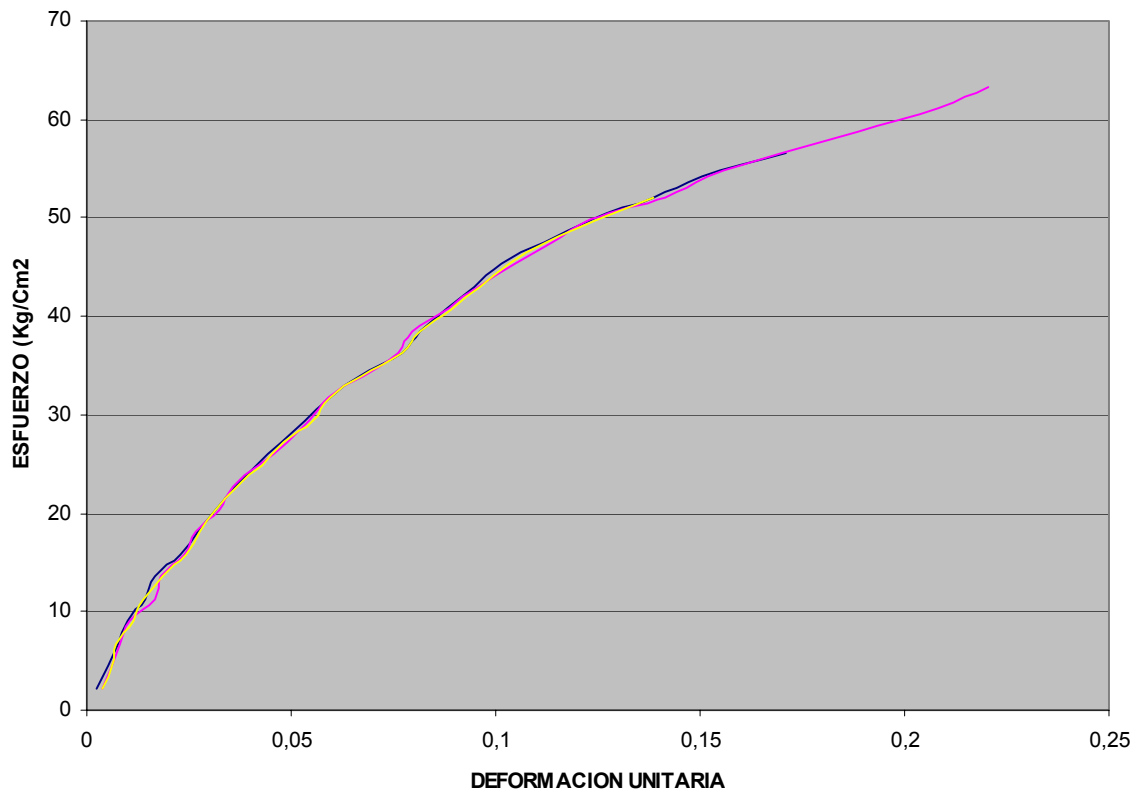
Grafica 9. Curva Esfuerzo Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 20

ENSAYO A COMPRESION DE LOS RESIDUOS DE MADERA RETENIDOS EN EL TAMIZ No.20



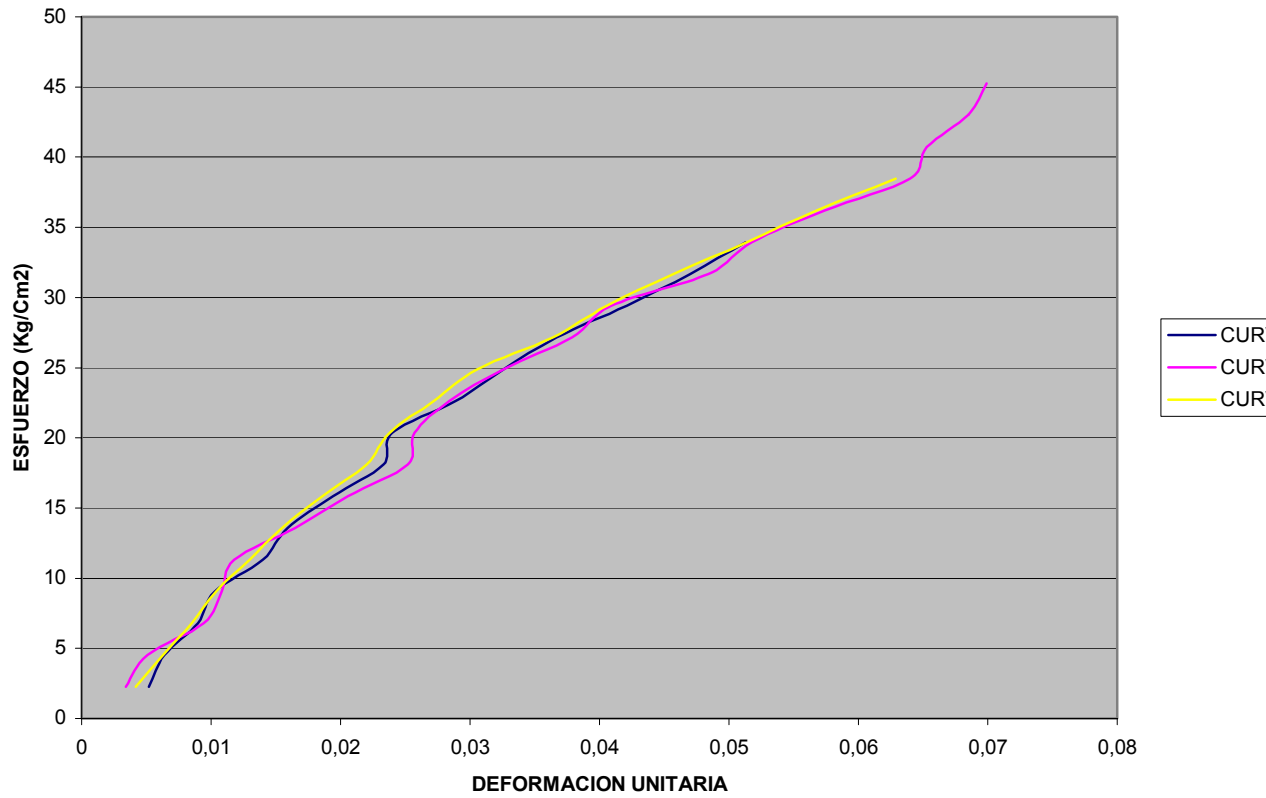
Grafica 10. Curva Esfuerzo Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 40

ENSAYOS A COMPRESION DE LOS RESIDUOS DE LA MADERA RETENIDOS EN EL TAMIZ No.40



Grafica 11. Curva Esfuerzo Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 60

ENSAYO A COMPRESION DE LOS RESIDUOS RETENIDOS EN EL TAMIZ No. 60



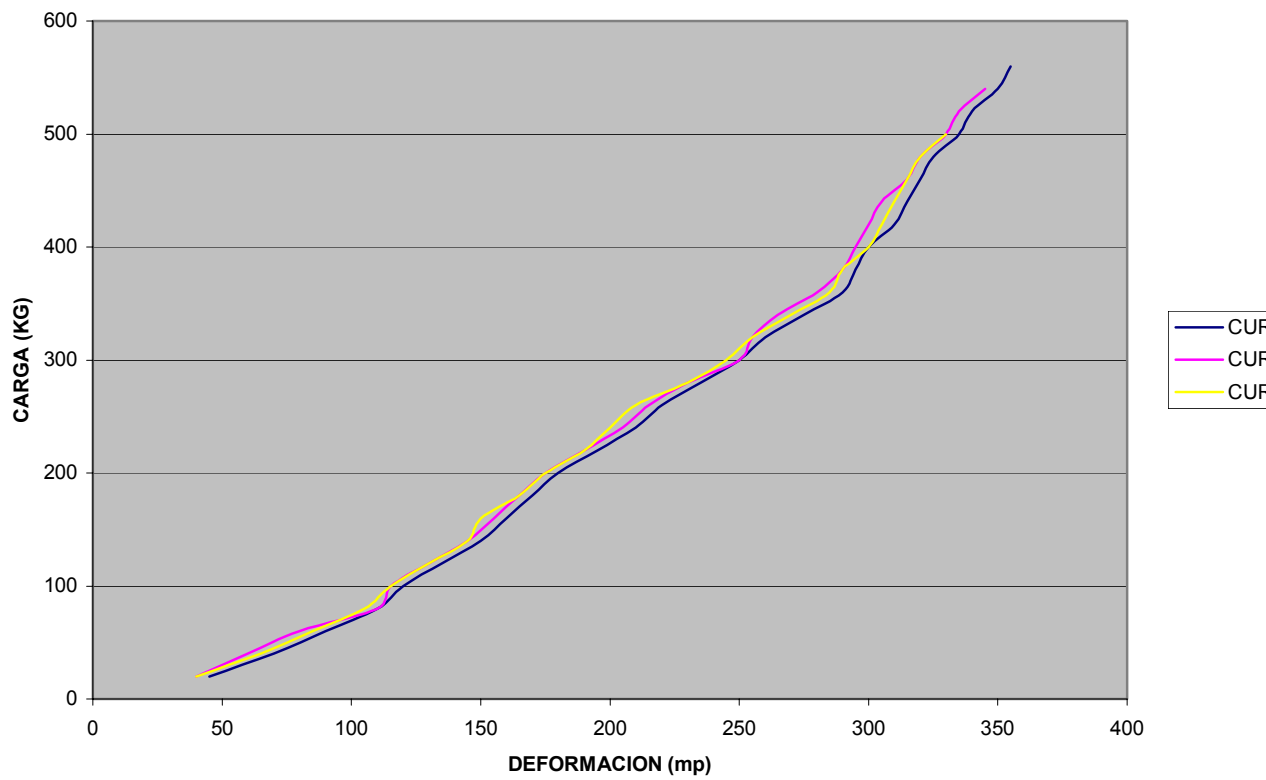
ANEXO D
Desarrollo ensayo a flexión (tablas – graficas)

