



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Zacatepec
División de Estudios de Posgrado e Investigación

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

**“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES
COMPUESTOS A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ/RESINA
FENÓLICA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Presenta:

Ing. Irving Giovanni Diaz Iturbe

Director:

Dr. Alberto Álvarez Castillo

Co-director:

Dr. Edgar García Hernández

ZACATEPEC, MORELOS

NOVIEMBRE 2019



Instituto Tecnológico de Zacatepec
División de Estudios de Posgrado e Investigación

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Zacatepec, Morelos, **13/Noviembre/2019**

No. de Oficio DEPI/009/2019.

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DEL TRABAJO.

**IRVING GIOVANNI DÍAZ ITURBE
ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA.
PRESENTE.**

De acuerdo al fallo emitido por la Comisión Revisora del Trabajo de TESIS DE MAESTRÍA, que presenta para su revisión con el tema: "OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ/RESINA FENÓLICA" integrada por: ALBERTO ÁLVAREZ CASTILLO (Presidente), EDGAR GARCÍA HERNÁNDEZ (Secretario), CINTHYA DINORAH ARRIETA GONZÁLEZ (Vocal), HOMERO ALONSO JIMÉNEZ (Suplente), y considerando que satisface los requisitos estipulados en el Reglamento de Titulación del TecNM, comunico a Usted que ha sido autorizada la IMPRESIÓN DEL TRABAJO.

Sin otro particular que tratar por el momento, me despido respetuosamente.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica

**ARELI MARLEN SALGADO DELGADO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

MJGB/harumi*



Zacatepec Morelos a 14 de Noviembre del 2019

ASUNTO: CESIÓN DE DERECHOS A TECN

Yo, al que al calce firma, Irving Giovanni Díaz Iturbe, estudiante del programa Maestría en Ciencias de la Ingeniería en el IT de Zacatepec con número de control 617091431. Cedo al TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/Instituto Tecnológico de Zacatepec todos los derechos de la productividad que se obtenga (libros, patentes, artículos científicos, reportes en memorias o divulgación y todo aquello que derive de derechos de autor) de mi TESIS de maestría que lleva como título “Obtención de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica” en su forma de texto, imágenes, gráficos, datos y tablas contenidos en ella. Lo anterior dando cumplimiento al artículo 2.15.5 de posgrado para titulación vigente.

ATENTAMENTE



Irving Giovanni Díaz Iturbe

Quiero agradecer sinceramente al Instituto Tecnológico de Zacatepec por la oportunidad que me brindó para realizar mis estudios de Maestría, a sus docentes de posgrado, Dr. Edgar García Hernández, Dra. Zully Vargas Galarza, Dra. Wendy Netzy Hernández, Dra. Cinthya Dinorah Arrieta González, Dr. Francisco Javier Hernández Campos, M.C. Manuel Jesús Granados Baeza, Dr. Alfredo Olarte Paredes, Dr. Rene Salgado Delgado, M.I. Homero Alonso Jiménez que me prepararon y asesoraron durante el curso. Me permito agradecer especialmente al Dr. Alberto Álvarez Castillo por brindarme la confianza de desarrollar el trabajo de tesis bajo su tutela, por su apoyo y muy valiosa asesoría.

Agradezco también al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada (**CVU: 859709**), la cual fue un valioso soporte económico para titularme en la presente maestría.

Dedicatoria

A Dios

A mi familia

Mi padre Ángel Guadalupe Díaz Muñoz, a mi madre Perla Luz Iturbe Castro y mi hermana Montserrat Guadalupe Díaz Iturbe, que siempre han creído en mí, y por ellos soy la persona que soy, y por ellos estoy donde estoy, los amo.

A mis amigos

Que siempre han estado para mí en cualquier momento, estén donde estén, siempre están para mí.

A mis profesores

Que he tenido a lo largo de mi vida y han ayudado a crecer en mi vida, me han formado de alguna manera en mi perfil académico, pero aún más importante han tocado mi corazón y mente, y me han hecho crecer como persona.

ÍNDICE

	Pág.
ABREVIATURAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	XXI
RESUMEN	XXII
ABSTRACT	XXIII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción a la temática del proyecto	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación	4
1.4 Hipótesis	6
1.5 Objetivo general	7
1.6 Objetivos específicos	7
1.7 Metas	7
CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL	8
2.1 Estado del Arte	9
2.2 Marco Teórico	14
2.2.1 Polímeros	14
2.2.1.1 Clasificación según su origen	14
2.2.1.2 Clasificación según su respuesta termodinámica	15
2.2.2 Material compuesto	16
2.2.2.1 Componentes de los materiales compuestos	16
2.2.3 Resinas fenólicas (fenol-formaldehído)	17
2.2.3.1 Resina fenol-formaldehído (tipo novolac)	19
2.2.3.2 Resina fenol-formaldehído (tipo resol)	19
2.2.4 Fibras naturales	20
2.2.4.1 Cascarilla de arroz	21
2.2.5 Agente compatibilizante	21

2.2.5.1 Poli (acetato de vinilo)	22
2.2.5.2 Poli (alcohol vinílico)	22
2.2.6 Propiedades mecánicas	23
2.2.6.1 Resistencia a la tracción	24
2.2.6.2 Flexión	25
2.2.7 Técnicas de caracterización de materiales	26
2.2.7.1 Electroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	26
2.2.7.2 Microscopía óptica	27
2.2.7.3 Microscopía electrónica de barrido (SEM)	27
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	28
3.1 Descripción de equipos y materiales	29
3.1.1. Materiales	29
3.1.1.1. Cascarilla de arroz	29
3.1.1.2 Resina fenólica	29
3.1.1.3 Agente compatibilizante	30
3.1.2 Equipos	32
3.2 Metodología experimental	32
3.2.1 Lavado y tratamiento de la cascarilla de arroz	32
3.2.2 Caracterización de la cascarilla de arroz tratada	33
3.2.2.1 Absorción de humedad	33
3.2.2.2 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier	33
3.2.2.3 Microscopía óptica	34
3.2.3 Obtención de los materiales compuestos	34
3.2.4 Caracterización de los materiales compuestos	36
3.2.4.1 Densidad aparente	36
3.2.4.2 Caracterización mecánica	36
3.2.4.3 Absorción de agua e hinchamiento en agua de los materiales compuestos	37
3.2.4.4 Velocidad de quemado de los materiales compuestos	38
3.2.5.5 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier	39
3.2.5.6 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) de los materiales compuestos	39

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1 Caracterización de la cascarilla de arroz pre tratada	41
4.1.1 Absorción de humedad	42
4.1.2 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier	45
4.1.3 Microscopía óptica	50
4.2 Caracterización resina fenólica	51
4.3 Obtención de los materiales compuestos	53
4.4 Caracterización de los materiales compuestos	54
4.4.1 Densidad aparente	54
4.4.2 Caracterización mecánica	66
4.4.2.1 Flexión	66
4.4.2.2 Tensión	78
4.4.3 Absorción de agua e hinchamiento en agua de los materiales compuestos	90
4.4.4 Velocidad de quemado	113
4.4.5 FTIR de los materiales compuestos	114
4.4.6 Análisis de los SEM de los materiales compuestos	117
4.5 Comparación de resultados	122
4.6 Análisis estadístico	124
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
5.1 Conclusiones y recomendaciones	133
ANEXOS	135
REFERENCIAS	170

I. ABREVIATURAS

cm ²	Centímetro cuadrado
w	Watt
MPa	Mega pascal
FTIR	Espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (por sus siglas en inglés)
SEM	Microscopía electrónica de barrido (por sus siglas en inglés)
cm ³	Centímetro cúbico
g	Gramo
°C	Grados Celsius
ANOVA	Análisis de varianza
ml	Mililitros
min	Minutos
kg	Kilogramo
Ef	Esfuerzo de flexión
RH	Rice husk
kg	Kilogramo
PF	Fenol-formaldehído

II. LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1	Espectro Infrarrojo de la cascarilla de arroz 11
Figura 2.2	Microscopía electrónica de barrido de la cascarilla de arroz 12
Figura 2.3	Aspecto de la resina fenólica 18
Figura 2.4	Reacción general de metilolación, entre fenol y formaldehído 19
Figura 2.5	Estructura química de la resina fenol-formaldehído 1:2 20
Figura 2.6	Estructura química del polivinil acetato 22
Figura 2.7	Estructura química del polivinil alcohol 23
Figura 2.8	Representación de un material sometido a tensión, las flechas indican fuerza aplicada en sentidos opuestos 24
Figura 2.9	Representación gráfica de un material sometido a flexión 25
Figura 2.10	Categorías básicas de vibraciones moleculares 26
Figura 3.1	Cubeta de 20kg resina FR 2786 30
Figura 3.2	Sellador comercial 5X1 Comex 31
Figura 3.3	Pegamento artesanall UNIRAPID COMEX 31
Figura 3.4	Diagrama diseño experimental 36
Figura 3.5	Prueba de velocidad de quemado 38
Figura 4.1	Medidas de cascarilla de arroz 41
Figura 4.2	Cascarilla de arroz lavada 42
Figura 4.3	Pretratamiento de la cascarilla de arroz 42
Figura 4.4	Cascarilla de arroz con tratamiento con agente compatibilizante en horno a 80°C 43
Figura 4.5	Gráfico porcentaje de absorción de humedad de la cascarilla de arroz 44
Figura 4.6	Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVA: a) Agente compatibilizante (PVA), b) PVA a diferentes concentraciones en la superficie interna y c) PVA a diferentes concentraciones en la superficie externa 46
Figura 4.7	Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVAc: a) Agente compatibilizante (PVAc), b) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie interna y c) 48

Figura 4.8	PVAc a diferentes concentraciones en la superficie externa Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVAc a 3.5% comparado con 0%, 2.5%, 5%: a) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie interna y b) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie externa de la cascarilla de arroz	49
Figura 4.9	Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVAc a 4%; a) PVAc en la superficie interna y b) PVAc en la superficie externa de la cascarilla de arroz	50
Figura 4.10	a) Fotografía con microscopio óptico de la cascarilla de arroz sin tratamiento (40x), b) Fotografía con microscopio óptico de la cascarilla de arroz tratada a 2.5 % con PVAc, c) Fotografía con microscopio óptico de la cascarilla de arroz tratada a 4 % con PVAc (40x), d) Fotografía con microscopio óptico de la cascarilla de arroz tratada al 5 % con PVAc (40x)	51
Figura 4.11	Espectro FTIR resina FR 2786 líquida	52
Figura 4.12	Espectro FTIR resina FR 2786 curada.	53
Figura 4.13	Material compuesto elaborado a partir de cascarilla/resina fenólica	54
Figura 4.14	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 6.5 Bar y 25% de resina fenólica	56
Figura 4.15	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 10 Bar y 25% de resina fenólica	56
Figura 4.16	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 12 Bar y 25% de resina fenólica	57
Figura 4.17	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica	57
Figura 4.18	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 10 Bar y 30% de resina fenólica	58
Figura 4.19	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 12 Bar y 30% de resina fenólica	58

Figura 4.20	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica	59
Figura 4.21	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 10 Bar y 35% de resina fenólica	59
Figura 4.22	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 12 Bar y 35% de resina fenólica	60
Figura 4.23	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 6.5 Bar y 40% de resina fenólica	60
Figura 4.24	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 10 Bar y 40% de resina fenólica	61
Figura 4.25	Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 12 Bar y 40% de resina fenólica	61
Figura 4.26	Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante	62
Figura 4.27	Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.	62
Figura 4.28	Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante.	63
Figura 4.29	Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante	63
Figura 4.30	Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 130°C y 0% en la concentración del agente	64

	acoplante	
Figura 4.31	Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 130°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante	64
Figura 4.32	Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante	65
Figura 4.33	Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante	65
Figura 4.34	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 6.5 Bar y 25% de resina fenólica	68
Figura 4.35	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 10 Bar y 25% de resina fenólica	68
Figura 4.36	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 12 Bar y 25% de resina fenólica	69
Figura 4.37	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica	69
Figura 4.38	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 10 Bar y 30% de resina fenólica	70
Figura 4.39	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 12 Bar y 30% de resina fenólica	70
Figura 4.40	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica	71

Figura 4.41	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 10 Bar y 35% de resina fenólica	71
Figura 4.42	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 12 Bar y 35% de resina fenólica	72
Figura 4.43	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 12 Bar y 35% de resina fenólica	72
Figura 4.44	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 10 Bar y 40% de resina fenólica	73
Figura 4.45	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 12 Bar y 40% de resina fenólica	73
Figura 4.46	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante	74
Figura 4.47	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante	74
Figura 4.48	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante	75
Figura 4.49	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante	75
Figura 4.50	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante	76

Figura 4.51	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante	76
Figura 4.52	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante	77
Figura 4.53	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante	77
Figura 4.54	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 6.5 Bar y 25% de resina fenólica	80
Figura 4.55	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 10 Bar y 25% de resina fenólica	80
Figura 4.56	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 12 Bar y 25% de resina fenólica	81
Figura 4.57	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica	81
Figura 4.58	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 10 Bar y 30% de resina fenólica.	82
Figura 4.59	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 12 Bar y 30% de resina fenólica.	82
Figura 4.60	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica	83
Figura 4.61	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material	83

	compuesto, a 10 Bar y 35% de resina fenólica.	
Figura 4.62	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 12 Bar y 35% de resina fenólica.	84
Figura 4.63	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 6.5 Bar y 40% de resina fenólica	84
Figura 4.64	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 10 Bar y 40% de resina fenólica	85
Figura 4.65	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 12 Bar y 40% de resina fenólica	85
Figura 4.66	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante	86
Figura 4.67	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante	86
Figura 4.68	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante	87
Figura 4.69	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante	87
Figura 4.70	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante	88
Figura 4.71	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del	88

	material compuesto, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante	
Figura 4.72	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante	89
Figura 4.73	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante	89
Figura 4.74	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 25% de resina fenólica	92
Figura 4.75	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 25% de resina fenólica	92
Figura 4.76	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 25% de resina fenólica	93
Figura 4.77	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica	93
Figura 4.78	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 30% de resina fenólica	94
Figura 4.79	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 30% de resina fenólica	94
Figura 4.80	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica	95
Figura 4.81	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 35% de resina fenólica.	95

Figura 4.82	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 35% de resina fenólica	96
Figura 4.83	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 40% de resina fenólica	96
Figura 4.84	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 40% de resina fenólica	97
Figura 4.85	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 40% de resina fenólica	97
Figura 4.86	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante	98
Figura 4.87	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante	98
Figura 4.88	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante	99
Figura 4.89	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante	99
Figura 4.90	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante	100
Figura 4.91	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 2.5% en la	100

	concentración del agente acoplante	
Figura 4.92	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante	101
Figura 4.93	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante	101
Figura 4.94	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 10% de resina fenólica	103
Figura 4.95	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 25% de resina fenólica	103
Figura 4.96	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 25% de resina fenólica	104
Figura 4.97	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica	104
Figura 4.98	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 30% de resina fenólica	105
Figura 4.99	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 30% de resina fenólica	105
Figura 4.100	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica	106
Figura 4.101	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 35% de resina fenólica	106
Figura 4.102	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto	107

	en 24 horas, a 12 Bar y 35% de resina fenólica	
Figura 4.103	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 40% de resina fenólica	107
Figura 4.104	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 40% de resina fenólica	108
Figura 4.105	Gráfico efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 40% de resina fenólica	108
Figura 4.106	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante	109
Figura 4.107	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante	109
Figura 4.108	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante	110
Figura 4.109	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante	110
Figura 4.110	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante	111
Figura 4.111	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante	111
Figura 4.112	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y	112

la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante

Figura 4.113	Gráfico efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante	112
Figura 4.114	Prueba velocidad de quemado	113
Figura 4.115	Probeta con referencia de marca 25mm	113
Figura 4.116	Espectro en absorbancia FTIR de 4 diferentes formulaciones de materiales compuestos (27, 30, 45, 48)	116
Figura 4.117	Espectro FTIR de 4 diferentes formulaciones de materiales compuestos (78, 87, 93, 98)	117
Figura 4.118	Micrografías SEM de la formulación 27 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material	118
Figura 4.119	Micrografías SEM de la formulación 30 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material	118
Figura 4.120	Micrografías SEM de la formulación 45 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material	119
Figura 4.121	Micrografías SEM de la formulación 48 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material	119
Figura 4.122	Micrografías SEM de la formulación 78 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material.	120
Figura 4.123	Micrografías SEM de la formulación 87 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material	120
Figura 4.124	Micrografías SEM de la formulación 93 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material	121
Figura 4.125	Micrografías SEM de la formulación 96 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material	121

III. LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 Producción anual de arroz en México	5
Tabla 1.2 Producción anual de arroz en Morelos	5
Tabla 3.1 Diseño experimental	34
Tabla 4.1 Promedio medidas de la cascarilla de arroz	41
Tabla 4.2 Porcentaje de absorción de humedad de la cascarilla de arroz	44
Tabla 4.3 Diseño experimental	53
Tabla 4.4 Resultados de la de densidad aparente para los materiales compuestos caracterizados (gr/cm ³)	55
Tabla 4.5 Resultados de flexión para los materiales compuestos caracterizados (MPA)	67
Tabla 4.6 Resultados de tensión para los materiales compuestos caracterizados (MPA)	79
Tabla 4.7 Resultados de absorción en agua para los materiales compuestos caracterizados.	91
Tabla 4.8 Resultados de hinchamiento en agua para los materiales compuestos caracterizados.	102
Tabla 4.9 Compuestos 27, 30, 45, 48, 78, 87, 93, 96.	115
Tabla 4.10 Comparación de resultados	123
Tabla 4.11 Tabla ANOVA para el análisis de densidad	124
Tabla 4.12 Tabla ANOVA para el análisis de respuesta de esfuerzo a la flexión	126
Tabla 4.13 Tabla ANOVA para el análisis de respuesta de esfuerzo a la tensión	127
Tabla 4.14 Tabla ANOVA para el análisis de respuesta de absorción de agua en 24 horas	129
Tabla 4.15 Tabla ANOVA para el análisis de respuesta de hinchamiento en agua a 24 horas	130

IV. RESUMEN

El presente proyecto consistió en la generación de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica y su correspondiente caracterización mecánica. El propósito del trabajo tuvo como finalidad concluir que estos materiales compuestos cumplan técnicamente desde el punto de vista mecánico en su aplicación para la sustitución del aserrín de madera tradicional en tableros para la industria maderera.

Una vez obtenidos los materiales compuestos, se determinó la densidad aparente, fueron ensayadas a tensión en una máquina universal siguiendo el procedimiento de ensayo descrito en la norma ASTM D 638-02a (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics) y en modo flexión en tres puntos siguiendo el procedimiento de ensayo descrito en la norma ASTM (D 790-92 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials). Posteriormente, se evaluaron las propiedades de absorción de agua e hinchamiento de los materiales compuestos y velocidad de quemado, siguiendo la norma ASTM D1037 (Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position).

V. ABSTRACT

The present project consisted of the generation of composite materials from rice husk / phenolic resin and its corresponding mechanical characterization. The purpose of the work was to conclude that these composite materials meet technically from a mechanical point of view in their application for the replacement of traditional wood sawdust in boards for the timber industry.

Once the composite materials were obtained, the bulk density was determined, they were tested under tension in a universal machine following the test procedure described in ASTM D 638-02a (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics) and in flexural mode in three points following the test procedure described in ASTM (D 790-92 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials). Subsequently, the water absorption and swelling properties of composite materials and burn rate were evaluated, following the ASTM D1037 standard (Standard Test Method for Rate of Burning and / or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position).

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción a la temática del proyecto

La cascarilla de arroz (RH, por sus siglas en inglés, rice husk) es un residuo agroindustrial proveniente del cultivo de arroz, que tiene el inconveniente la disposición final de la cascarilla de arroz, ya que representa aproximadamente el 25% del peso de la semilla de arroz, (Osarenmwinda & Nwachukwu, 2007). En 2015 la producción anual de arroz en México fue de 123,013 toneladas que equivale a 31,753.25 toneladas de cascarilla de arroz (SAGARPA, 2015), es por esto que en los últimos años es creciente el interés de encontrar alternativas de uso para estos desechos; Estas propuestas incluyen el aprovechamiento energético, aditivo en materiales cerámicos posterior a su pirolisis y una de las aplicaciones actuales es su incorporación como cargas en matrices poliméricas para la fabricación de bio materiales compuestos (Torkaman, 2010).

Normalmente para la elaboración de materiales compuestos para la industria maderera se utilizan materiales provenientes de la tala de árboles, esto tiene como consecuencia que en la actualidad la deforestación siga en aumento. La deforestación, la degradación de los bosques y el aumento de la demanda de madera para paneles a base de madera han provocado una escasez de materias primas en el sector industrial de la madera durante mucho tiempo y muchas normas han sido más estrictas y rigurosas con este tema y por ende, tendremos menos materia prima para elaborar dichos materiales. Como resultado, el uso de recursos renovables como los residuos agrícolas está ganando cada vez más interés en la producción de paneles compuestos. Por lo tanto, este trabajo se concentra en analizar la viabilidad técnica para la fabricación de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz como una alternativa al uso tradicional del aserrín y astilla de madera para elaborar aglomerados. La meta principal es que el material compuesto desarrollado a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica iguale o mejore las propiedades mecánicas que las del material compuesto comercial y si es posible, a los materiales compuestos reportados. Se implementó una mejora al proceso tratando de que la interface entre la resina y la cascarilla sea mejor al agregar un agente compatibilizante que ayudaría a optimizar dicha interface, (Anbu Clemensis Johnson, Y. Bhg. Dato' Engr, 2009).

1.2 Planteamiento del problema

Normalmente para la elaboración de aglomerados de la industria maderera se utilizan materiales provenientes de la tala de árboles, esto tiene como consecuencia que, actualmente, el área de los bosques siga disminuyendo. Mientras que no se encuentre un sustituto a la madera para la elaboración de dichos materiales el impacto negativo al medio ambiente seguirá aumentando, así como también, la deforestación. Por lo que se necesitan nuevas estrategias, así como avances científicos y tecnológicos para reducir dicho problema.

Este impacto negativo se ve reflejado con el porcentaje de incremento de la producción de productos forestales relativo al año 2016 en relación del cambio con respecto a los años 1980, 2000 y 2015. Según la sección de Producción y comercio mundiales de productos forestales en 2016 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA, o más conocida como FAO) se puede apreciar el aumento en producción de tableros de madera ha sido extremadamente alto con un 310 % comparado con el año 1980.

En el apartado de extracciones y producción de los productos madereros y de papel en México de la FAO se describe el cambio con los años de la extracción y producción de los productos madereros y de papel en México durante los años del 2004 al 2013. Donde la producción de tableros de fibras, siendo el caso de este proyecto, aumento de 11, 000 a 94, 000 m³, lo que equivale a un 854 % de aumento en ese periodo. Esto, de nueva cuenta, nos indica el enorme aumento del uso de productos de la industria maderera a nivel nacional y por consiguiente el uso de árboles para su obtención.

Por otro lado, estudios anteriores informaron que los tableros de partículas con RH podían utilizarse en muebles y accesorios para interiores, pero, las propiedades físicas y mecánicas de los tableros eran más bajas que los tableros hechos de partículas de madera (Osarenmwinda & Nwachukwu, 2007), (Torkaman, 2010). Las razones principales de las

propiedades físicas y mecánicas más bajas de los tableros de partículas de HR en comparación con los tableros de partículas hechos de partículas de madera son la baja relación de aspecto, la capa de cera y el sílice de las partículas de HR (referencia). Además, otro inconveniente en la producción de tableros de partículas RH es el requerimiento de mayores cantidades de adhesivo para obtener un tablero con propiedades aceptables, Sin embargo, los precios de la resina han aumentado significativamente en los últimos años debido al aumento de los costos del gas natural y el petróleo. (Anbu Clemensis Johnson, Y. Bhg. Dato' Engr, 2009).

1.3 Justificación

La producción mundial de arroz en el 2015 fue de aproximadamente 123,013 millones de toneladas (SAGARPA, 2015), que equivale, considerando un contenido del 25 % de cascarilla de arroz (RH, por sus siglas en inglés) del total de la producción de arroz, a 30,753.25 millones de toneladas. Dado a esta considerable cantidad de subproductos de RH, es importante entonces considerar el uso de estos residuos. Particularmente en México, la cáscara de arroz es uno de los residuos lignocelulósicos que más se generan, en el 2015 la producción de arroz en el país fue de 127,013 toneladas que equivalen a 31753.25 toneladas de cascarilla de arroz (ver Tabla 1.1). Enfocados en la localidad en donde es desarrollada la presente tesis, el Estado de Morelos, ya que es uno de los principales productores de arroz en México, no es raro ver en como son subutilizados estos residuos sin haber obtenido algún beneficio de los mismos (ver Tabla 1.2).

Tabla 1.1 Producción anual de arroz en México, (SAGARPA, 2015).

Producción anual (2015) de arroz en México.				
ENTIDAD	CULTIVO	SUPERFICIE DE COSECHA (Ha)	PRODUCCIÓN (Ton)	VALOR DE LA PRODUCCIÓN (\$)
Campeche	Arroz palay	8,844	41,216	141,137,991
Michoacán	Arroz palay	3,792	33,261	117,452,429
Jalisco	Arroz palay	3,666	19,817	85,541,578
Colima	Arroz palay	3,116	18,222	66,414,374
Morelos	Arroz palay	1220	11,076 (X .25% = 2,769 RH)	57,325,278
Guerrero	Arroz palay	392	1,972	10,269,322
Chiapas	Arroz palay	541	912	3,420,772
México	Arroz palay	68	537	2,319,462

Mientras que, la producción anual de arroz en Morelos se describe en la tabla 2, en donde se aprecia que Jojutla es el tercer municipio que produce más arroz en el estado.

Tabla 1.2 Producción anual de arroz en Morelos, (SAGARPA, 2015).

Producción anual (2015) de arroz en Morelos.				
ENTIDAD	CULTIVO	SUPERFICIE DE COSECHA (Ha)	VALOR DE LA PRODUCCIÓN (Ton)	VALOR DE LA PRODUCCIÓN (\$)
Cauatla	Arroz palay	295	3039	13,844,135
Zapata	Arroz palay	228	2326	10,994,181
Jojutla	Arroz palay	143	1473 (X .25 % = 368.25 RH)	6,862,948
Xochitepec	Arroz palay	130	1320	6,130,714
Temixco	Arroz palay	101	1020	4,857,063
Mazatepec	Arroz palay	92	929	4,356,248
Ayala	Arroz palay	81	800	3,860,552
Tetecala	Arroz palay	43	439	2,052,867
Yautepec	Arroz palay	33	337	1,085,279
Cuernavaca	Arroz palay	21	214	828,159
Coatlan del río	Arroz palay	16	160	736,000
Tlaltizapan	Arroz palay	15	156	723,060
Tlaquiltenango	Arroz palay	10	102	477,268
Jiutepec	Arroz palay	7	67	279,986
Puente de Ixtla	Arroz palay	5	50	230,836

Es por ello el interés de encontrar alternativas de uso para los desechos agroindustriales de la industria arrocera, particularmente hablando, de la cascarilla de arroz.

Por otro lado, se ha comprobado que las propiedades mecánicas de los materiales compuestos no han llegado a ser las pronosticadas por la teoría, (Castillo, *et al.*, 2018) esto se debe a la generación de una mala interface. La cual se logra obtener cuando existe una buena compatibilidad matriz-reforzante. Una de las mejores estrategias para mejorar la compatibilidad fibra matriz es la de utilizar agentes compatibilizantes (D. Hull, Introduction to composite Materials) que incrementan las propiedades mecánicas del material compuesto final.

Se usó como matriz en el material compuesto la resina fenólica por qué ésta matriz se ha usado en los aglomerados comerciales, es decir, no se quiere generar un material aglomerado disruptivo dentro de la industria maderera, debido a que se necesitaría cambiar de proceso y eso genera gastos.

Por lo que el presente proyecto se enfocó en darle un valor agregado a la cascarilla de arroz mediante la estrategia de generar materiales compuestos que puedan sustituir a los materiales compuestos comerciales, al mismo tiempo hacer frente al problema del desperdicio del desecho agroindustrial. Así como también, contribuir al problema ambiental ya que dichos materiales compuestos (aglomerados comerciales) se fabrican con aserrín o viruta de madera (producto de la industria forestal) y de esta manera se evitaría el uso de árboles en la fabricación.

1.4 Hipótesis

Las propiedades mecánicas que se obtendrán del material compuesto desarrollado a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica, sean mejores o iguales a los reportados con cascarilla de arroz y matrices termofijas y al material compuesto comercial.

1.5 Objetivo general

Analizar la viabilidad técnica para la fabricación de materiales compuestos utilizando cascarilla de arroz/resina fenólica para la posible sustitución del aserrín o viruta de madera utilizado en materiales compuestos comerciales tradicionales.

1.6 Objetivos específicos

- Investigar el estado del arte referente a la elaboración de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz, métodos para su elaboración y resultados reportados.
- Poner en marcha una prensa calefactora dentro del laboratorio de posgrado del Instituto Tecnológico de Zacatepec.
- Obtener material compuesto mediante termoformado.
- Caracterizar el material compuesto (propiedades mecánicas a flexión, tensión, densidad aparente, porcentaje de absorción de agua y velocidad de quemado).
- Determinar la viabilidad técnica de la sustitución del material compuesto comercial por el material a desarrollar en la presente propuesta.

1.7 Metas

1. Publicar el presente tema de tesis en revistas científicas.
2. Presentar el presente tema de tesis en congresos.

CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL

CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL (ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO)

2.1 Estado del Arte

(Desirello *et al.*, 2004) En 2004 reportaron la posibilidad de obtener placas de aglomerado con características similares a los productos disponibles comercialmente a partir de residuos agroindustriales. Se realizó una investigación con aglomerados de cáscara de arroz que fueron obtenidos por moldeo por compresión utilizando como adhesivo una resina fenólica comercial. Los aglomerados fueron obtenidos utilizando tres diferentes variables: (a) fracciones en peso de adhesivo sólido en el aglomerado (0.13, 0.17 y 0.20), (b) temperatura de curado (130 y 160°C) y (c) presión aplicada (0.28, 0.83 y 1.38 MPa). Las diferentes condiciones de procesado permitieron obtener aglomerados con un rango amplio de densidades, propiedades mecánicas, porcentaje de absorción de agua y grado de hinchamiento. Se observó una mejora en el comportamiento mecánico y una disminución en el porcentaje de absorción de agua a medida que crece el porcentaje de adhesivo y la presión aplicada durante su procesado tanto en los aglomerados hechos con cáscara de arroz, como los obtenidos a partir de viruta de madera. Asimismo, el artículo menciona la ventaja de que la cáscara de arroz no requiere ningún tipo de trituración o separación por tamaño, previo al proceso de fabricación, lo que implica un menor costo en su producción.

(Prada & Cortés, 2010) Describen algunas complicaciones o desventajas del uso de la cascarilla de arroz, en el cuál menciona que en la obtención de aglomerados con refuerzo con cascarilla de arroz los obstáculos se encuentran con el relativamente bajo contenido de carbono y (39.1%) y alto contenido de (ceniza 17.8%), asociados al alto contenido de sílice, mientras que materiales como el bagazo de caña que contiene hasta 50.3 % de carbono y sólo el 9.5 % de cenizas, se polimeriza la matriz con mayor facilidad. Esto quizás es debido al bajo coeficiente de conductividad térmica, de la RH que permite presumir su utilidad como componente principal de sistemas de aislamiento térmico (Carolina Giovanna Cadena, 2002),

Por lo que, ésta característica dificulta la reacción de polimerización que ocurre en las matrices termoestables ya que es necesario de ciertas temperaturas para que curen.

(Castillo *et al.*, 2012) Mencionan la importancia del aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos, por ejemplo, en el uso de biomateriales compuestos con fibras de celulosa. Las agroindustrias generan como subproductos materiales en base a celulosa altamente fibrosos (por ejemplo, bagazo de caña, cascarilla de arroz, zacate, etc...) que no son aprovechados completamente. Las matrices que se han utilizado abarcan termoplásticos, termoestables y cemento, principalmente. Mientras que, se ha abarcado una gama muy variada de fuentes de residuos lignocelulósicos (Haghighat *et al.*, 2005), entre los que podemos mencionar son, plátano, henequén, sisal, aserrín de madera, algodón, bambú, bagazo de caña y cascarilla de arroz, entre otros (Jaewoon Lee, *et al.*, 2008). La parte medular en el desarrollo de este tipo de materiales es mejorar la compatibilidad del material lignocelulósico con las matrices utilizadas, para lo cual, se utiliza una infinidad de métodos de modificación superficial. Estos métodos incluyen tratamientos alcalinos y ácidos y agentes compatibilizantes (por ejemplo, silanos, anhídrido maleico), etc., así como también, el uso de los materiales lignocelulósicos sin tratamiento (Balam-Cocom *et al.*, 2006). Todas estas modificaciones superficiales tienen como objetivo final el de mejorar las propiedades del material compuesto desarrollado.

(Herrera & Suarez, 2013) Aportaron a la literatura más análisis de la estructura y composición de la cascarilla de arroz por medio de FTIR, TGA, SEM. En su análisis reportaron que la cascarilla de arroz (% en base seca) contenía 6.6 de lignina, 60.12 de celulosa, 11.19 de celulosa y cenizas 15.90. Para verificar las frecuencias de vibración de los grupos funcionales presentes en la superficie de la cascarilla de arroz, analizaron y estudiaron la caracterización de la cascarilla de arroz por medio de espectroscopia infrarroja (ver Figura 2.1).

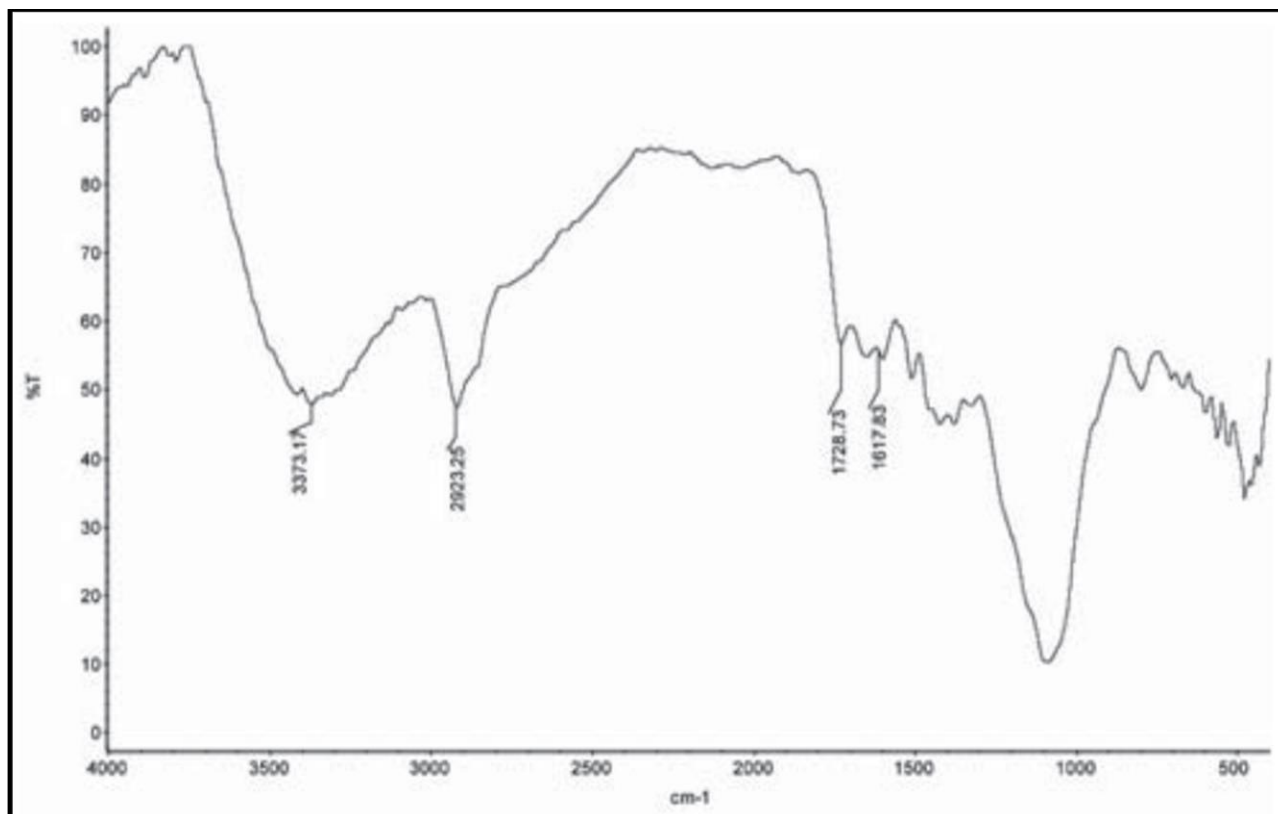


Figura 2.1. Espectro infrarrojo de la cascarilla de arroz, (Gloria María Doria Herrera, 2012).

Cabe resaltar como bandas principales, la vibración alrededor de 3,370 cm^{-1} correspondiente al alargamiento del enlace O-H, para el enlace C-H alifático las típicas señales se encuentran entre 2,900 – 3,000 cm^{-1} , las vibraciones asociadas al enlace C=C anillo aromático se registran entre 1,490 y 1,617 cm^{-1} , finalmente las bandas del enlace C-O alrededor de 1,000 cm^{-1} y una banda en 1,728 cm^{-1} que indica la presencia del grupo carbonilo, C=O. Mientras que, La microscopia electrónica de barrido se utilizó para analizar la superficie de la cáscara de arroz (ver Figura 2.2).

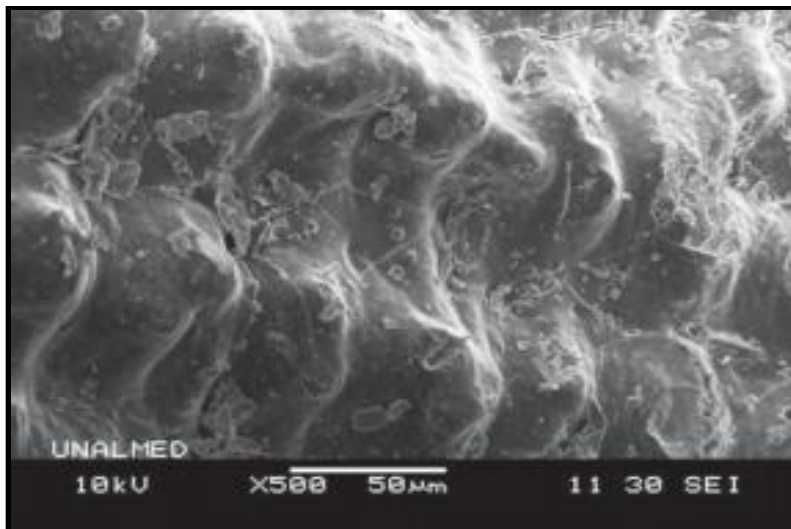


Figura 2.2. Microscopia electrónica de barrido de la cascarilla natural, (Herrera & Suarez, 2013).

En esta investigación se presentaron 3 residuos agrícolas (*aloe vera*, cáscara de arroz y bagazo de caña) para evaluar las propiedades térmicas de compuestos reforzados con polímero de resina fenólica para aplicaciones potenciales como materiales resistentes al fuego. En esta investigación se reportó que el biocompuesto preparado con cascarilla de arroz tiene una estabilidad térmica notable superior y una retardación de llama mejorada en comparación con los otros compuestos ecológicos (S. Parida *et al.*, 2014).

Se obtuvieron aglomerados fabricados con partículas lignocelulósicas provenientes de plantas encontradas en la región del Quindío - Colombia como son la guasca de plátano, el tripeperro y el pasto elefante y se compararon con aglomerados comerciales de madera, (Alexander Gaitán, 2016). Los aglomerados fueron sometido a pruebas y análisis mecánico de flexión, tracción, compresión, dureza y de absorción de agua teniendo en cuenta las normas ASTM para tableros de partículas de madera. Los resultados muestran que los aglomerados fabricados presentan mejores resultados que el comercial en cuanto a la absorción de agua, aislamiento térmico y dureza y resultados similares en los ensayos mecánicos de flexión, tracción y compresión excepto para el aglomerado de tripeperro.

La respuesta mecánica de flexión, compresión y tracción a los aglomerados hechos con guasca y pasto elefante dieron respuestas muy similares al aglomerado comercial a pesar de

que, en el proceso de fabricación de este último, le han agregado parafina, endurecedores y otros polímeros. El análisis de dureza muestra que los aglomerados obtenidos en el laboratorio presentan más capacidad de resistencia a ser penetrados que el aglomerado comercial.

Además, en un estudio experimental se estudiaron biocompuestos poliméricos híbridos reforzados con la cáscara de coco, cáscaras de nuez y cáscara de arroz y como matriz una resina bioepóxica, (Chandramohan & Presin Kumar, 2017). Las composiciones de fibra en cada espécimen fueron, a una relación de 1:1 (cáscara de arroz/cáscara de coco, cáscara de arroz/cáscara de nuez, cáscara de nuez/cáscara de coco), mientras que la composición de la resina y el endurecedor 10: 1 respectivamente. Los compuestos fabricados fueron probados según las normas de ASTM para evaluar propiedades mecánicas se evaluaron con humedad y sin humedad. Los resultados de la prueba muestran que el compuesto híbrido tiene mejores propiedades mecánicas que el compuesto reforzado con fibra de vidrio.

En otra investigación se han compactado diferentes aglomerados de cascarilla de arroz con distintas densidades (0,5, 0.95 y 1.15 g / cm³), los niveles de adhesivos (7, 10 y 13%) y tipos de partículas (natural y procesada), con 3 repeticiones por cada una de las 18 condiciones experimentales, nos da un total de 54 paneles (Joel Telles de Souza, *et al.*, 2017).. La presión y temperatura utilizadas fueron constantes con un valor de 30 kg/cm², aplicada durante 8 minutos a 180 °C. Las propiedades mecánicas analizadas en el presente estudio tuvieron valores medios inferiores a las normas de comercialización no siendo recomendados como material estructural para la industria del mueble y la construcción civil. Sin embargo, estos biomateriales compuestos pueden ser indicados para aplicaciones que no requieran elevadas propiedades mecánicas, como por ejemplo, aislamiento térmico y acústico, decoración, pequeños objetos y artesanía. En los próximos estudios, para la producción de chapas con características mejoradas, se recomienda la adición de partículas de madera junto a la cáscara de arroz

2.2 Marco Teórico

Dado que el objetivo central del presente trabajo está circunscrito en la elaboración de materiales compuestos a partir de matriz polimérica y un refuerzo natural, es imperativo abordar primeramente algunos conceptos de polímeros, materiales compuestos, demás relacionados con el trabajo en sus contextos generales y específicos, para posteriormente entrar en mayor detalle con las técnicas y conceptos tratados en este trabajo, de manera que funcionen como ejes teóricos sobre los que se pueda apoyar la lectura de esta investigación.

2.2.1 Polímeros

Son materiales compuestos por macromoléculas, las cuales son cadenas compuestas por la repetición de una unidad básica llamada mero unidos mediante enlaces covalentes. De ahí el nombre poli (muchos) + mero. Los meros están dispuestos uno tras otro a manera de perlas en un collar (Hermida, 2011).

2.2.1.1 Clasificación según su origen

- **Naturales:**

Son polímeros producidos por organismos vivos que se emplean sin modificación. Ejemplos: proteínas como las empleadas en las arañas para tejer su tela, caucho natural, celulosa, quitosano, almidón.

- **Sintéticos:**

Son polímeros sintetizados por el hombre. Ejemplo: El nylon, caucho artificial.

- **Semisintéticos:**

Son los obtenidos por la transformación química de los polímeros naturales, sin que se destruya de modo apreciable su naturaleza macromolecular. Ejemplo: la seda artificial obtenida a partir de la celulosa, (Antonio Marcilla Gomis, 2012).

2.2.1.2 Clasificación según su respuesta termodinámica

- **Termoplásticos:**

Se comportan de manera plástica a elevadas temperaturas. Más aún, la naturaleza de sus enlaces no se modifica radicalmente cuando la temperatura se eleva, razón por la cual pueden ser conformados a temperaturas elevadas, enfriados y después recalentados sin afectar el comportamiento del polímero (son lineales), o con ramificaciones cortas.

Comúnmente llamados plásticos constituyendo la mayor parte de los polímeros comerciales representando entre el 78% a 80% de la producción total de polímeros sintéticos.

Son materiales que pueden ser moldeados por acción de calor y retornar a su estado original. Esta característica los hace especialmente susceptibles de ser reciclados; ya que este proceso se lo puede hacer repetitivamente sin una disminución significativa en sus propiedades intrínsecas.

- **Elastómeros:**

Los elastómeros también denominados cauchos o hules tienen un comportamiento térmico que puede variar de termoplástico a termoestables según su estructura sea lineal o reticulada, tienen baja densidad de entrecruzamiento. La clasificación se realiza en base a su comportamiento mecánico: se trata de materiales poliméricos que tienen la capacidad de deformarse mucho más que el 300% en forma elástica, esto es, cuando se remueve la fuerza aplicada para estirarlos recuperan sus dimensiones originales, (López C, 2004).

- **Termoestables:**

Son materiales que poseen cadenas poliméricas entrecruzadas formando una malla o red tridimensional, debido a que básicamente se forman de la unión de tres grupos funcionales. Estos polímeros endurecen al estar en presencia de calor o presión, Dentro de la familia de los polímeros termoestables se encuentran los poliuretanos, urea, melanina, resinas fenólicas, epóxica y poliéster, entre otros, (Hemida, 2011).

El producto final termoestable ya no se reblandece nuevamente por acción de la presión y la temperatura, pues a elevadas temperaturas experimenta su descomposición. Una vez que

han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse, y sus propiedades se degradan tornando difícil su reciclaje, aunque no imposible. Existen técnicas especiales de re-utilización de estos polímeros, principalmente se lo recicla a manera de cargas de alta calidad para materiales compuestos, (Antonio Marcilla Gomis, 2012).

2.2.2 Material compuesto

Los materiales compuestos son combinaciones macroscópicas de dos o más materiales diferentes que poseen una interface discreta y reconocible que los separa. Debido a ello son heterogéneas (sus propiedades no son las mismas en todo su volumen). Si bien algunos materiales compuestos son naturales (como la madera o el hueso), la gran mayoría de los compuestos utilizados en la actualidad son diseñados y “fabricados por el hombre” (Stupenengo, 2011).

2.2.2.1 Componentes de los materiales compuestos

Matriz:

La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda “embebido”. Tanto materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas pueden cumplir este papel.

Las funciones principales de la matriz son:

- Definir las propiedades físicas y químicas.
- Transmitir las cargas al refuerzo.
- Protegerlo y brindarle cohesión.

Refuerzo:

Es la fase discontinua que se le agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee. En general, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas.

Interface:

Además de las características de las fibras y de la matriz, las propiedades de los materiales compuestos dependerán de cómo sea la interface (la región de contacto) entre estos dos componentes. Si la interface es débil, la transferencia de carga de la matriz a la fibra no será eficiente y/o bien será la matriz la que termine soportando las cargas (y fallando, puesto que no es muy resistente), o se producirán huecos entre la matriz y las fibras, lo cual llevará a la rotura de la pieza. Lograr una buena adhesión entre la fibra y la matriz no es tarea fácil, ya que en general se trata de materiales de familias diferentes (polímero - vidrio, metal - cerámico) y la buena adhesión depende del contacto íntimo de los átomos en la superficie de uno y otro componente. Es por eso que existe toda un área de desarrollo de aditivos con los cuales recubrir a las fibras para que resulten más compatibles con la matriz, y aumenten la adhesión entre los componentes del material compuesto (Stupenengo, 2011).

2.2.3 Resinas fenólicas (fenol-formaldehído)

Fueron los primeros plásticos totalmente sintéticos, la baquelita, fue el primer polímero sintético. Esta resina de fenol-formaldehído (PF por sus siglas en inglés) fue sintetizada por Baekeland, a quien en 1909 se adjudicó la patente estadounidense 942.699 por dicho proceso.

La obtención de la resina fenólica, con densidad aproximada de $1,25 \text{ kg/dm}^3$, se lleva a cabo mediante la polimerización entre el fenol y el formaldehído. La resina pura, completamente endurecida, es dura, frágil, de color amarillo o pardo claro (ver Figura 2.3), insoluble e infusible y difícilmente inflamable (Covarrubias Velázquez, *et al.*, 2016).



Figura 2.3. Aspecto de la resina fenólica.

Las resinas fenólicas se transforman básicamente por prensado, moldeado por transferencia, prensado, laminado e inyectado. Los perfiles se extrusionan con prensa, los tubos se fabrican por moldeo. Su buena resistencia a la llama hace que se aplique cada vez más en laminados. Las resinas de fenol-formaldehído son estables al almacenamiento a lo largo de meses o hasta años. Las espumas de fenol-formaldehído tienen mayor resistencia a la temperatura que muchos de los plásticos habituales, (Barcelona, 2018).

La síntesis de resinas fenol-formaldehído: El fenol, condensa fácilmente con los aldehídos alifáticos y aromáticos, dando productos iniciales que se pueden considerar originados por una adición tipo aldólica de la molécula de fenol, por sus posiciones reactivas orto y para al grupo carbonilo del aldehído, lo que supone que el primer paso de la reacción es la formación de compuestos de adición conocidos como derivados de metilol, o lo que es igual las resinas fenol-formaldehído se forman desprendiendo moléculas de agua, cuyos átomos de hidrogeno provienen del anillo de benceno y cuyos átomos de oxígeno provienen del aldehído, la reacción se lleva a cabo por etapas; el formaldehido se adiciona en primer término a las posiciones 2 y 4 de la molécula de fenol (orto y para), las moléculas sustituidas reaccionan a continuación con el desprendimiento de agua, el enlazamiento de las moléculas continúa hasta formar una red extensa (ver Figura 2.4).

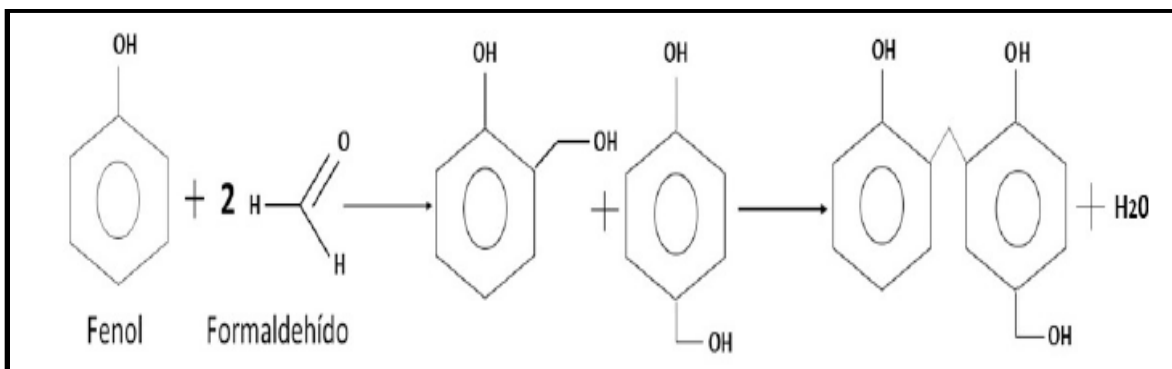


Figura 2.4 Reacción general de metilolación, entre fenol y formaldehído, (Hill & Kolb, 2000).

Entre sus propiedades principales tenemos:

- Alta resistencia, rigidez y dureza.
- Según el material de refuerzo: alta tenacidad, aún en el frío
- Baja tendencia al plasto deformación.
- Difícil flameabilidad.
- Propiedades de aislamiento eléctrico no tan buenas.
- Resistente a los solventes orgánicos, aceites, grasas, gasolina, alcohol, benceno y agua
- No autorizado para el contacto con alimentos.
- Específicamente en las aplicaciones de tableros aglomerados, presentan mayor resistencia a ambientes húmedos.

2.2.3.1 Resina fenol-formaldehído (tipo novolac)

El novolac, es una resina de fenol-formaldehído en donde la proporción molar de formaldehído a fenol es menor a uno. La polimerización se lleva a cabo con catálisis ácida. Las unidades de fenol se vinculan principalmente por grupos metileno

2.2.3.2 Resina fenol-formaldehído (tipo resol)

Las resinas de fenol-formaldehído catalizadas básicamente se hacen con una proporción de formaldehído a fenol de más de uno (generalmente alrededor de 1.5). Estas resinas se llaman resoles. El Fenol, formaldehído, agua y catalizador se mezclan en la cantidad

deseada, dependiendo de la resina que se forme, y se calienta. La primera parte de la reacción, a 70 °C, constituye un material pegajoso de color marrón rojizo, que es rico en grupos éter hidroximetilo y bencílico. La velocidad de la reacción catalizada básicamente inicialmente aumenta con el pH, y alcanza un máximo alrededor de pH = 10. La especie reactiva es el anión fenóxido ($C_6H_5O^-$) formado por desprotonación del fenol. La carga negativa del ión fenóxido está deslocalizada sobre el anillo aromático, activando los sitios 2, 4 y 6, que a su vez reaccionan con el formaldehído (ver Figura 2.5) (Meira, 2014).

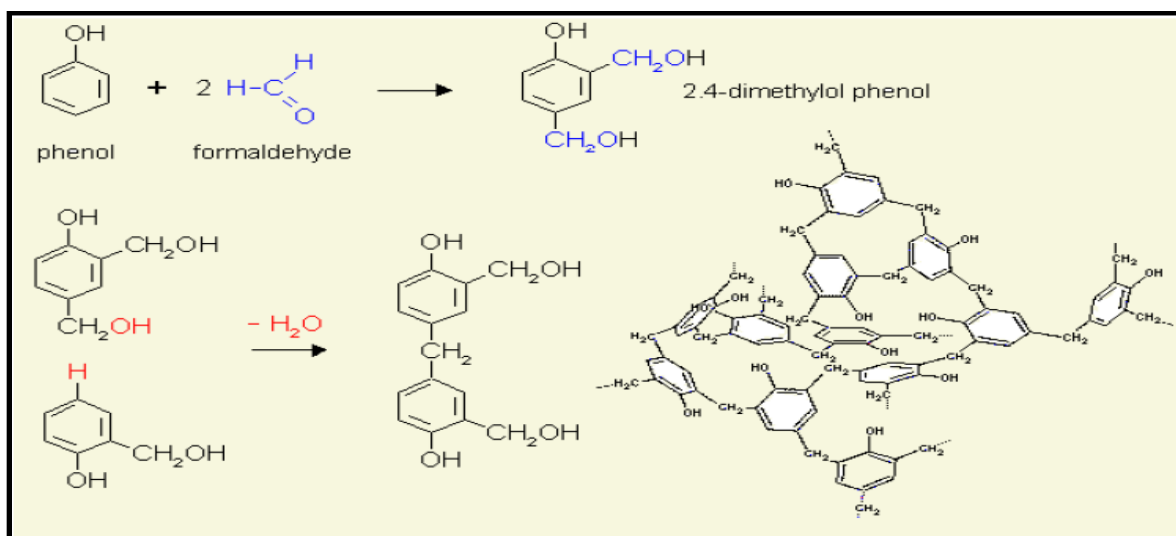


Figura 2.5 Estructura química de la resina fenol-formaldehído 1:2 (Meira, 2014).

2.2.4 Fibras naturales

Las fibras naturales presentan ventajas productivas (disponibilidad, bajos costos de adquisición y facilidad de procesamiento), físicas (baja densidad, características de aislamiento y resistencia estructural, entre otras), bioquímicas (inocuidad, biodegradabilidad), entre otras. Las ventajas productivas, fisicotérmicas, ambientales y bioquímicas de las fibras naturales propician su utilización como una alternativa para impulsar el uso racional de los recursos naturales y la preservación ambiental, (Omar Faruk, 2012). La fibra natural considerada en el presente estudio se describe a continuación.

2.2.4.1 Cascarilla de arroz

Es el principal residuo de la producción arroceras siendo la capa externa del grano de arroz. Químicamente se encuentra constituido por fibras de celulosa, lignina y hemicelulosa, y principalmente minerales. El contenido químico de la cascarilla de arroz consiste en 50% de celulosa, 23-30% de lignina y 15-20% de sílice (Ummah, A.Suriamihardja, *et al.*, 2015). Debido a estas características su utilización no es aconsejable para alimentación animal, pues su valor nutritivo es muy bajo, además el contenido de sílice (SiO_2) irrita la mucosa del estómago de los animales. Tampoco es recomendable utilizarlo como abono ya que casi no posee elementos fertilizantes.

Es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, la superficie es de estructura ondulada y apariencia irregular. Tiene propiedades altamente abrasivas, 6 en la escala Mohs en estado natural. Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión.

2.2.5 Agente compatibilizante

Un agente compatibilizante es un aditivo de ayuda de mezclado, de unión física, de compatibilización por medio de copolimerización u otras uniones químicas usado en la producción de materiales compuestos. Su presencia favorece la adhesión interfacial y, por lo tanto, el entremezclado íntimo entre los componentes del material compuesto se mejora, generando una interface más favorable.

Al elaborar un material compuesto, a menudo los dos o más materiales mezclados no son compatibles entre sí, esto conlleva a que el material compuesto resultante tenga propiedades mecánicas bajas para la mayoría de los usos finales. Por lo que es necesario una estrategia para aumentar la compatibilidad (agente compatibilizante). El principio general de compatibilización es reducir la energía interfacial entre componentes con el fin de aumentar la adhesión entre ellos y generar mejores propiedades mecánicas.

2.2.5.1 Poli (acetato de vinilo)

El poli(acetato de vinilo) o acetato de polivinilo, o poli (etenil etanoato) PVAc es un polímero sintético gomoso con fórmula abreviada $(C_4H_6O_2)_n$ (ver Figura 2.6). Pertenece a la familia de los poli(vinil ésteres), es el que se obtiene más fácilmente y tiene más amplio uso, con fórmula general $-(RCOOCHCH_2)-$. Se trata de un tipo de termoplástico, (plasticos, 2018), ampliamente usado como adhesivo, a que se refiere indistintamente como cola para madera, cola blanca, cola de carpintero, cola escolar, cola PVA o cola vinílica. El acetato de polivinilo fue descubierto en Alemania en 1912 por Fritz Klatte.

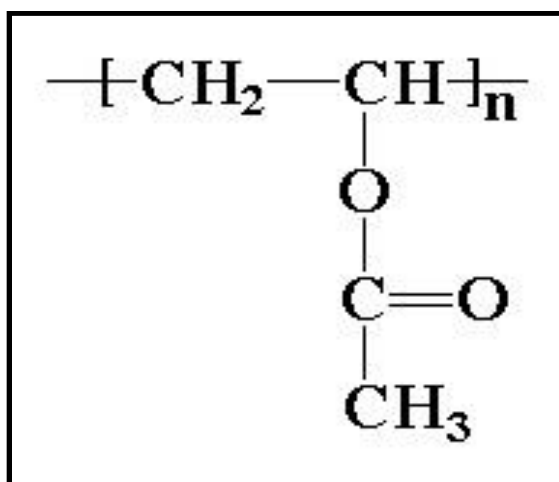


Figura 2.6 Estructura química del polivinil acetato.

2.2.5.2 Poli (alcohol vinílico)

El alcohol de polivinilo (PVOH, PVA, o PVal), también llamado polietenol o poli (alcohol vinílico), es un polímero sintético soluble en agua, de fórmula química general $(C_2H_4O)_n$ (ver Figura 2.7). No debe confundirse con acetato de polivinilo, un popular pegamento de madera (plasticos, 2018).

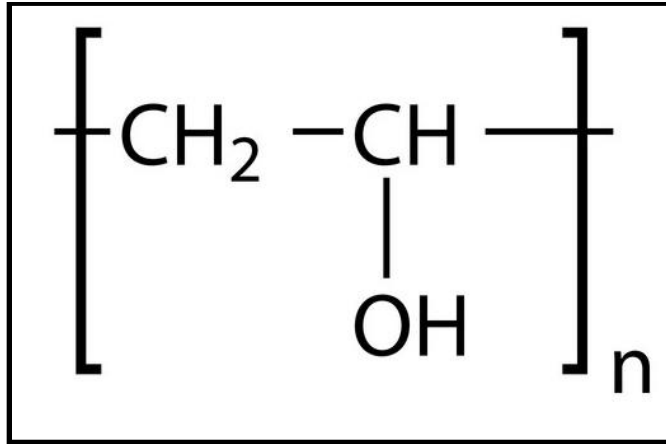


Figura 2.7 Estructura química del polivinil alcohol.

2.2.6 Propiedades mecánicas

En ingeniería, las propiedades mecánicas de los materiales son las características inherentes que permiten diferenciar un material de otro y las cuales se encuentran relacionadas con las fuerzas exteriores que se ejercen sobre los materiales.

La rama de la ingeniería que se encarga de estudiar a detalle los cambios en los materiales debido a las fuerzas o cargas que actúan sobre ellas es la mecánica de materiales, para la cual existen diversas propiedades mecánicas que son susceptibles a ser medidas; para fines prácticos y, para comprender algunos aspectos del presente estudio, se abordará de manera somera el concepto de transferencia de carga de un material compuesto polimérico, la definición de 2 propiedades mecánicas que son las que se caracteriza en este trabajo, las cuales son flexión y resistencia a la tracción.

Con base en el principio de la ley de mezclas, es posible realizar un estimado del comportamiento mecánico a la tracción (módulo y esfuerzo a tensión) del material compuesto, al conocer los valores independientes de la matriz y fibra.

2.2.6.1 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción, como su nombre lo indica es la oposición de un material a esfuerzo de tracción. Se define como esfuerzo de tracción a dos fuerzas que actúan en la misma dirección, con la misma magnitud y en sentidos opuestos hacia afuera de un material (ver Figura 2.8). Es un método para determinar el comportamiento de materiales bajo cargas de estiramiento axial, los datos del ensayo se usan para determinar el límite elástico, el alargamiento, el módulo elástico, el límite proporcional, la reducción del área, la resistencia a la tracción, el punto de fluencia, el esfuerzo de fluencia y otras propiedades de tracción. Los ensayos de tracción a temperaturas elevadas proporcionan los datos de fluencia. En ASTM E-8 se proporcionan los procedimientos para los ensayos de tracción de metales. Los métodos para los ensayos de tracción de los plásticos se describen en ASTM D-638, ASTM D-2289 (velocidades de formación altas) y ASTM D-882 (láminas finas). En ASTM D-2343 se describe el método para los ensayos de tracción de las fibras de vidrio; ASTM D-897, adhesivos; ASTM D-412, caucho vulcanizado. También denominado ensayo de tensión.

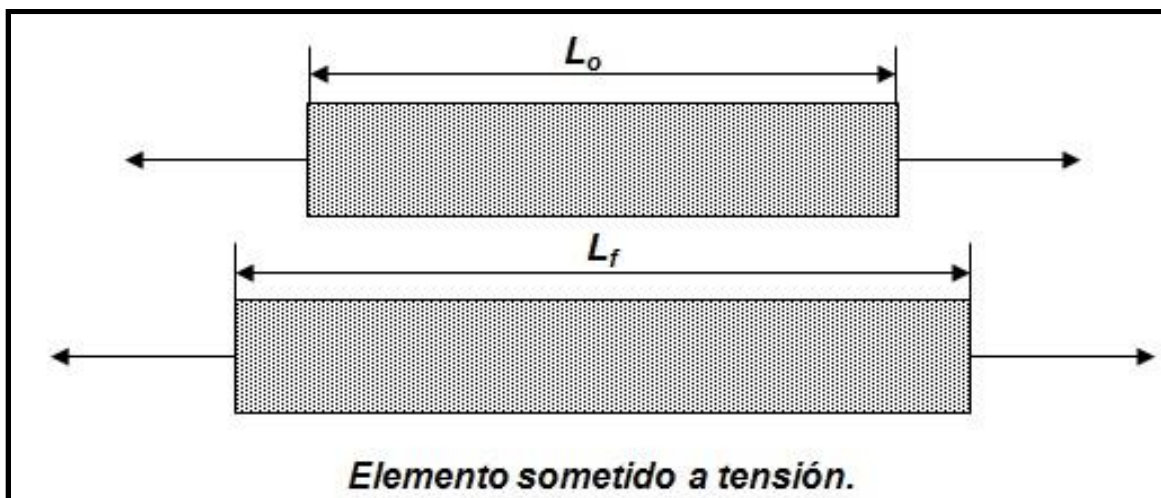


Figura 2.8 Representación de un material sometido a tensión, las flechas indican fuerza aplicada en sentidos opuestos, (Mecánica de materiales, 2018.).

2.2.6.2 Flexión

Método para medir el comportamiento de los materiales sometidos a la carga de la viga simple. Con algunos materiales, también se denomina ensayo de la viga transversal. La probeta está soportada por dos cuchillas como viga simple y la carga se aplica en su punto medio (ver Figura 2.9). El esfuerzo máximo de la fibra y la deformación máxima se calculan en incrementos de carga. Los resultados se trazan en un diagrama carga-deformación y el esfuerzo máximo de la fibra es la resistencia a la flexión. Se presenta la resistencia de fluencia de la flexión en aquellos materiales que no se rompen. Los procedimientos de ensayo estándares se especifican en ASTM D-790 (plásticos) y ASTM C-674 (cerámica blanca cocida). ASTM D-797 (elastómeros), ASTM A-438 (hierro fundido) y ASTM D-86 (vidrio).

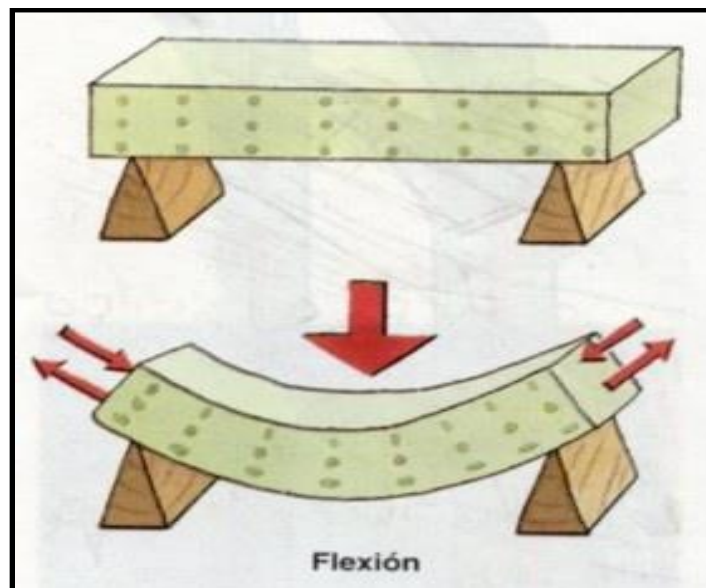


Figura 2.9 Representación de un material sometido a flexión, (Sánchez, 2018).

2.2.7 Técnicas de caracterización de materiales

2.2.7.1 Electroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Es una técnica analítica instrumental que permite conocer los principales grupos funcionales de la estructura molecular de un compuesto. Esta información se obtiene a partir del espectro de absorción de dicho compuesto al haberlo sometido a la acción de la radiación infrarroja en el espectrofotómetro. La región del espectro IR normal queda comprendida entre 2.5μ a 15μ , medido en unidades de longitud de onda, que corresponde a 4000 y 650 ó 400 cm^{-1} respectivamente si se expresa en número de onda (que es el inverso de la longitud de onda, cm^{-1}). Dentro de la región del IR Fundamental existen dos regiones, una de ellas es la llamada de los grupos funcionales de 4000cm a 1300 cm^{-1} , y la región dactilar de 1300 cm^{-1} a 670cm^{-1} . Está basada en las vibraciones de los átomos en las moléculas. Un espectro de infrarrojo consiste en un espectro de absorción o transmitancia que implica transiciones entre niveles vibracionales. Durante la excitación es necesaria una variación en el momento dipolar de la molécula para que se produzca una absorción en el IR de manera que pueda asociarse a vibraciones de estiramiento (simétrica o asimétrica) tensión o flexión (ver Figura 2.10).

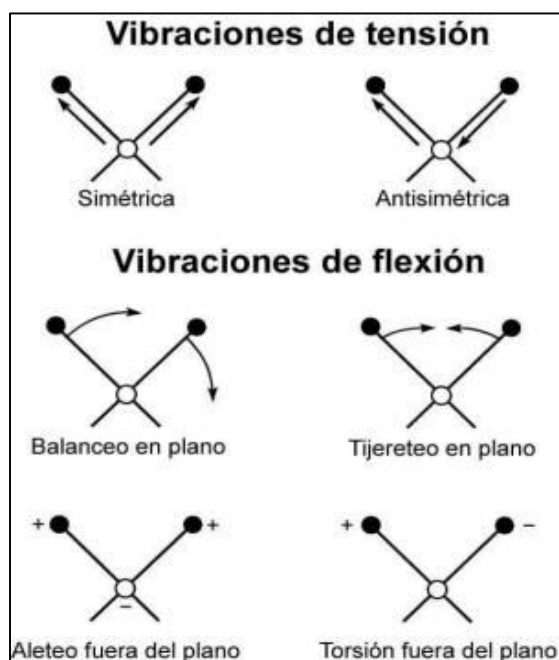


Figura 2.10 Categorías básicas de vibraciones moleculares, (Cruz, 2011).

2.2.7.2 Microscopía óptica

La microscopía óptica es una técnica empleada para ver de cerca una muestra con el aumento de una lente con la luz visible. Ésta es la forma tradicional de la microscopía, un microscopio óptico, también conocido a veces como microscopio liviano, utiliza una o una serie de lentes para magnificar imágenes de pequeñas muestras con la luz visible. Las lentes se colocan entre la muestra y el ojo del espectador para magnificar la imagen para poderla examinar minuciosamente.

2.2.7.3 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La caracterización por SEM de los materiales poliméricos comprende una serie de aplicaciones que definen su estructura y su micro-morfología. En cada caso la estrategia de exploración es distinta dependiendo de la naturaleza de cada material y de las posibilidades que se tienen para la preparación de la muestra.

El microscopio electrónico de barrido forma imágenes con los electrones secundarios que se generan con la interacción de la radiación electrónica con una capa superficial y final de la muestra mediante un proceso de rastreo.

La resolución espacial de una observación por SEM viene dada por el área de la muestra reflejante y depende del grado de interacción de la radiación de la muestra; dicha interacción genera electrones reflejados que son atraídos por un detector de manera que muestra imágenes topográficas.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción de equipos y materiales

3.1.1. Materiales

3.1.1.1. Cascarilla de arroz

Se obtuvo del molino de arroz San José (Arroceros de la Región Sur del Estado de Morelos U.S.P.R de R.L), esta cascarilla de arroz tipo palay se caracteriza por ser un grano grande de apariencia opaca y de tamaño extra largo. Fue utilizada sin ningún tipo de trituración o tratamiento previo para ahorrar costos en el proceso de fabricación del material compuesto. El arroz palay debe tener una longitud mayor de 10.0 mm; la anchura debe ser mayor de 3.0 mm y el espesor de 2.0 mm; El contenido de amilosa deberá estar en el intervalo de 24 a 26%, (Federación, 2012).

En el año 2012 se obtiene la declaratoria de Denominación de Origen "Arroz del Estado de Morelos", que por sus características de producción, condiciones especiales de tierra, agua y aire pero sobre todo a su calidad son únicos dado que no es posible localizarlos en otras partes del planeta con esas mismas características (CV, 2018).

3.1.1.2 Resina fenólica

Se utilizó una resina fenólica comercial tipo resol (FR 2786) para aglutinantes de fibras orgánicas e inorgánicas adquirida en FENO RESINAS S.A DE C.V. en una presentación de 20 kg (ver Figura 3.1).



Figura 3.1 Cubeta de 20 kg resina FR 2786.

3.1.1.3 Agente compatibilizante

Se realizaron pruebas con 2 diferentes productos para establecer cuál podría ser mejor agente compatibilizante para mejorar la interface del material compuesto, mejorando la unión física: a) sellador 5x1 Comex (poli acetato de vinilo) (PVAc) y b) pegamento artesanal comercial Unirapid Comex (poli alcohol vinílico) (PVA).

a) Sellador 5X1 Comex (poli acetato de vinilo, PVAc).

Se utilizó un sellador comercial 5X1 clásico Comex (véase en la figura X), Polivinil acetato (ver Figura 3.2), se tiene la teoría que tendrá una unión física intermolecular con la cascarilla de arroz o resina fenólica por su grupo carbonilo que contienen ambos, (Jang, Bae, & Kang, 2001).

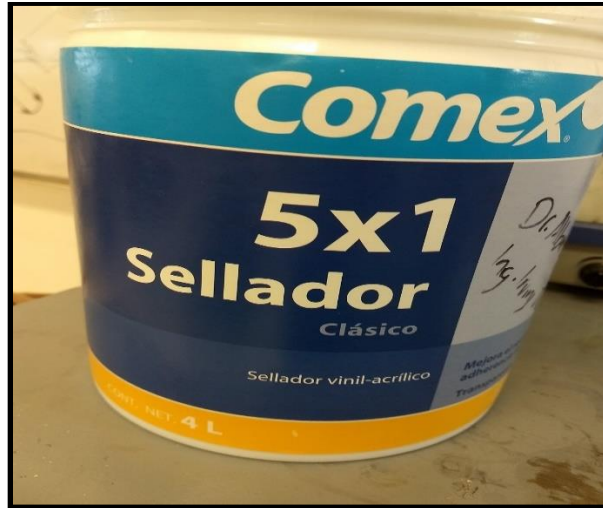


Figura 3.2 Sellador comercial 5x1 clásico Comex.

b) Pegamento artesanal comercial UNIRAPID COMEX (poli alcohol vinilo, PVA).

Se utilizó un pegamento artesanal comercial (UNIRAPID COMEX) poli vinil alcohol (ver Figura 3.3). La teoría es que exista una unión física (puentes de hidrogeno) y química (generan los enlaces éteres) con la cascarilla, (Jose Gomez., 2009).



Figura 3.3 Pegamento artesanal UNIRAPID COMEX.

3.1.2 Equipos

Estufa marca Rios Rocha modelo HCF-82-D.

Balanza analítica marca Pioneer Ohaus.

La microscopía óptica se analizó en un microscopio óptico marca ABBE MPT01 modelo YJ-2016.

Los análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) se determinaron en un equipo marca Perkin Elmer modelo Spectrum Two ubicado en el laboratorio de posgrado del ITZ.

Prensa calefactora neumática construida en el laboratorio de posgrado del ITZ.

3.2 Metodología experimental

En esta sección se describen los procedimientos y metodología utilizados para el pretratamiento de cascarilla de arroz, encontrar la concentración óptima de agente compatibilizante que compondrán en la incorporación como refuerzo de los materiales compuestos, su caracterización, y posteriormente la obtención de los materiales compuestos.

3.2.1 Lavado y tratamiento de la cascarilla de arroz

Se lavó y se colocó la cascarilla de arroz para retirar cualquier basura o impureza que podría tener para su posterior tratamiento con el agente compatibilizante.

3.2.2 Caracterización de la cascarilla de arroz tratada

3.2.2.1 Absorción de humedad

Se tomó 1 gramo de cascarilla de arroz pretratada de cada una de las cinco concentraciones del agente compatibilizante PVAc (0, 2.5, 3.5, 4, 5% en volumen en agua) para evaluar el porcentaje de absorción de humedad a temperatura ambiente a 24 horas, la temperatura se monitoreo con un termohigometro en un laboratorio en el cual se registró aproximadamente una temperatura de 25 ° C y 65% de humedad relativa. La medición del contenido de humedad en ambiente, se hizo utilizando el método de diferencia de peso, (Moreno M., *et al.*, 2007). Se realizaron 3 repeticiones por cada porcentaje éstos fueron pesados individualmente en una balanza electrónica una capacidad de medida de 1 gramo, durante 24 horas a una temperatura de aproximada de 25°C y fueron pesados nuevamente. El porcentaje de contenido de humedad se calculó a partir de la ecuación 3.1:

$$\% \text{ C.H} = \frac{P_H - P_0}{P_H} \times 100 \quad (3.1)$$

Dónde: % C.H es el porcentaje de contenido de humedad, P_h es el peso en humedad ambiente y P_0 es el peso en humedad cero, con una humedad relativa del 65%.

3.2.2.2 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier

Los análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) para la cascarilla de arroz, agentes compatibilizantes, resina fenólica y materiales compuestos se determinaron por el método de reflectancia atenuada Total (ATR, por sus siglas en inglés) utilizando un equipo marca Perkin Elmer modelo Spectrum Two ubicado en el laboratorio de posgrado del ITZ realizando 16 barridos en el infrarrojo medio (4,000-400 cm^{-1}) con una resolución de 4 cm^{-1} .

3.2.2.3 Microscopía óptica

La microscopía óptica de las muestras de cascarilla de arroz se analizaron utilizando magnificaciones de 40x con una cámara adaptada WIFI CAMERA EYEPIECE proyectando la imagen mediante la aplicación UCAM PLUS APP.

3.2.3 Obtención de los materiales compuestos

Se utilizaron tres presiones de moldeo (6.5, 10 y 12 BAR) y cuatro concentraciones de resina (25, 30, 35, 40% en volumen) con y sin agente compatibilizante, temperatura de curado (120 y 130°C).

En la Tabla 3.1 se muestran las distintas variables y concentraciones utilizadas para la elaboración de los compuestos, (Figura 3.4).

Tabla. 3.1 Diseño experimental.

Factores	Niveles
1.- Presión de moldeo	3 (6.5, 10, 12 BAR)
2.- Cuatro concentraciones de resina	4 (25, 30, 35, 40% en volumen)
3.- Tratamiento de la cascarilla de arroz	4 (0, 2.5, 4, 5%)
4.- Temperatura de curado	2 (120, 130°C)

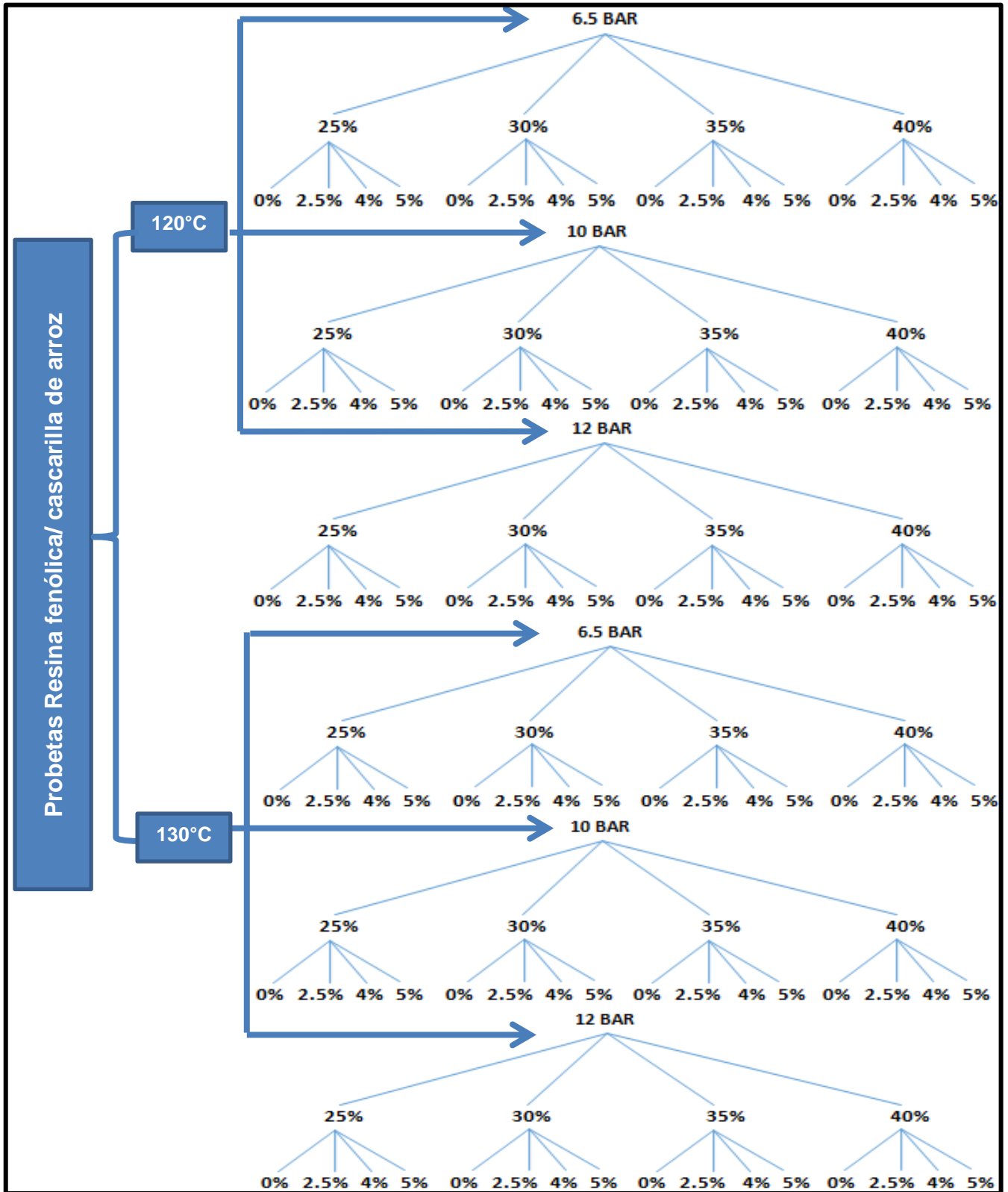


Figura 3.4 Diagrama diseño experimental.

3.2.4 Caracterización de los materiales compuestos

3.2.4.1 Densidad aparente

Se determinó la densidad aparente de los aglomerados pesando y midiendo el volumen de las placas inmediatamente después de ser extraídas de la prensa, de acuerdo a la norma ASTM D790-92 Standar Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, en donde se utiliza el método de desplazamiento de agua. El cual se tiene en cuenta el peso de los materiales compuestos y el volumen. Para las mediciones se tomaron 3 repeticiones de cada formulación con masas similares, de tal manera que se pudiera observar y cuantificar una variación en el volumen del agua, inmediatamente realizada la inmersión, (Moreno M., *et al.*, 2007). La ecuación utilizada fue

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (3.2)$$

Donde δ es la densidad aparente, m es la masa promedio de los materiales compuestos y v es el volumen desalojado, (Cristian Moya Villablanca, 2012).

3.2.4.2 Caracterización mecánica

Flexión

Las probetas obtenidas a partir de las diferentes placas de aglomerado fueron mecánicamente evaluada en modo flexión en tres puntos en una máquina universal Instron CONTROLS T400, con una velocidad de desplazamiento del cabezal variable siguiendo el procedimiento de ensayo descrito en la norma ASTM D790-92 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials). El desplazamiento en el punto de aplicación de carga fue medido a partir de la lectura con un transductor diferencial variable (LVDT) previamente calibrado. Un número de aproximadamente 4 probetas fueron ensayadas por placa. Previo al ensayo las muestras

fueron estabilizadas en cámara a una temperatura de 20°C y 65% de humedad ambiente durante una semana.

Tensión

Las probetas obtenidas a partir de las diferentes placas de aglomerado fueron mecánicamente evaluadas en modo tensión en una máquina universal Instron CONTROLS T400, con una velocidad de desplazamiento del cabezal variable siguiendo el procedimiento de ensayo descrito en la norma ASTM D638-92 (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics). Un número de aproximadamente 4 probetas fueron ensayadas por placa. Previo al ensayo las muestras fueron estabilizadas en cámara a una temperatura de 20°C y 65% de humedad ambiente durante una semana.

3.2.4.3 Absorción de agua e hinchamiento en agua de los materiales compuestos

Utilizando la metodología de (Desirello *et al.*, 2004), se calculó el porcentaje de absorción e hinchamiento en agua a temperatura ambiente a las 2 y 24 horas de sumergidas fue determinado sobre las muestras de materiales compuestos en condiciones anhidras (secadas en estufa a 80°C por 2 horas a peso constante). Al final de la inmersión de 2 horas, las muestras se extrajeron del agua y toda el agua de la superficie se eliminó con una tela absorbente, posteriormente el mismo procedimiento a las 24 horas de inmersión. Las muestras se pesaron al 0.01 g más cercano y se midieron al 0.001mm más cercano. El grosor de la muestra se determinó tomando una medida en una ubicación específica, el punto de cruce diagonal.

Se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Absorción de Agua} = \frac{P_H - P_S}{P_S} \times 100 \quad (3.3)$$

$$\% \text{ Hinchamiento en Agua} = \frac{e_H - e_S}{e_S} \times 100 \quad (3.4)$$

Dónde P y e son el peso y el espesor de las muestras en estado seco (S) o húmedo (H). Se obtendrán los valores como el promedio de 5 ensayos por placa de aglomerado.

3.2.4.4 Velocidad de quemado de los materiales compuestos

La velocidad de quemado de los aglomerados fue evaluado de acuerdo al procedimiento descrito en la norma ASTM D 635 03 Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position que consiste en hacer incidir una flama característica en el extremo de una probeta durante 30 segundos, un tiempo determinado en la norma, colocada en posición horizontal, que consta de una marca de dimensión conocida a 25 mm. Se evalúa con un cronómetro el tiempo requerido para que la probeta se queme esa distancia especificada y su velocidad de quemado será la distancia sobre el tiempo requerido para quemarla, ver Figura 3.5.