Tabla 22. Resultados ensayos de resistencia a la flexión residuos, de madera retenidos en el tamiz # 40

Residuos de madera retenidos en el tamiz # 4		Residuos de madera retenidos en el tamiz # 4		Residuos de madera retenidos en el tamiz # 4	
CARGA (Kgf)	DEFORMACIÓN (mp)	CARGA (Kgf)	DEFORMACIÓN (mp)	CARGA (Kgf)	DEFORMACIÓN (mp)
20	45	20	40	20	35
40	70	40	60	40	65
60	90	60	85	60	80
80	110	80	100	80	105
100	120	100	115	100	110
120	135	120	130	120	125
140	150	140	140	140	145
160	160	160	165	160	155
180	170	180	170	180	165
200	180	200	180	200	175
220	195	220	190	220	190
240	210	240	205	240	205
260	220	260	215	260	220
280	235	280	230	280	230
300	250	300	245	300	240
320	260	320	255	320	250
340	275	340	265	340	260
360	290	360	280	360	285
380	295	380	290	380	290
400	300	400	295	400	300
420	310	420	300	420	305
440	315	440	305	440	310
460	320	460	315	460	315
480	325	480	320	480	325
500	335	500	330	500	335
520	340	520	335		
		540	345		

Grafica 12. Curva Carga Vs Deformación residuos de madera retenido en el tamiz # 40

ENSAYO A FLEXION DE LOS RESIDUOS DE LA MADERA RETENIDOS EN EL TAMIZ #



ANEXO E
Desarrollo pruebas acústica (tablas – graficas)

**Tabla 23. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz #
10 a 630 Hz**

ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 10 A 630 Hz												
DISTANCIA (cm)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
AMPLITUD (mV)	138	102	118	130	222	92	88	190	160	110	216	180
	141	107	115	124	228	89	93	194	153	104	222	189
	146	99	110	133	221	94	82	199	151	115	210	184

Tabla 24. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 10 a 1000 Hz

ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 10 A 1000 Hz												
DISTANCIA (cm)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
AMPLITUD (mV)	542	366	644	632	210	634	191	640	218	672	254	606
	537	358	637	628	203	641	198	630	217	679	246	598
	549	352	651	642	217	628	181	629	226	663	239	619

Tabla 25. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 10 a 12500 Hz

ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 10 A 1250 Hz												
DISTANCIA (cm)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
AMPLITUD (mV)	96	168	193	114	154	175	179	140	132	160	145	106
	94	165	190	114	152	171	175	143	135	162	147	110
	96	166	191	113	152	173	177	140	133	159	143	108

Tabla 26. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 10 a 1500 Hz

ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 10 A 1500 Hz												
DISTANCIA (cm)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
AMPLITUD (mV)	87	127.5	90.5	155.5	155	94.5	140	91	107.5	150	146	79
	94	129	96.5	147.5	144	99.5	148	82	103.5	143.5	139	89
	99	119.5	87.5	138	163	87.5	139	94	102.5	159	129	87

Tabla 27. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 10 a 2000 Hz

ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 10 A 2000 Hz												
DISTANCIA	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90

(cm)												
AMPLITUD	91	96.5	108.5	91	106	86	97.5	109	113.5	102	93	113.5
(mV)	94	99	105	97	110	95	92	105	108	106	98	109
	99	96.5	112	95	104	90	93	101	108	103	93	105

Tabla 28. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 40 a 630 Hz

ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 40 A 630 Hz												
DISTANCIA	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
(cm)												
AMPLITUD	323	128	340	392	322	293	106	282	162	232	192	225
(mV)	315	125	325	382	315	286	112	271	151	225	183	218
	318	128	330	384	328	278	120	276	168	227	186	215

Tabla 29. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 40 a 1000 Hz

ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 40 A 1000 Hz												
DISTANCIA	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
(cm)												
AMPLITUD	362	302	642	598	188	529	436	622	182	742	206	622
(mV)	350	289	632	578	195	536	445	612	166	730	215	630
	335	309	640	595	190	542	441	625	191	745	210	640

Tabla 30. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 40 a 1250 Hz

ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 40 A 1250 Hz												
DISTANCIA	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
(cm)												
AMPLITUD	136	186	222	92	238	230	218	132	182	246	218	124
(mV)	150	175	215	105	225	235	220	145	200	232	228	119
	142	190	230	90	230	240	212	140	189	240	230	120

Tabla 31. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 40 a 1500 Hz

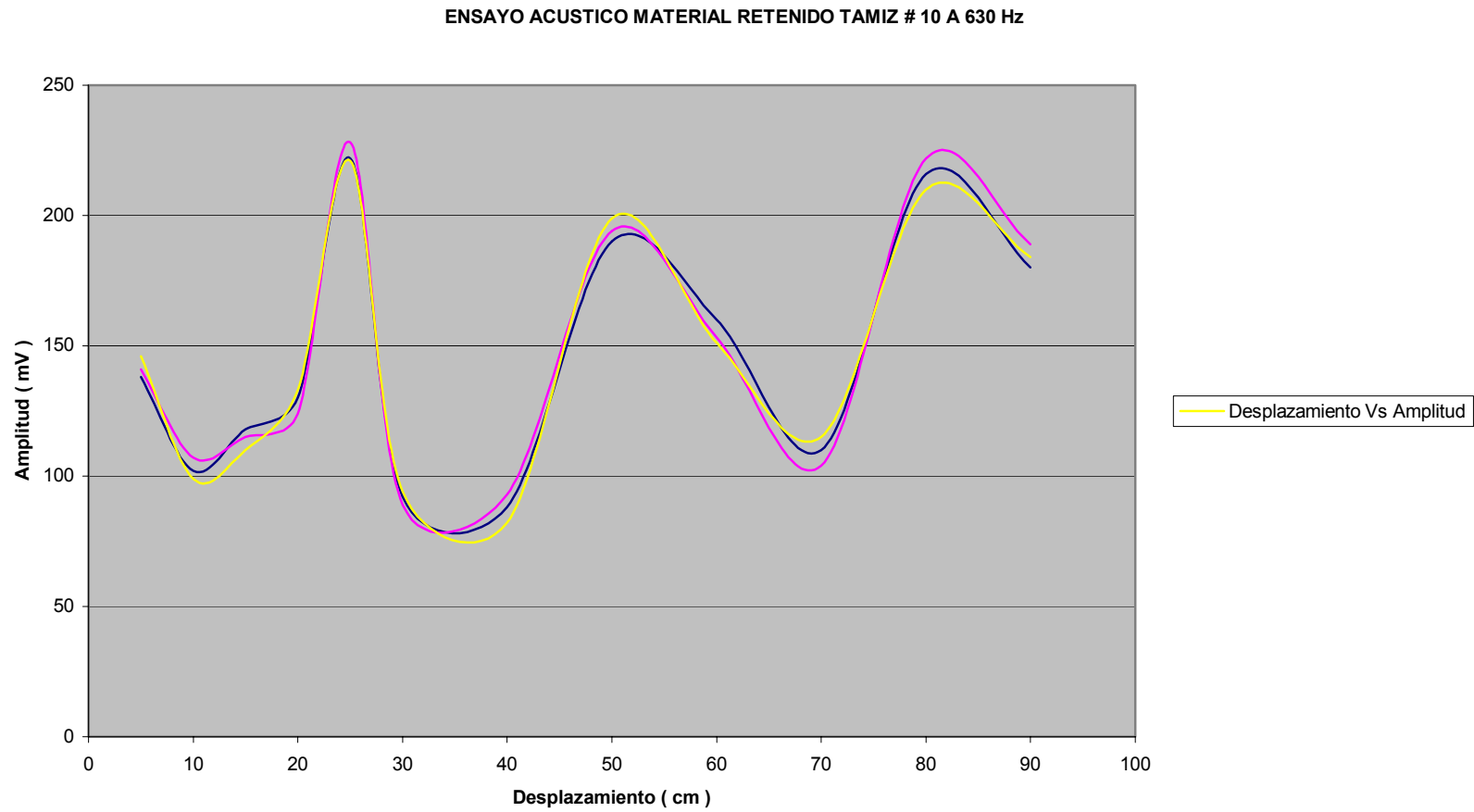
ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 40 A 1500 Hz												
DISTANCIA	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90