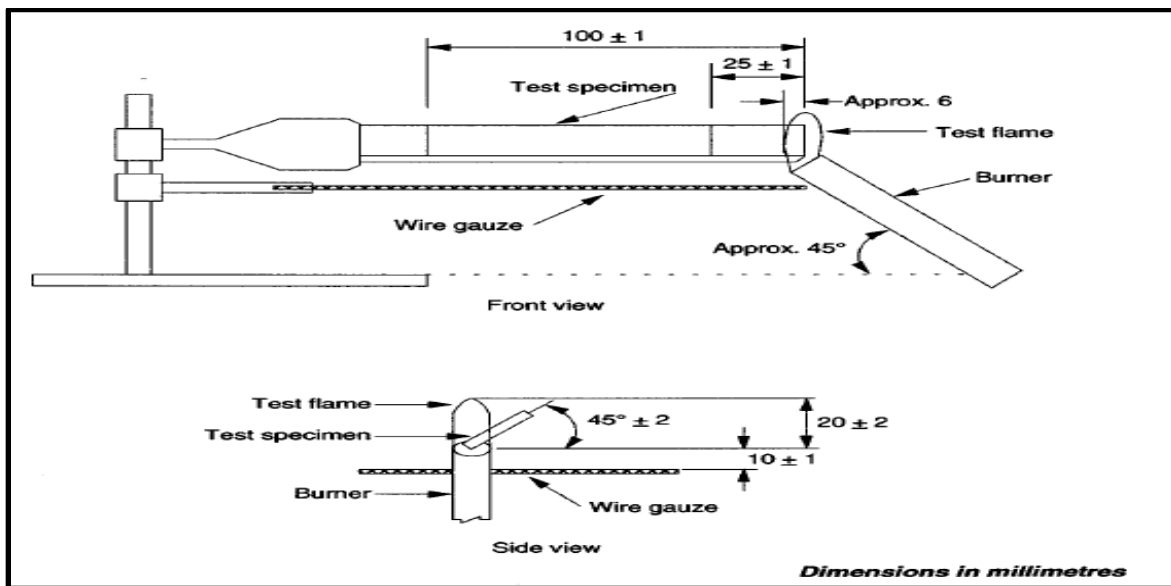


Figura 3.5 Prueba velocidad de quemado,(INTERNATIONAL, 2003).

3.2.5.5 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier

Se obtuvieron los espectros FTIR para las 8 formulaciones de los materiales compuestos en el infrarrojo medio ($650 - 4000 \text{ cm}^{-1}$), con modo en absorbancia, 16 número de barridos y una resolución de 4 cm^{-1} , con la técnica de Attenuated Total Reflection (ATR), la cual se produce cuando una radiación infrarroja entra en un cristal ATR transmisor y de alto índice de refracción. El cristal está diseñado para permitir una reflexión interna total que crea una onda evanescente sobre la superficie del cristal. Esta onda se extiende a la muestra que se mantiene en contacto íntimo con el cristal, registrándose el espectro de infrarrojo a analizar.

3.2.5.6 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) de los materiales compuestos

Las micrografías para las 8 formulaciones se obtuvieron en los 40, y 100 aumentos para poder apreciar la morfología superficial, la dispersión de la carga en la matriz, así como posibles aglomeraciones de los materiales compuestos.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la cascarilla de arroz pre tratada

Se calcularon las dimensiones medias de 20 muestras tomadas al azar de la cascarilla de arroz, para comprobar lo reportado en la literatura (Federación, 2012), (ver Figura 4.1) donde se comprobó en la Tabla 4.1 el promedio en longitud y ancho de la cascarilla de arroz.

















Medidas cascarilla de arroz			
Equipo de medición: Vernier digital		Fecha: 12/06/2018	
	Longitud: 11.43 mm. Ancho: 1.43 mm.		Longitud: 10.34 mm. Ancho: 1.83 mm.
	Longitud: 11.14 mm. Ancho: 1.92 mm.		Longitud: 10.22 mm. Ancho: 2.44 mm.
	Longitud: 11.40 mm. Ancho: 2.44 mm.		Longitud: 11.52 mm. Ancho: 3.08 mm.
	Longitud: 10.68 mm. Ancho: 2.51 mm.		Longitud: 10.67 mm. Ancho: 2.83 mm.
	Longitud: 11.56 mm. Ancho: 1.46 mm.		Longitud: 11.34 mm. Ancho: 1.62 mm.
	Longitud: 9.51 mm. Ancho: 1.50 mm.		Longitud: 11.09 mm. Ancho: 1.59 mm.
	Longitud: 10.70 mm. Ancho: 1.70 mm.		Longitud: 11.93 mm. Ancho: 2.06 mm.
	Longitud: 10.38 mm. Ancho: 1.89 mm.		Longitud: 10.24 mm. Ancho: 3.30 mm.

Figura 4.1 Medidas de cascarilla de arroz.

Tabla 4.1 Promedio medidas de la cascarilla de arroz.

	Promedio 20 muestras	Desviación estándar
Longitud	10.9165	0.4615
Espesor	2.3151	0.3439

Las características físicas más significativas de la cascarilla de arroz son las siguientes: peso específico 0,78 g/cm³; densidad aparente sin compactar 0,108 g/cm³; densidad aparente compactado 0,143 g/cm³, (López, 2015).

4.1.1 Absorción de humedad

Se lavó y coló la cascarilla de arroz (ver Figura 4.2). Se tomaron 4 muestras de cascarilla de arroz con 100g cada una y se adicionaron a 4 diferentes concentraciones de agente compatibilizante (0, 1, 2.5, 5% en volumen en agua) (ver Figura 4.3) para saber cuál es la concentración óptima a utilizar en la elaboración de los materiales compuestos. Se estableció un tiempo estándar para escurrir la cascarilla de arroz por 5 minutos.



Figura 4.2 Cascarilla de arroz lavada.

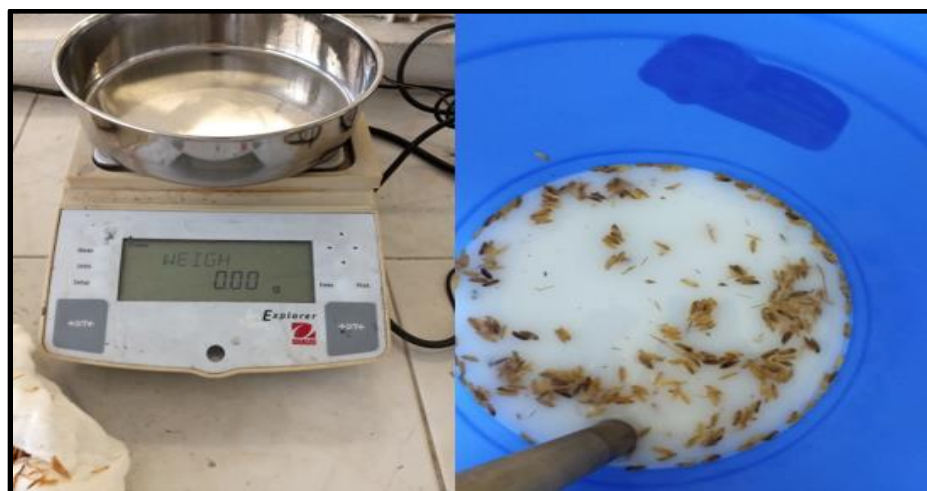


Figura 4.3 Pretratamiento de la cascarilla de arroz.

Las muestras se secaron en el horno por 4 horas a 80°C (ver Figura 4.4).



Figura 4.4 Cascarilla de arroz con tratamiento con agente compaibilizante en horno a 80°C.

En la Tabla 4.2 se observan los datos obtenidos de absorción de humedad, se pudo determinar que la cascarilla de arroz a 2.5%, 3.5%, 4.5% y 5% muestran mayor propiedad hidrofóbica que la de 1% tratada con poli acetato de vinilo y sin tratamiento. Cuando se le adiciona el 1 % de agente compatibilizante, permanece la concentración de humedad constante, indicando indirectamente que a esa concentración el polímero compatibilizante no ha podido cubrir la superficie de la cascarilla y sigue la humedad penetrando la cascarilla de arroz. Al aplicar un 2.5 %, la absorción de humedad se ve disminuida, probablemente porque el agente acoplante ya cubrió toda la superficie de la cascarilla (ver Figura 4.5), es decir la parte alifática del PVAc se orienta hacia el exterior en contacto con la humedad. A ésta concentración de 2.5 % es cuando se logra la menor absorción de humedad, condición importante para el desempeño de los aglomerados. Por lo que, se pensó inicialmente pensar que esa sería la concentración óptima contra la humedad.

Tabla 4.2 Porcentaje de absorción de humedad de la cascarilla de arroz.

Cascarilla de arroz:	Promedios	Desviación estándar
Sin tratamiento de agente compatibilizante	4.33%	1.052
Agente compatibilizante al 1%	4.33%	.7922
Agente compatibilizante al 2.5%	3%	.0020
Agente compatibilizante al 3.5%	3.33%	1.0012
Agente compatibilizante al 4%	3.50%	1.0040
Agente compatibilizante al 5%	3.33%	1.025

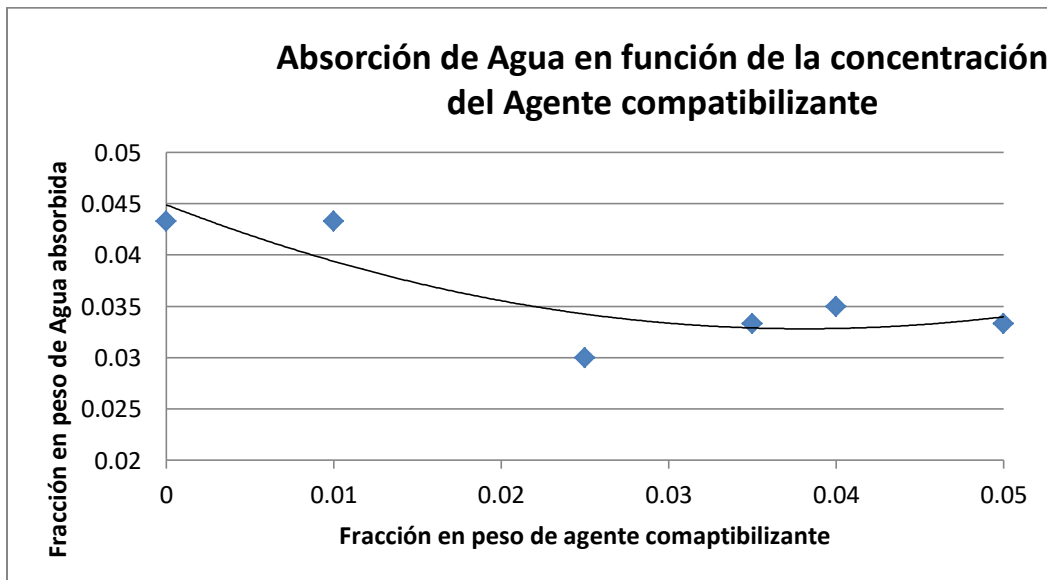


Figura 4.5 Gráfico porcentaje de absorción de humedad de la cascarilla de arroz.

4.1.2 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier

En los siguientes espectros infrarrojos se observan los cambios en los grupos funcionales de la cascarilla de arroz con los dos tipos de agentes compatibilizantes PVA y PVAc, a 4 diferentes concentraciones (0, 1, 2.5, 5% en volumen en agua). En el espectro 1a) se presenta el FTIR del poli alcohol vinílico para conocer sus grupos funcionales. En la Figura 4.6 a) se encuentra el espectro del PVA en donde se aprecia la señal predominante del PVA, de los alcoholes que aparecen en 3575 cm^{-1} . Además de las señales correspondientes, aparecen las señales en $720\text{-}740\text{ cm}^{-1}$ debido al movimiento alternado del CH_2 , así mismo en la señal $2900\text{-}2999\text{ cm}^{-1}$ estiramiento asimétrico simétrico del CH_2 , como tijereteo del CH_2 a $1470\text{-}1445\text{ cm}^{-1}$. El pico de vibración que aparece aproximadamente en 1340 cm^{-1} corresponde a C-H. Los picos pertenecientes a C-O EN 1260 cm^{-1} y el estiramiento C-C 1100 cm^{-1} de PVA también se detectan en el espectro. En los espectros de la Figura 4.6 1b) se muestran la absorbancia de los grupos funcionales de la cascarilla tratada con Agente compatibilizante (PVA) a diferentes concentraciones tomado de la superficie interna de la cascarilla y c) la cascarilla tratada con Agente compatibilizante (PVA) a diferentes concentraciones tomado de la superficie externa. Como se puede observar en esta figura no varían los espectros correspondientes a la cascarilla de arroz pura con las pretratadas (ver Figura 4.6). Dado que el PVA tiene bastantes grupos OH en el polímero, y estos no se ven reflejados en la señal a aproximadamente 3500 cm^{-1} , se determina que este pretratamiento no es efectivo, es decir, no existe evidencia de que quede el PVA en la superficie.

Mientras que en la Figura 4.7 a) se muestra el espectro del FTIR del PVAc, los espectros FTIR de la cascarilla tratada con Agente compatibilizante (PVAc) a diferentes concentraciones tomado de la superficie interna de la cascarilla se muestran en la sección b) y c) de la cascarilla tratada con Agente compatibilizante (PVAc) a diferentes concentraciones tomado de la superficie externa.

La cascarilla de arroz sin tratar presenta la vibración de estiramiento de los grupos intermoleculares unidos por hidrógeno -OH en las fibras de celulosa. En la señal a 1700 cm^{-1} aproximadamente aparece en la superficie externas de las cáscaras de arroz no tratadas se

debe a la vibración de carbonilo de grupos carboxílicos en el enlace éster según lo propuesto por cera y grasas naturales. El pico más grande en el espectro muestra grupos funcionales de Si-O-Si a 1096 cm^{-1} y Si-H alrededor de los $801\text{-}469\text{ cm}^{-1}$, (Nakbanpote, Goodman, & Thiravetyan, 2007).

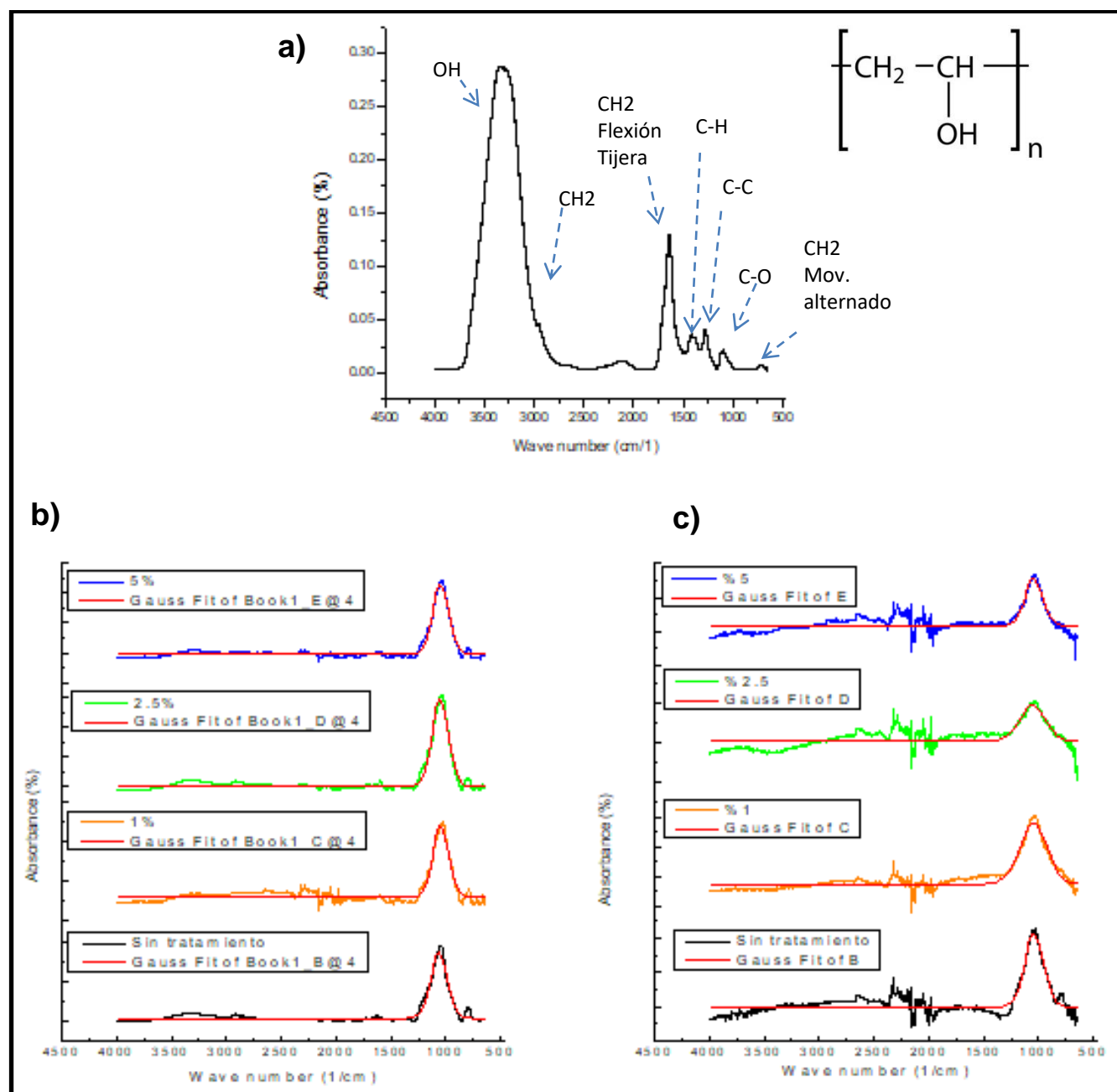


Figura 4.6 Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVA: a) Agente compatibilizante (PVA), b) PVA a diferentes concentraciones en la superficie interna y c) PVA a diferentes concentraciones en la superficie externa.

En la Figura 4.7 a) se encuentra el espectro del PVAc en donde se aprecia la señal a 1700 cm^{-1} que representa el grupo carbonilo C=O, el grupo predominante del PVAc. Las señales correspondientes al agente compatibilizante, aparecen en las señales $720\text{-}740\text{ cm}^{-1}$ debido al movimiento alternado del $\text{CH}_2\text{-CH}_3$, así mismo en la señal $2900\text{-}2999\text{ cm}^{-1}$ estiramiento asimétrico simétrico del CH_2 , como tijereteo del $\text{CH}_2\text{-CH}_3$ a $1470\text{-}1445\text{ cm}^{-1}$. El pico de vibración que aparece aproximadamente en 1340 cm^{-1} corresponde a C-H. Los picos se atribuyen a C-O en 1260 cm^{-1} y el estiramiento C-C 1100 cm^{-1} de PVAc también se detecta en el espectro.

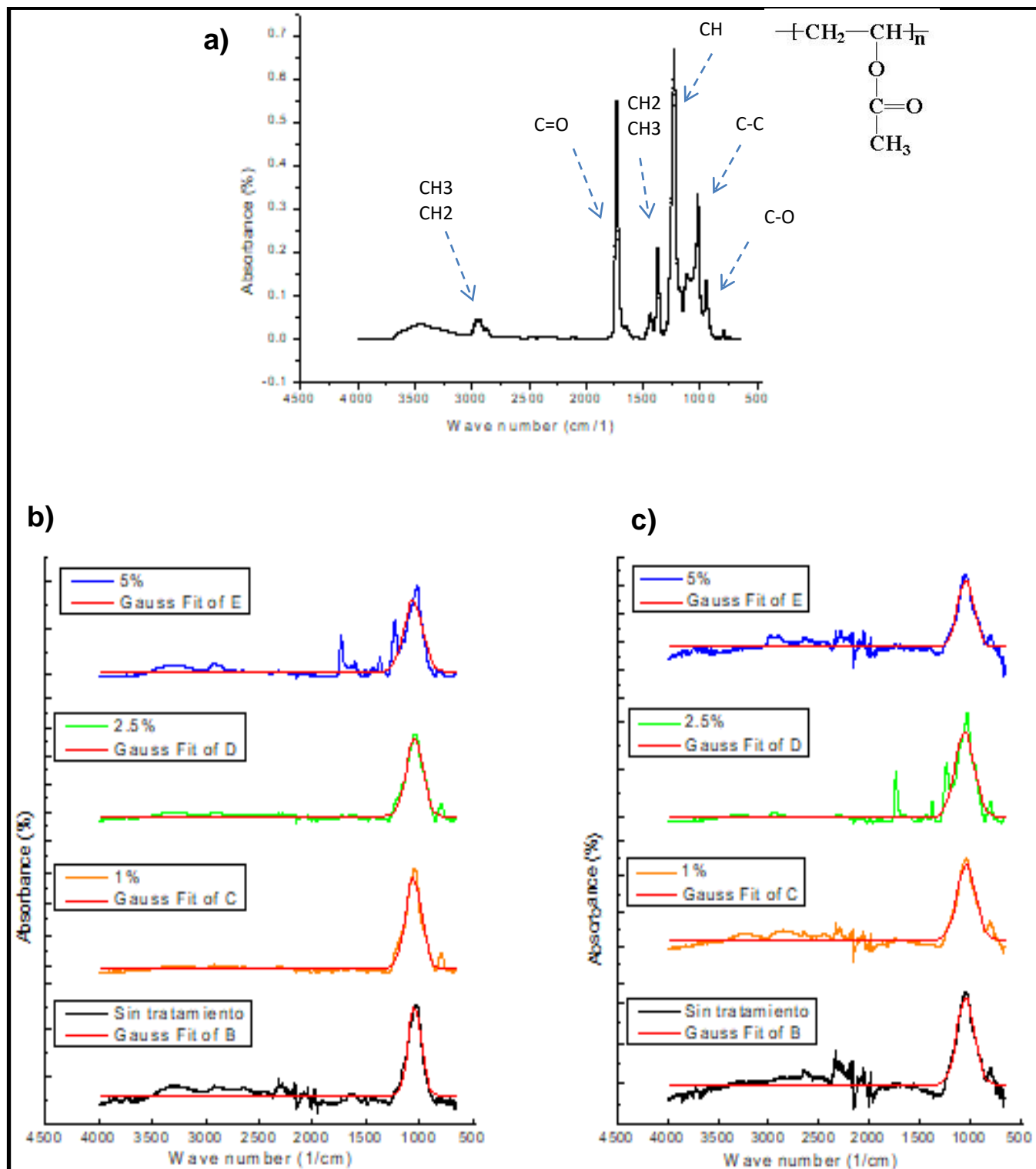


Figura 4.7 Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVAc: a) Agente compatibilizante (PVAc), b) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie interna y c) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie externa.

En la Figura 4.7 b) y c) se muestran cambios en los picos a 1635 cm^{-1} - 1750 cm^{-1} en 5 y 2.5% de concentración tanto en la parte interna como en la parte externa de la cascarilla de arroz respectivamente que se atribuyen a la vibración de alargamiento $\text{C}=\text{O}$, lo que confirma cambio en la estructura superficial de la, es decir, sí hay depósito físico del compatibilizante. Estos resultados proponen como cantidad óptima de concentración de 3.5% en volumen para el PVAc, y así obtener un óptimo recubrimiento de la cascarilla de arroz tanto interna como externamente (ver Figura 4.8).

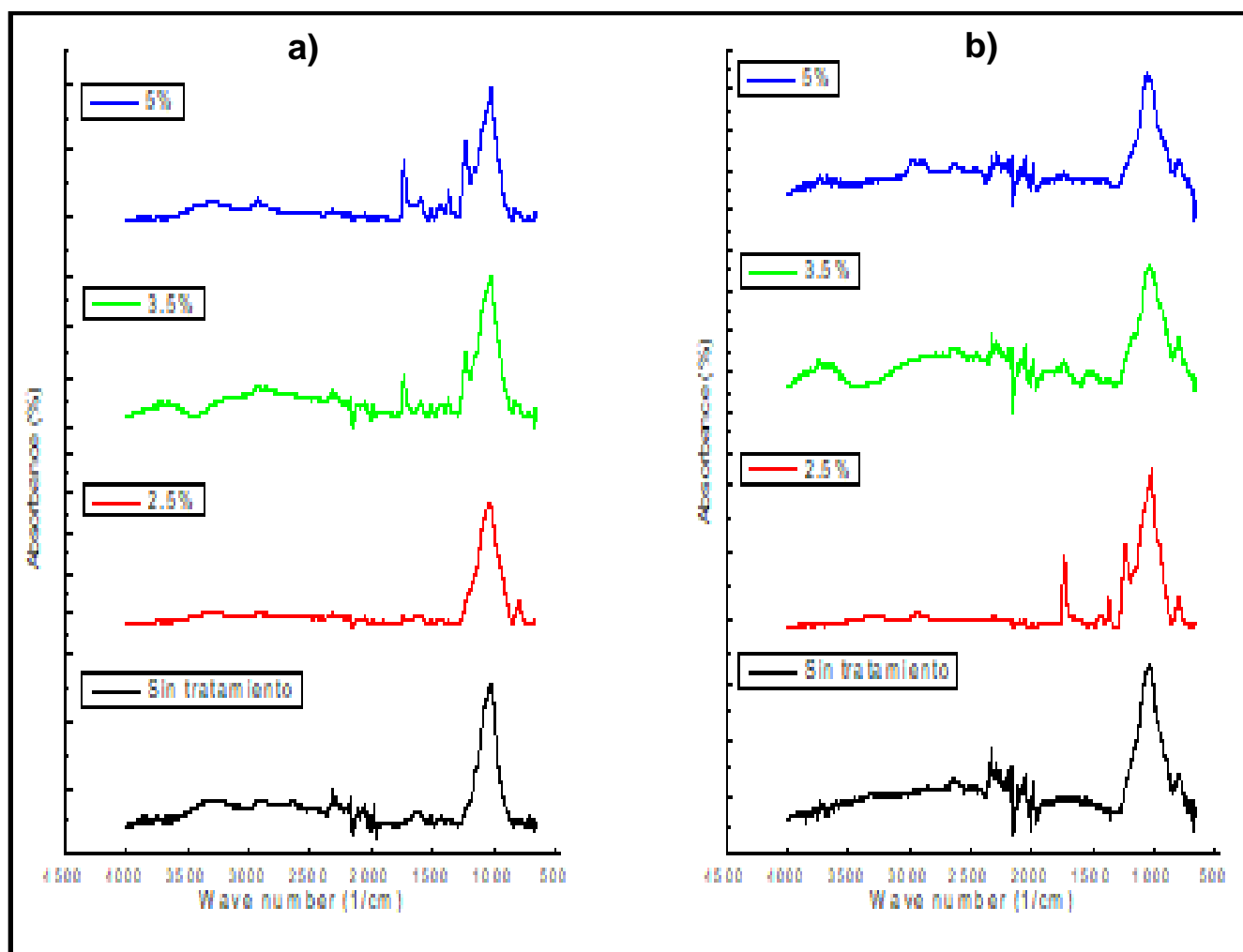


Figura 4.8 Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVAc a 3.5% comparado con 0%, 2.5%, 5%: a) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie interna y b) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie externa de la cascarilla de arroz.

Como se muestra en los espectros de la Figura 4.9 a una concentración de 4% de tratamiento con PVAc la cascarilla de arroz muestra un depósito del agente compatibilizante, como se ve reflejada en la señal de $1700-1750\text{ cm}^{-1}$ en donde se aprecia el grupo funcional carbonilo en una adecuada concentración en la cascarilla de arroz en la parte externa e interna.

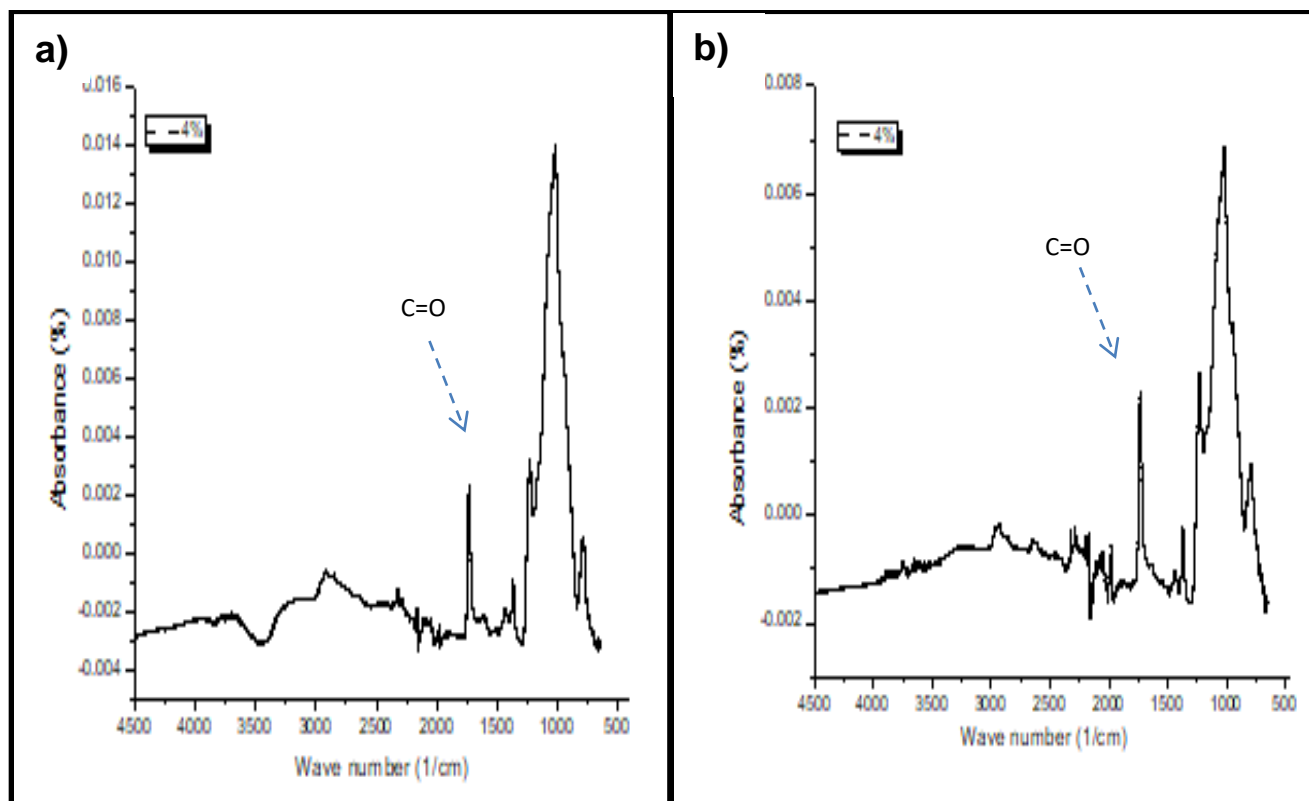


Figura 4.9 Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVAc a 4%; a) PVAc en la superficie interna y b) PVAc en la superficie externa de la cascarilla de arroz.

4.1.3 Microscopía óptica

Las imágenes muestran cambios superficiales con el PVAc a concentraciones de 2.5, 4% y 5%, tales que se ve cómo dependiendo el porcentaje de agente compatibilizante la capa superficial se va haciendo más lisa y recubriendo los poros de la misma, mostrando que sí hay buena interacción entre el agente compatibilizante y la cascarilla de arroz (ver Figura 4.10 a, b, c, d.).

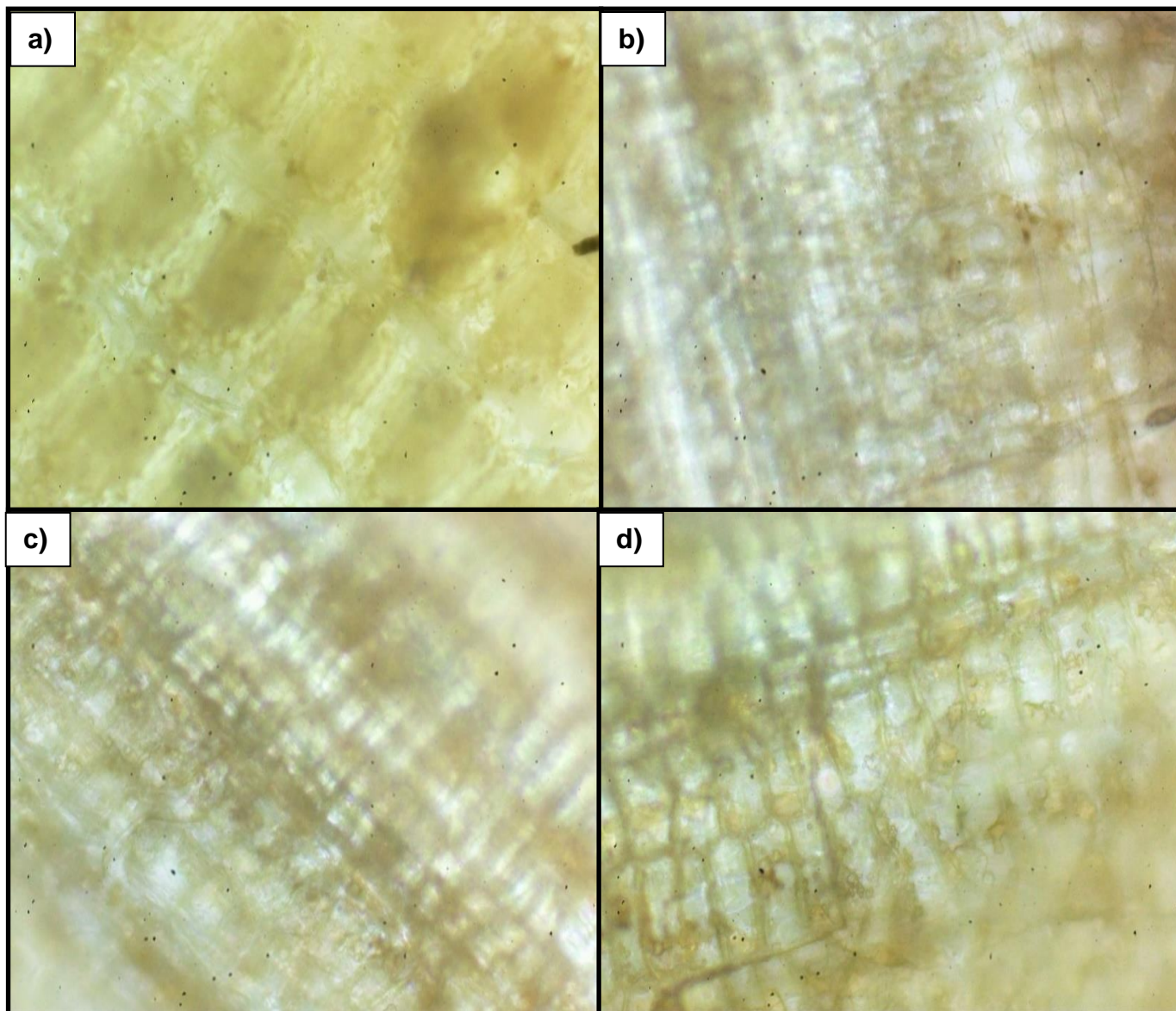


Figura 4.10 a) Fotografía con microscopio óptico de la cascarilla de arroz sin tratamiento (40x), **b)** Fotografía con microscopio óptico de la cascarilla de arroz tratada a 2.5 % con PVAc, **c)** Fotografía con microscopio óptico de la cascarilla de arroz tratada a 4 % con PVAc (40x), **d)** Fotografía con microscopio óptico de la cascarilla de arroz tratada al 5 % con PVAc (40x).

4.2 Caracterización resina fenólica

Se caracterizó la resina comercial mediante FTIR para conocer los grupos funcionales y comprobar los mismos para un mejor conocimiento de la misma, ver Figura 4.11 y Figura 4.12.

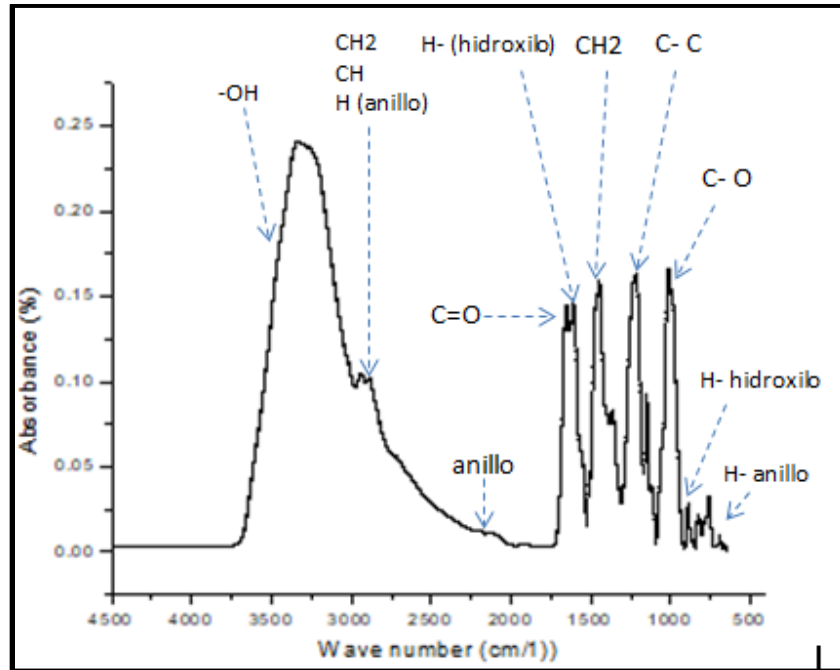


Figura 4.11 Espectro FTIR resina FR 2786 liquida.

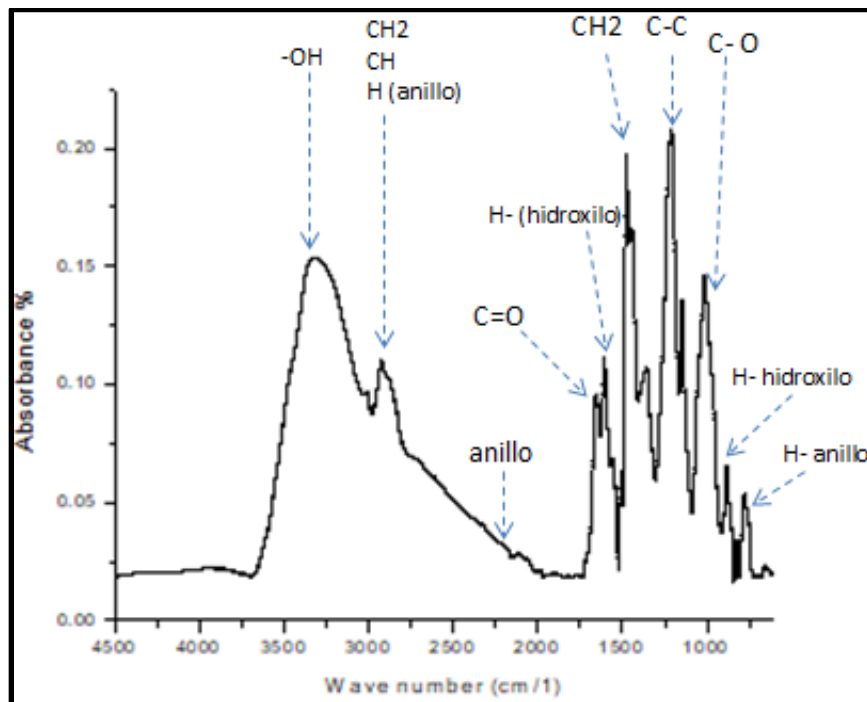


Figura 4.12 Espectro FTIR resina FR 2786 curada.

4.3 Obtención de los materiales compuestos

Se utilizarán tres presiones de moldeo (6.5, 10, 1.2 BAR), cuatro concentraciones de resina (25, 30, 35, 40% en volumen), con y sin agente compatibilizante (2.5, 4, 5%) y temperatura de curado (120, 130°C) ver variables de metodología en Tabla 4.3, (ver Figura 4.13).

Tabla 4.3. Diseño experimental.

		Temperatura							
		120°C				130°C			
		Concentración de resina							
Tratamiento	Presión	A 25%	B 30%	C 35%	D 40%	A 25%	B 30%	C 35%	D 40%
A 0%	A 6.5 BAR	1	13	25	37	49	61	73	85
	B 10 BAR	2	14	26	38	50	62	74	86
	C 12 BAR	3	15	27	39	51	63	75	87
B 2.5%	A 6.5 BAR	4	16	28	40	52	64	76	88
	B 10 BAR	5	17	29	41	53	65	77	89
	C 12 BAR	6	18	30	42	54	66	78	90
C 4%	A 6.5 BAR	7	19	31	43	55	67	79	91
	B 10 BAR	8	20	32	44	56	68	80	92
	C 12 BAR	9	21	33	45	57	69	81	93
D 5%	A 6.5 BAR	10	22	34	46	58	70	82	94
	B 10 BAR	11	23	35	47	59	71	83	95
	C 12 BAR	12	24	36	48	60	72	84	96



Figura 4.13 Material compuesto elaborado a partir de cascarilla/resina fenólica.

4.4 Caracterización de los materiales compuestos

4.4.1 Densidad aparente

La densidad aparente de los aglomerados fue obtenida pesando y midiendo el volumen de las placas inmediatamente después de ser extraídas de la prensa. Los resultados de densidad aparente sobre los materiales compuestos obtenidos, arrojaron los resultados mostrados en la Tabla 4.4 y comparados en las gráficas mostradas en las Figuras 4.14 – 4.25 en las cuales se muestra el efecto de la concentración del agente acoplante en las cuales se muestra un aumento un poco significativo de la densidad en cuánto aumenta la concentración del agente acoplante, sin embargo se puede observar en las Figuras 4.26 - 4.33, en las cuales se observa la variación de la densidad aparente en función del contenido de adhesivo y presión aplicada durante el prensado, respectivamente. Al aumentar el contenido de adhesivo, pero iguales valores de presión, se observa un leve aumento en la densidad aparente de los materiales compuestos. Como era de esperar, la densidad aparente de los aglomerados crece notoriamente a medida que la presión aplicada durante el prensado aumenta.

Tabla 4.4. Resultados de la de densidad aparente para los materiales compuestos caracterizados (gr/cm3).

DENSIDAD ESPECÍFICA		Temperatura																																															
		120° C								130° C																																							
		Concentración de resina																																															
Tratamiento	Presión	A 25%				B 30%				C 35%				D 40%				A 25%				B 30%				C 35%				D 40%																			
A 0%	A 6.5 BAR	1	0.4515	13	0.4927	25	0.5075	37	0.5453	49	0.4575	61	0.4722	73	0.5161	85	0.5064	2	0.4757	14	0.5109	26	0.5653	38	0.5904	50	0.5064	62	0.5082	74	0.5249	86	0.5782	3	0.5052	15	0.5124	27	0.5678	39	0.5953	51	0.5025	63	0.5296	75	0.5839	87	0.5966
	B 10 BAR	4	0.4615	16	0.4730	28	0.5133	40	0.5804	52	0.4944	64	0.4989	76	0.4928	88	0.6042	5	0.4780	17	0.5501	29	0.5782	41	0.5836	53	0.5044	65	0.5408	77	0.5472	89	0.6446	6	0.4930	18	0.5792	30	0.5802	42	0.5976	54	0.4898	66	0.5656	78	0.5714	90	0.6446
	C 12 BAR	7	0.4630	19	0.5037	31	0.5044	43	0.5948	55	0.4569	67	0.4785	79	0.4828	91	0.5140	8	0.4970	20	0.5547	32	0.6379	44	0.6441	56	0.4962	68	0.5045	80	0.5648	92	0.5814	9	0.4983	21	0.5953	33	0.6518	45	0.6518	57	0.5286	69	0.5266	81	0.5746	93	0.5878
B 2.5%	A 6.5 BAR	10	0.4664	22	0.4898	34	0.5795	46	0.6242	58	0.5063	70	0.4884	82	0.4996	94	0.5580	11	0.4890	23	0.5656	35	0.5870	47	0.6442	59	0.5272	71	0.5396	83	0.5786	95	0.5633	12	0.5124	24	0.5867	36	0.5940	48	0.6913	60	0.5403	72	0.567	84	0.6018	96	0.6090
	B 10 BAR																																																
	C 12 BAR																																																

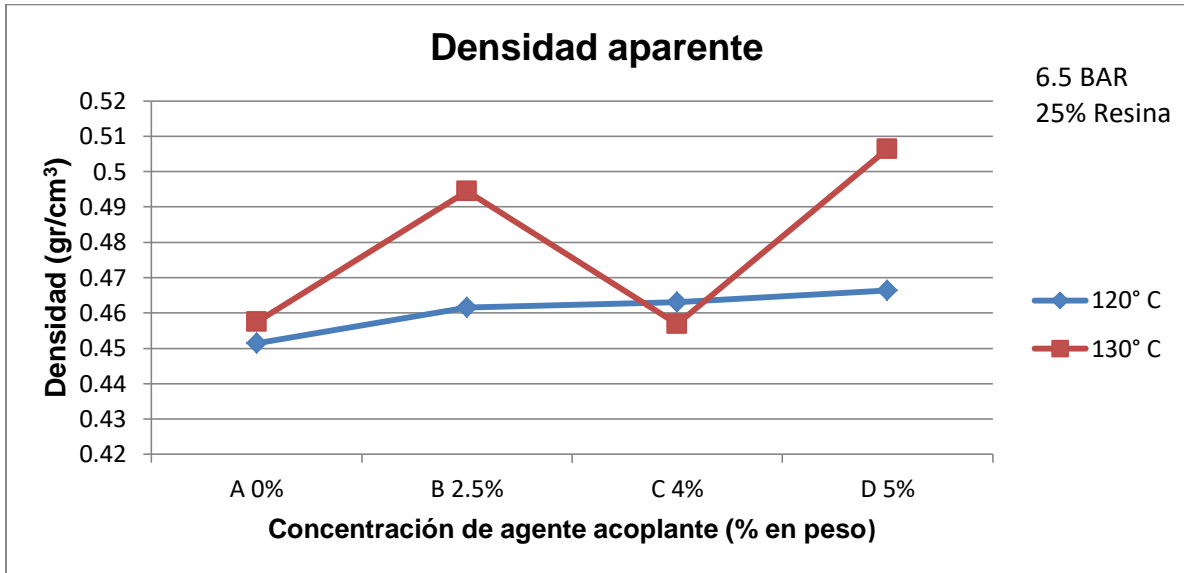


Figura 4.14 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 6.5 Bar y 25% de resina fenólica.

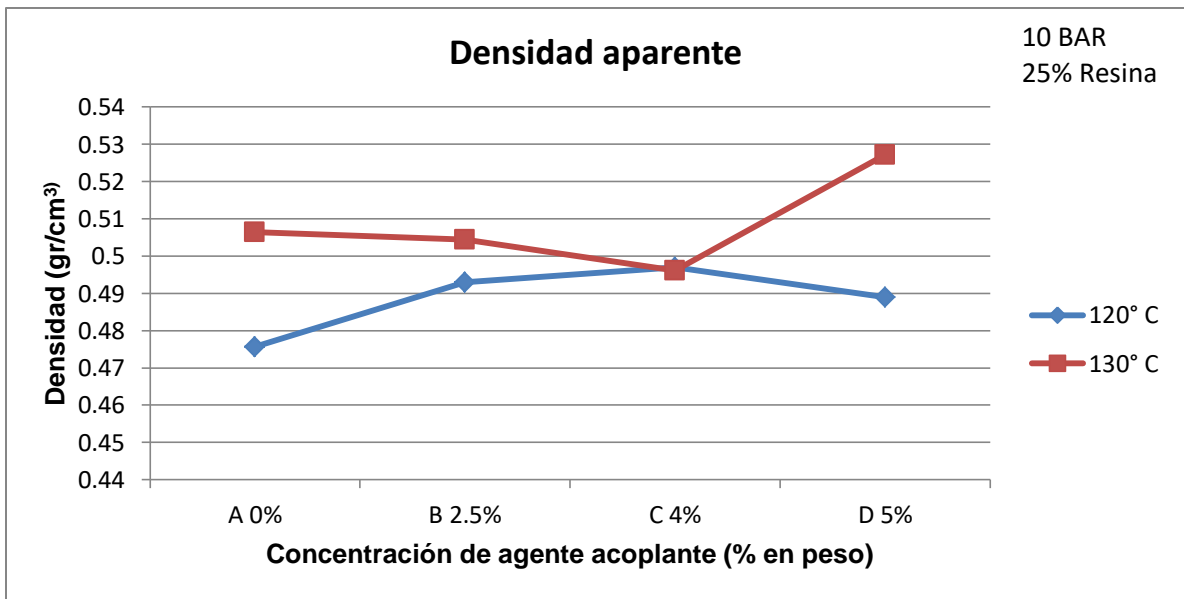


Figura 4.15 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 10 Bar y 25% de resina fenólica.

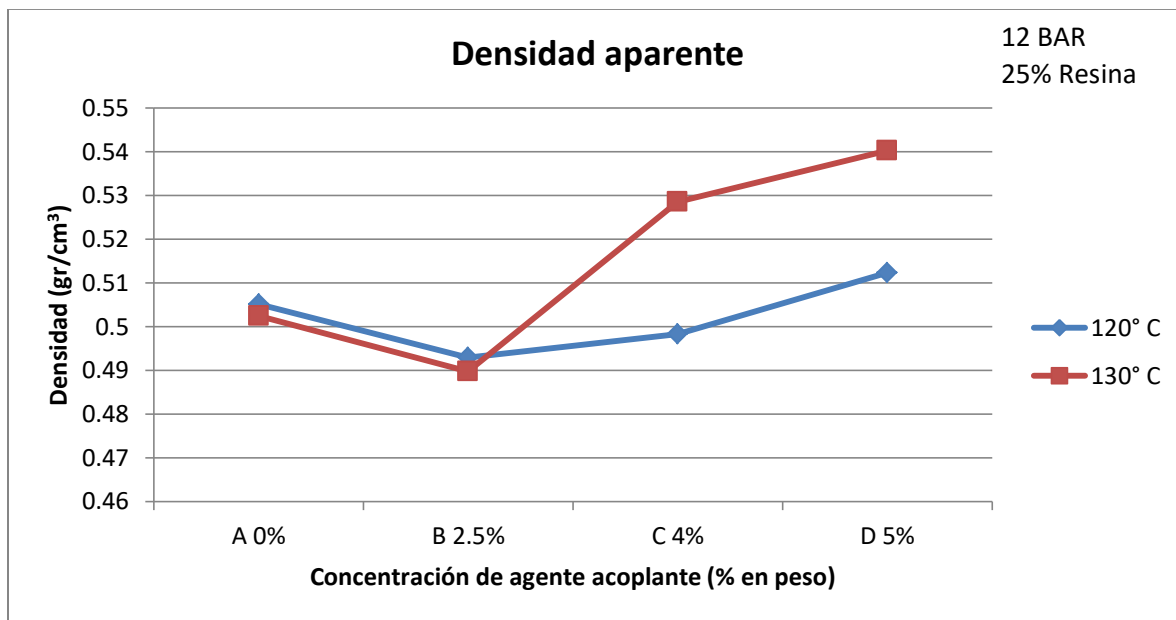


Figura 4.16 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 12 Bar y 25% de resina fenólica.

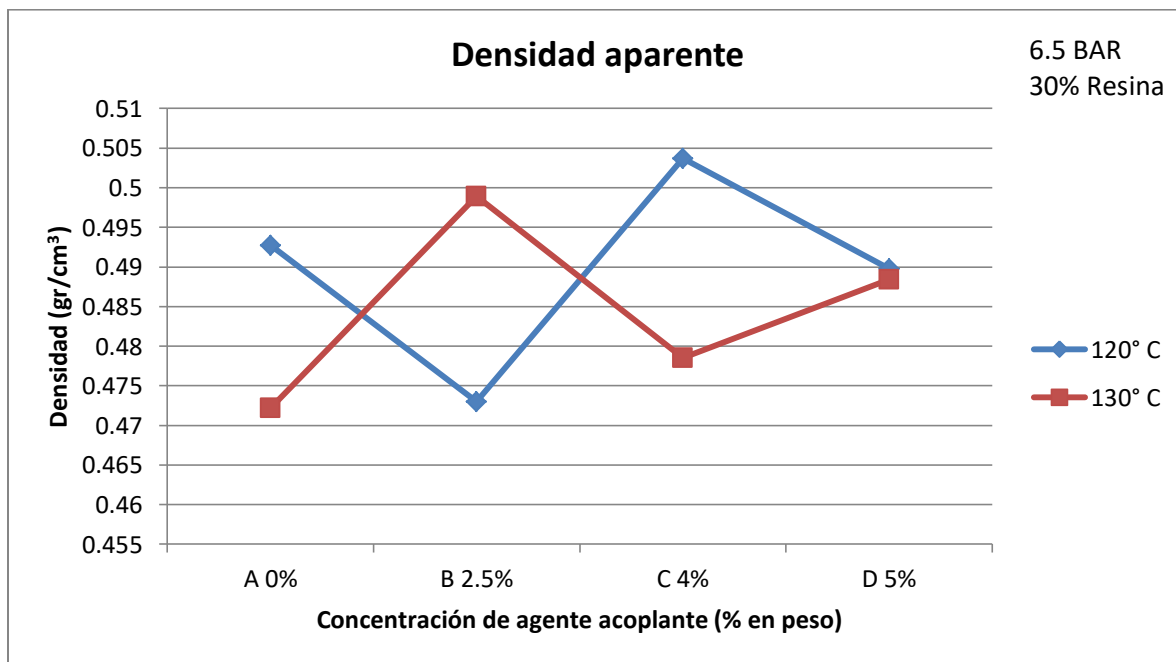


Figura 4.17 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica.

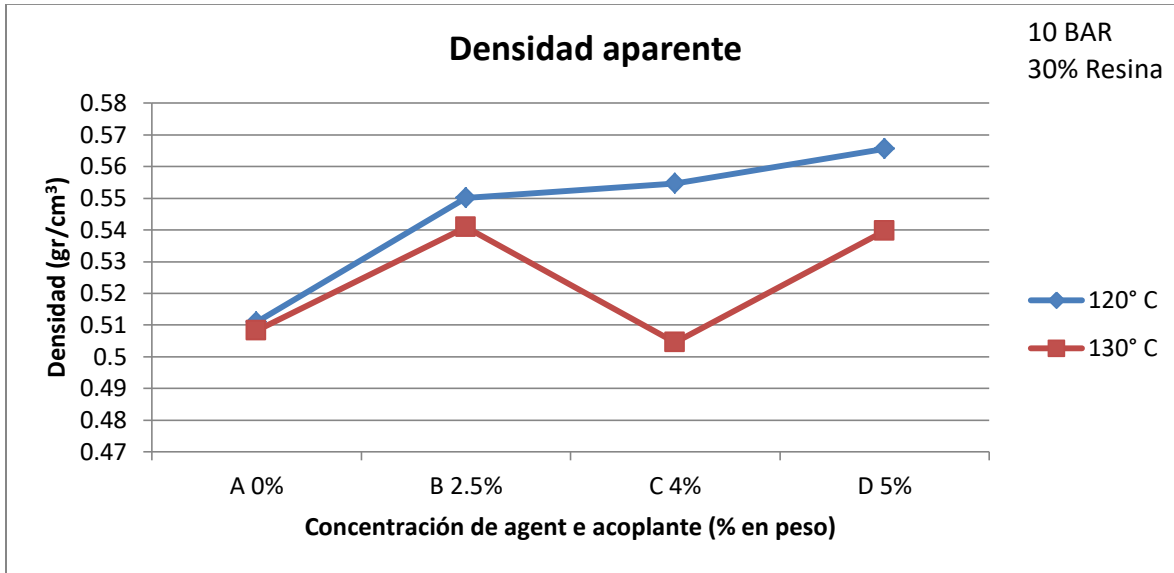


Figura 4.18 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 10 Bar y 30% de resina fenólica.

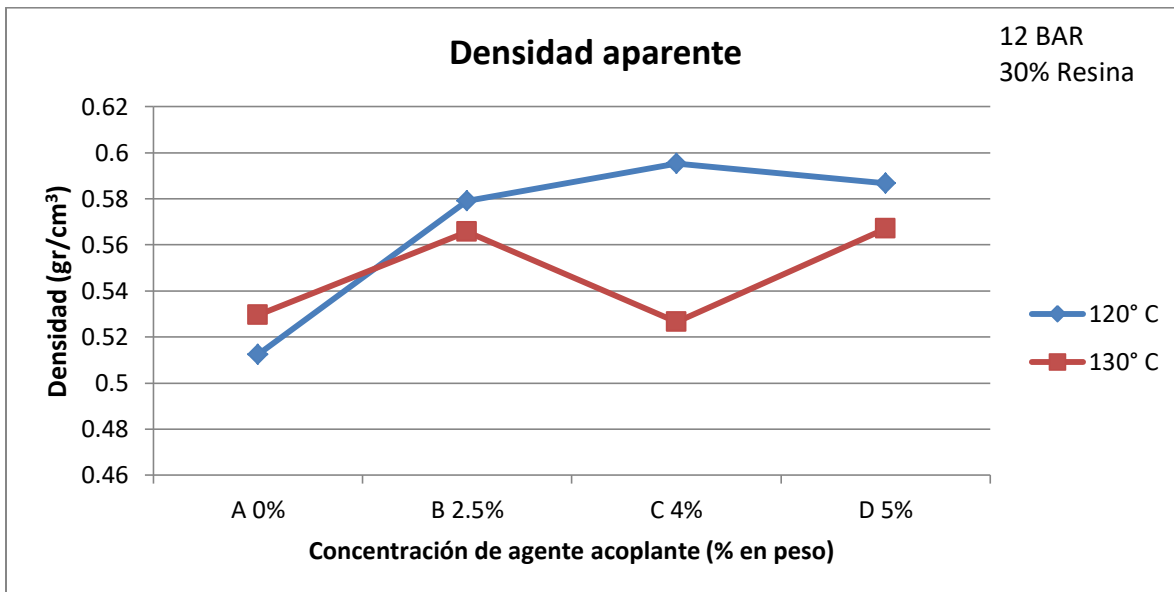


Figura 4.19 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 12 Bar y 30% de resina fenólica.

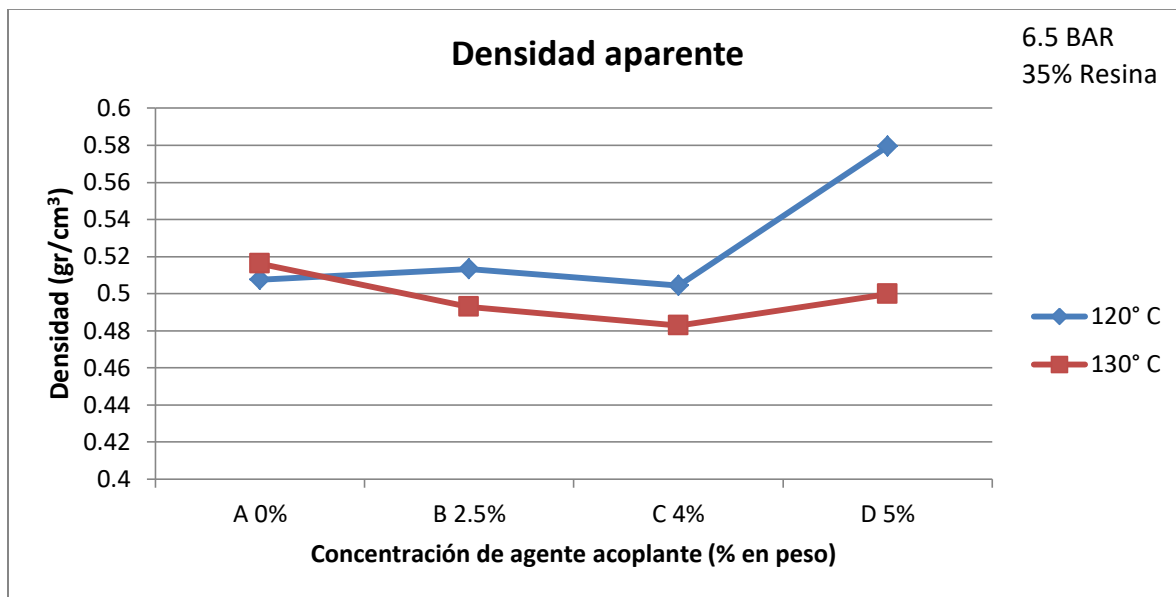


Figura 4.20 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica.

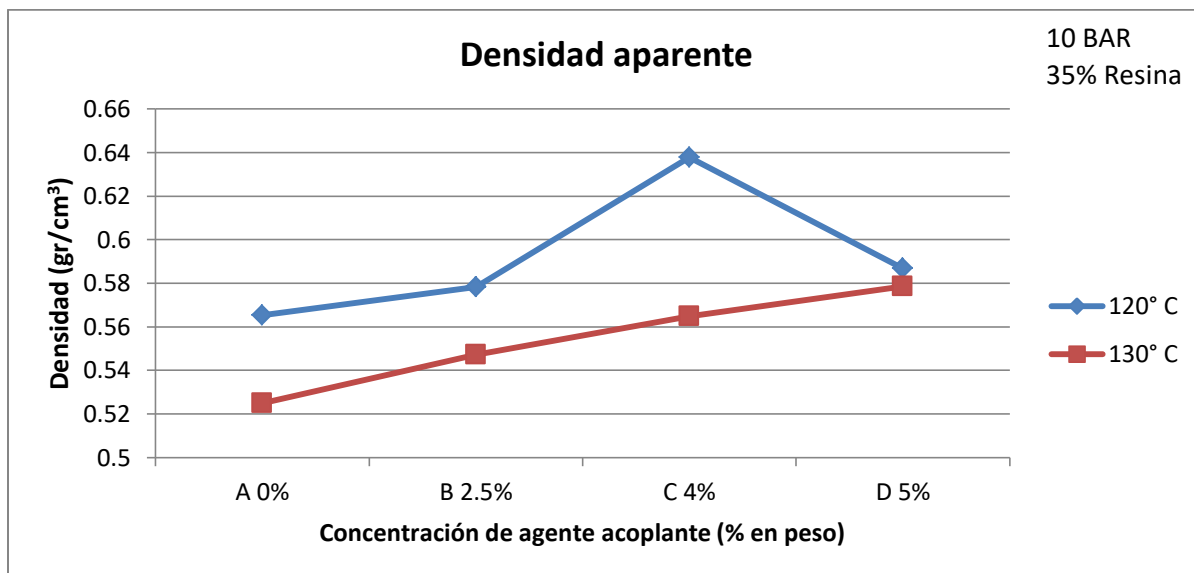


Figura 4.21 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 10 Bar y 35% de resina fenólica.

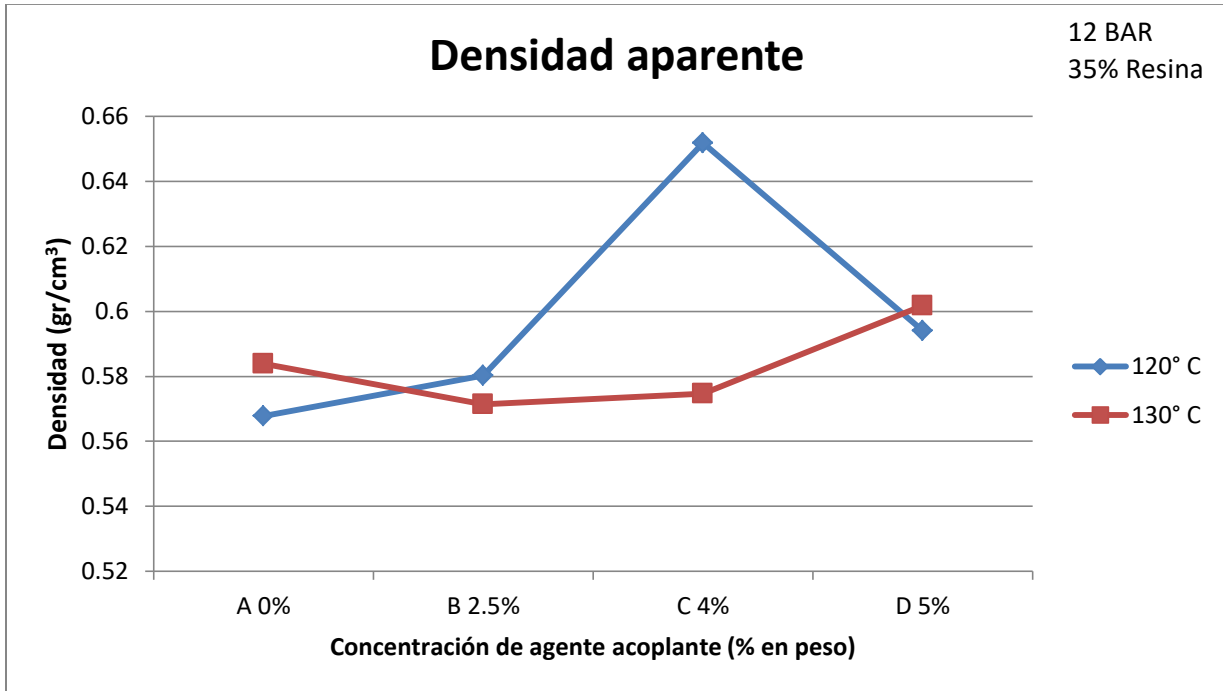


Figura 4.22 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 12 Bar y 35% de resina fenólica.

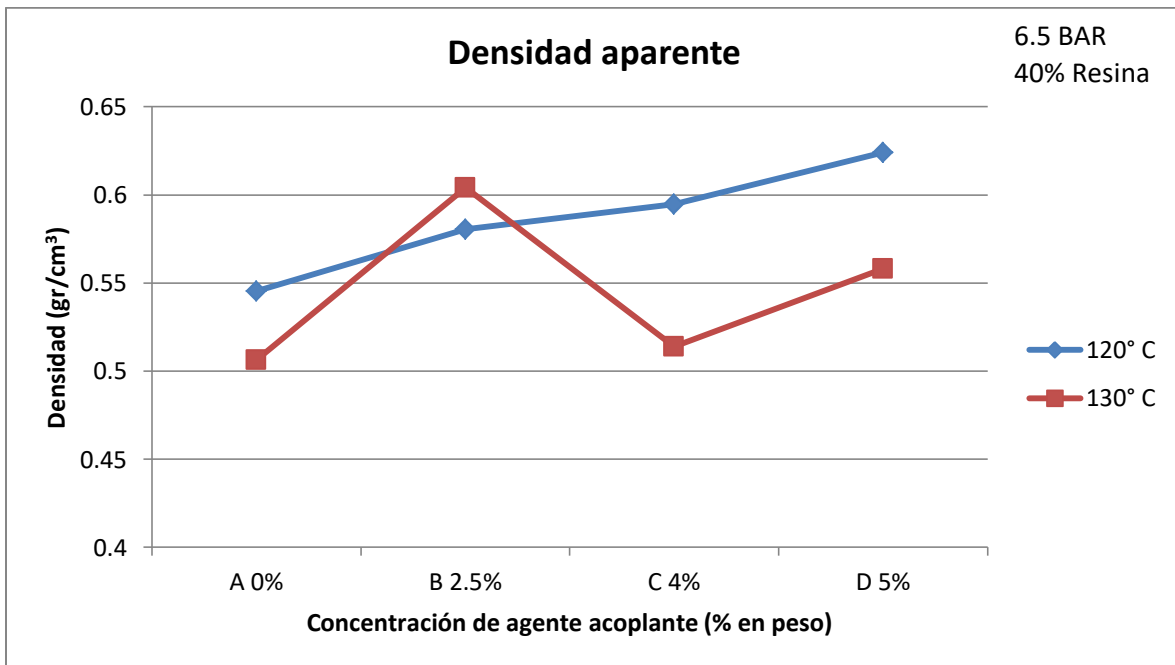


Figura 4.23 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 6.5 Bar y 40% de resina fenólica.

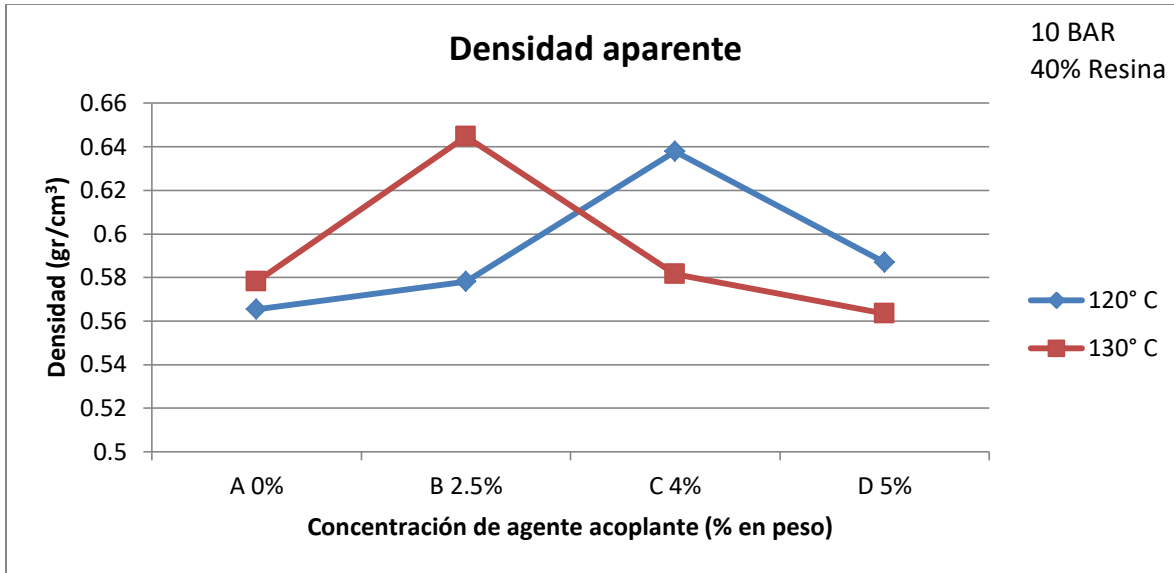


Figura 4.24 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 10 Bar y 40% de resina fenólica.

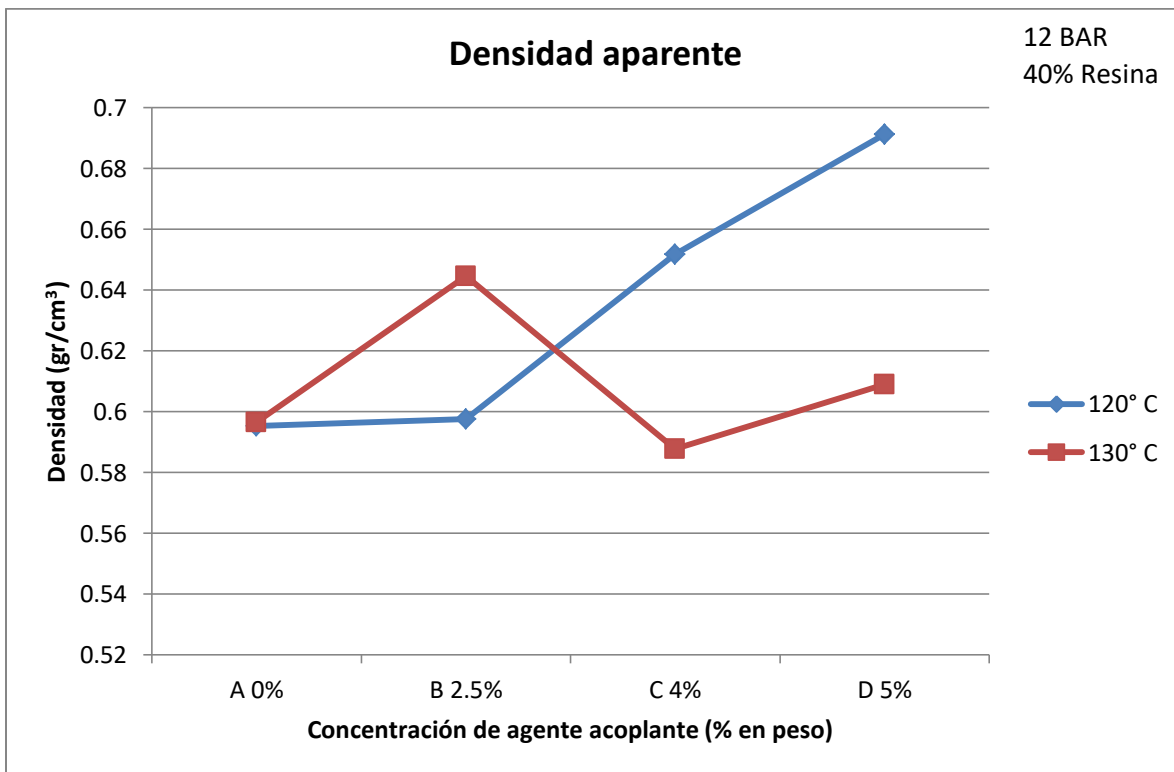


Figura 4.25 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en la densidad del material compuesto, a 12 Bar y 40% de resina fenólica.

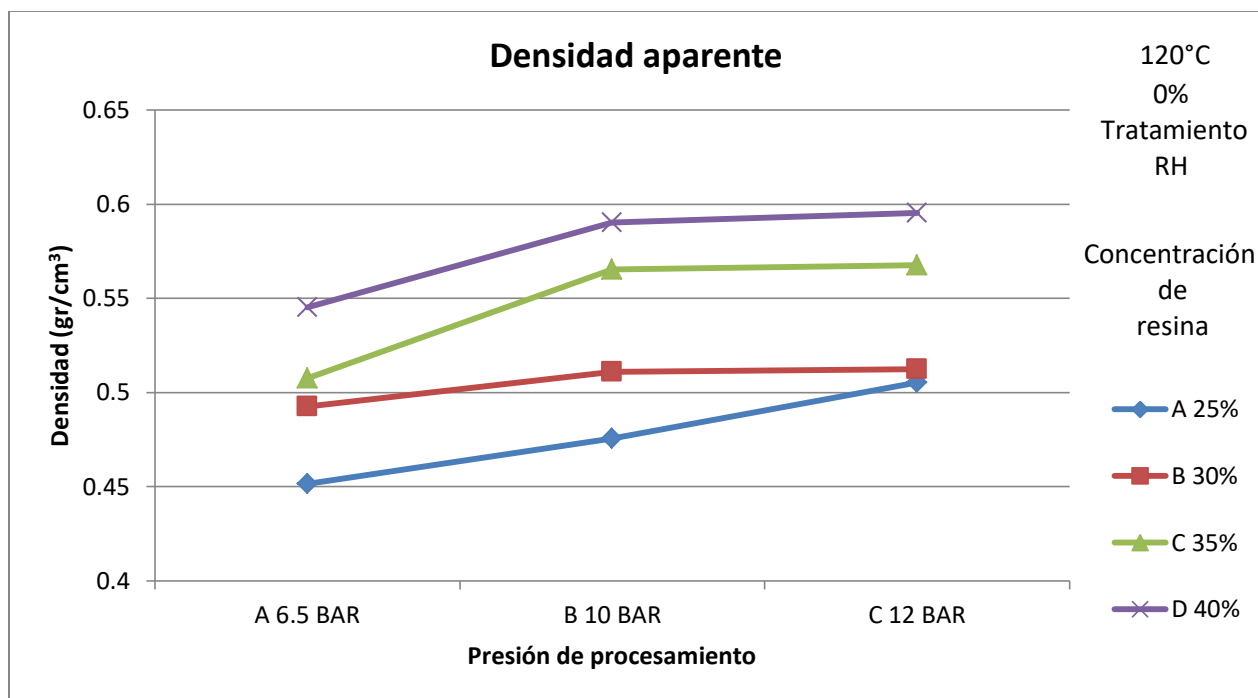


Figura 4.26 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

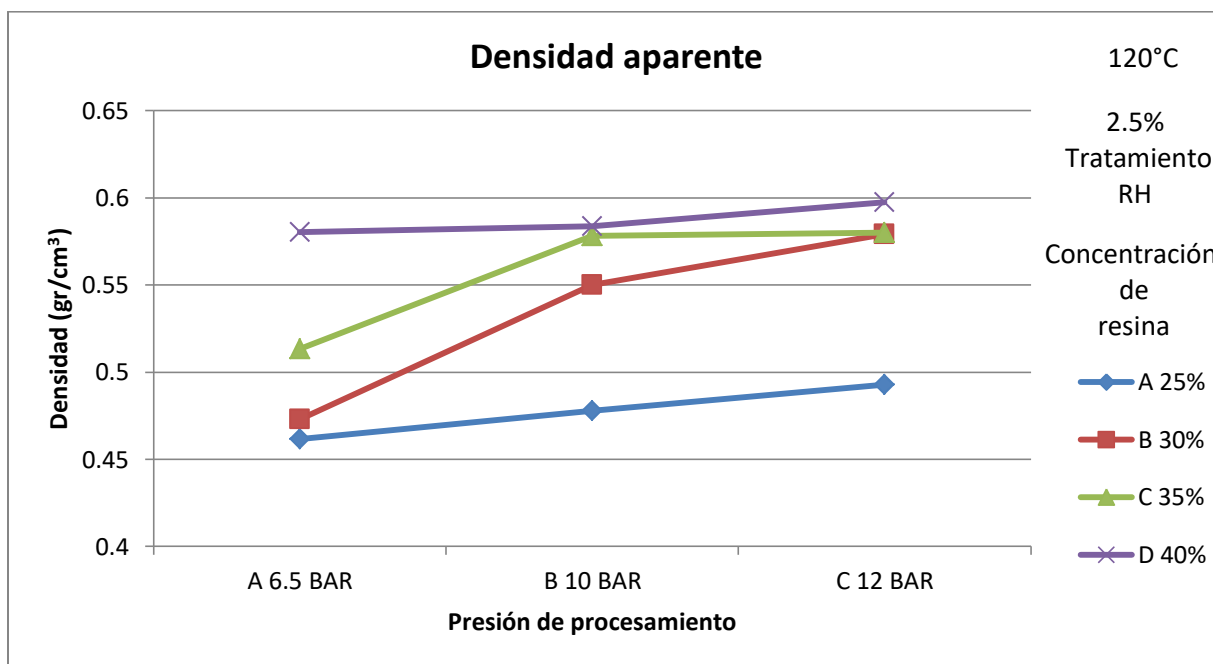


Figura 4.27 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

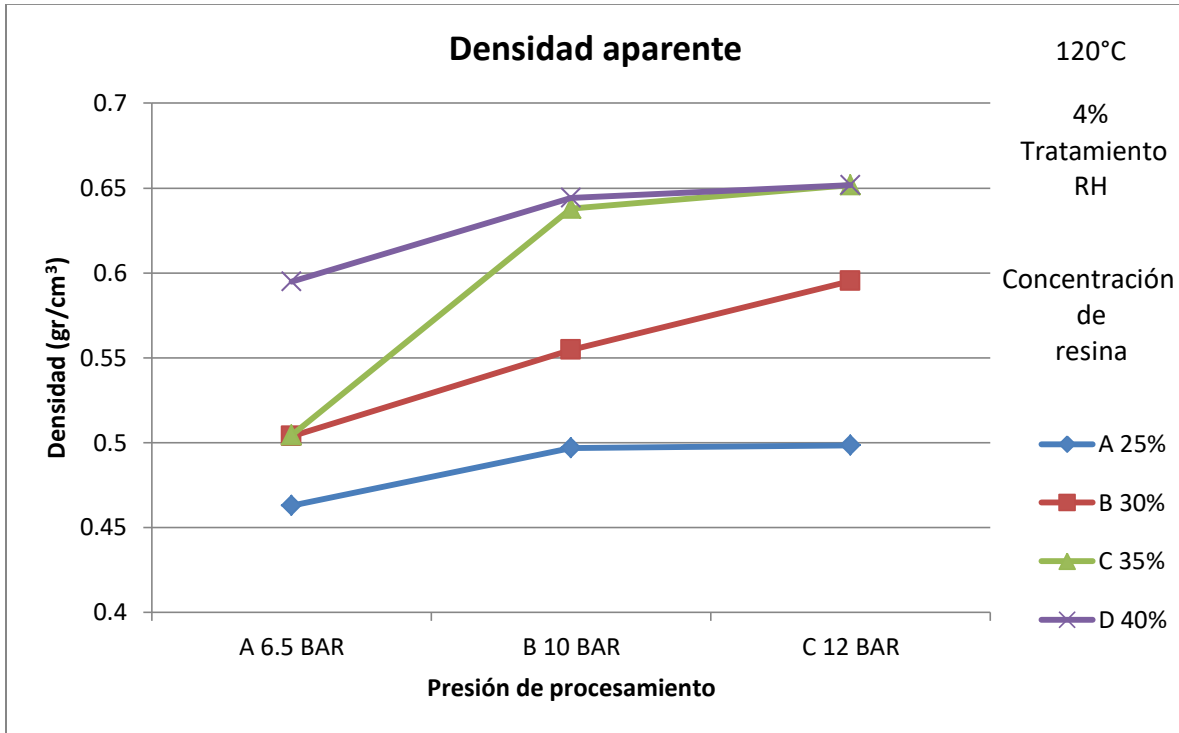


Figura 4.28 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

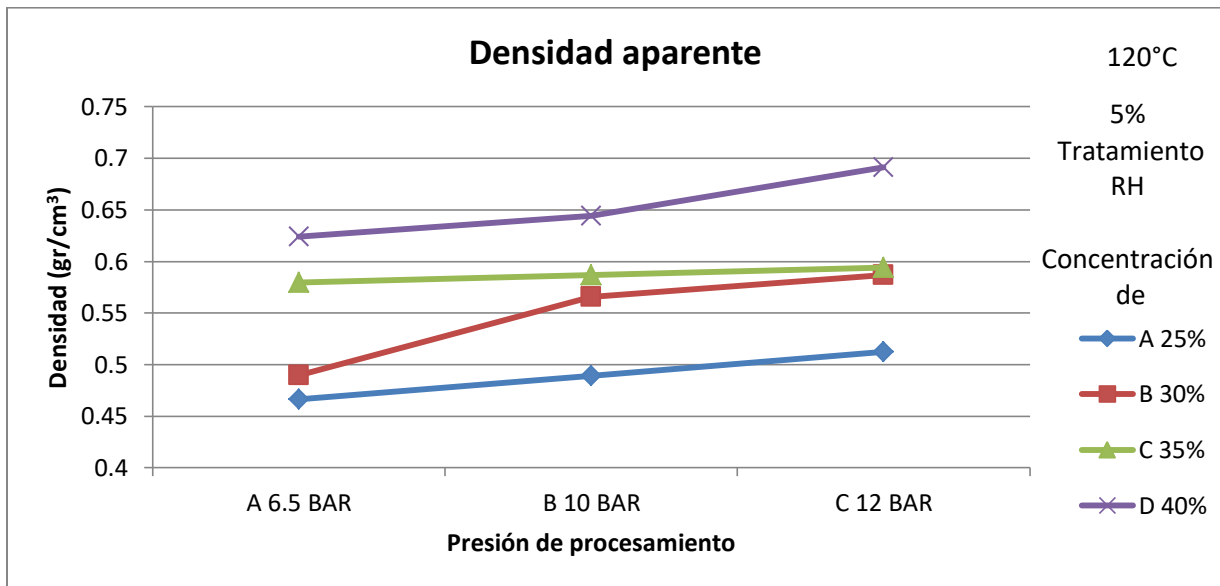


Figura 4.29 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

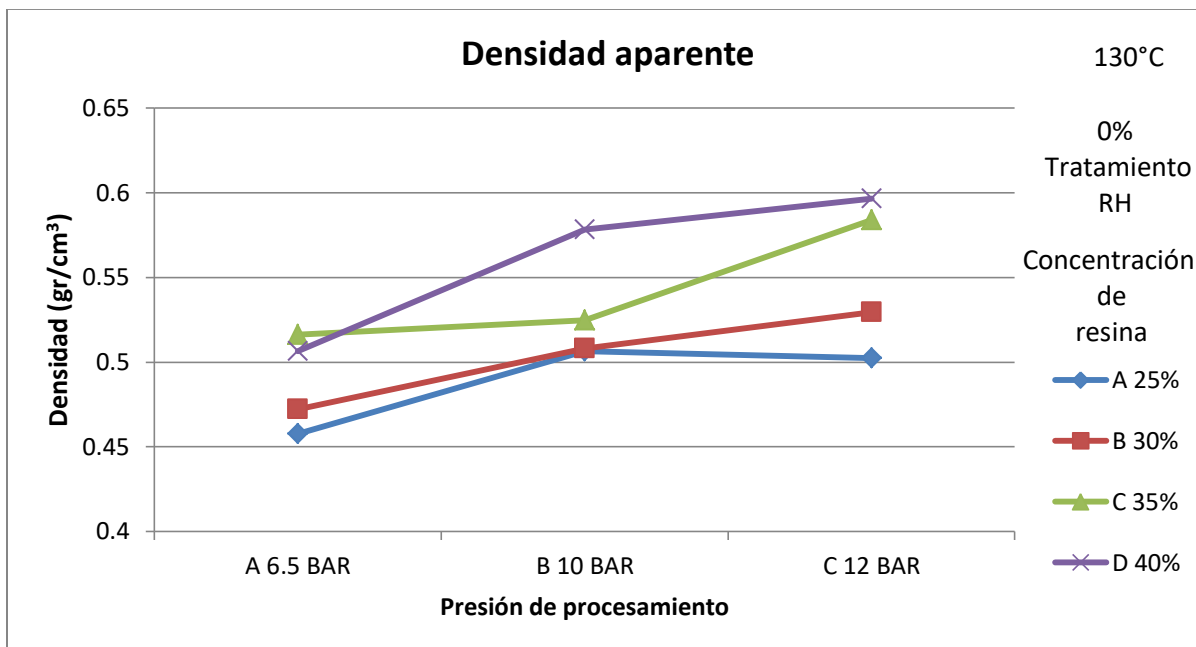


Figura 4.30 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

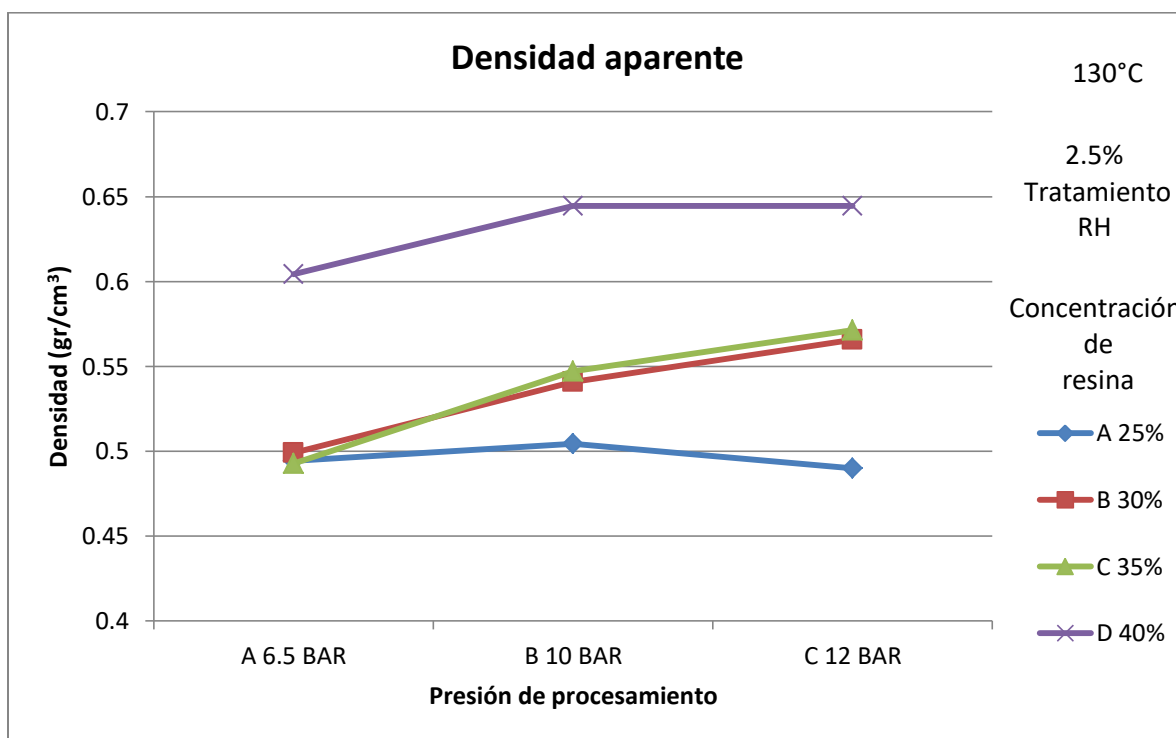


Figura 4.31 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 130°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