(cm)												
AMPLITUD	86	171	114	140	148	104	80	135	125	102	93	114
(mV)	100	160	110	130	160	110	88	128	141	109	100	119
	84	178	109	132	155	115	90	125	135	115	95	109

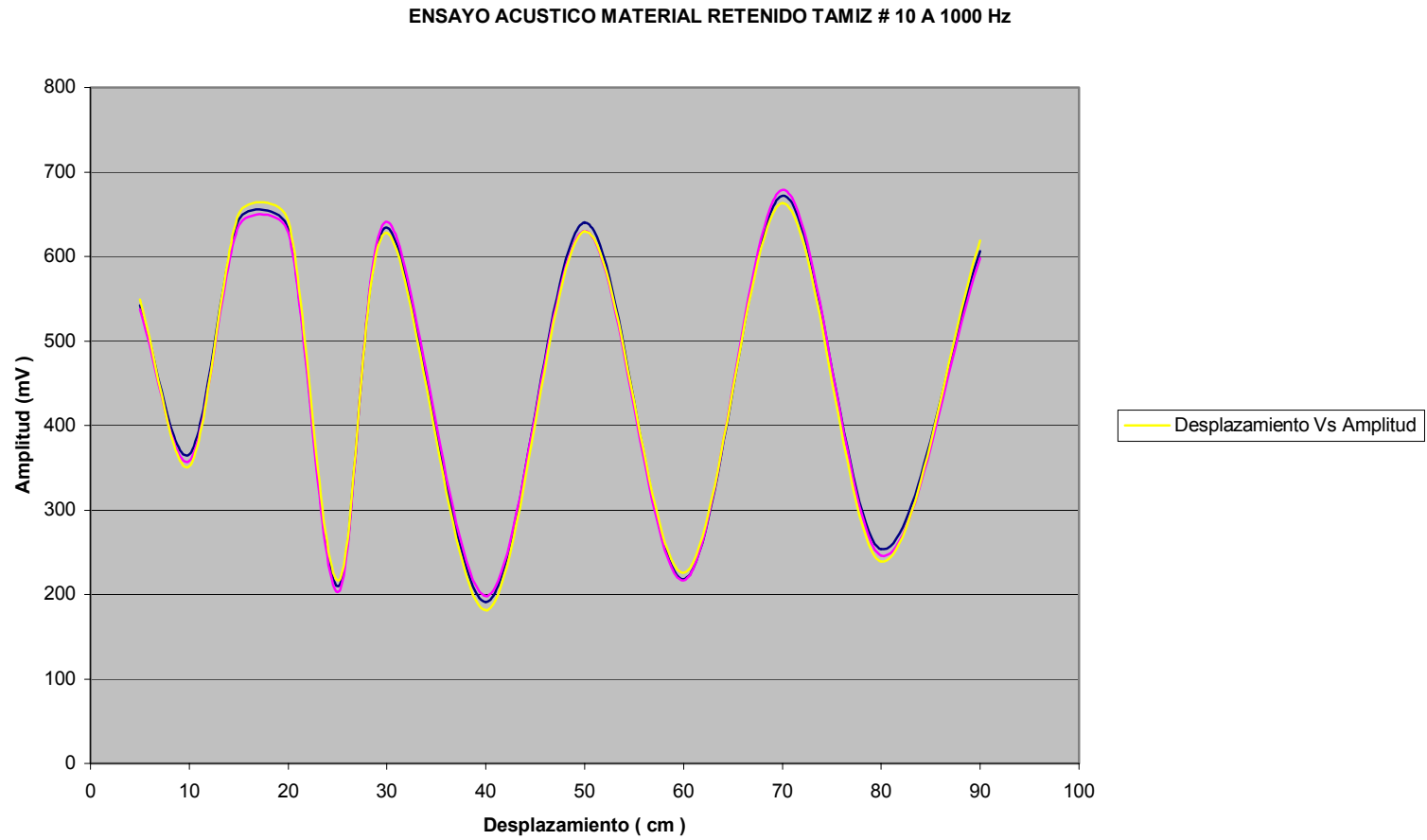
Tabla 32. Resultados pruebas acústicas material retenido en el tamiz # 40 a 2000 Hz

ENSAYO ACUSTICO MATERIAL RETENIDO # 40 A 2000 Hz												
DISTANCIA	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
(cm)												
AMPLITUD	118	100	94	94	106	94	96	116	104	108	112	86
(mV)	110	105	100	98	105	102	101	120	110	106	120	100
	109	110	90	98	100	90	105	110	115	115	105	95

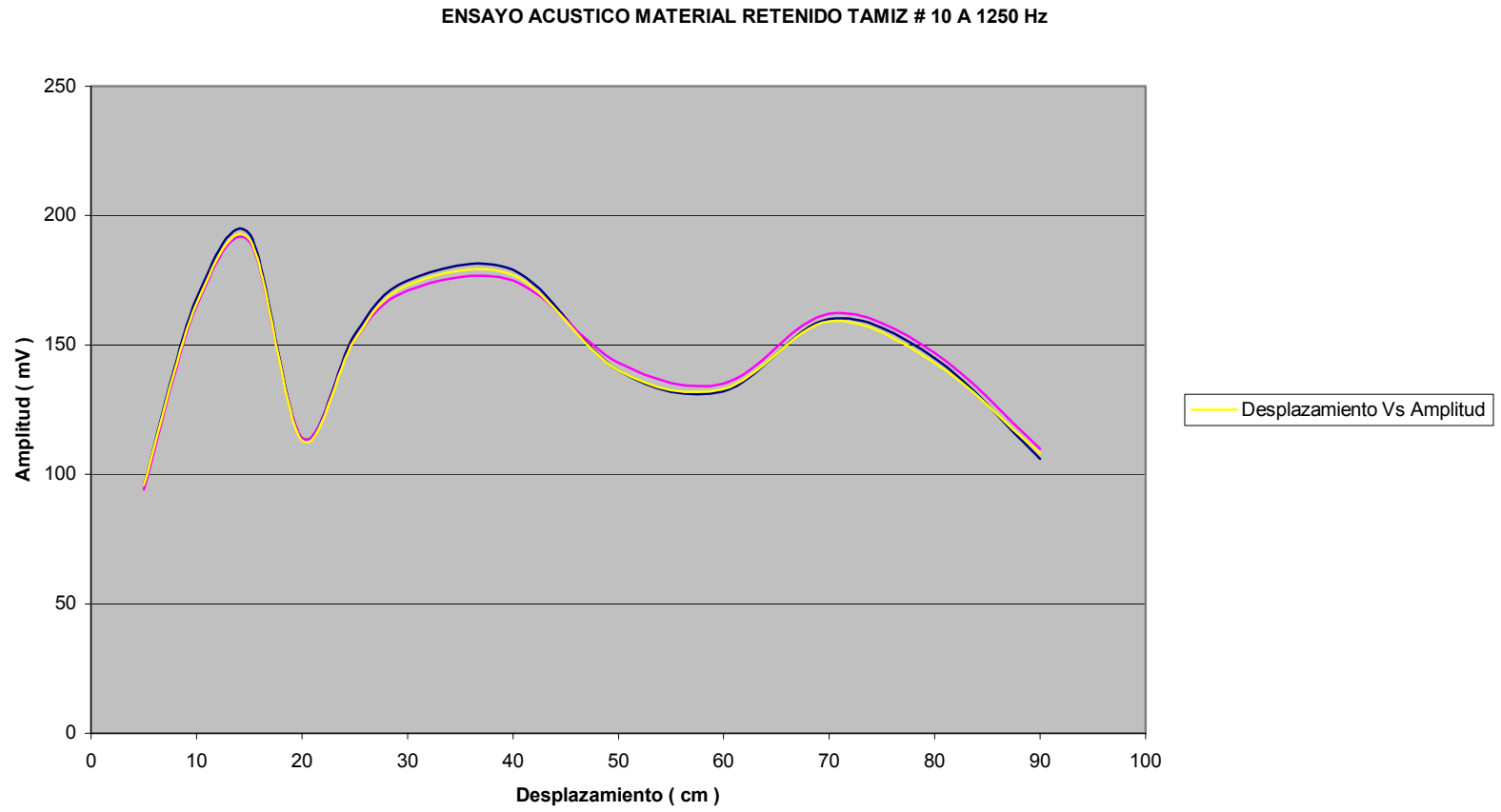
Grafica 13. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 10 a 630 Hz