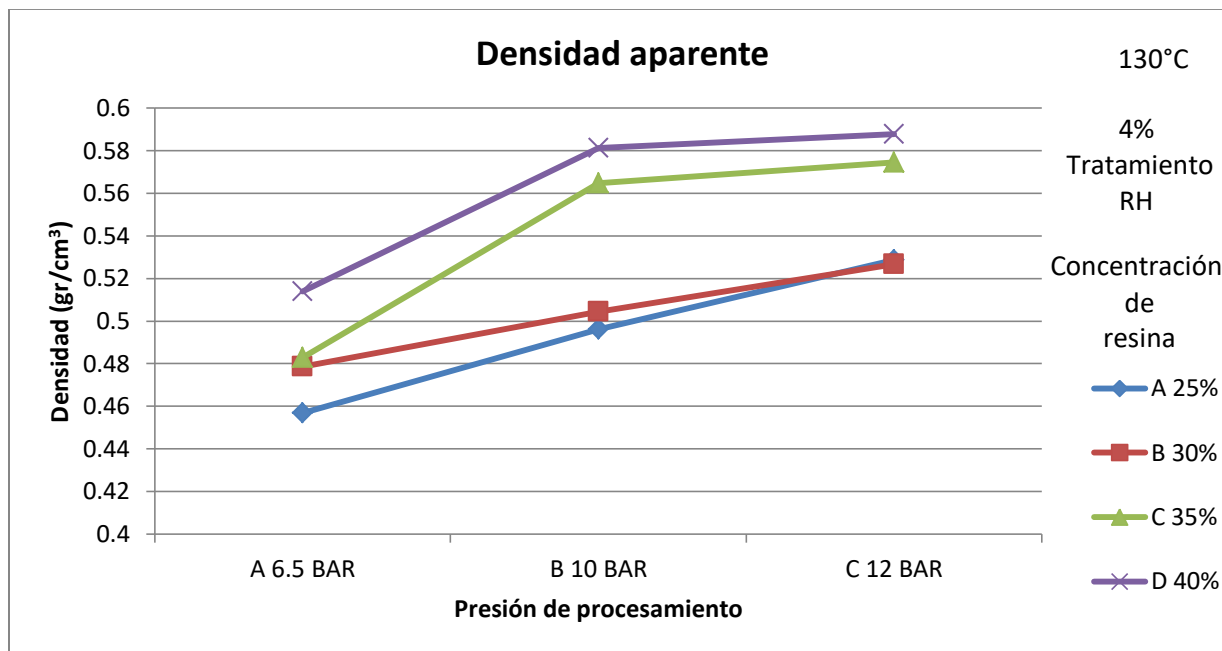


Figura 4.32 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

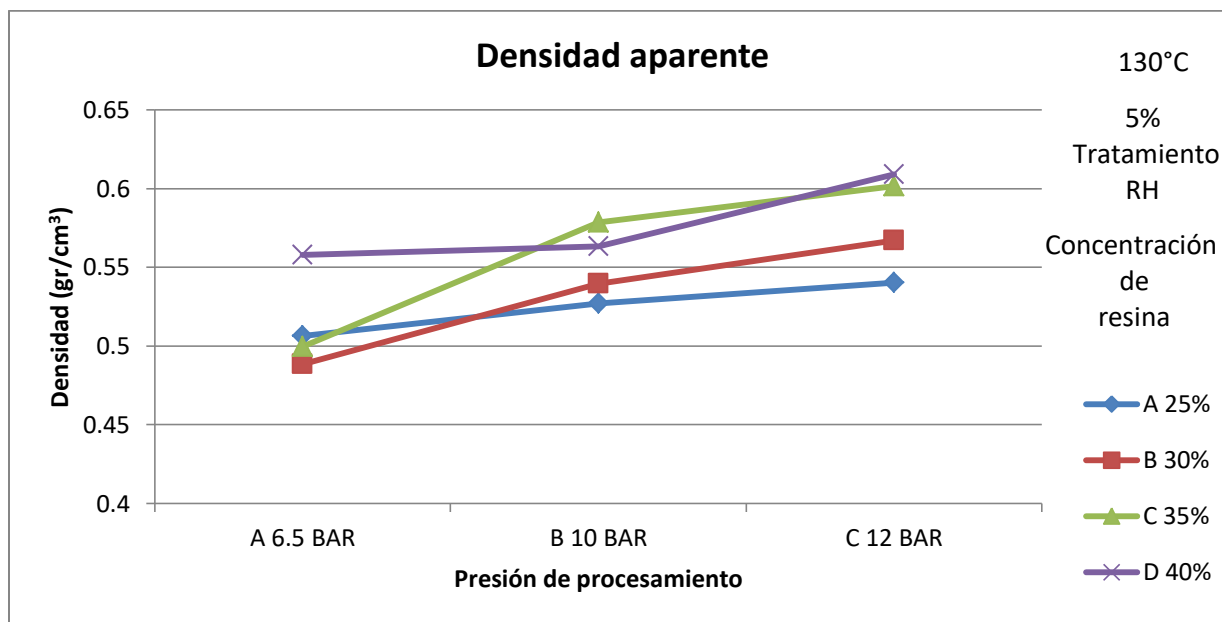


Figura 4.33 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en la densidad del material compuesto, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

4.4.2 Caracterización mecánica

4.4.2.1 Flexión

Las pruebas de flexión que se realizaron de los materiales compuestos obtenidos, arrojaron los resultados mostrados en la Tabla 4.5 y se comparan las variables en las gráficas mostradas en las Figuras 4.34 – 4.45 en las cuales se muestra un aumento un poco significativo en el esfuerzo a la flexión en cuánto aumenta la concentración del agente acoplante, sin embargo se puede observar en las Figuras 4.46 -4.53 ,un comportamiento que a medida que crece tanto el contenido de adhesivo como la presión aplicada durante el prensado, el EF de los aglomerados aumenta. El valor del EF en un material compuesto es función de su densidad aparente, y del contenido de adhesivo. Al aumentar la presión la densidad aparente aumenta, disminuye la fracción de huecos, aumenta la rigidez estructural del aglomerado y en consecuencia se obtiene un mayor valor de EF. Por otra parte a medida que crece el porcentaje de adhesivo (para cada presión aplicada) mejora el grado de adhesión entre las partículas de cáscara otorgándole una mayor rigidez al aglomerado sin una variación importante en su densidad aparente.

Tabla 4.5 Resultados de flexión para los materiales compuestos caracterizados (MPA).

FLEXIÓN MPA		Temperatura																																																	
		120° C								130° C																																									
		Concentración de resina																																																	
Tratamiento	Presión	A 25%				B 30%				C 35%				D 40%				A 25%				B 30%				C 35%				D 40%																					
A 0%	A 6.5 BAR	1	1.32694	13	2.19153	25	2.6837	37	2.95896	49	1.1592	61	1.35842	73	1.53842	85	2.07005	2	2.20054	14	2.42053	26	3.31718	38	3.58231	50	1.24471	62	1.61287	74	1.16264	86	2.35005	3	2.7566	15	4.83956	27	3.20718	39	3.49527	51	1.76693	63	2.32288	75	3.24269	87	3.612802		
	B 10 BAR	4	1.48172	16	1.5122	28	1.60658	40	1.65745	52	1.77069	64	2.01735	76	3.03355	88	2.33109	5	1.38943	17	3.09945	29	2.73384	41	3.42315	53	1.50605	65	1.64249	77	3.41666	89	3.33658	6	3.21719	18	4.87956	30	2.17276	42	4.47391	54	1.91598	66	2.53179	78	3.38827	90	6.03782		
	C 12 BAR	7	1.24119	19	1.94876	31	3.8454	43	2.41572	55	1.38827	67	1.94636	79	2.53179	91	2.8124	8	1.73053	20	1.97492	32	3.69715	44	2.60189	56	1.73231	68	3.15736	80	2.46093	92	2.72448	9	2.6155	21	2.84981	33	6.77213	45	3.15558	57	2.95907	69	3.93368	81	4.59385	93	4.58376		
B 2.5%	A 6.5 BAR	10	1.46049	22	1.91082	34	2.18238	46	3.26582	58	1.28203	70	1.63431	82	3.91678	94	3.588888	11	1.75923	23	1.96575	35	2.86805	47	3.29239	59	1.73808	71	2.18907	83	2.1138	95	4.23824	12	3.42773	24	2.26125	36	5.79772	48	5.69382	60	2.81249	72	2.21423	84	2.55617	96	5.77439		
	B 10 BAR																																																		
	C 12 BAR																																																		
C 4%	A 6.5 BAR																																																		
	B 10 BAR																																																		
	C 12 BAR																																																		
D 5%	A 6.5 BAR																																																		
	B 10 BAR																																																		
	C 12 BAR																																																		

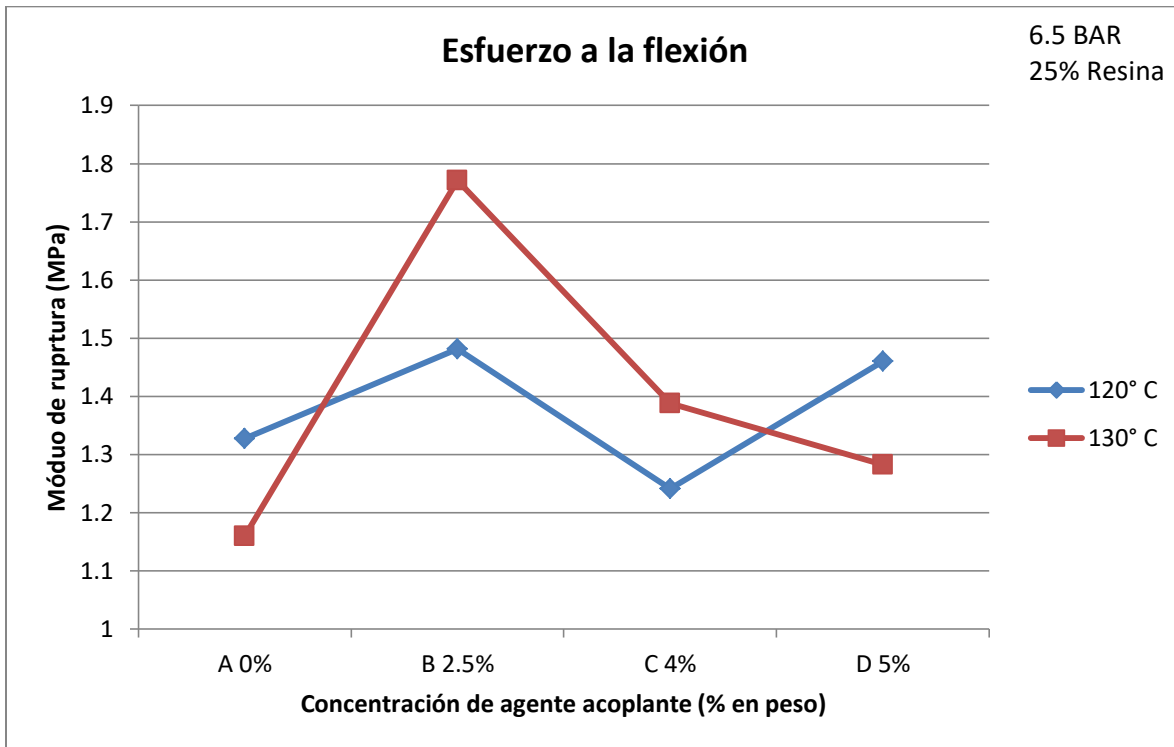


Figura 4.34 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 6.5 Bar y 25% de resina fenólica.

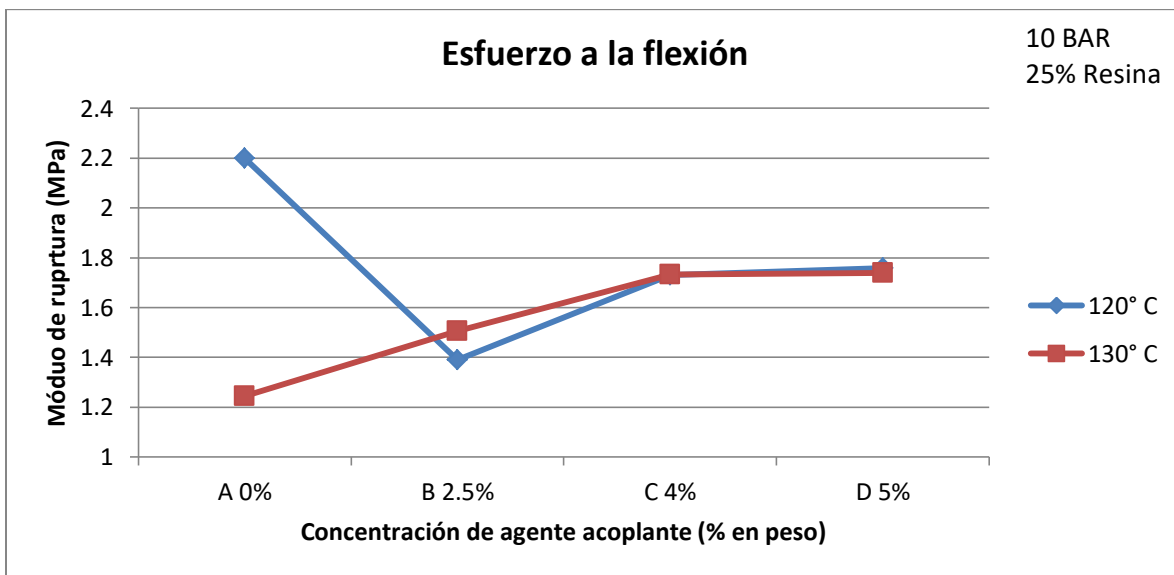


Figura 4.35 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 10 Bar y 25% de resina fenólica.

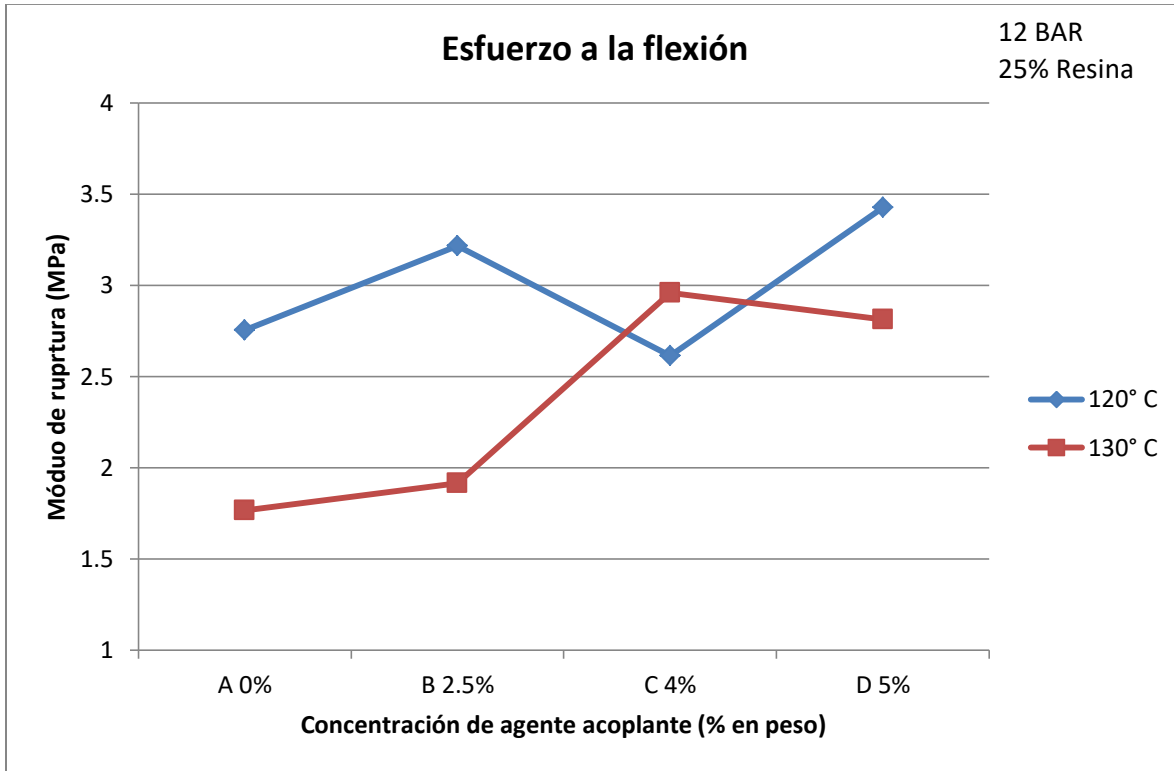


Figura 4.36 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 12 Bar y 25% de resina fenólica.

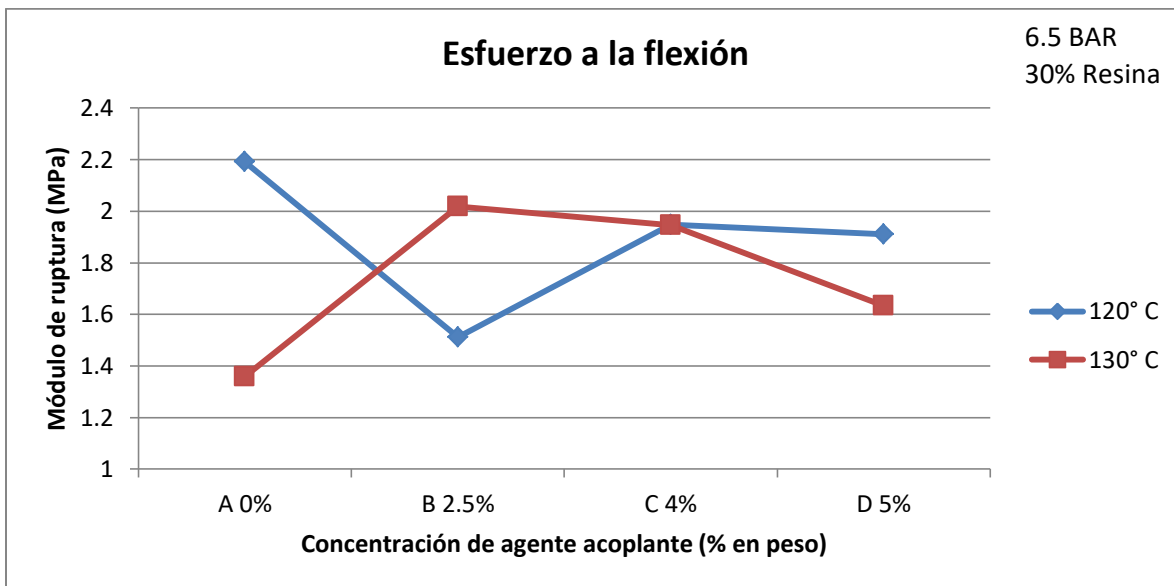


Figura 4.37 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica.

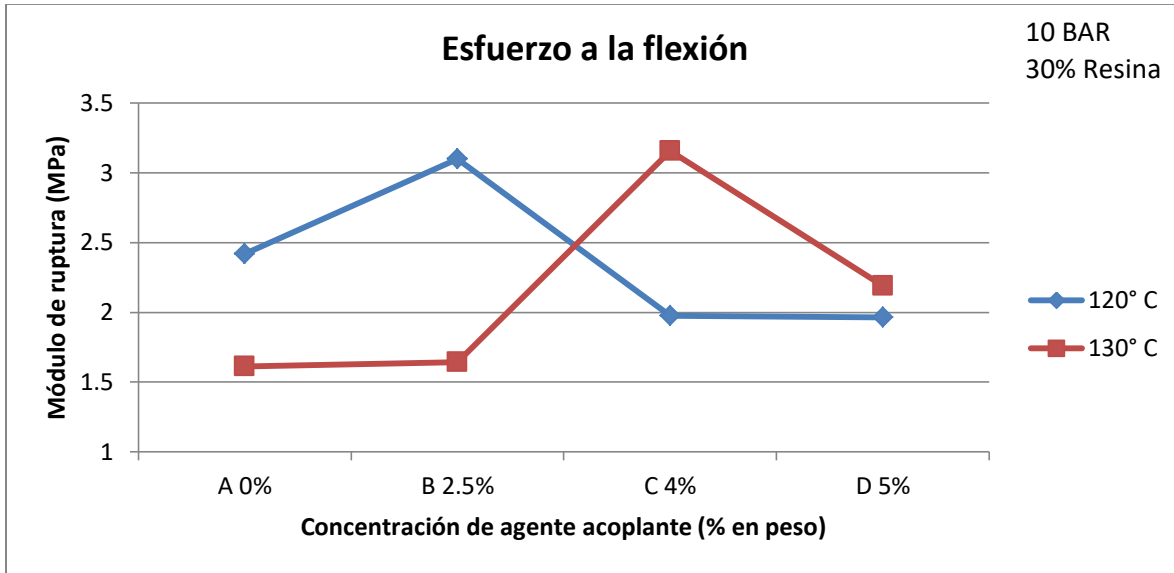


Figura 4.38 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 10 Bar y 30% de resina fenólica.

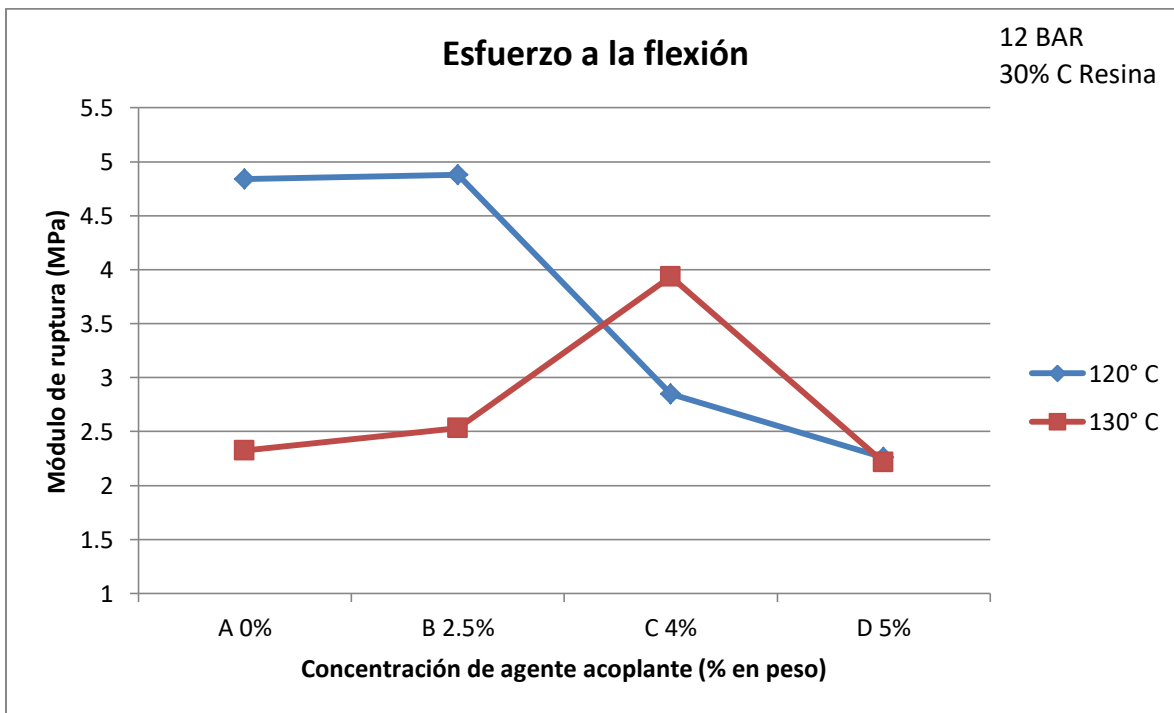


Figura 4.39 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 12 Bar y 30% de resina fenólica.

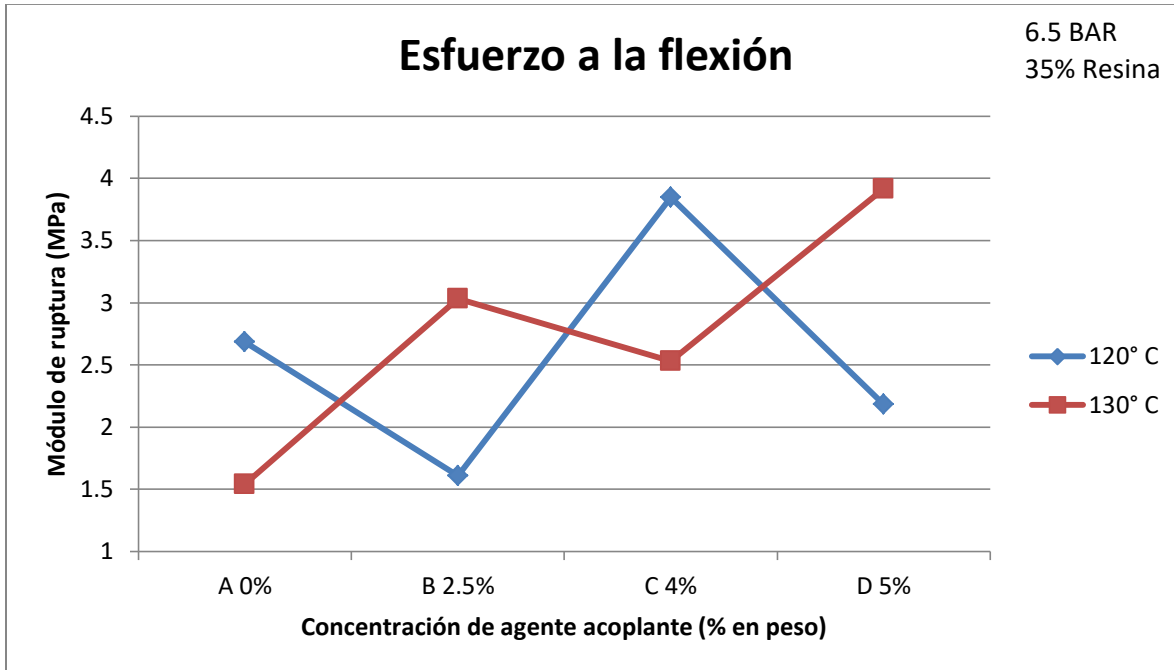


Figura 4.40 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica.

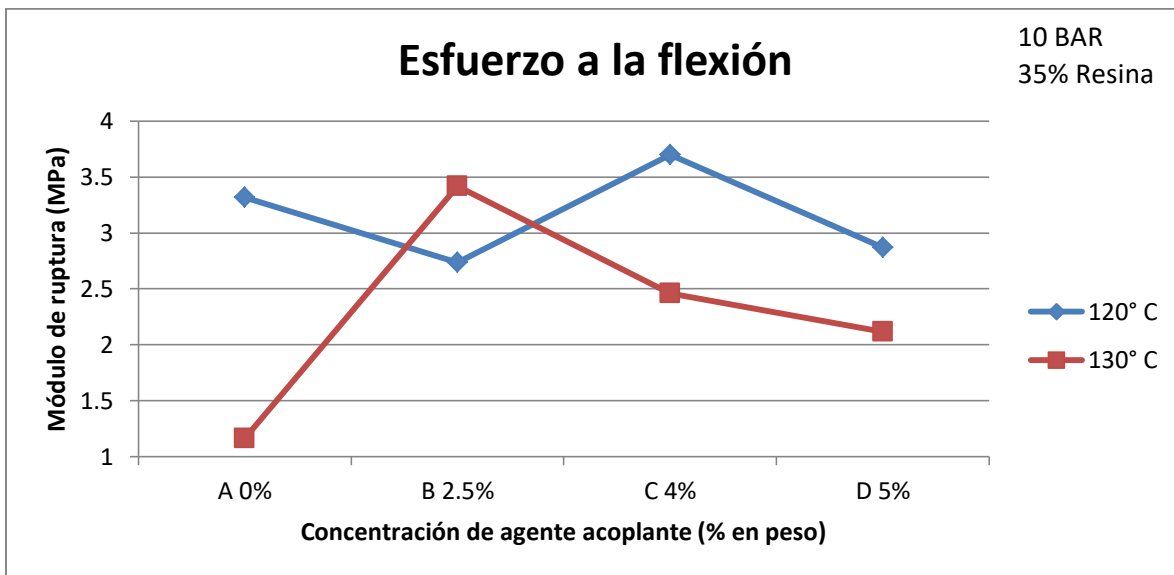


Figura 4.41 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 10 Bar y 35% de resina fenólica.

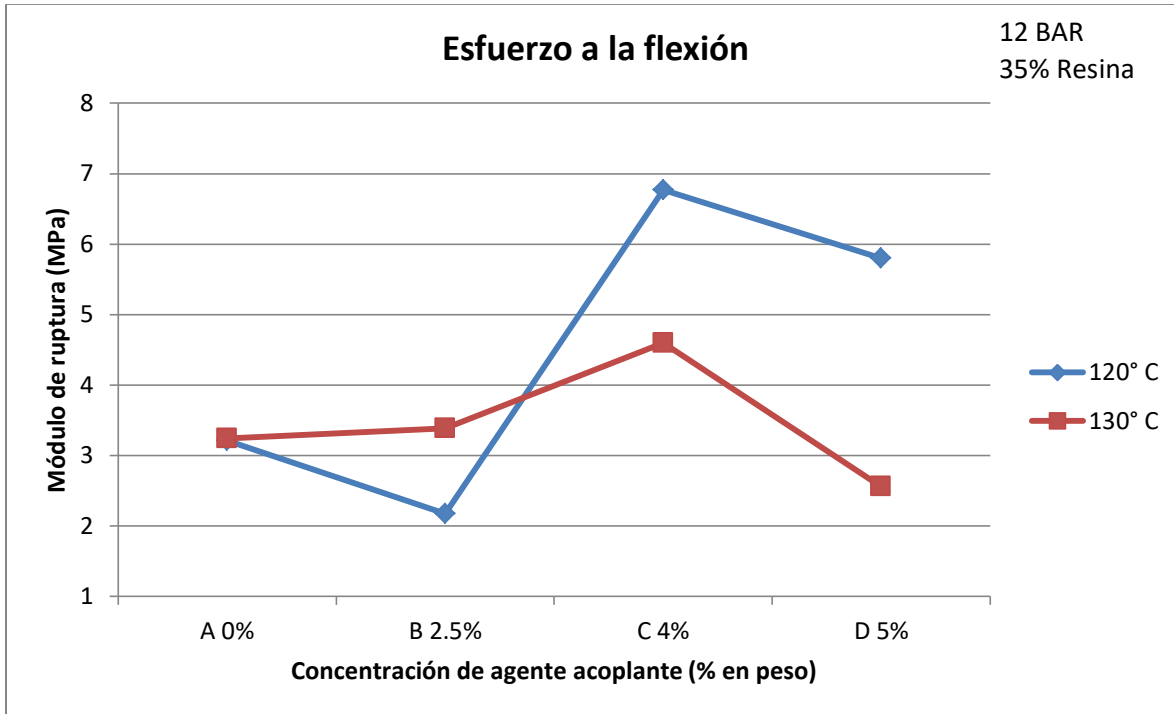


Figura 4.42 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 12 Bar y 35% de resina fenólica.

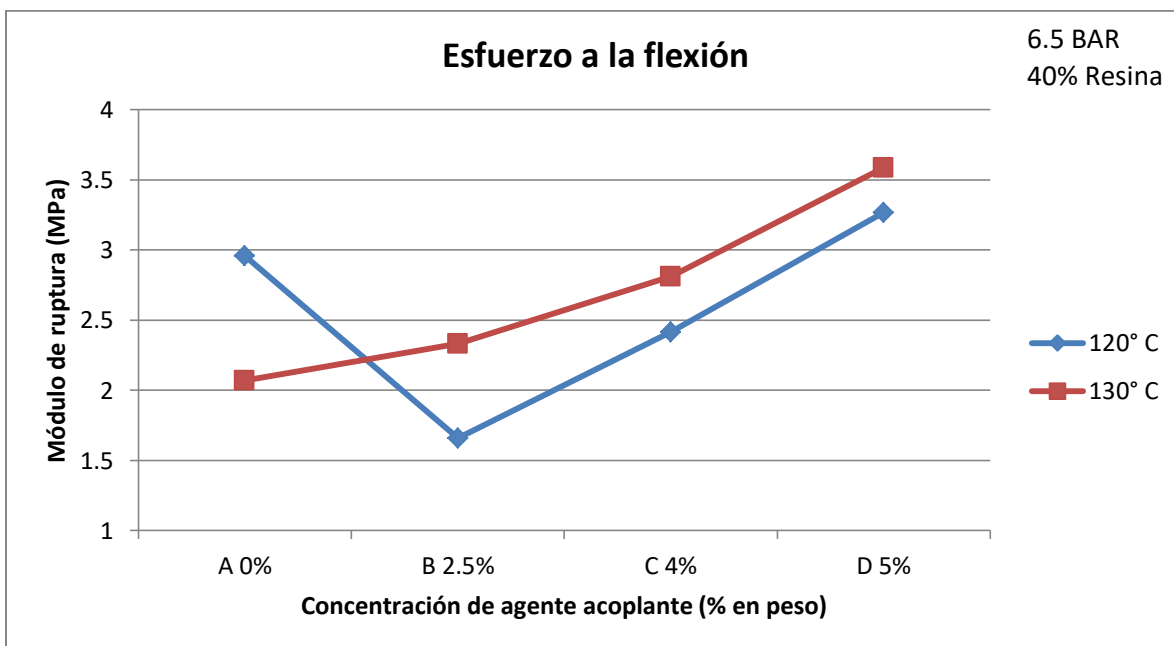


Figura 4.43 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 6.5 Bar y 40% de resina fenólica.

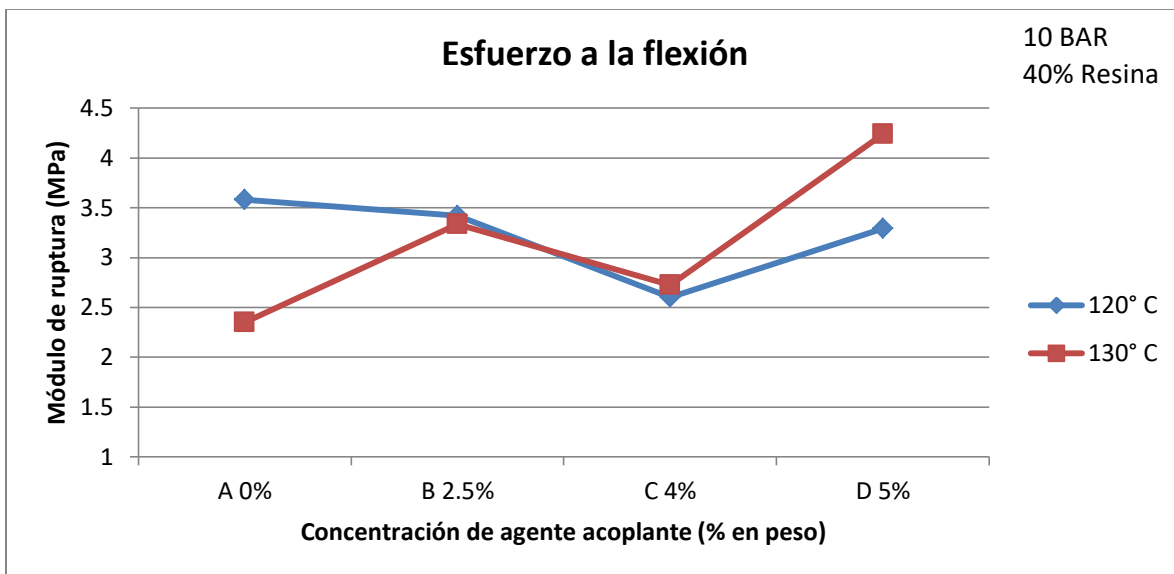


Figura 4.44 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 10 Bar y 40% de resina fenólica.

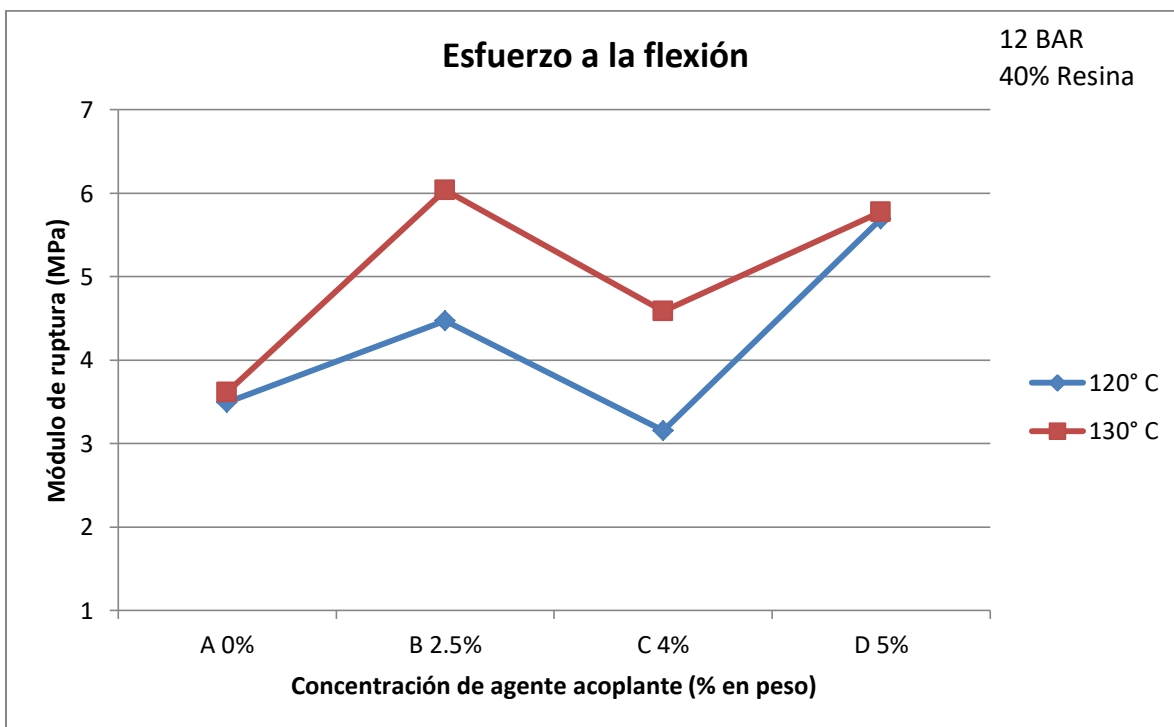


Figura 4.45 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 12 Bar y 40% de resina fenólica.