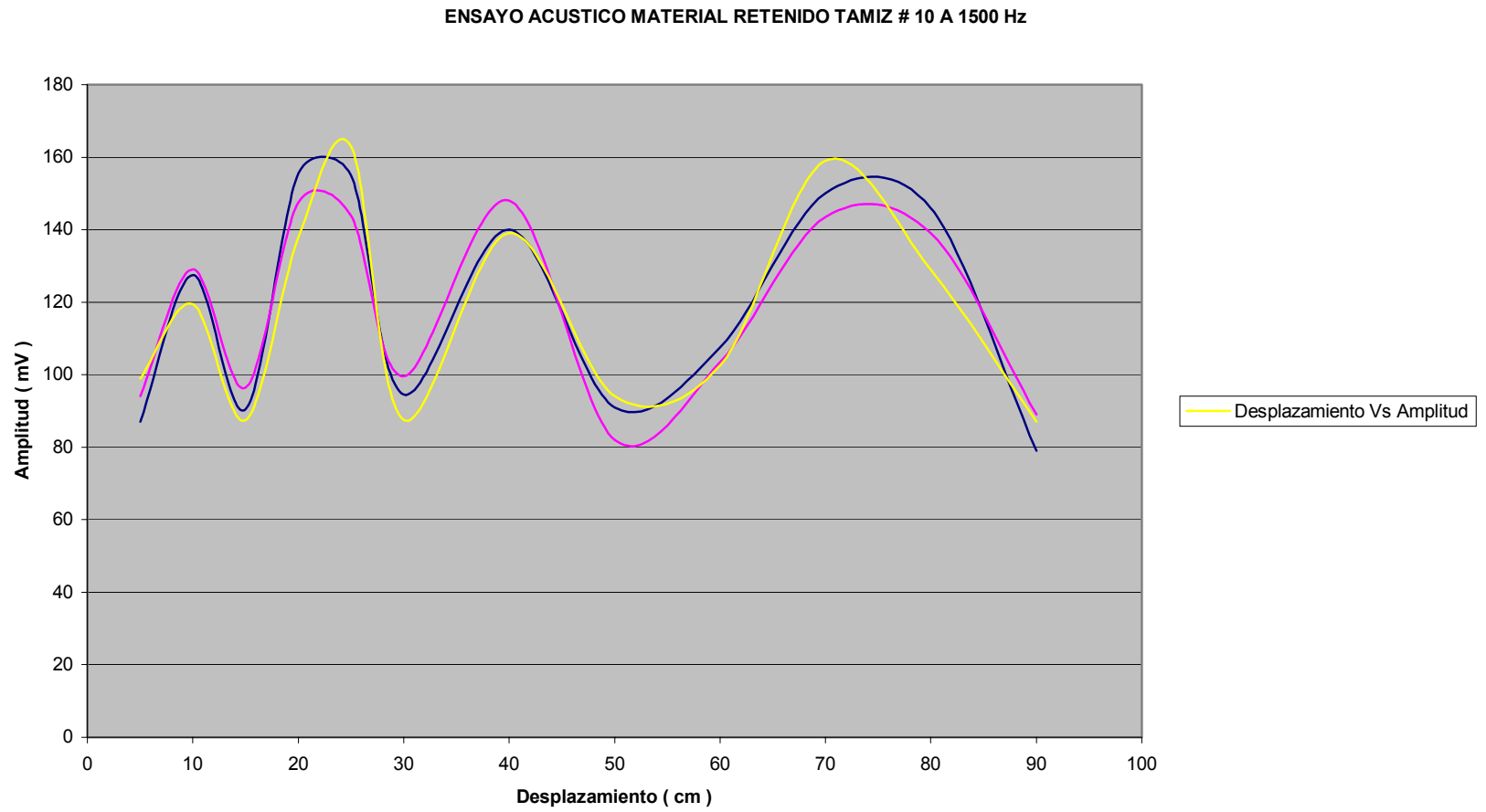
Grafica 14. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 10 a 1000 Hz



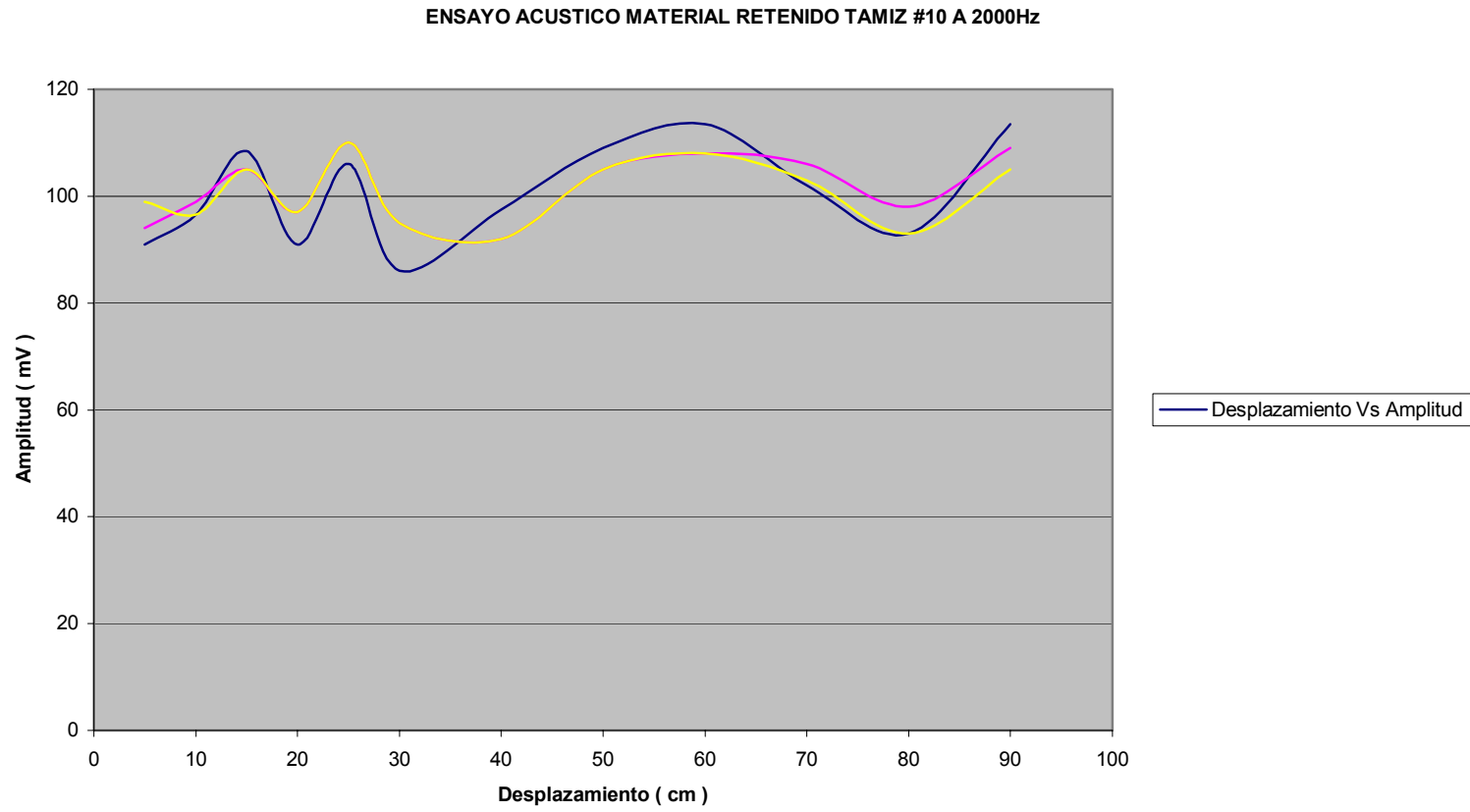
Grafica 15. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 10 a 1250 Hz



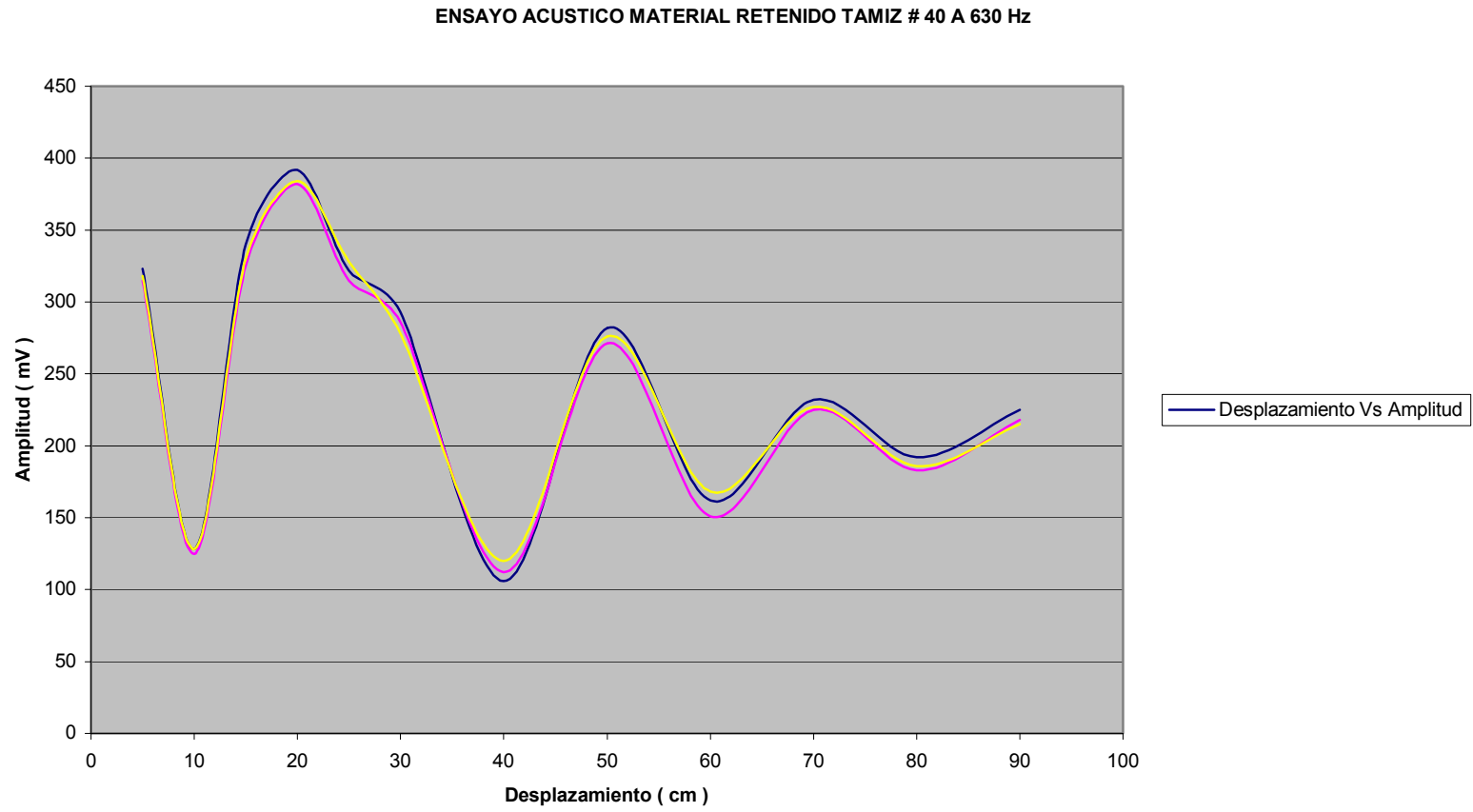
Grafica 16. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 10 a 1500 Hz



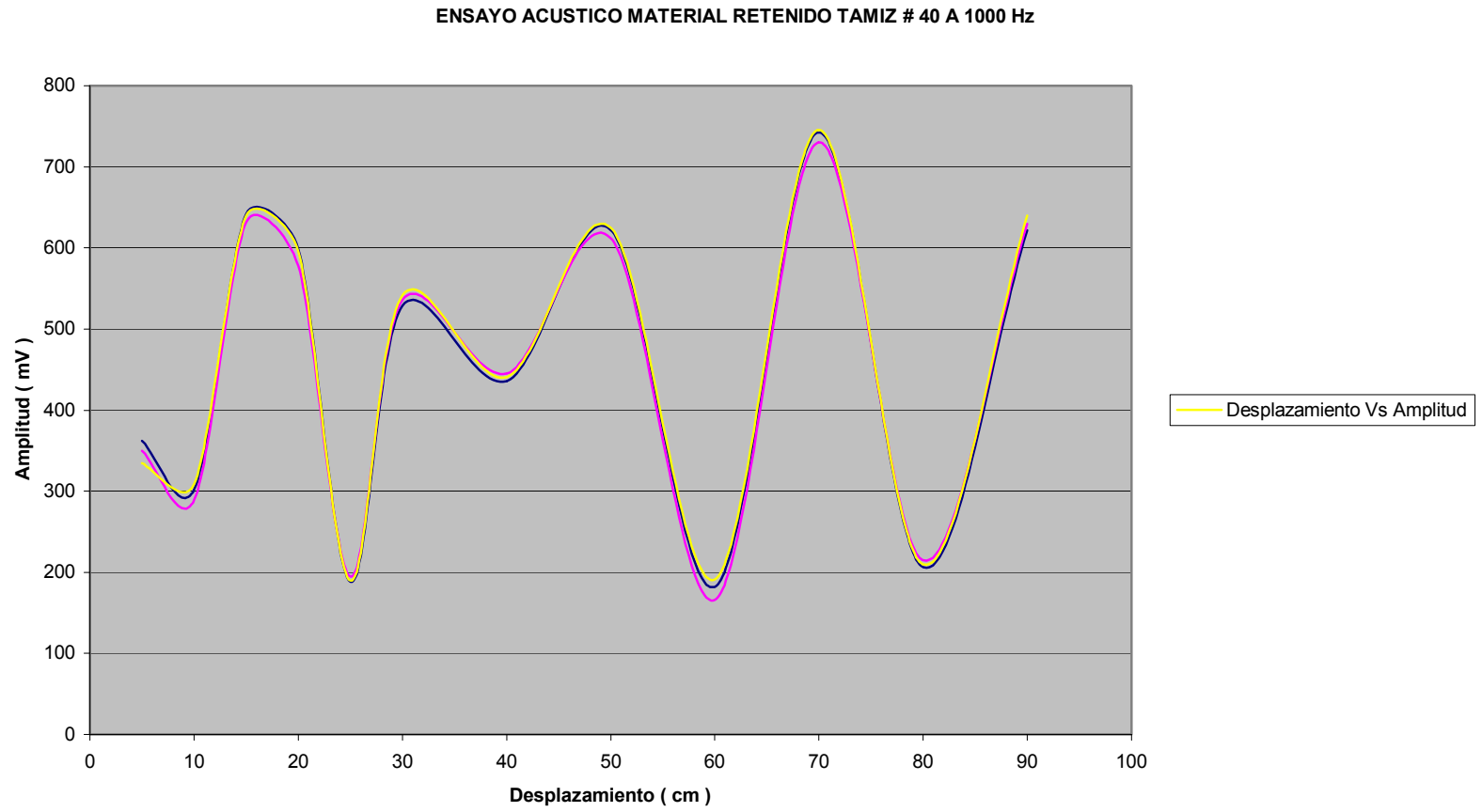
Grafica 17. Ensayo acústico material I retenido en el tamiz # 10 a 2000 Hz