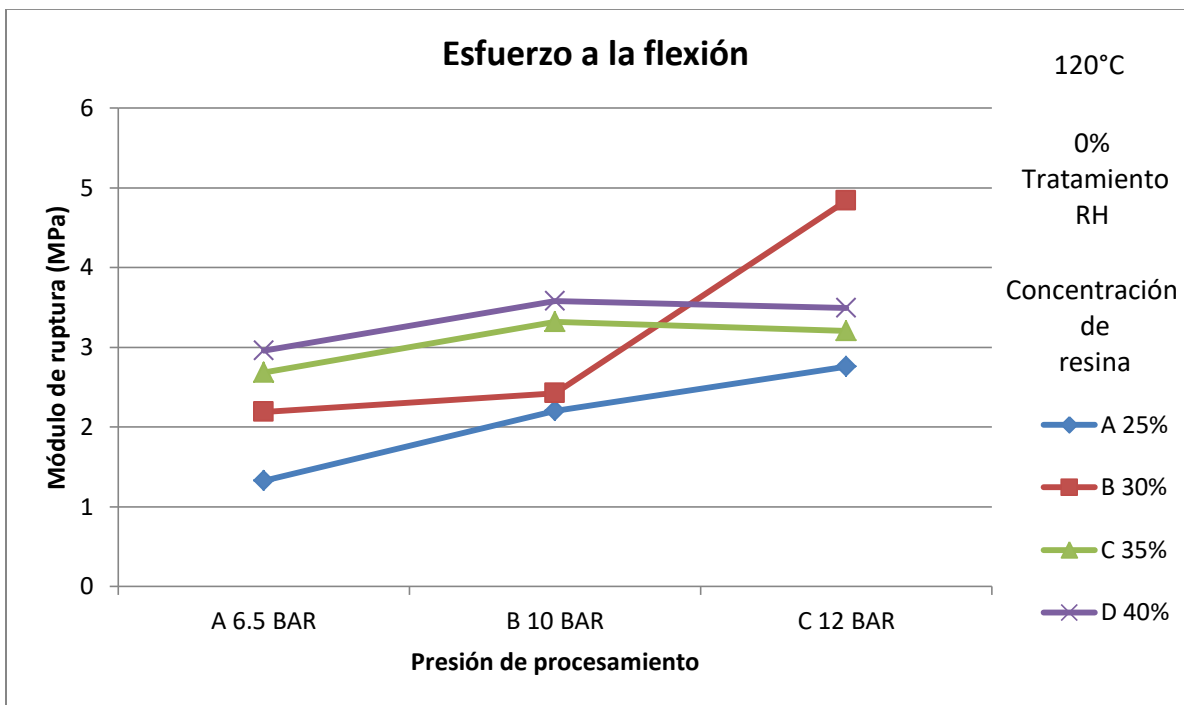


Figura 4.46 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

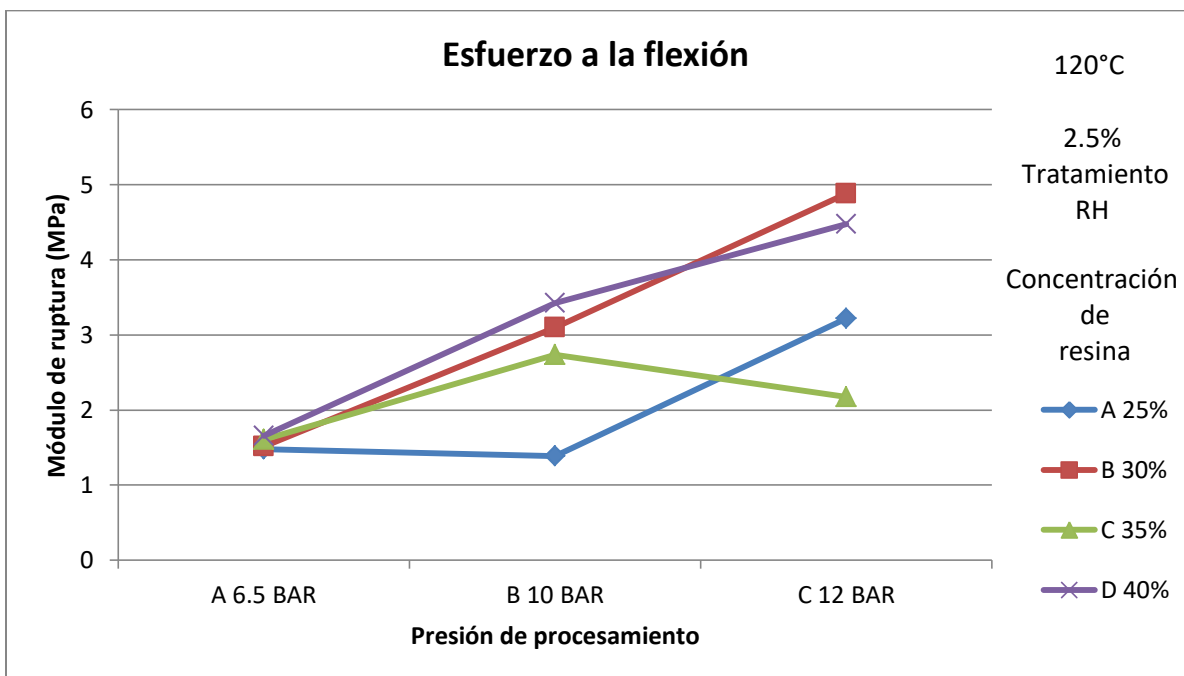


Figura 4.47 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

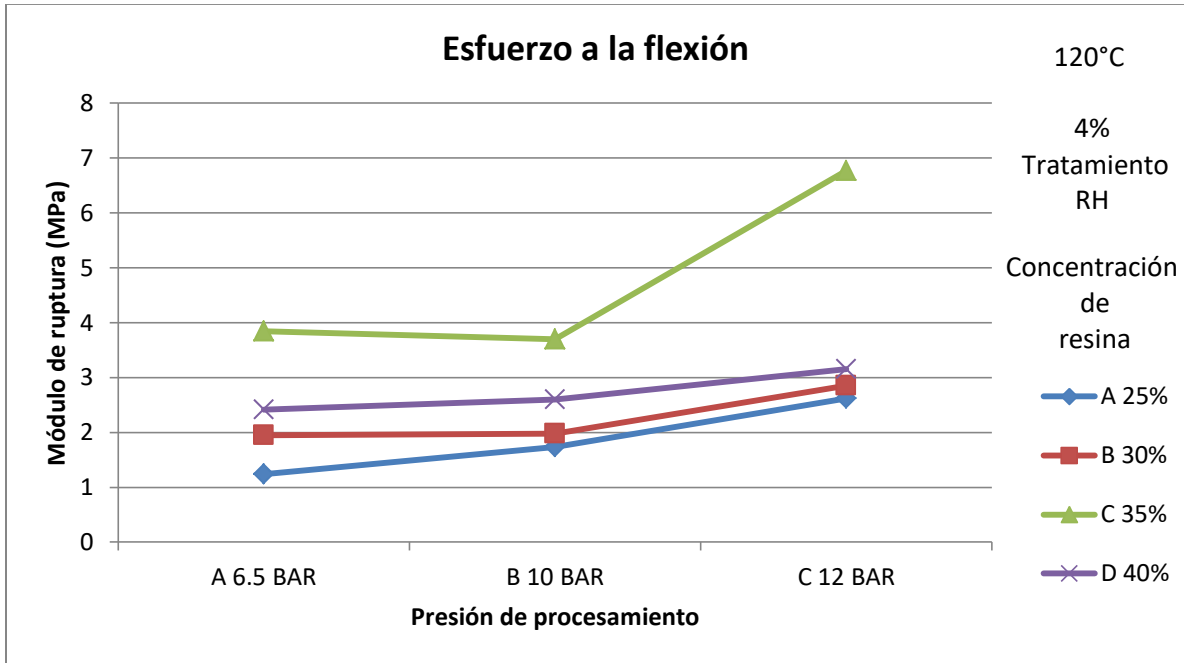


Figura 4.48 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

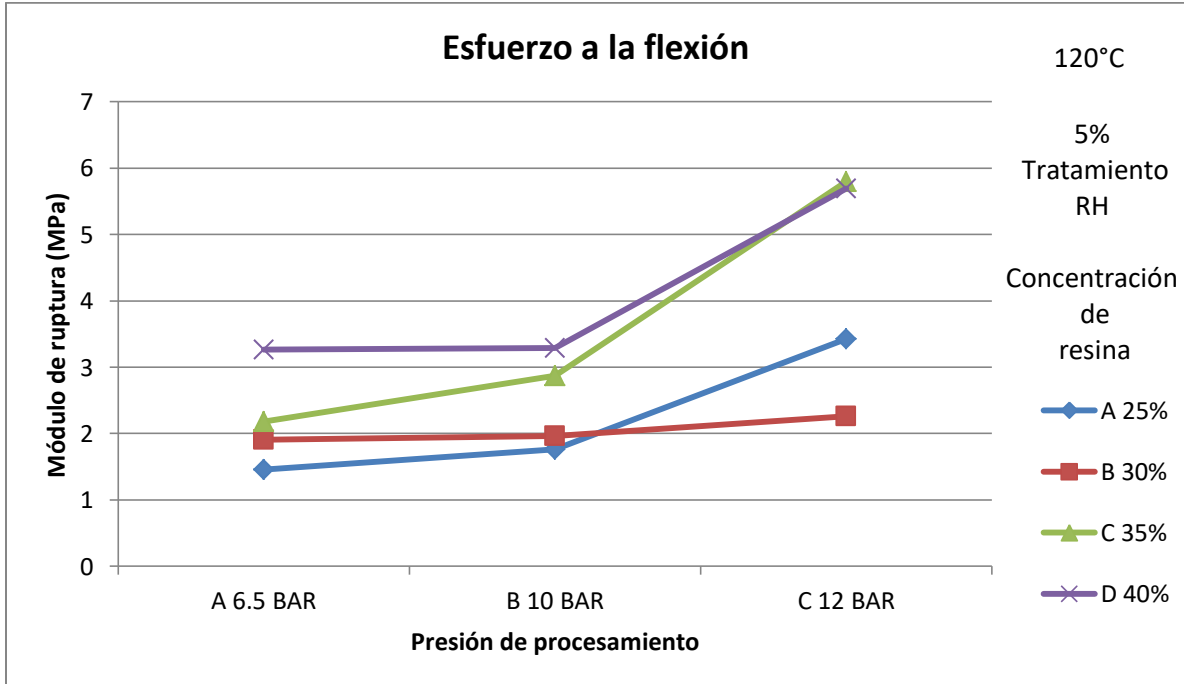


Figura 4.49 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

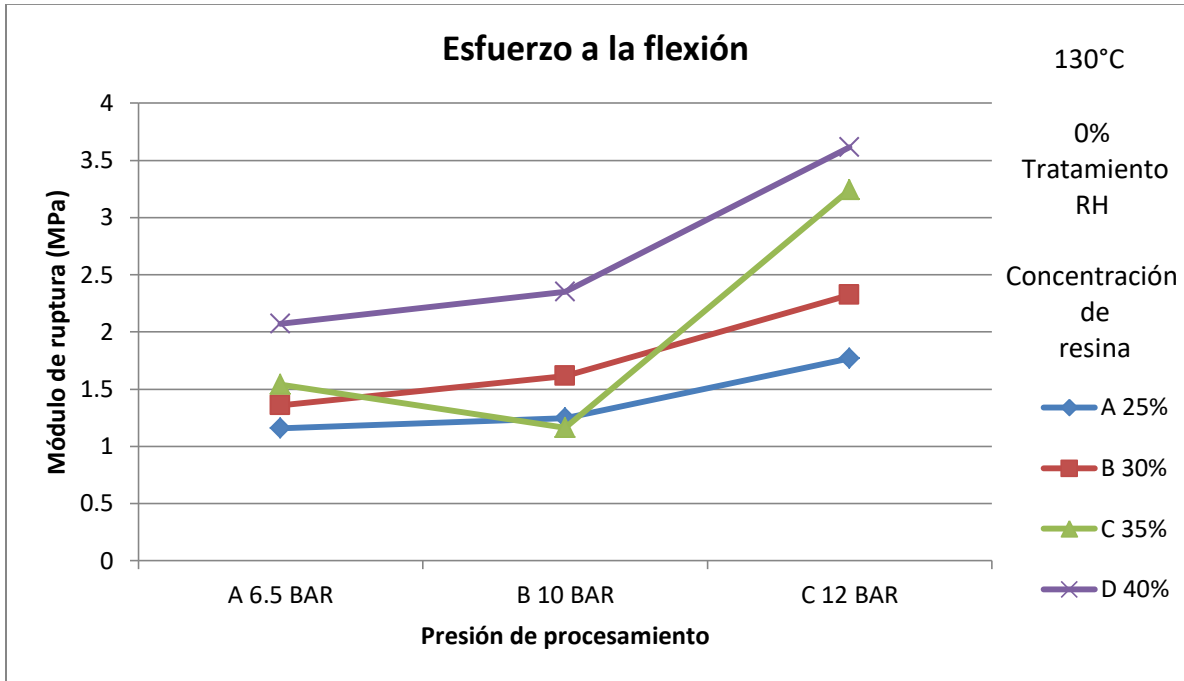


Figura 4.50 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

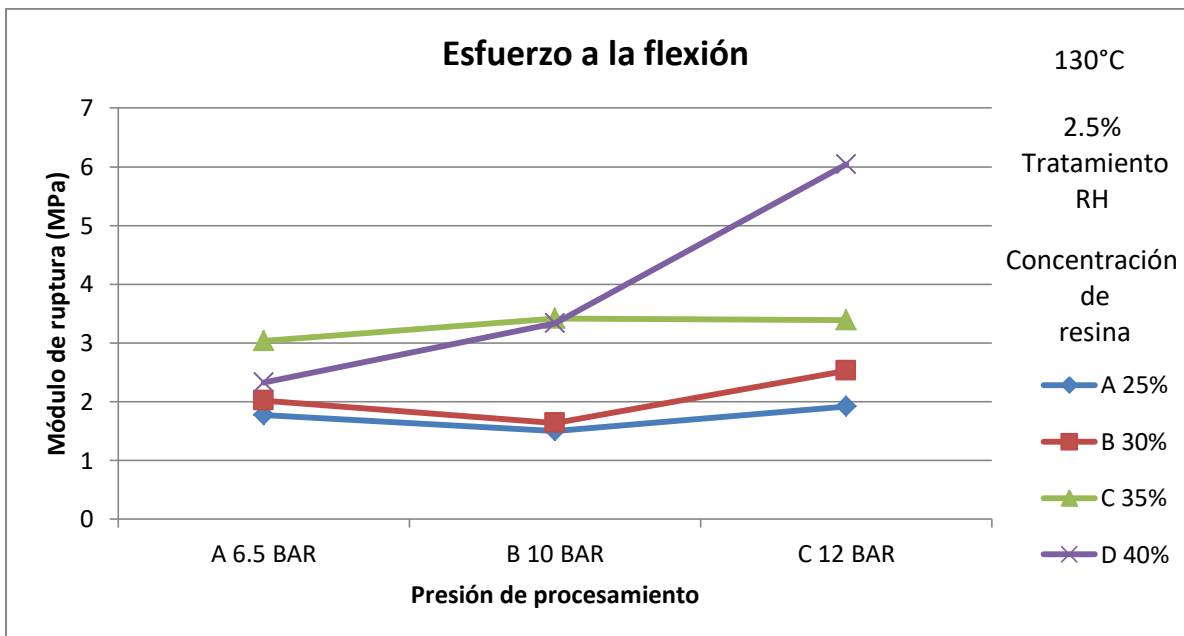


Figura 4.51 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

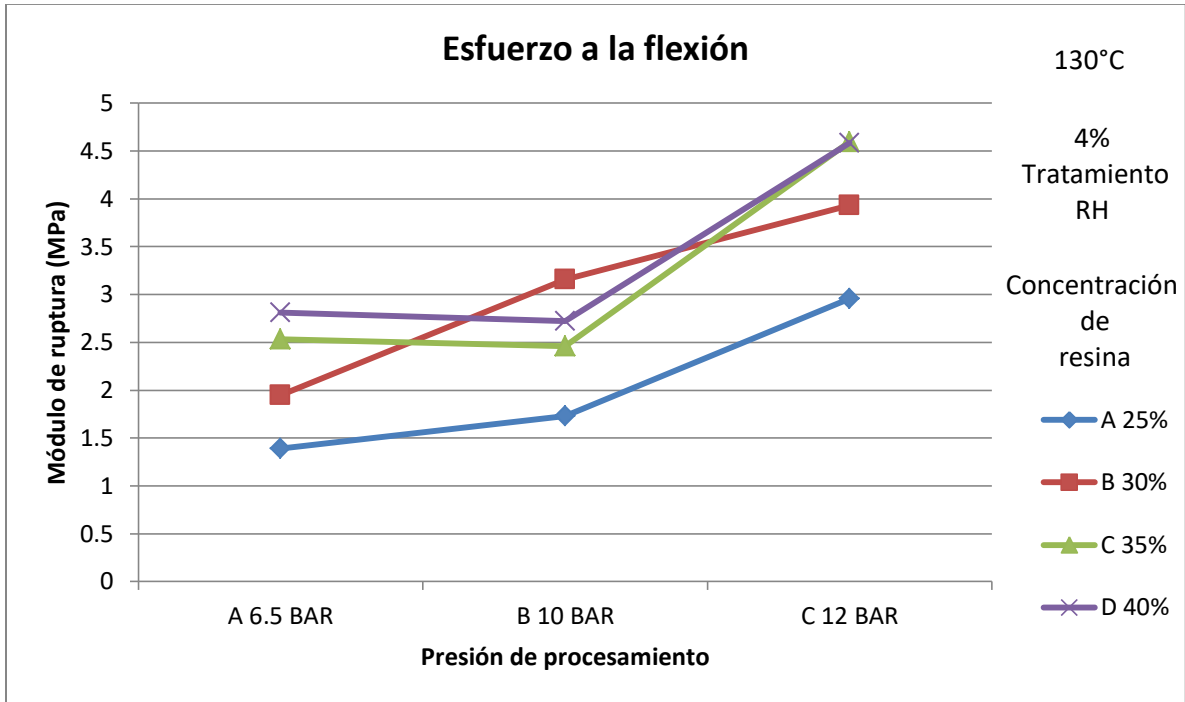


Figura 4.52 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

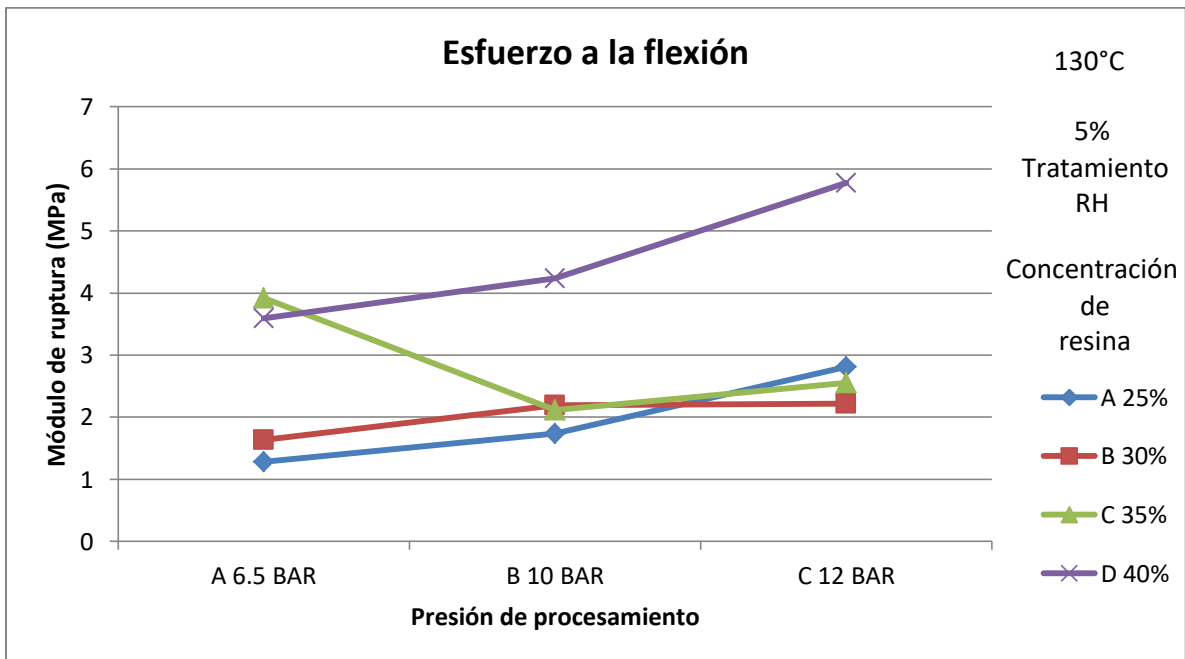


Figura 4.53 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

4.4.2.2 Tensión

Las pruebas de tensión que se realizaron de los materiales compuestos obtenidos, arrojaron los resultados mostrados en las Tablas 4.6. En las cuales se observa en promedio un comportamiento que a medida que crece tanto el contenido de adhesivo como la presión aplicada durante el prensado y la concentración de resina tiende a aumentar el módulo de tensión de los materiales compuestos, en el cuál varía un poco según el porcentaje de agente compatibilizante. Se comparan las variables en las gráficas mostradas en las Figuras 4.54 – 4.73.

Tabla 4.6 Resultados de tensión para los materiales compuestos caracterizados (MPA).

TENSIÓN MPA		Temperatura															
		120° C							130° C								
		Concentración de resina															
Tratamiento	Presión	A 25%		B 30%		C 35%		D 40%		A 25%		B 30%		C 35%		D 40%	
A 0%	A 6.5 BAR	1	1106.69818	13	1282.03732	25	1299.32719	37	1821.90317	49	1050.85163	61	1816.14644	73	1373.26965	85	1663.26303
	B 10 BAR	2	1161.88039	14	1289.79397	26	1773.16067	38	1840.2037	50	1464.29339	62	1058.70622	74	1922.55267	86	1994.67222
	C 12 BAR	3	1199.1745	15	1510.04883	27	1778.80015	39	2140.16425	51	1935.28164	63	1679.2076	75	2008.59445	87	2420.74388
B 2.5%	A 6.5 BAR	4	1040.34456	16	1289.79397	28	1638.71057	40	1766.61543	52	938.27802	64	660.8956	76	874.0621	88	1417.55255
	B 10 BAR	5	1309.7755	17	2121.2292	29	2220.78199	41	1817.20103	53	1195.72456	65	1512.16308	77	1978.54743	89	2137.36643
	C 12 BAR	6	1426.51386	18	1914.89	30	1926.31316	42	2333.69866	54	1083.92841	66	1655.72634	78	2109.51559	90	2321.20069
C 4%	A 6.5 BAR	7	1149.02609	19	1190.78549	31	1574.90215	43	2183.87764	55	890.41851	67	1212.15322	79	1532.93276	91	1474.8155
	B 10 BAR	8	2272.9485	20	2249.84276	32	1224.35278	44	2298.31094	56	1195.25983	68	1243.4723	80	1383.29366	92	1630.79492
	C 12 BAR	9	1546.76775	21	1730.45552	33	2562.21536	45	2685.26855	57	2209.56375	69	2180.1807	81	2113.57376	93	1879.19627
D 5%	A 6.5 BAR	10	1122.88392	22	1944.12955	34	1473.13084	46	1956.10435	58	735.49621	70	1341.15309	82	1382.08787	94	1201.10235
	B 10 BAR	11	1424.14159	23	2114.70046	35	1567.86359	47	1640.65906	59	1056.98114	71	1016.68205	83	1777.10257	95	1821.75179
	C 12 BAR	12	2091.64895	24	1348.24824	36	1272.58109	48	2670.96415	60	1781.36	72	1842.10358	84	1970.32083	96	2430.66877

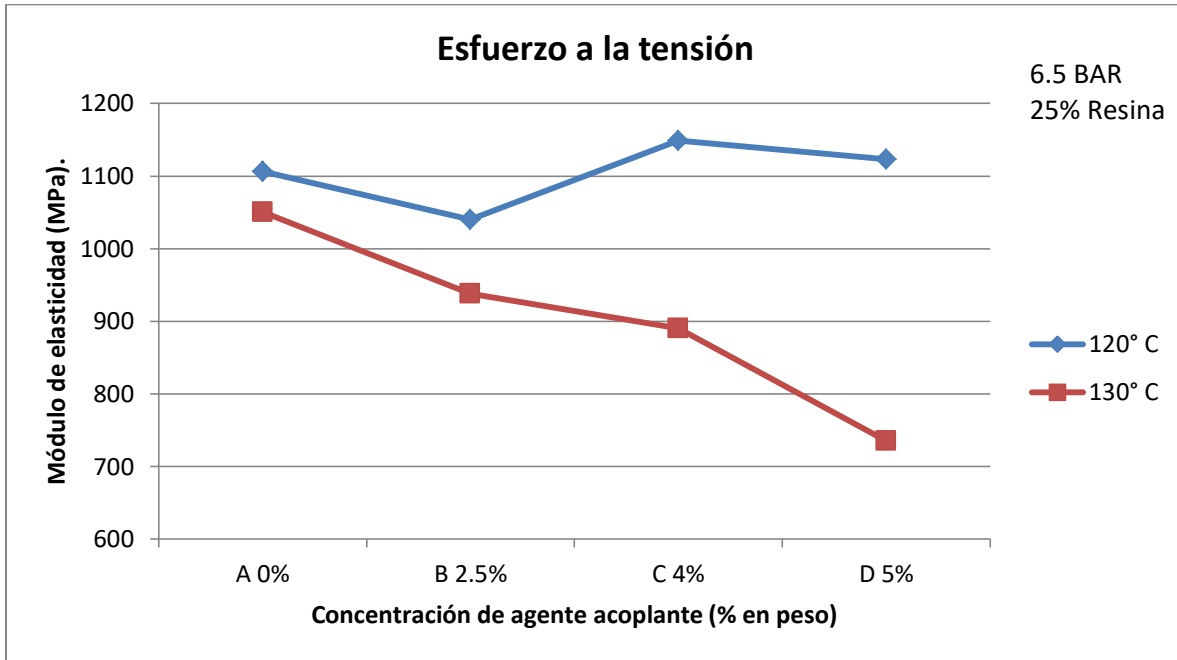


Figura 4.54 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 6.5 Bar y 25% de resina fenólica.

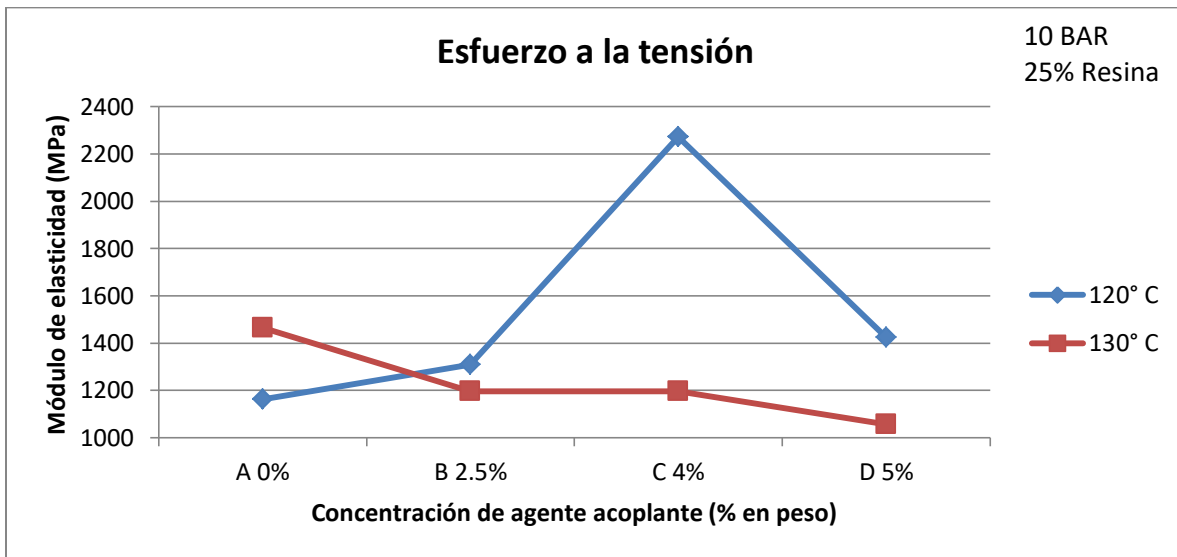


Figura 4.55 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 10 Bar y 25% de resina fenólica.

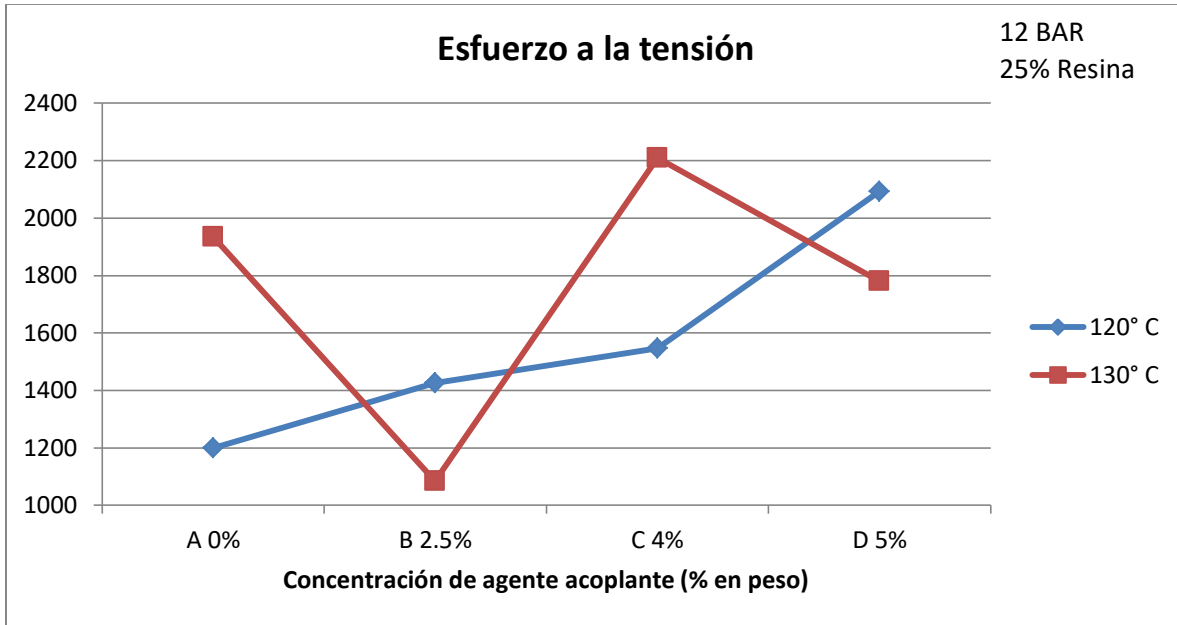


Figura 4.56 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 12 Bar y 25% de resina fenólica.

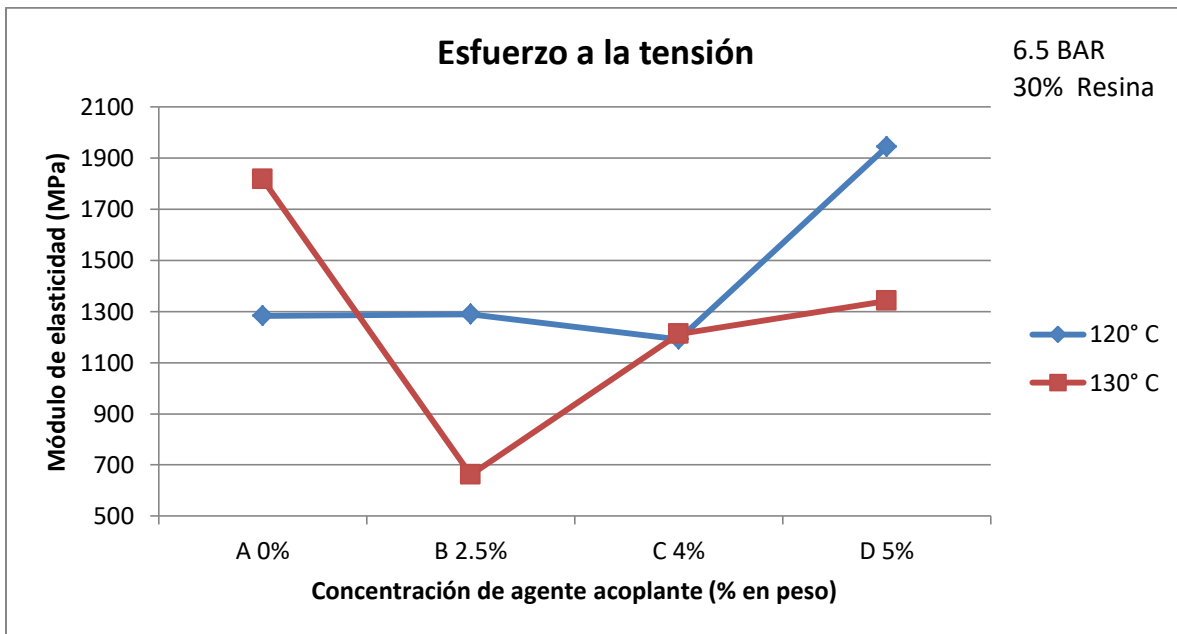


Figura 4.57 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica.

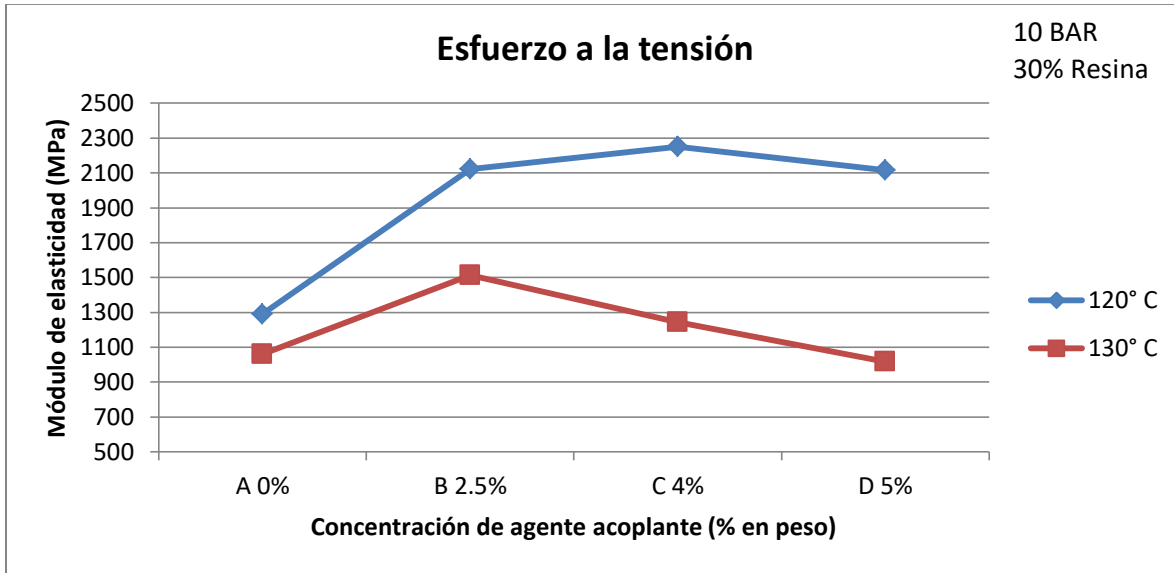


Figura 4.58 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 10 Bar y 30% de resina fenólica.

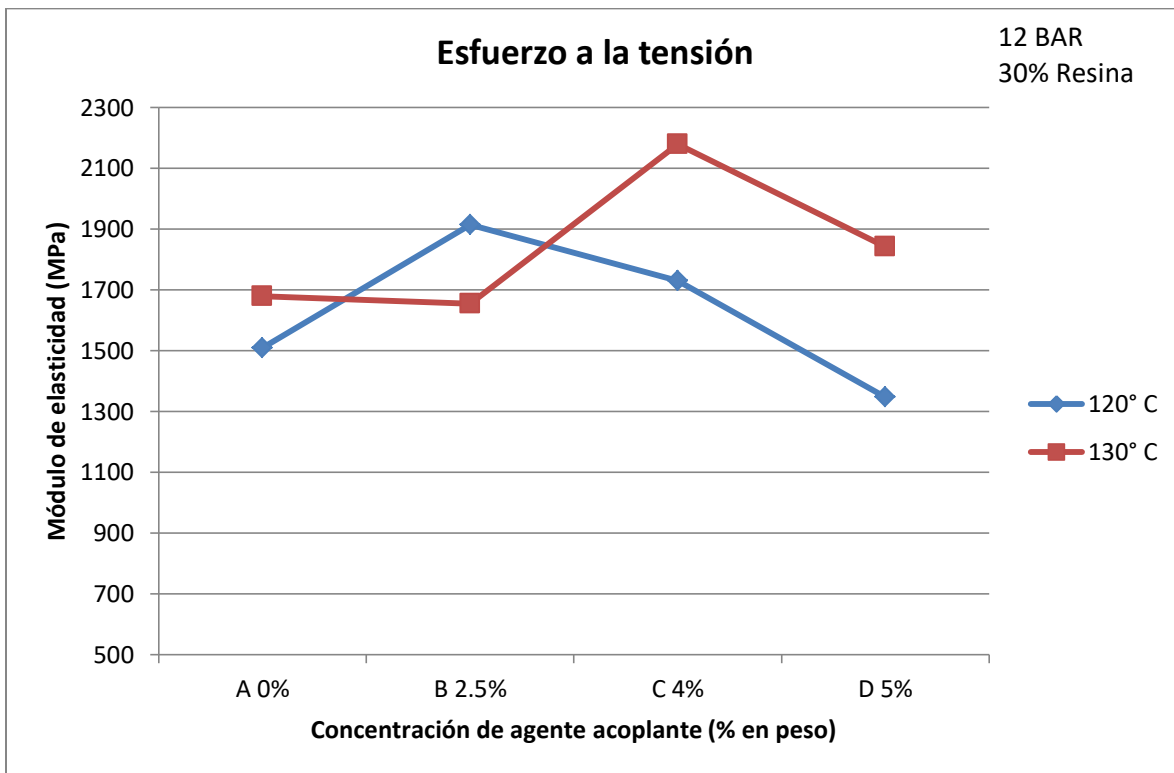


Figura 4.59 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 12 Bar y 30% de resina fenólica.

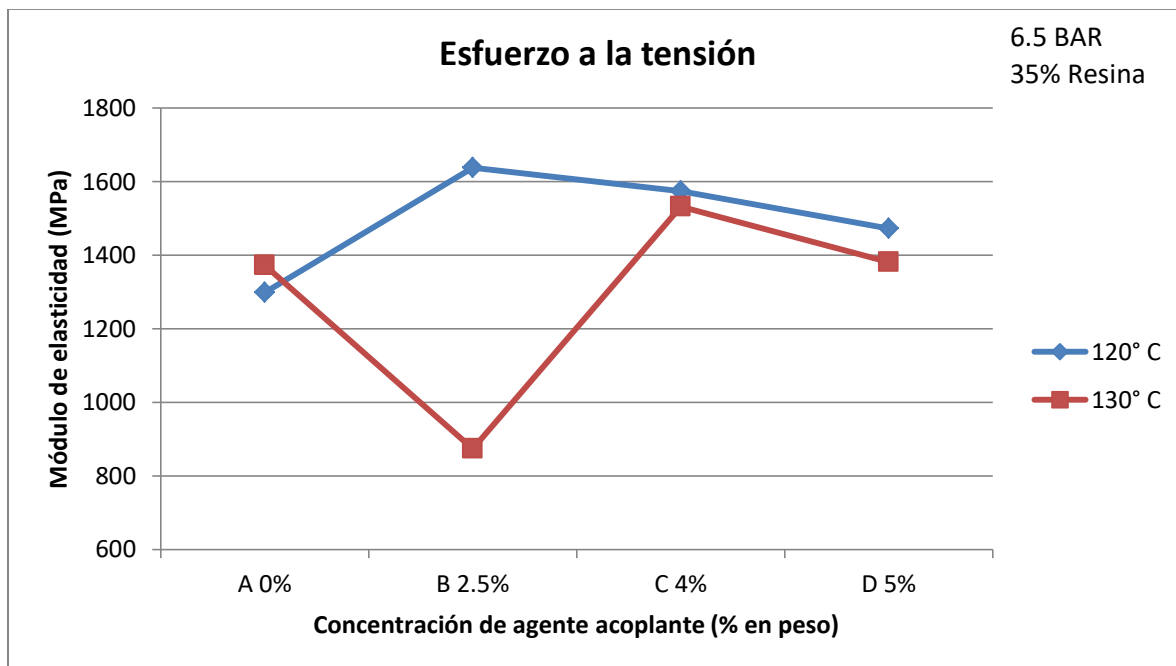


Figura 4.60 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica.

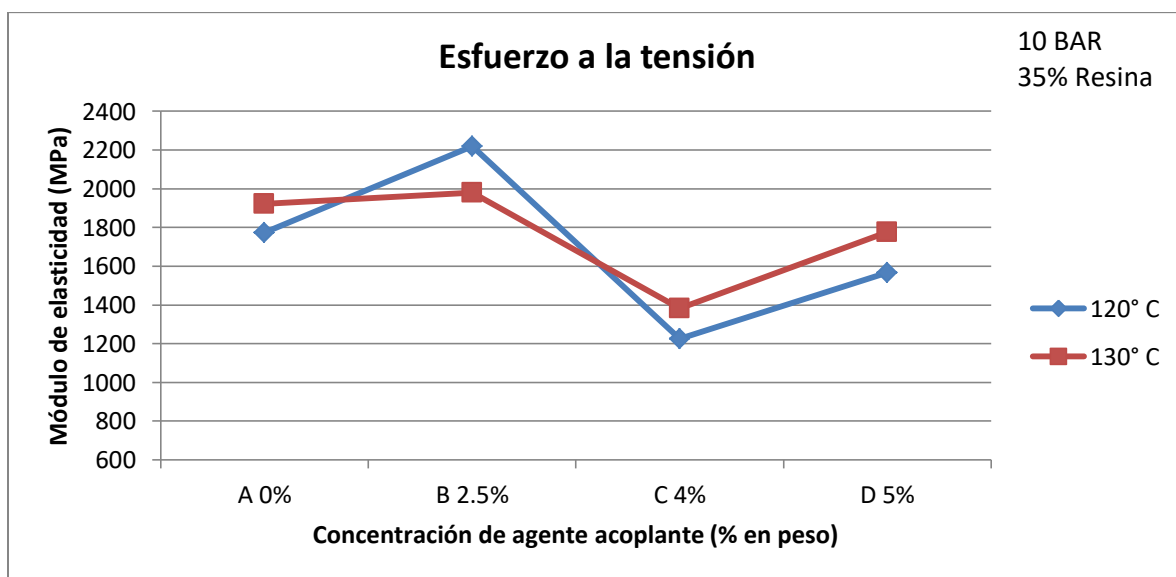


Figura 4.61 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 10 Bar y 35% de resina fenólica.