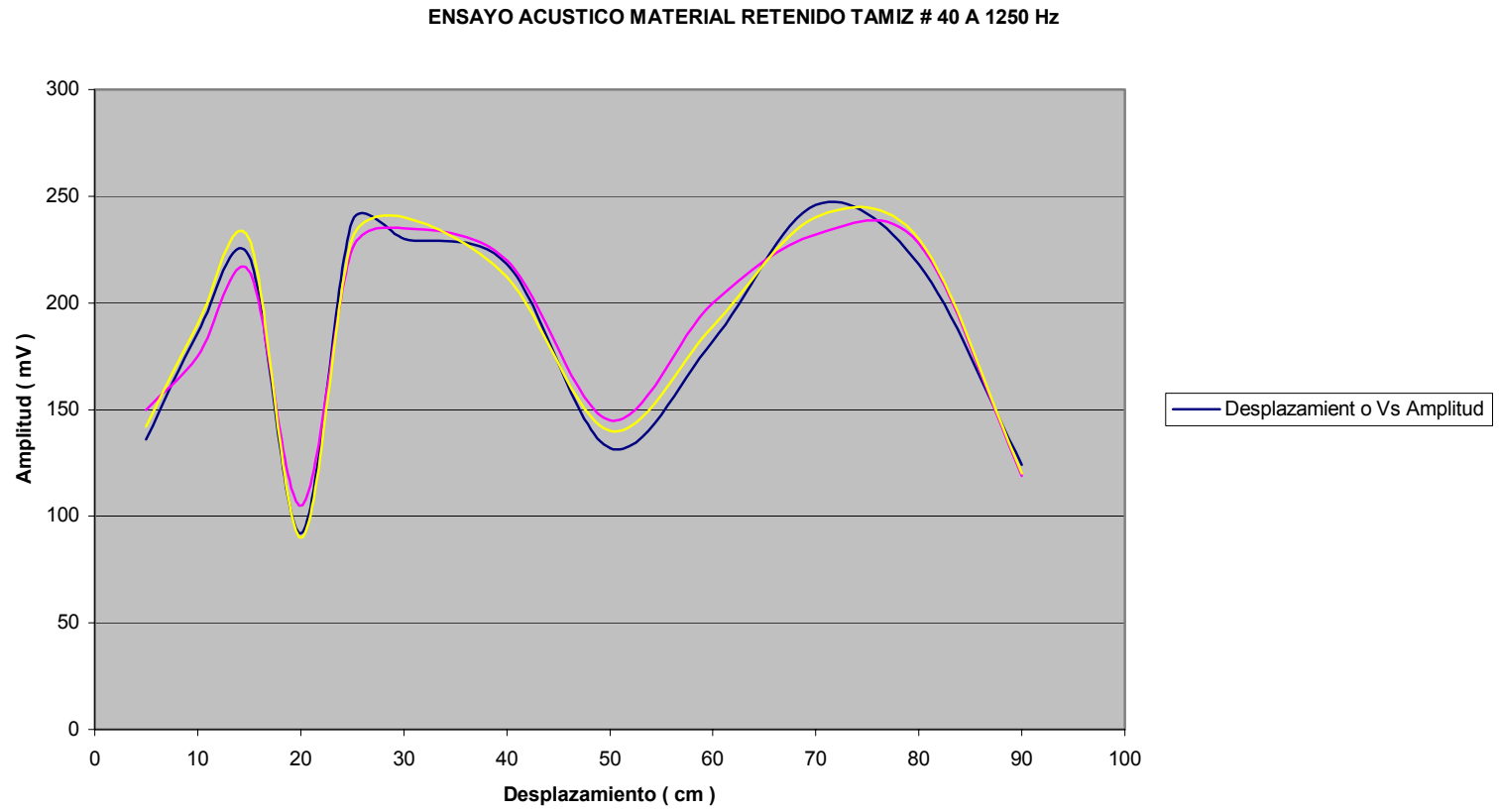
Grafica 18. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 630 Hz



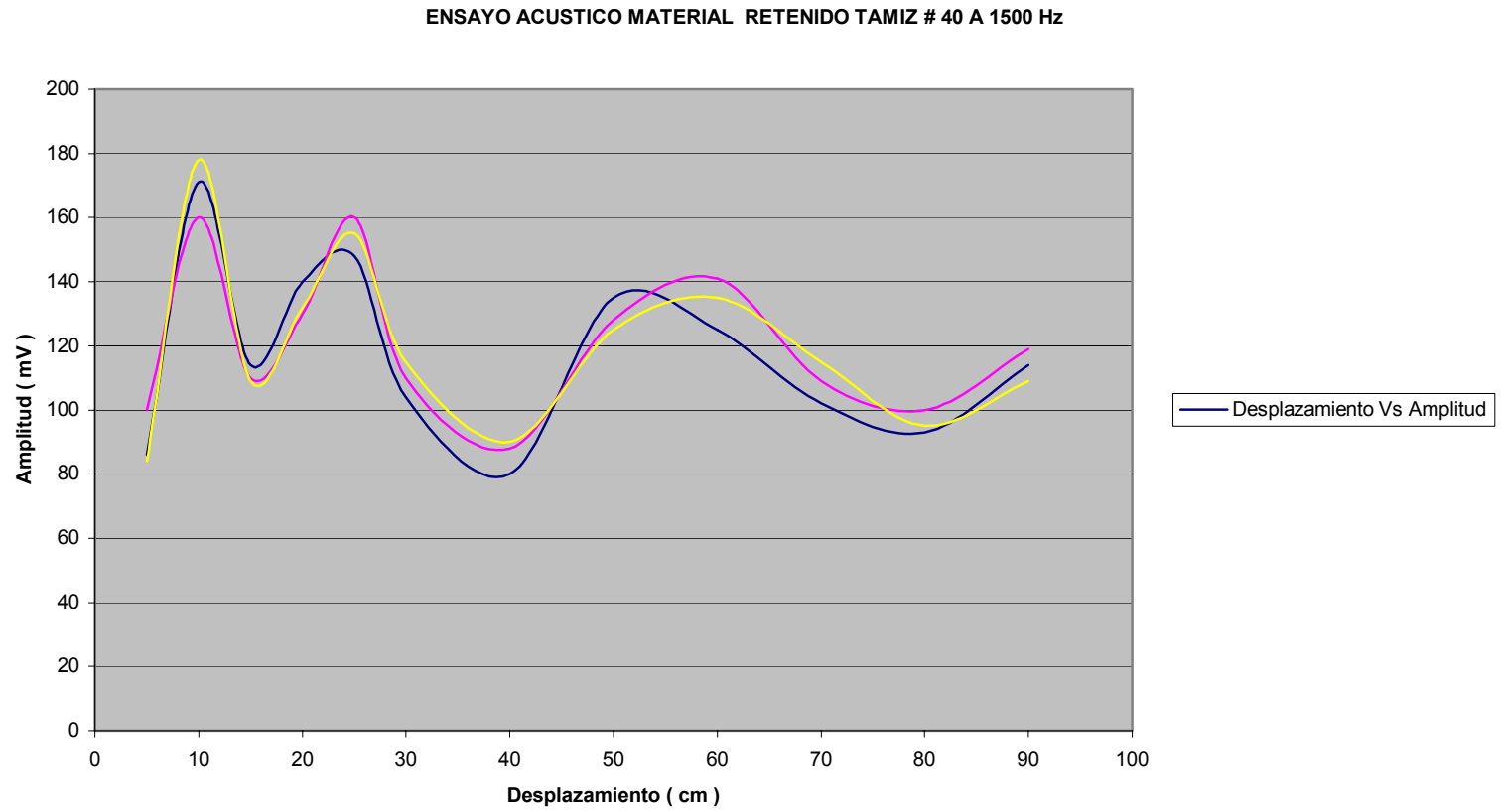
Grafica 19. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 1000 Hz



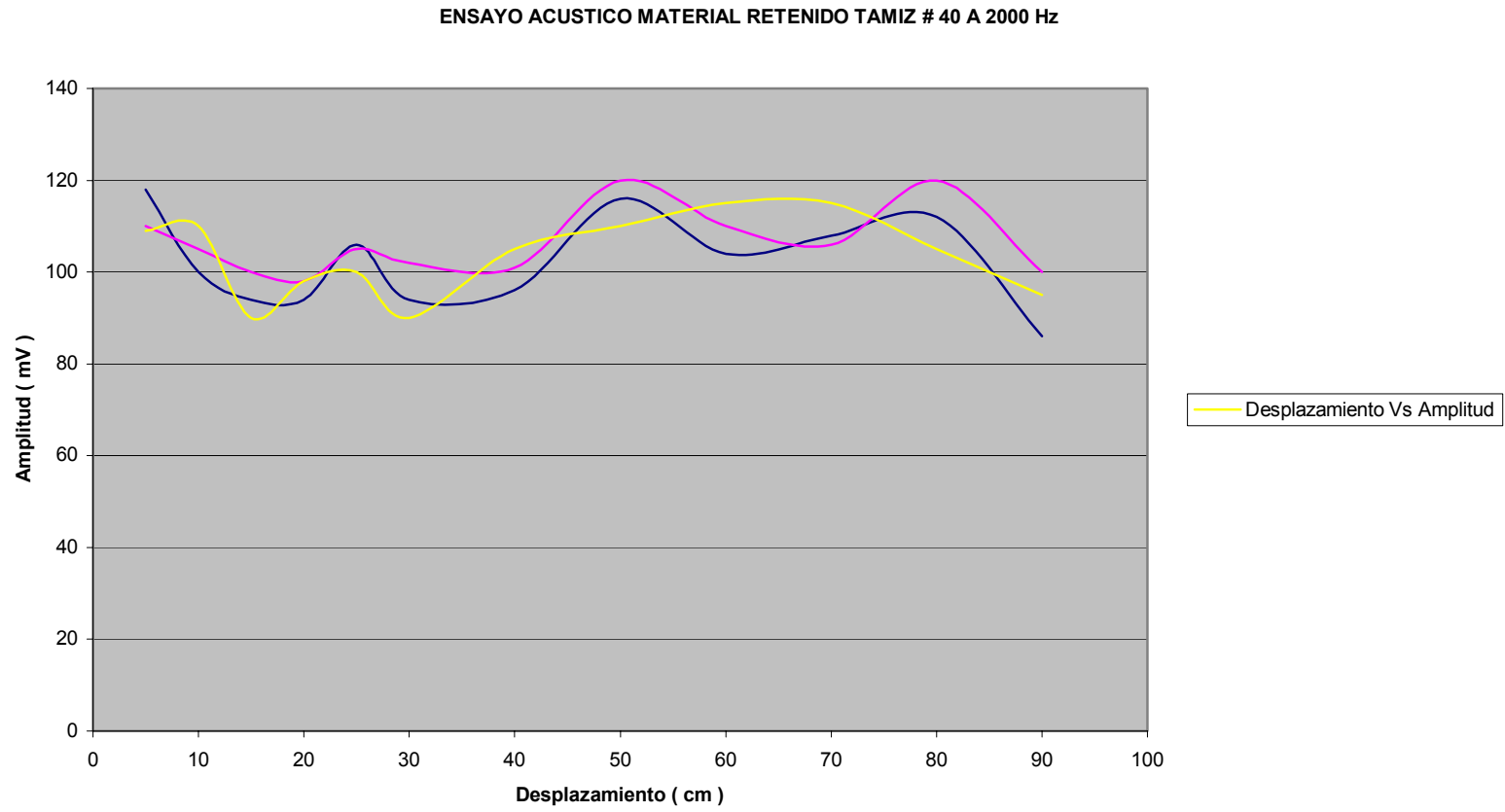
Grafica 20. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 1250 Hz