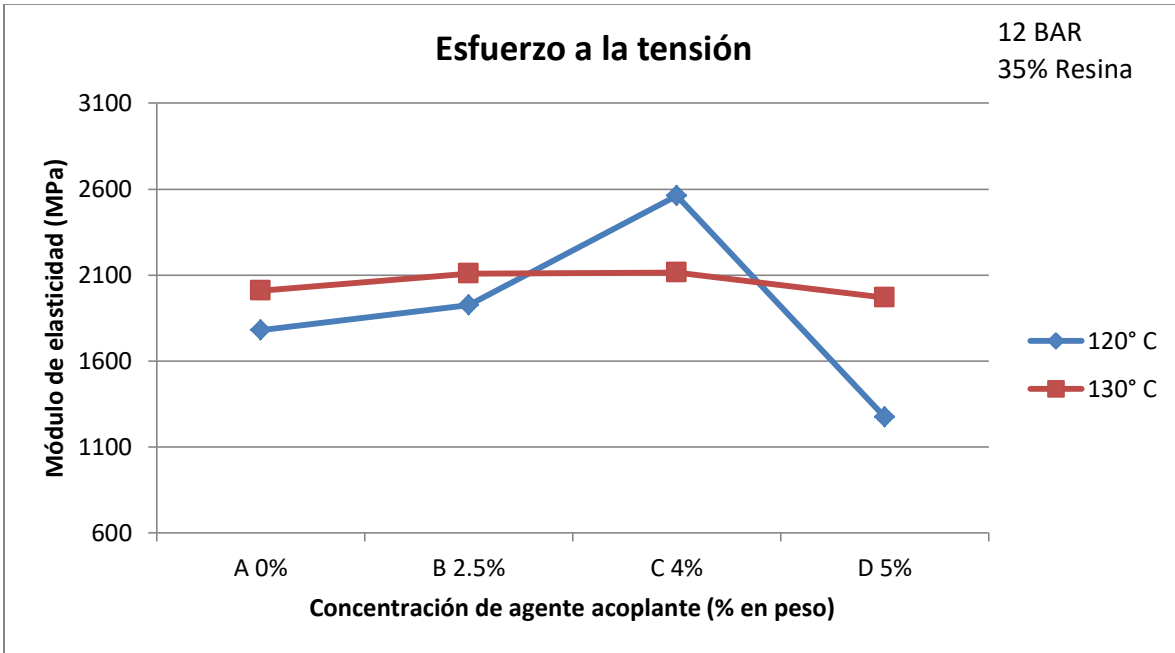


Figura 4.62 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 12 Bar y 35% de resina fenólica.

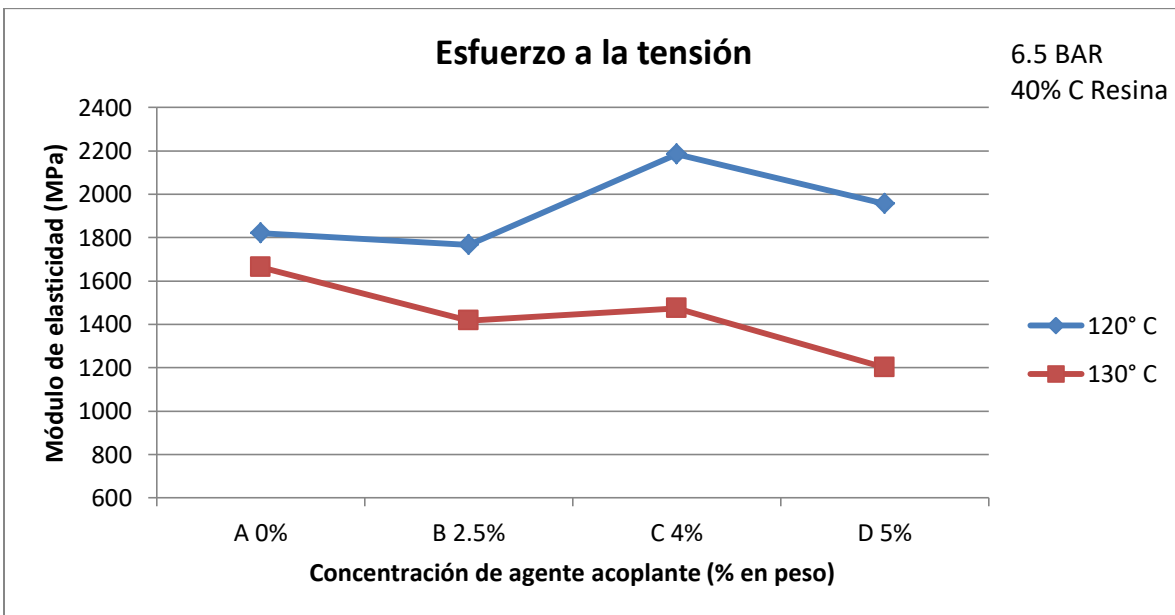


Figura 4.63 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 6.5 Bar y 40% de resina fenólica.

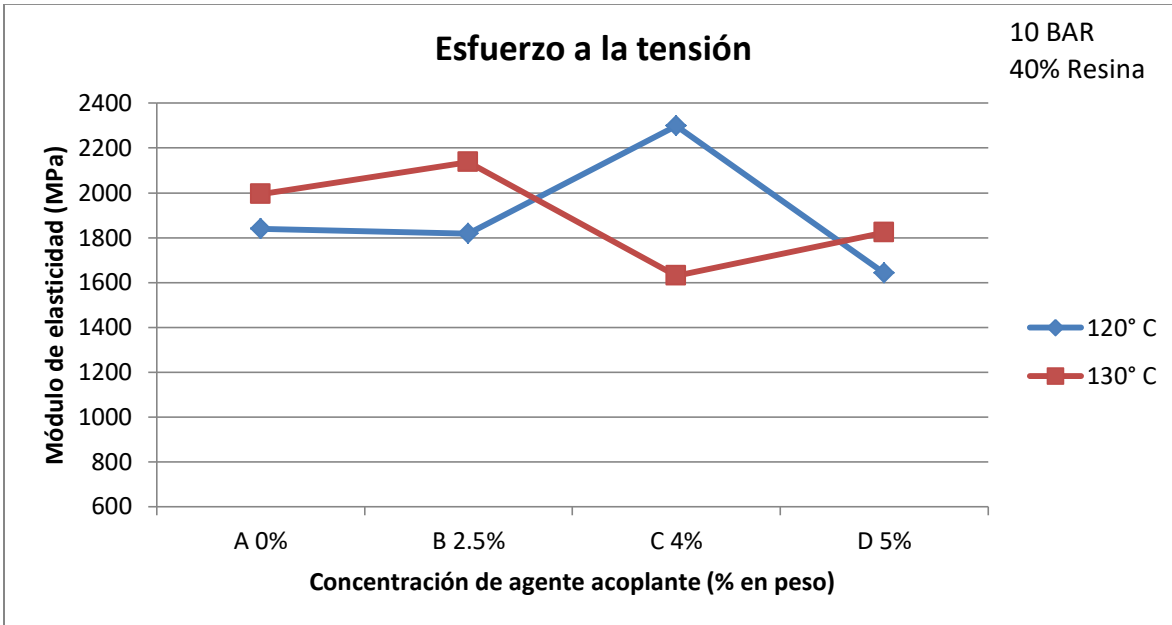


Figura 4.64 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 10 Bar y 40% de resina fenólica.

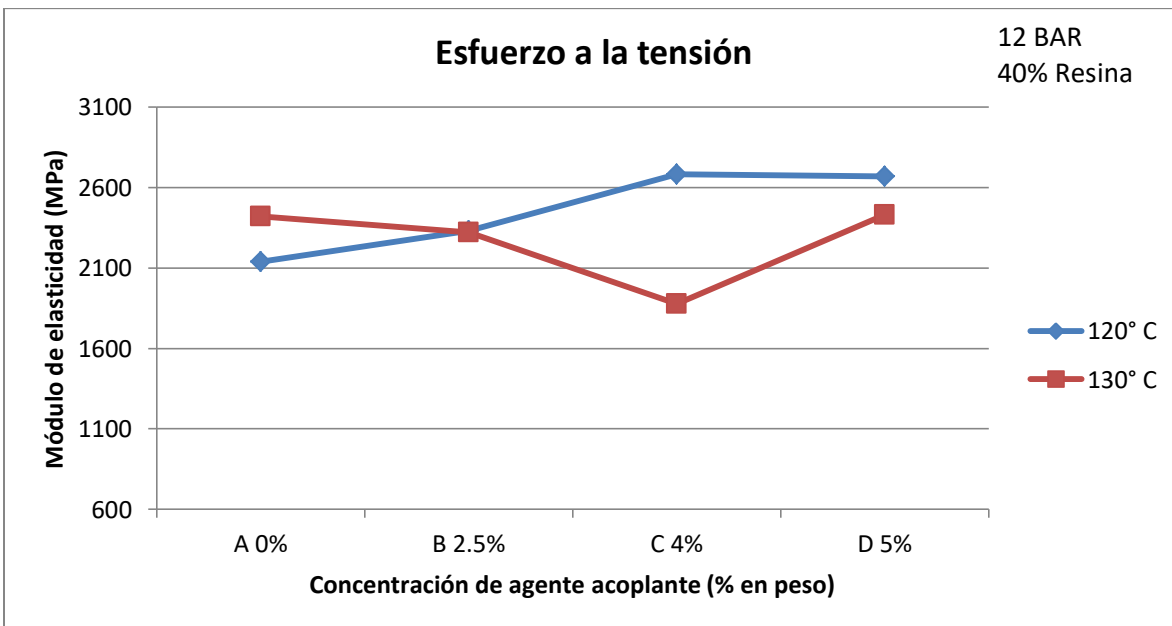


Figura 4.65 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el módulo de tensión del material compuesto, a 12 Bar y 40% de resina fenólica.

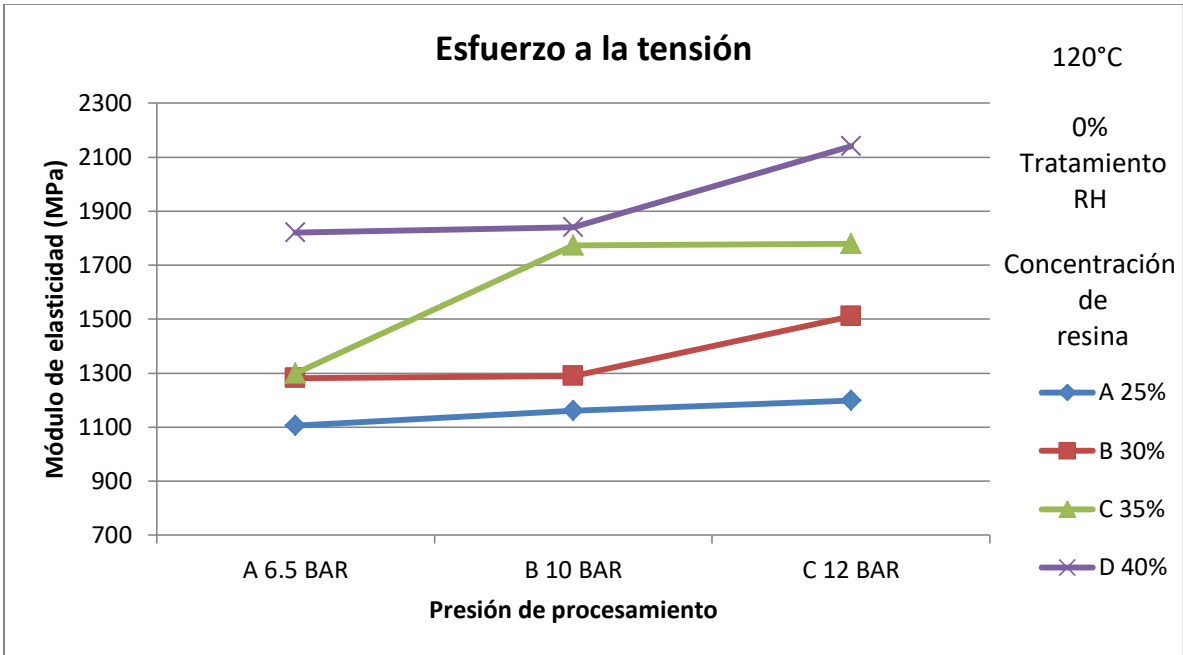


Figura 4.66 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

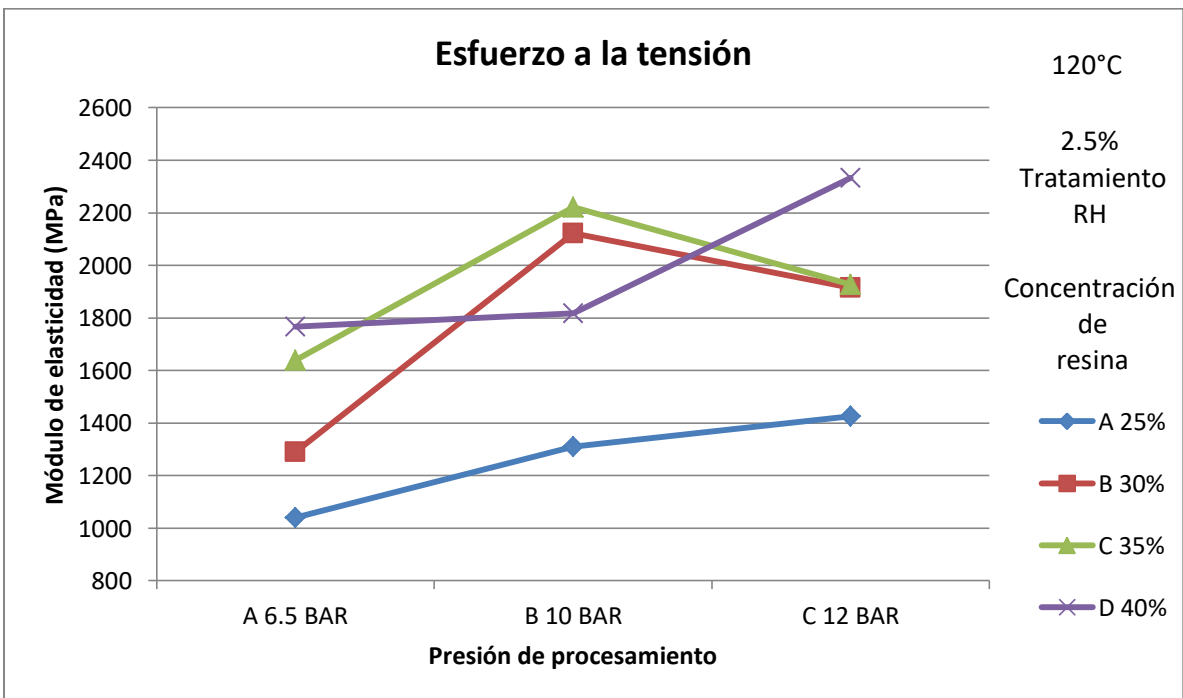


Figura 4.67 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

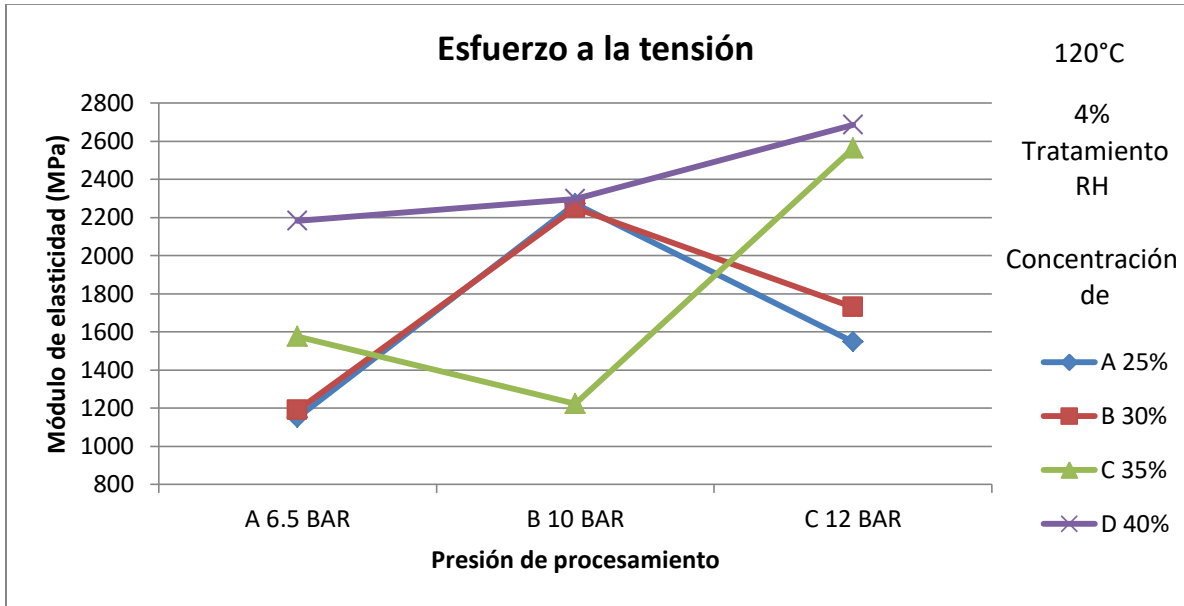


Figura 4.68 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

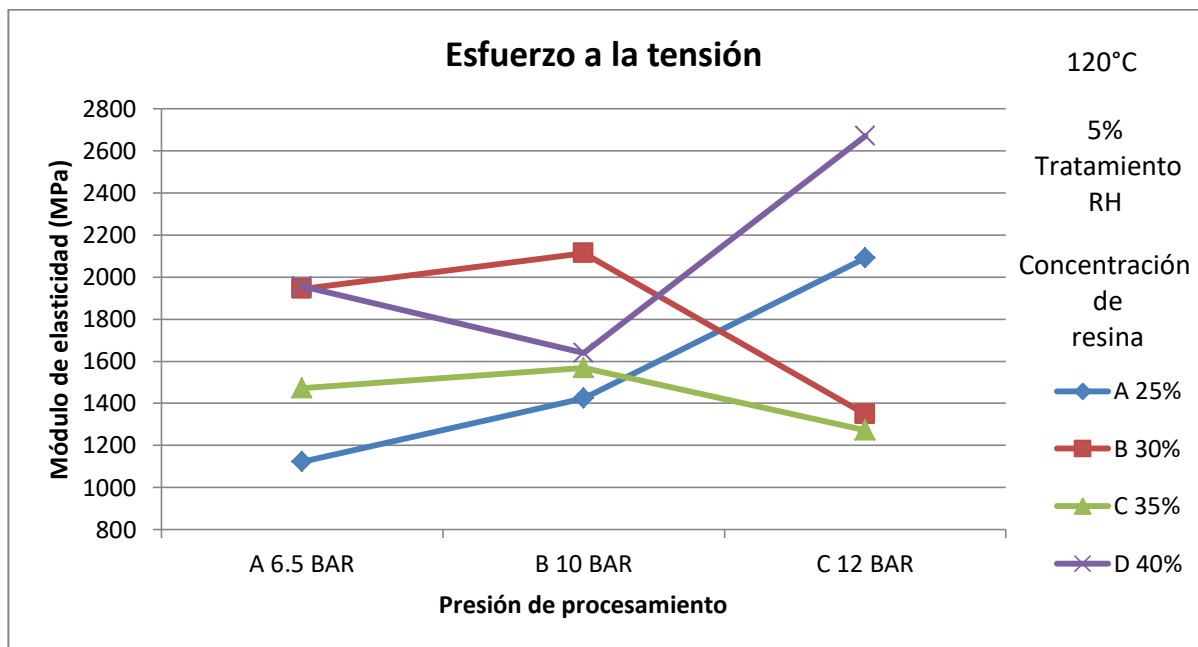


Figura 4.69 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

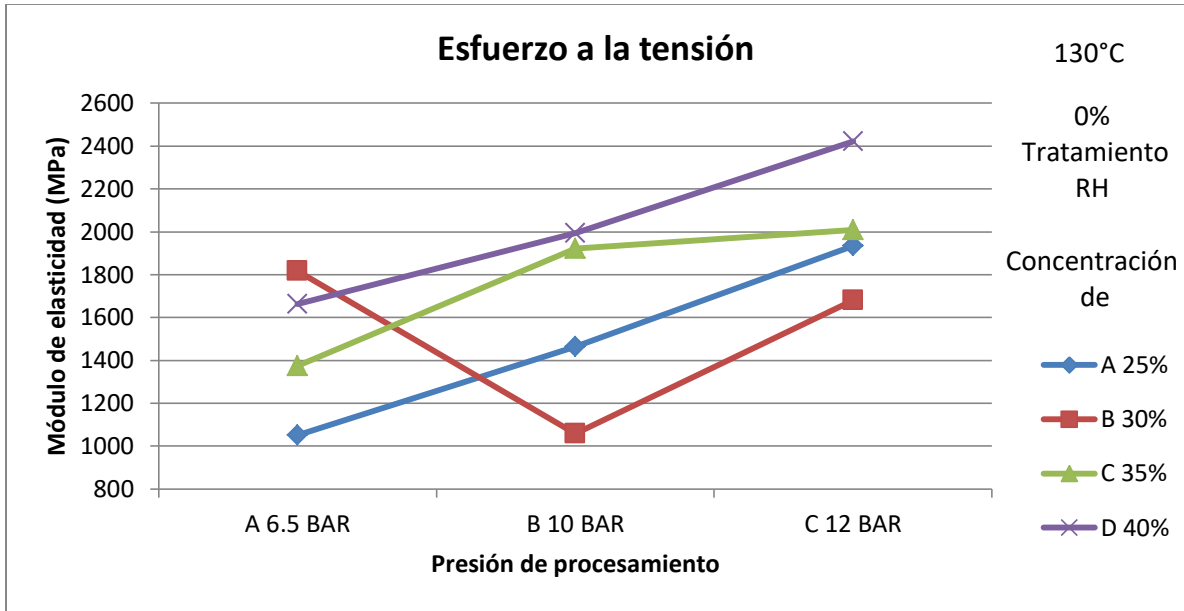


Figura 4.670 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

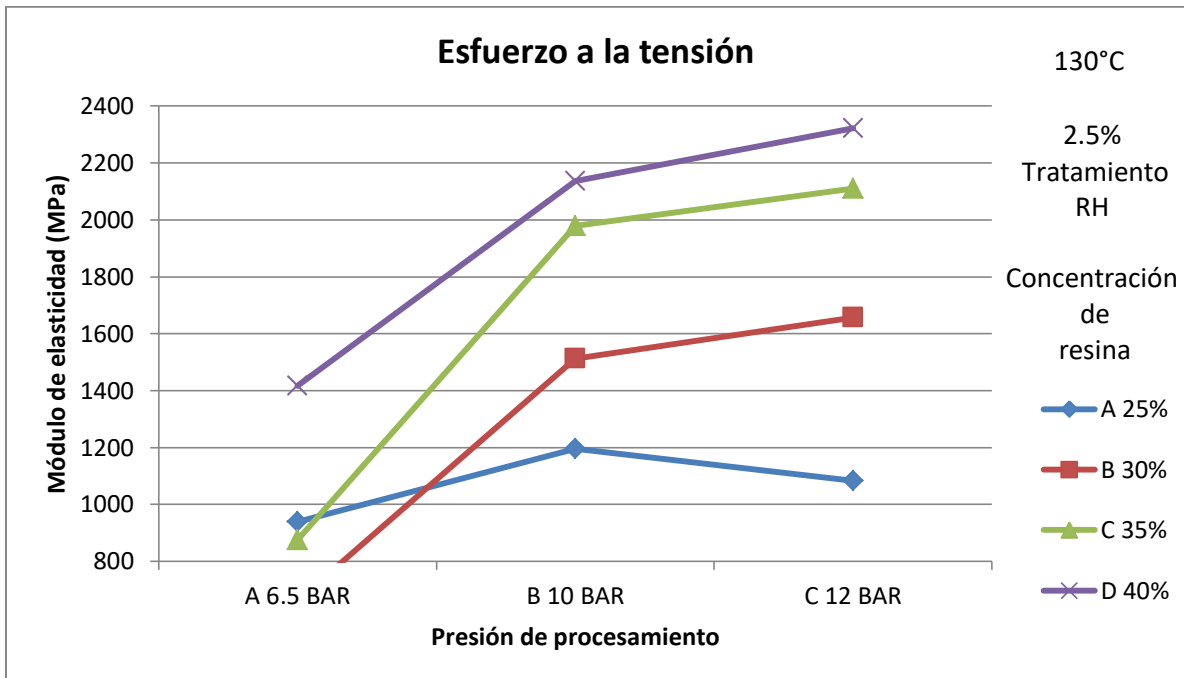


Figura 4.71 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

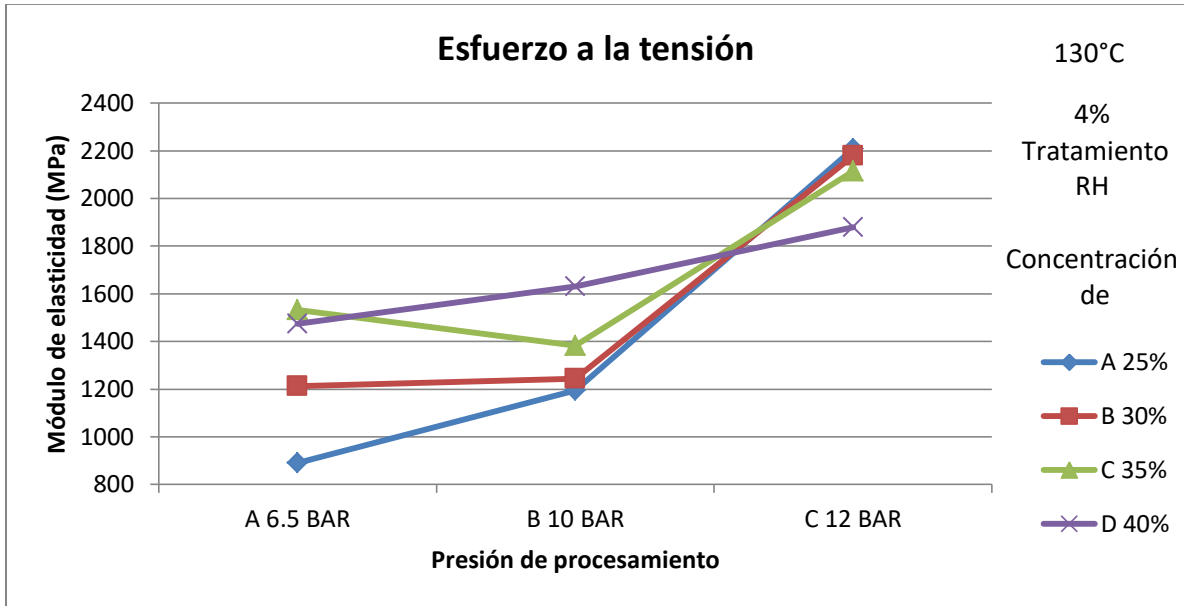


Figura 4.72 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

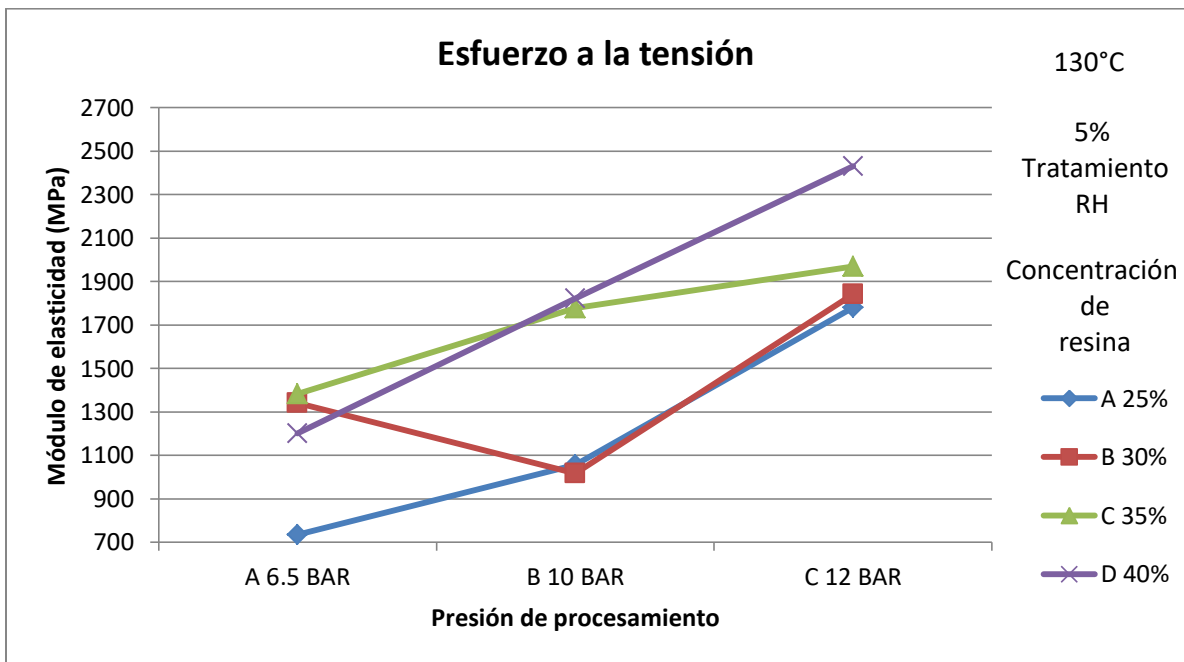


Figura 4.73 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el esfuerzo de flexión del material compuesto, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

4.4.3 Absorción de agua e hinchamiento en agua de los materiales compuestos

Las pruebas de hinchamiento en agua que se realizaron de los materiales compuestos obtenidos, arrojaron los resultados mostrados en las Tablas 4.7.

No se observó una tendencia clara en función de la presión aplicada en el proceso. Sin embargo, a medida que el porcentaje de resina aumenta se observa como decrece el porcentaje de hinchamiento determinado, el porcentaje de agente compatibilizante y temperatura de curado no es muy significativo en el proceso de la elaboración de los materiales compuestos, ver Figura 4.74 – 4.93.

Las pruebas de absorción en agua que se realizaron de los materiales compuestos obtenidos, arrojaron los resultados mostrados en las Tablas 4.8. El porcentaje de absorción decrece al aumentar tanto el contenido de adhesivo, la presión aplicada en el prensado no afecta tanto en los resultados, ver Figura 4.94-4.113.

Tabla 4.7 Resultados de hinchamiento en agua para los materiales compuestos caracterizados.

Espesor (mm) (% Hinchamiento)		TEMPERATURA																							
		120°C												130°C											
		Concentración de resina																							
		25%			30%			35%			40%			25%			30%			35%			40%		
Tratamiento	Presión		2HR	24HRS		2HR	24HRS		2HR	24HRS		2HR	24HRS		2HR	24HRS		2HR	24HRS		2HR	24HRS		2HR	24HRS
A 0%	A 6.5 BAR	1	9.25%	10.46%	13	8.49%	11.32%	25	7.67%	8.41%	37	4.78%	6.80%	49	11.62%	11.82%	61	9.40%	11.40%	73	4.47%	5.72%	85	3.23%	12.75%
	B 10 BAR	2	8.48%	13.45%	14	8.24%	12.56%	26	8.54%	8.54%	38	8.50%	10.61%	50	7.77%	9.55%	62	6.50%	8.19%	74	5.72%	7.87	86	7.69%	7.69%
	C 12 BAR	3	10.19%	10.82%	15	8.44%	10.66%	27	2.01%	2.76%	39	5.94%	8.64%	51	7.74%	8.38%	63	10.07%	12.09%	75	8.68%	9.85	87	7.33%	8.55%
B 2.5%	A 6.5 BAR	4	4.86%	7.58%	16	8.59%	12.55%	28	6.73%	7.24%	40	6.86%	9.34%	52	9.43	12.15%	64	9.90%	10.14%	76	6.07%	7.59	88	5.75%	15.18%
	B 10 BAR	5	10.80%	10.80%	17	9.69%	14.47%	29	9.89%	9.90%	41	7.80%	9.83%	53	11.39%	12.47%	65	9.95%	9.77%	77	7.16%	10.46	89	12.22%	14.10%
	C 12 BAR	6	10.91%	12.88%	18	9.42%	13.81%	30	6.79%	10.49%	42	9.40%	10.05%	54	12.36%	13.00%	66	10%	10.22%	78	6.11%	8.31%	90	12.50%	12.82%
C 4%	A 6.5 BAR	7	4.21%	11.64%	19	7.98%	13.49%	31	5.55%	7.40%	43	5.86%	8%	55	4.57%	6.21%	67	7.87%	8.97%	79	2.41%	7.25%	91	8.58%	9.14%
	B 10 BAR	8	7.82%	13.87%	20	6.73%	10.30%	32	11.52%	12.10%	44	6.76%	9.10%	56	6.68%	9.57%	68	8.16%	10.65%	80	7.90%	8.21%	92	9.60%	10.21%
	C 12 BAR	9	6.57%	21.28%	21	6.29%	12.83%	33	7.06%	13.85%	45	6.94%	9.72%	57	10.38%	10.99%	69	9.11%	13.66%	81	8.24%	18.35	93	7.31%	10.02%
D 5%	A 6.5 BAR	10	11.20%	11.42%	22	10.02%	10.47%	34	9.24%	10.18%	46	5.68%	8.26%	58	4.39%	4.67%	70	6.99%	7.20%	82	8.88%	9.11	94	4.09%	6.13%
	B 10 BAR	11	9.76%	10.23%	23	10.32%	13.31%	35	9.58%	9.58%	47	10.90%	12.77%	59	7.28%	12.52%	71	12.14%	13.33%	83	8.26%	8.5	95	4.80%	5.06%
	C 12 BAR	12	11.27%	11.75%	24	6.94%	11.51%	36	7.02%	9.34%	48	3.29%	4.47%	60	16.18%	16.18%	72	8.20%	11.79%	84	24.18%	33.95%	96	7.29%	7.29%

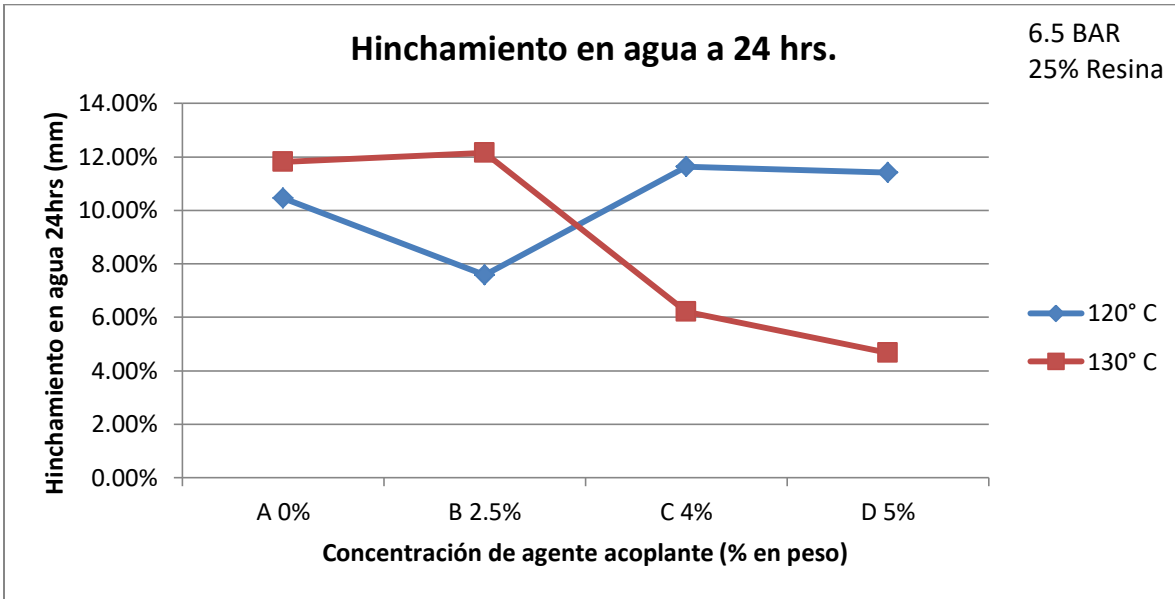


Figura 4.74 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 25% de resina fenólica.

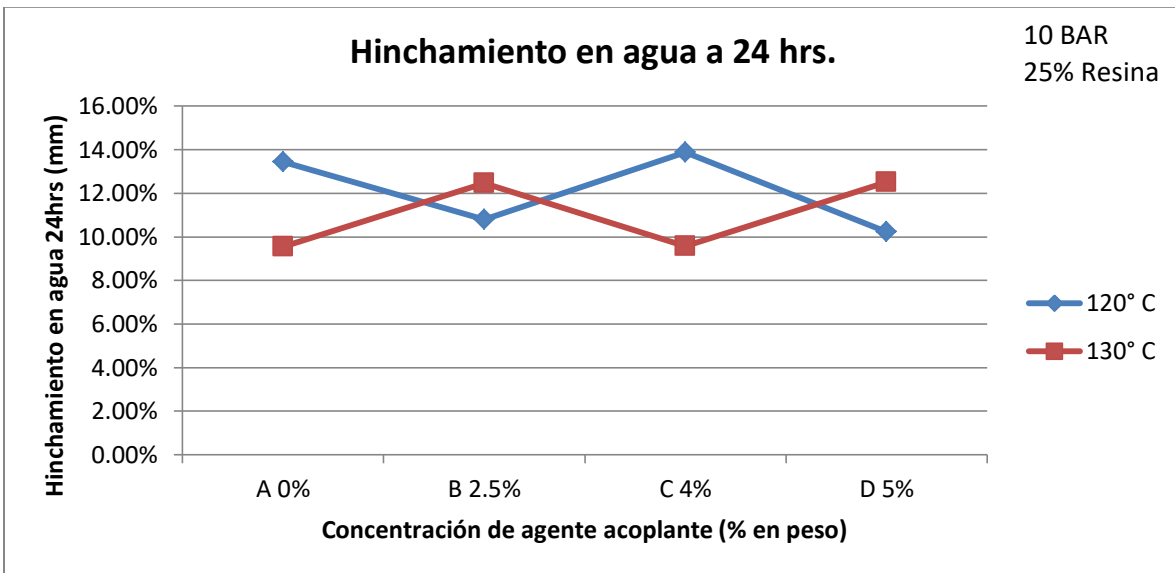


Figura 4.75 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 25% de resina fenólica.

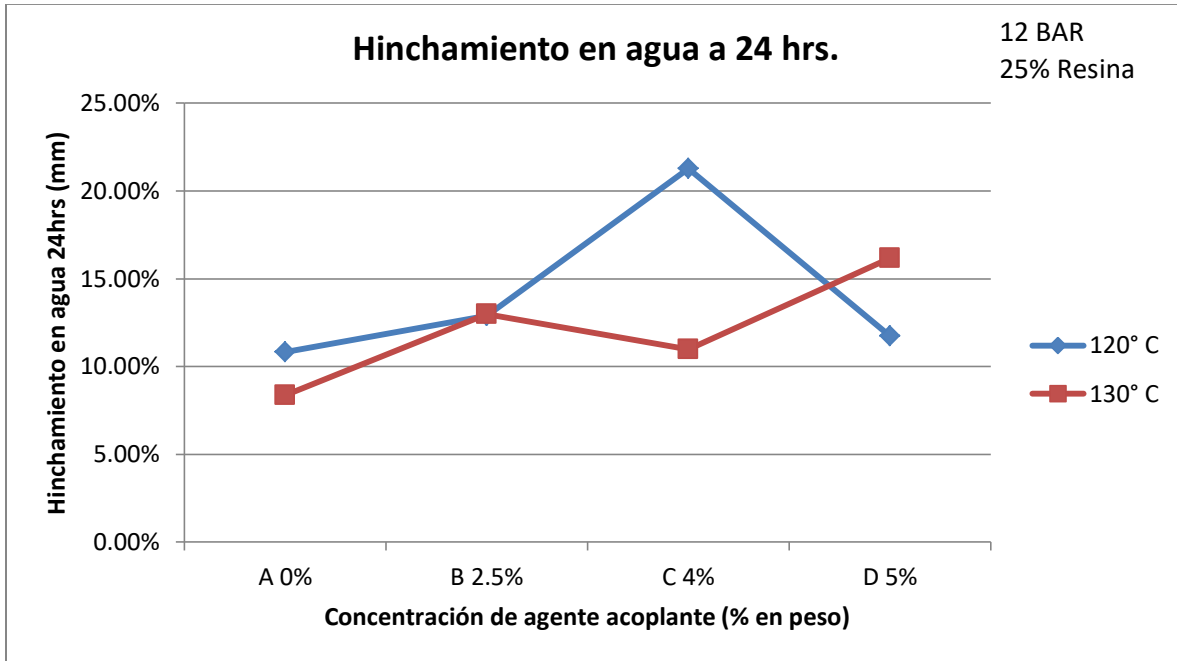


Figura 4.76 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 25% de resina fenólica.

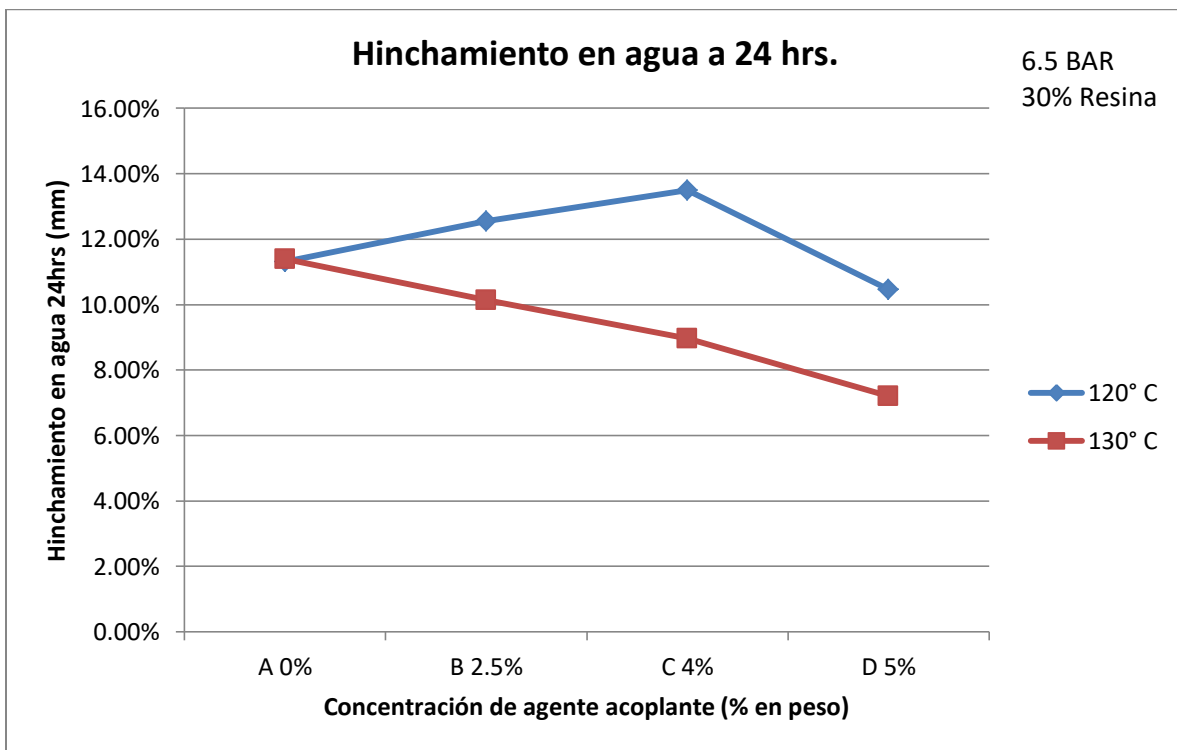


Figura 4.77 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica.