Grafica 21. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 1500 Hz



Grafica 22. Ensayo acústico material retenido en el tamiz # 40 a 2000 Hz



ANEXO F
Desarrollo pruebas de durabilidad (tablas – graficas)

Tabla 33. Prueba de durabilidad resistencia a la compresión a las 100 horas

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mP)	ESFUERZO (Kg/Cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
200	17	4,53	0,0036
400	30	9,05	0,0064
500	33	11,32	0,0070
600	36	13,58	0,0076
700	42	15,85	0,0089
800	45	18,11	0,0095
900	46	20,37	0,0097
1000	48	22,64	0,0102
1200	53	27,16	0,0112
1300	55	29,43	0,0116
1400	56	31,69	0,0119
1500	60	33,95	0,0127
1600	62	36,22	0,0131
1800	66	40,74	0,0140
2000	70	45,27	0,0148
2200	74	49,80	0,0157
2500	81	56,59	0,0171
2800	86	63,38	0,0182
3000	90	67,91	0,0191
3300	95	74,70	0,0201
3500	99	79,23	0,0210
3800	104	86,02	0,0220
4000	110	90,54	0,0233
4300	116	97,33	0,0246
4500	124	101,86	0,0262
4700	130	106,39	0,0275
4900	134	110,92	0,0284
5000	140	113,18	0,0296
5200	144	117,71	0,0305
5300	150	119,97	0,0318

Tabla 34. Prueba de durabilidad resistencia ala compresión a las 200 horas

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mP)	ESFUERZO (Kg/Cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
200	30	4,53	0,0051
400	40	9,05	0,0068
500	55	11,32	0,0093
600	56	13,58	0,0095
700	75	15,85	0,0127
800	80	18,11	0,0135
900	95	20,37	0,0161
1000	100	22,64	0,0169
1200	110	27,16	0,0186
1300	125	29,43	0,0212
1400	135	31,69	0,0229
1500	140	33,95	0,0237
1600	150	36,22	0,0254
1800	160	40,74	0,0271
2000	180	45,27	0,0305
2200	200	49,80	0,0339
2500	220	56,59	0,0373
2800	245	63,38	0,0415
3000	260	67,91	0,0440
3300	290	74,70	0,0491

Tabla 35. Prueba de durabilidad resistencia a la compresión a las 500 horas

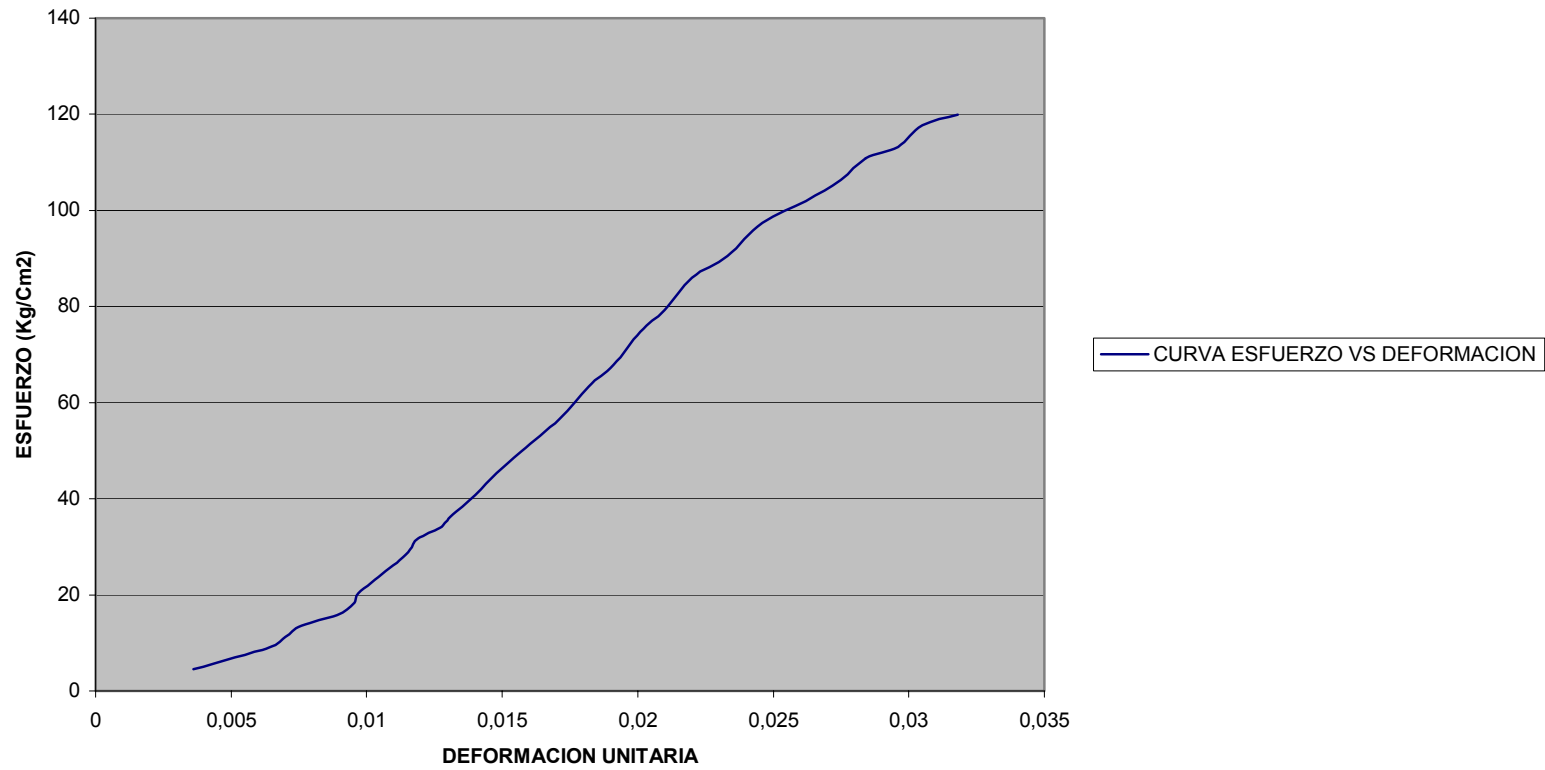
CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mp)	ESFUERZO (Kg/Cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
200	30	4,53	0,0051
400	45	9,05	0,0076
500	50	11,32	0,0085
600	52	13,58	0,0088
700	54	15,85	0,0091
800	60	18,11	0,0102
900	65	20,37	0,0110
1000	80	22,64	0,0135
1200	95	27,16	0,0161
1300	110	29,43	0,0186
1400	115	31,69	0,0195
1500	120	33,95	0,0203
1600	135	36,22	0,0229
1800	170	40,74	0,0288
2000	190	45,27	0,0322
2200	200	49,80	0,0339
2500	220	56,59	0,0373
2800	240	63,38	0,0406
3000	260	67,91	0,0440
3300	270	74,70	0,0457
3500	280	79,23	0,0474

Tabla 36. Prueba de durabilidad resistencia a compresión a las 1000 horas

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mp)	ESFUERZO (Kg/Cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
200	30	4,53	0,0051
400	40	9,05	0,0068
500	45	11,32	0,0076
600	52	13,58	0,0088
700	55	15,85	0,0093
800	60	18,11	0,0102
900	65	20,37	0,0110
1000	70	22,64	0,0119
1200	80	27,16	0,0135
1400	90	31,69	0,0152
1500	110	33,95	0,0186
1600	120	36,22	0,0203
1700	130	38,48	0,0220
1800	150	40,74	0,0254
2000	170	45,27	0,0288
2200	195	49,80	0,0330
2500	215	56,59	0,0364
2800	230	63,38	0,0389
3000	250	67,91	0,0423
3300	270	74,70	0,0457
3500	280	79,23	0,0474
3800	300	86,02	0,0508

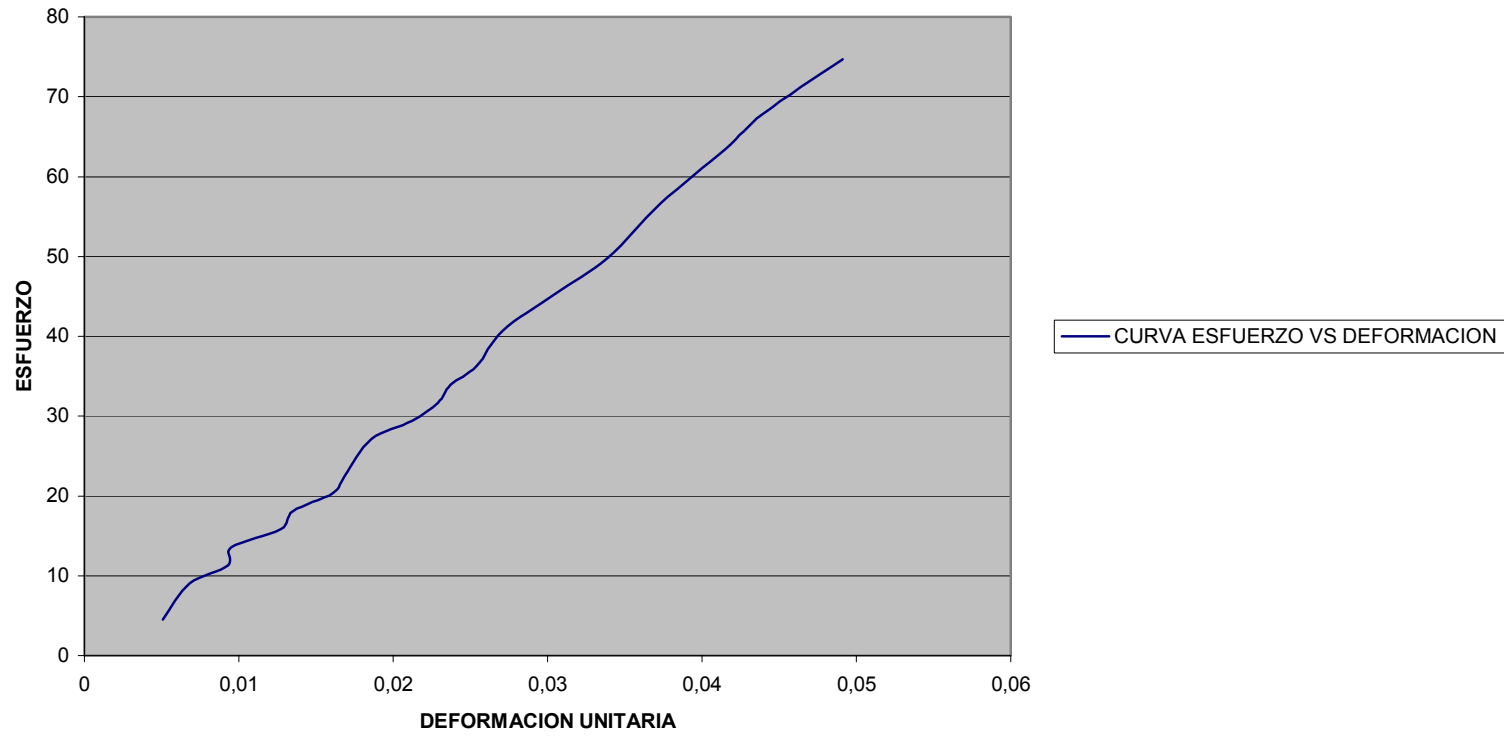
Grafica 23. Prueba de durabilidad a las 100 horas ensayo de resistencia a la compresión

PRUEBA DE DURABILIDAD A LAS 100 HORAS ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION



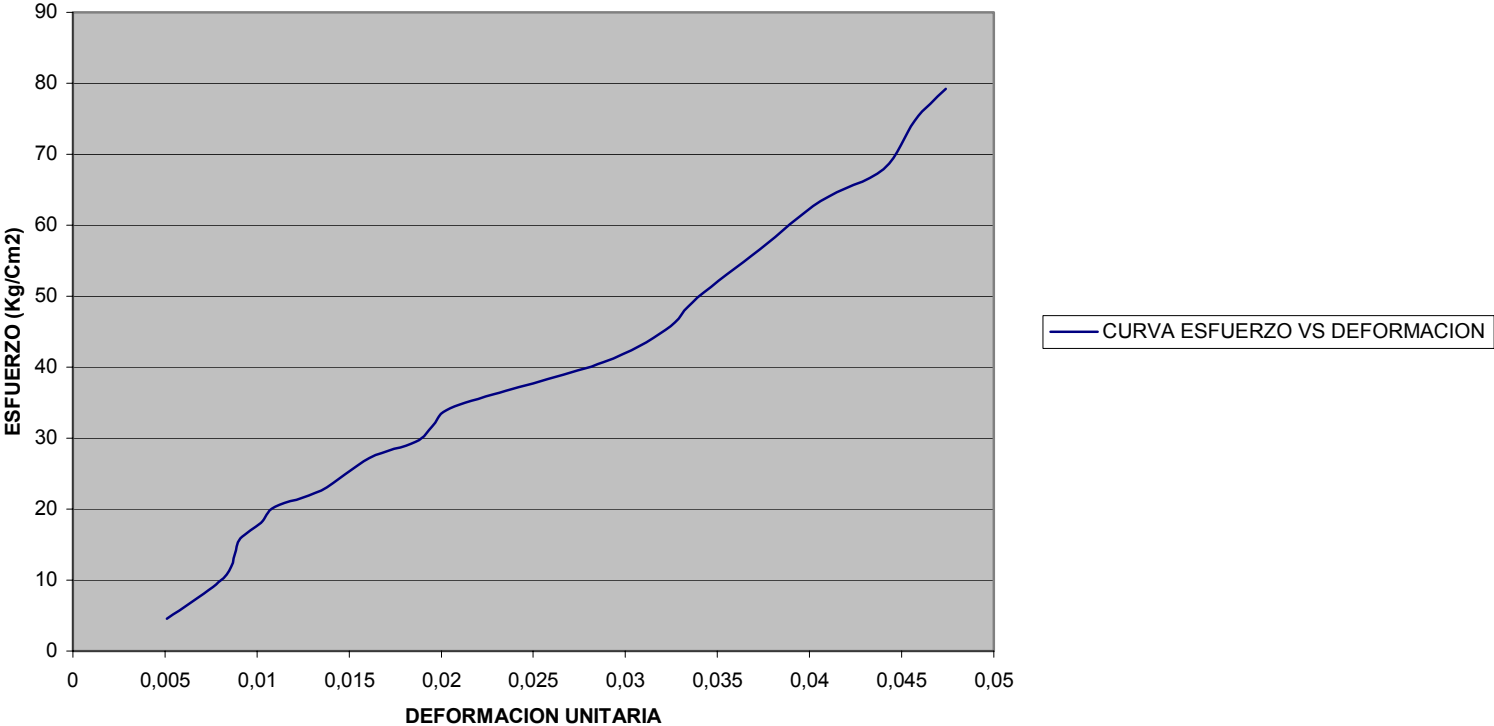
Grafica 24. Prueba de durabilidad a las 200 horas ensayo de resistencia a la compresión

PRUEBA DE DURABILIDAD A LAS 200 HORAS ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION



Grafica 25. Prueba de durabilidad a las 500 horas ensayo de resistencia a la compresión

PRUEBA DE DURABILIDAD A LAS 500 HORAS ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION



Grafica 26. Prueba de durabilidad a las 1000 horas ensayo de resistencia a la compresión