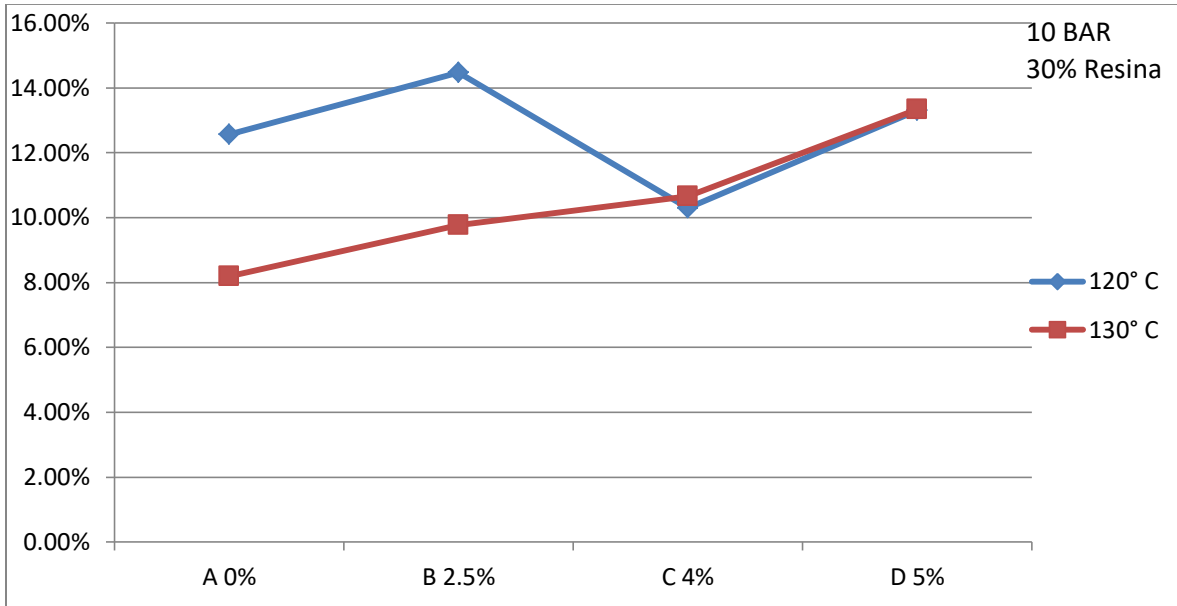


Figura 4.78 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 30% de resina fenólica.

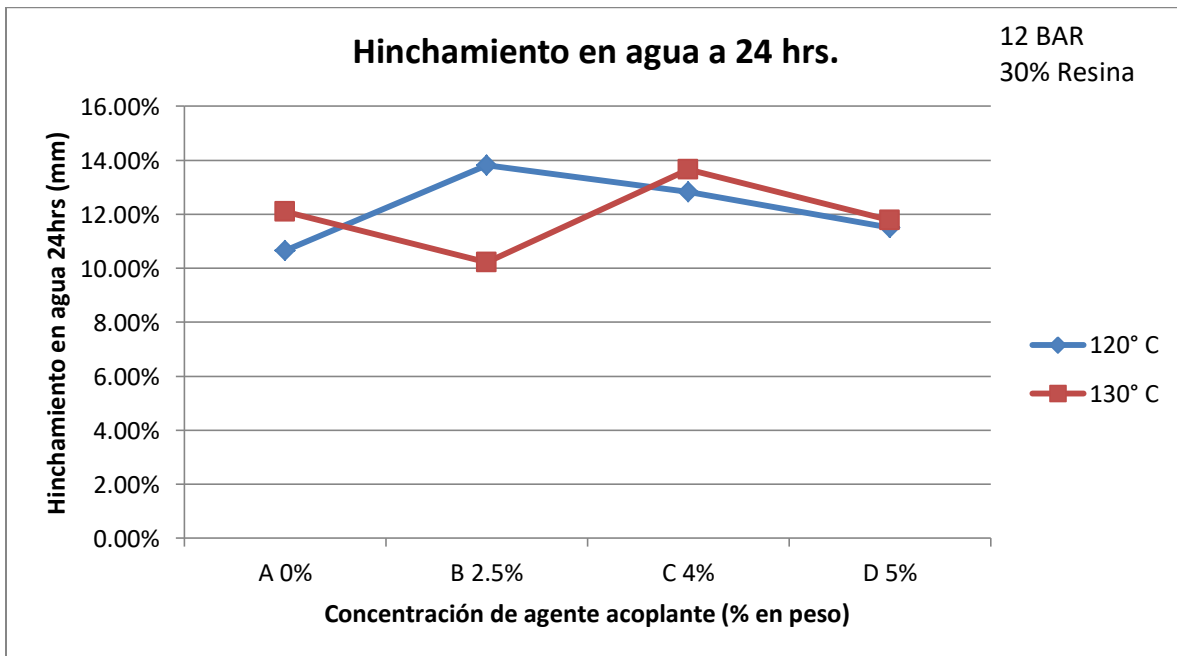


Figura 4.79 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 30% de resina fenólica.

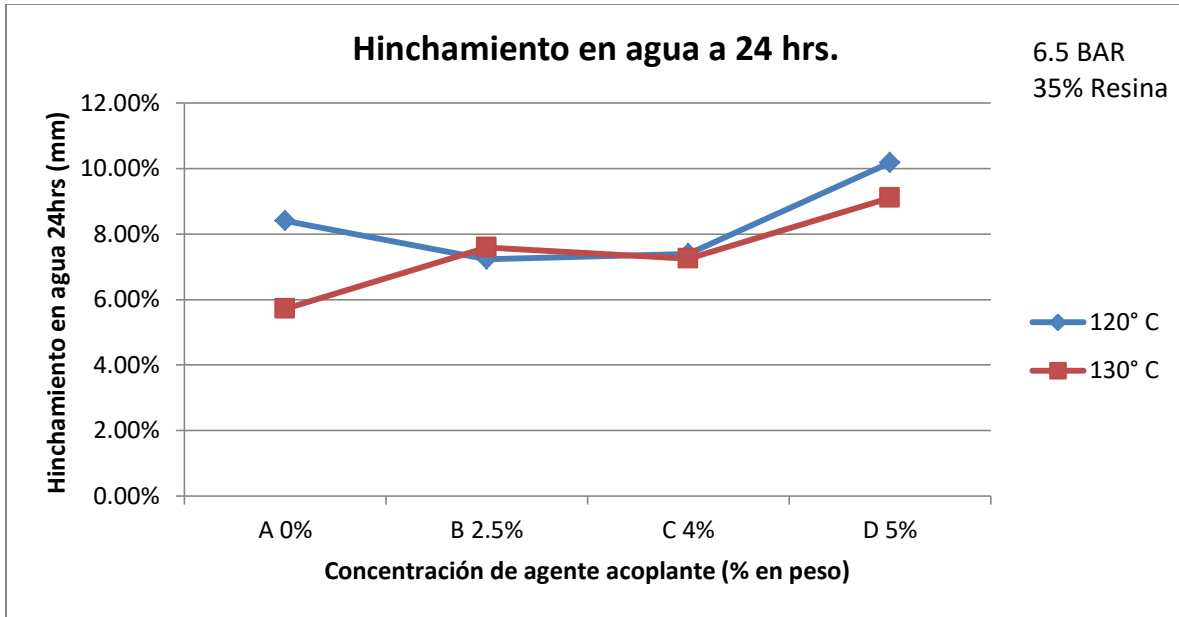


Figura 4.80 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica.

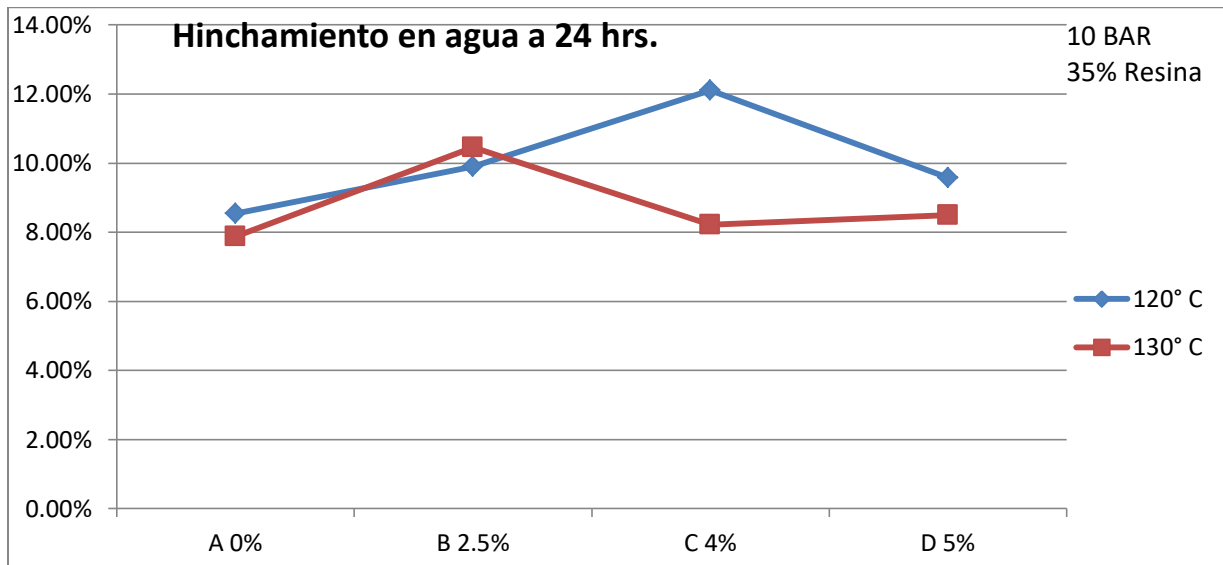


Figura 4.81 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 35% de resina fenólica.

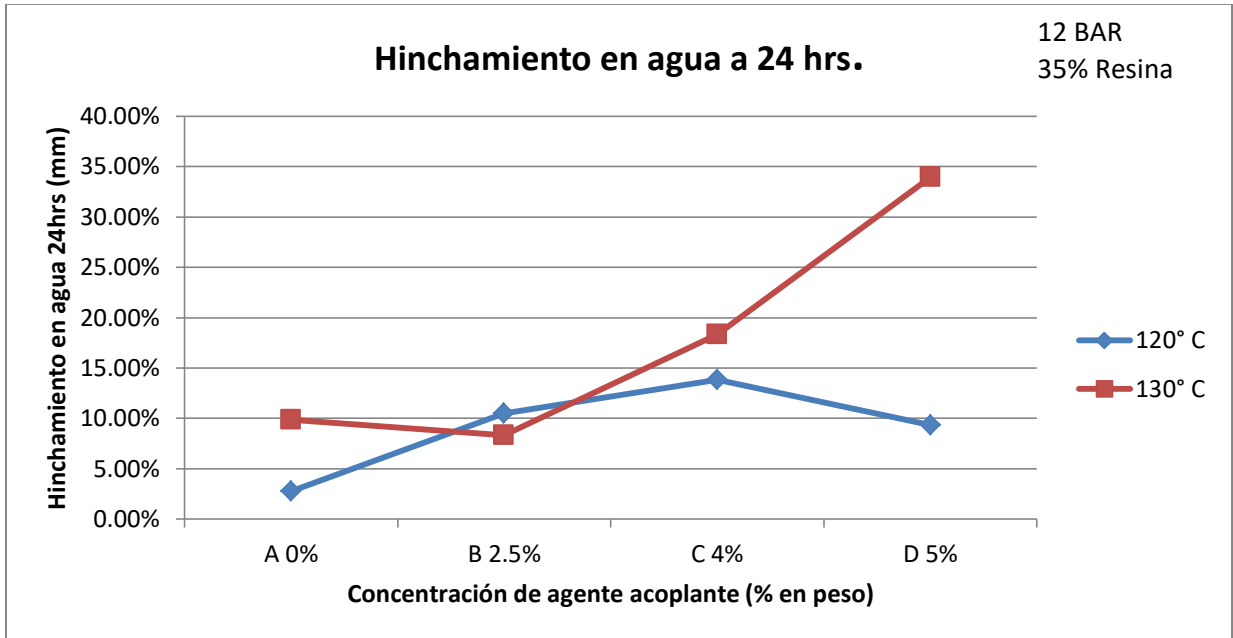


Figura 4.82 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 35% de resina fenólica.

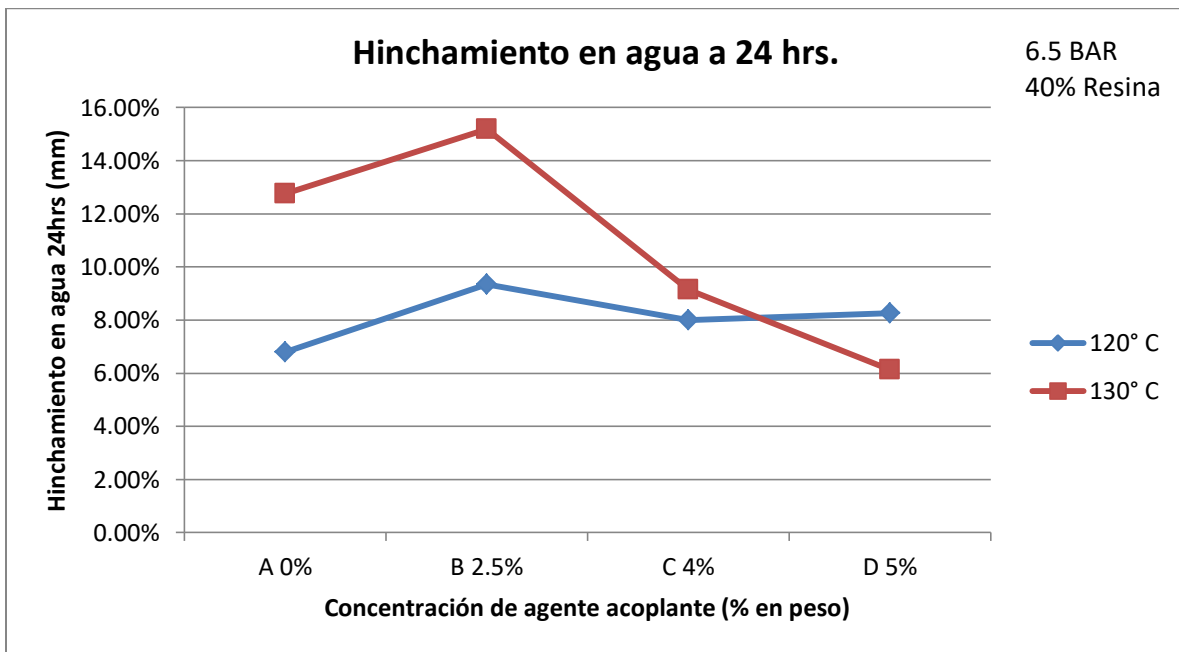


Figura 4.83 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 40% de resina fenólica.

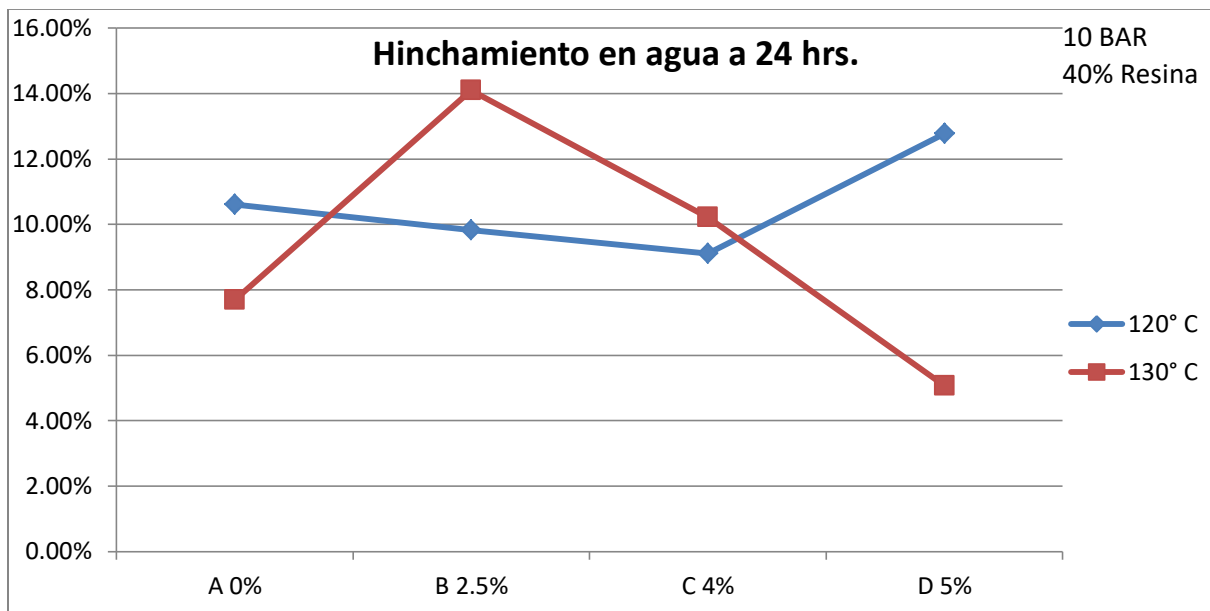


Figura 4.84 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 40% de resina fenólica.

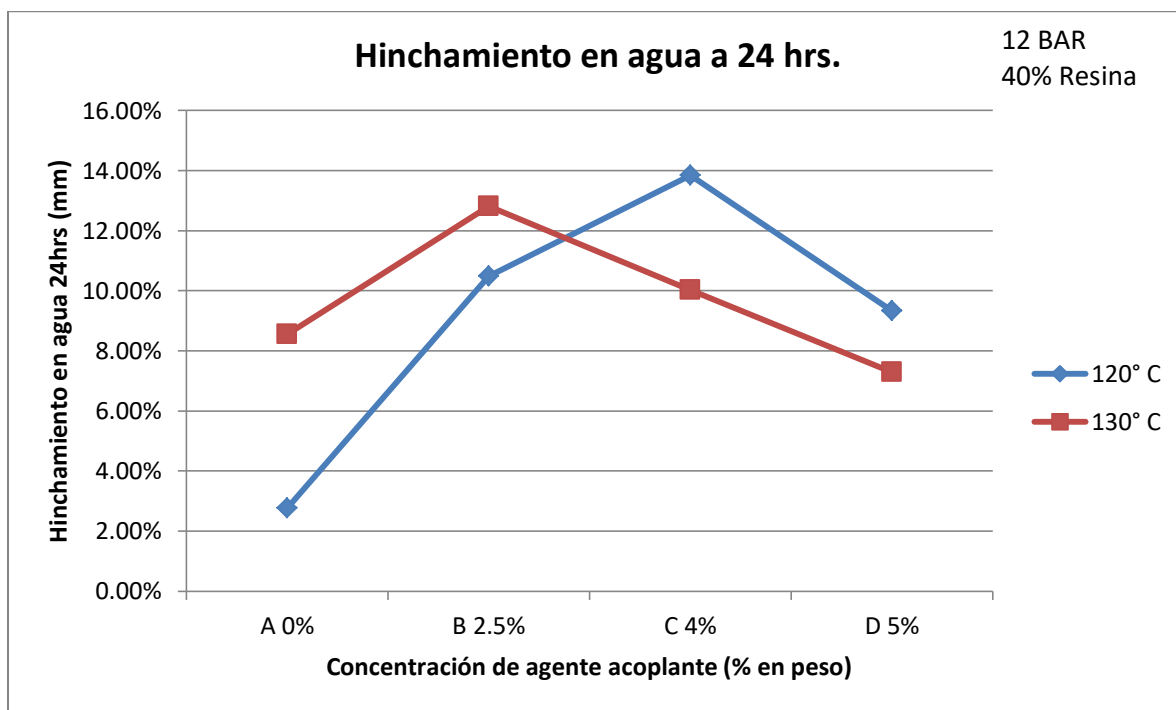


Figura 4.85 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 40% de resina fenólica.

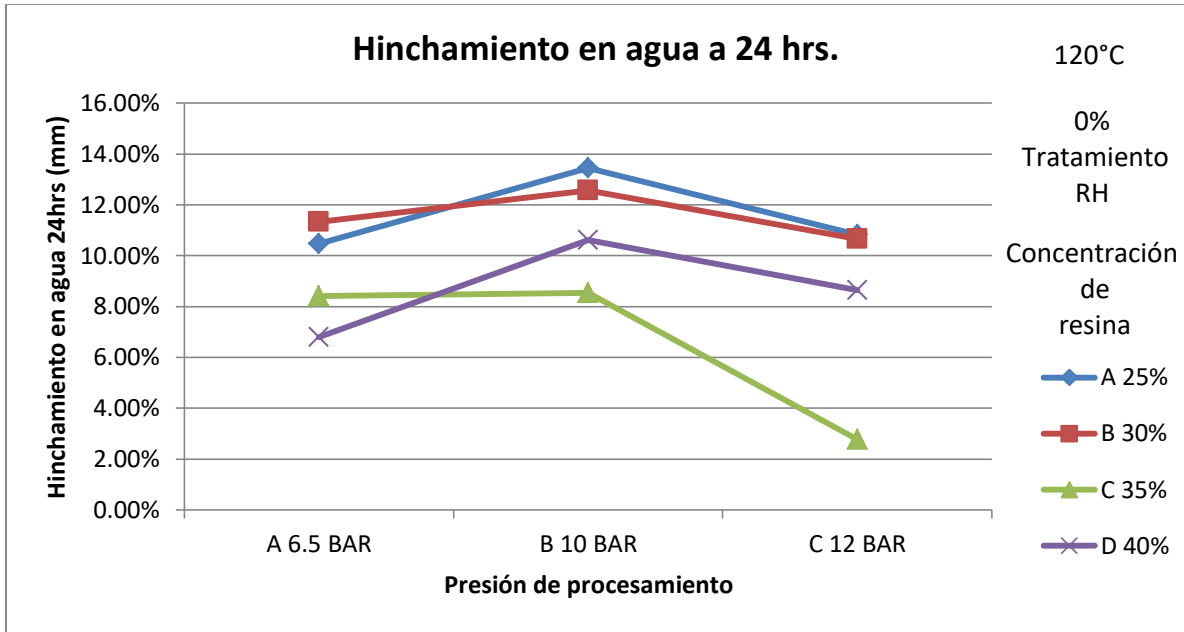


Figura 4.86 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

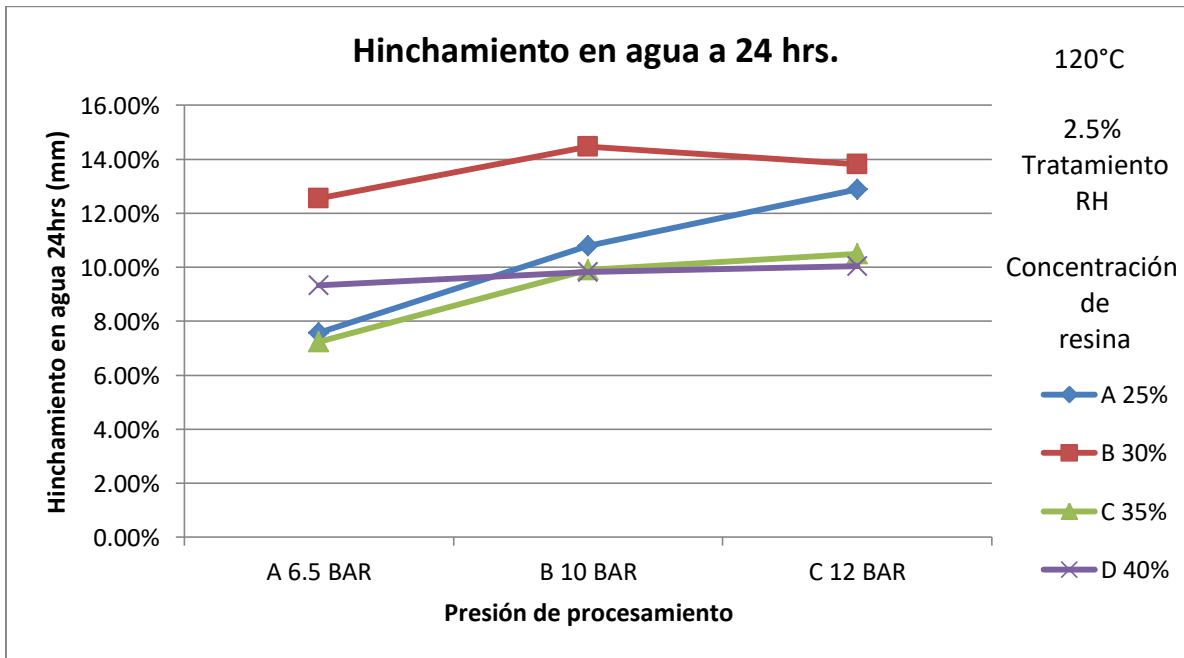


Figura 4.87 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

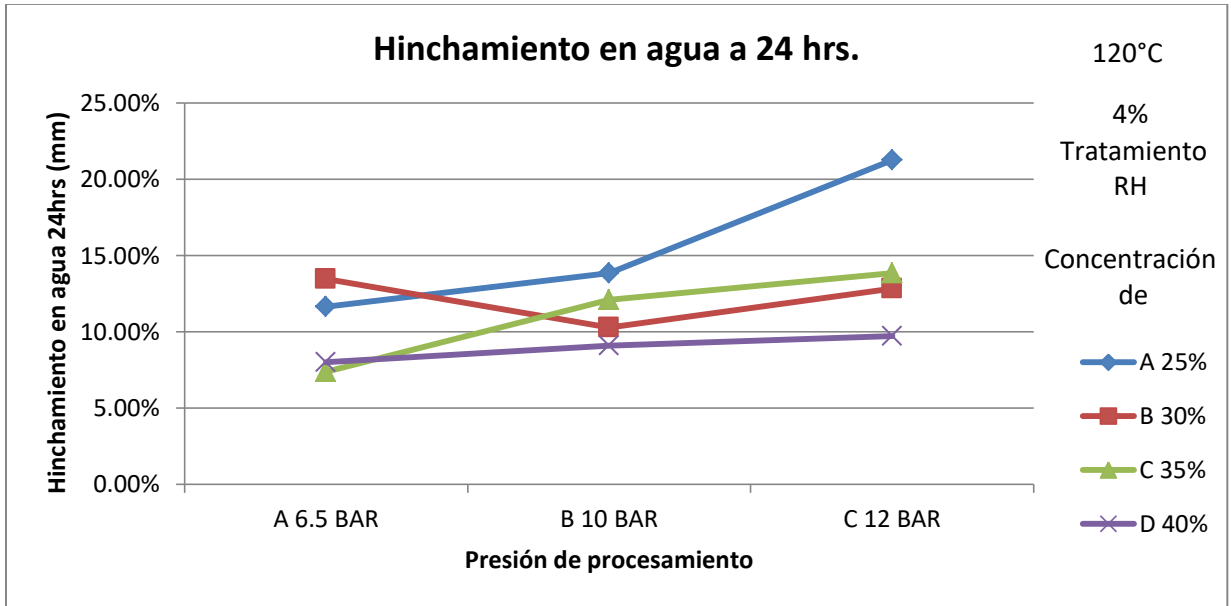


Figura 4.88 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

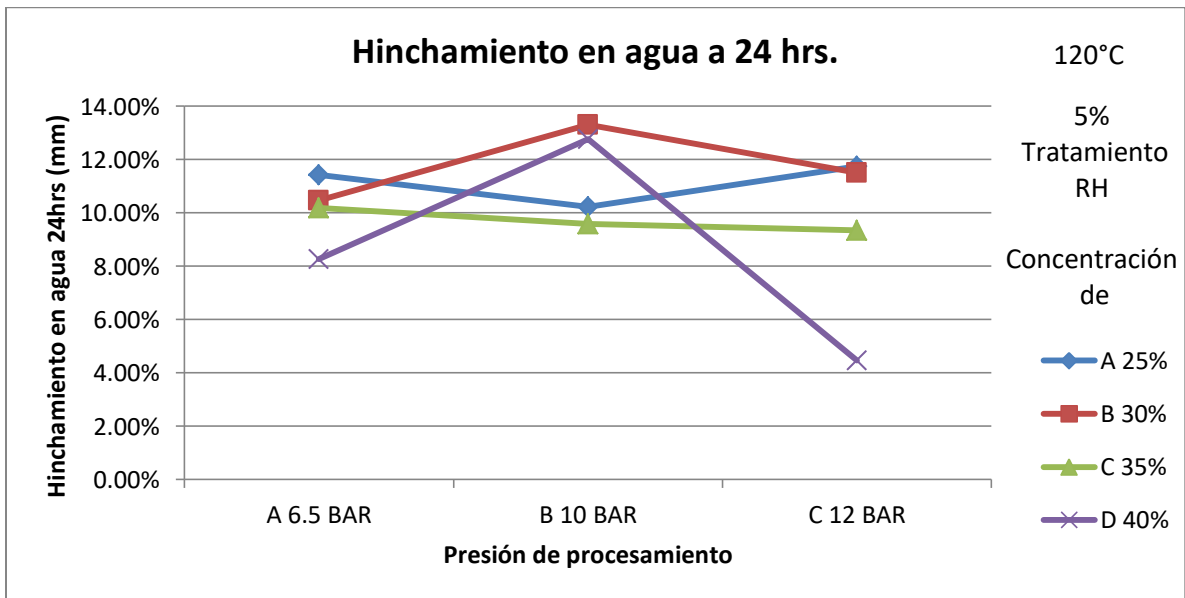


Figura 4.89 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

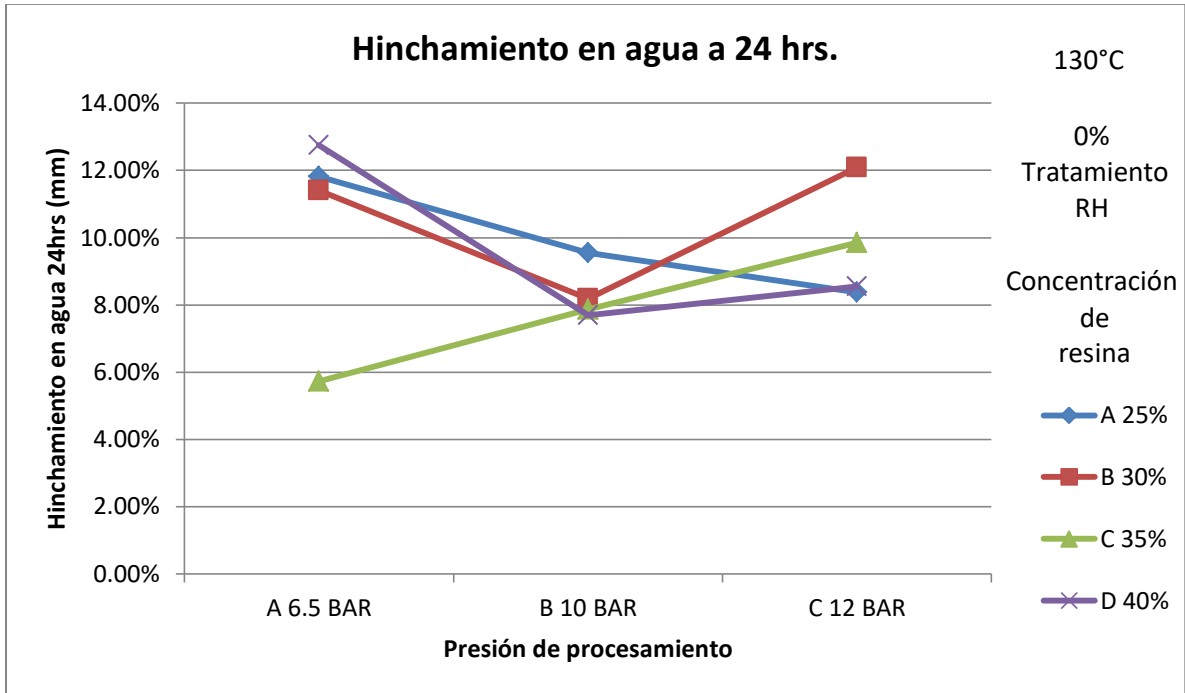


Figura 4.90 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

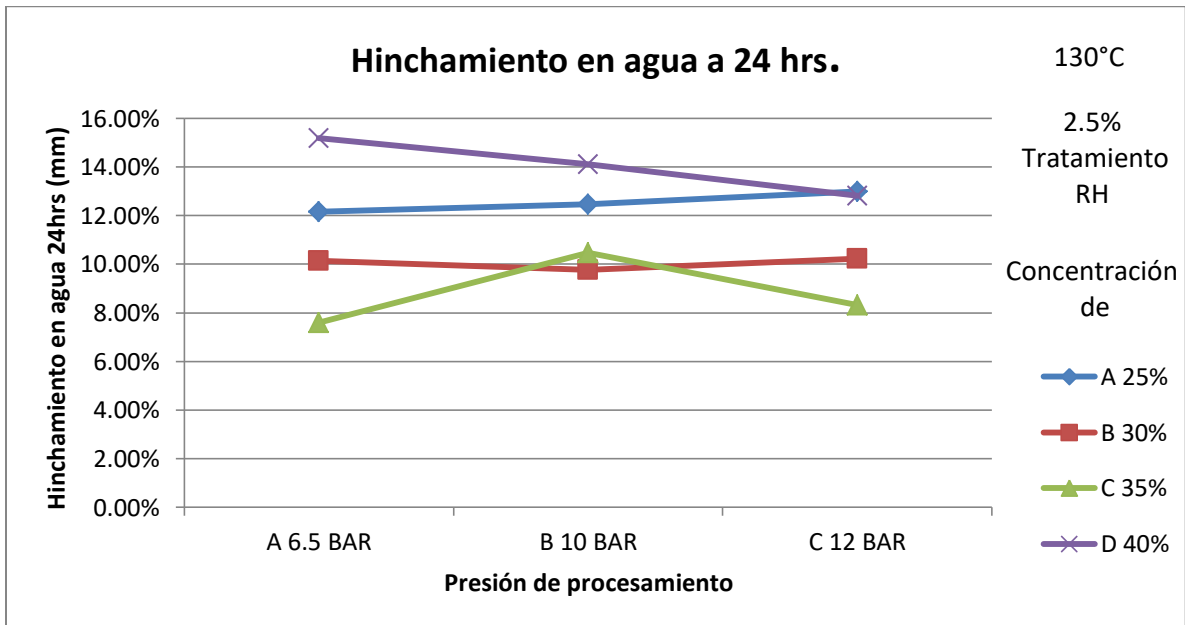


Figura 4.91 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

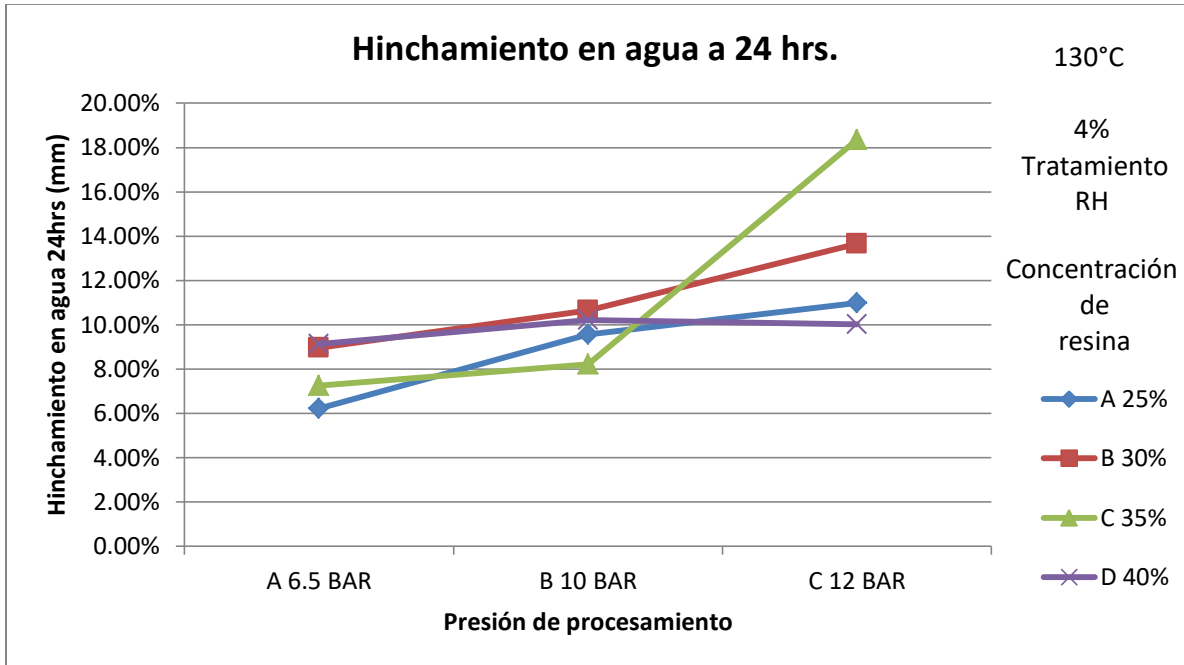


Figura 4.92 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

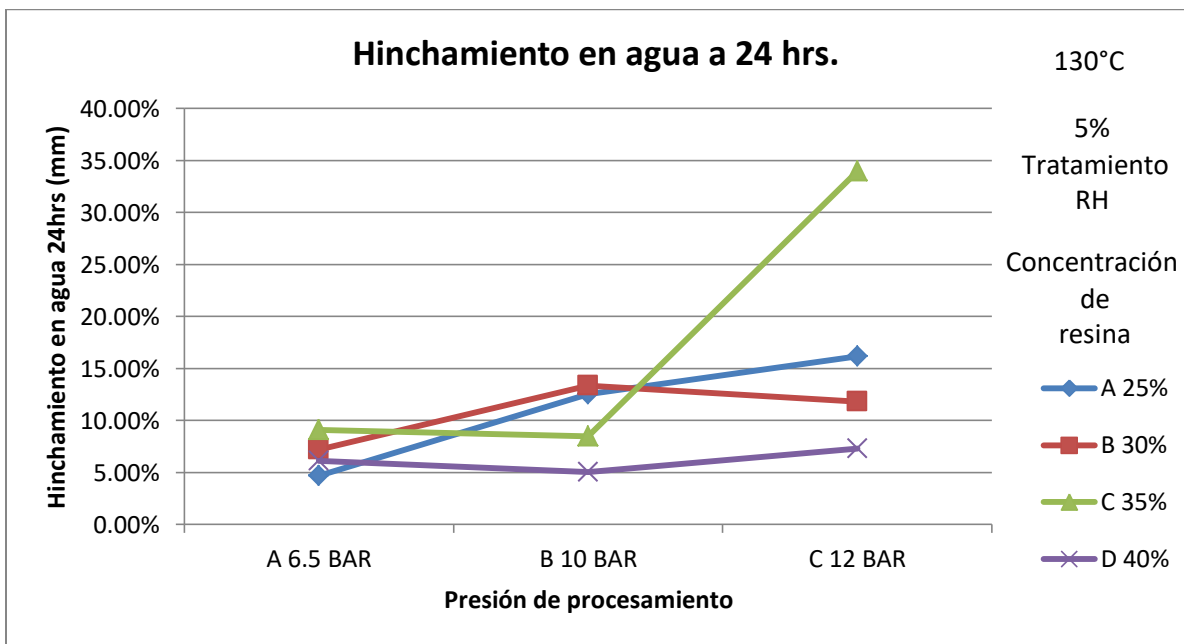


Figura 4.93 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en el hinchamiento en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

Tabla 4.8. Resultados de absorción en agua para los materiales compuestos caracterizados.

Absorción gr		TEMPERATURA																							
		120°C										130°C													
		Concentración de resina																							
		25%		30%		35%		40%		25%		30%		35%		40%									
Tratamiento	Presión	2HR	24HRS	2HR	24HRS	2HR	24HRS	2HR	24HRS	2HR	24HRS	2HR	24HRS	2HR	24HRS	2HR	24HRS	2HR	24HRS						
A 0%	A 6.5 BAR	1	82.05%	98.46%	13	60.39%	81.68%	25	50%	65.38%	37	44%	73.13%	49	63.98%	100.94%	61	59.28%	104.90%	73	59.10%	69.47%	85	50%	89.24%
	B 10 BAR	2	59.90%	87.93%	14	46.11%	62.69%	26	44.15%	56.27%	38	44%	59.29%	50	68.86%	80.18%	62	66.72%	64.36%	74	66.48%	75.13%	86	56.38%	72.34%
	C 12 BAR	3	85.71%	85.71%	15	73.05%	77.77%	27	41.80%	115.25%	39	48%	55.39%	51	64.12%	80.91%	63	61.05%	69.47%	75	58.22%	61.77%	87	56.20%	65.44
B 2.5%	A 6.5 BAR	4	102.25%	102.25%	16	56.98%	75.28%	28	50.73%	52.21%	40	48%	63.52%	52	68.35%	102.44%	64	68%	100.56%	76	66.85%	92.26%	88	57.21%	68.44%
	B 10 BAR	5	65.80%	109.84%	17	55.05%	61.61%	29	50.66%	61.77%	41	47.84%	63.63%	53	72.44%	115.81%	65	65%	72.91%	77	57.05%	80.98%	89	54.74%	70.39%
	C 12 BAR	6	96.69%	109.00%	18	48.25%	75.12%	30	37.29%	61.08%	42	43.83%	55.25%	54	58.48%	79%	66	55.65%	73.47%	78	45.52%	61.78%	90	42.79%	58.95%
C 4%	A 6.5 BAR	7	78.94%	103.15%	19	68.75%	81.25%	31	51.04%	71.35%	43	45.88%	68.82%	55	91.16%	111.16%	67	63.52%	77.46%	79	56.17%	85.18%	91	54.38%	66.08%
	B 10 BAR	8	63.90%	81.95%	20	60.64%	74.53%	32	38.94%	80.57%	44	36.94%	56.15%	56	71.57%	94%	68	68.99%	85.23%	80	67.35%	73.05%	92	51.28%	67.17%
	C 12 BAR	9	86.47%	107.72%	21	62.90%	74.73%	33	35.34%	60.34%	45	48%	57.60%	57	75.62%	97.50%	69	57.14%	61.42%	81	52.57%	81.44%	93	45.73%	64.57%
D 5%	A 6.5 BAR	10	64.25%	87.33%	22	53.78%	77.57%	34	47.66%	70.56%	46	37.94%	62.50%	58	59.13%	73.41%	70	51.23%	83.33%	82	41.66%	67.12%	94	40%	48.92%
	B 10 BAR	11	55.10%	63.26%	23	48.76%	69.45%	35	42.17%	80.86%	47	41.08%	56.75%	59	65.88%	80.84%	71	62.68%	82.08%	83	52.28%	62.94%	95	49.46%	67.74%
	C 12 BAR	12	55.77%	71.71%	24	59%	83%	36	50.82%	53.67%	48	74.07%	97.53%	60	87.67%	85.30%	72	53.70%	71.09%	84	54.18%	72.90%	96	52.27%	62.27%

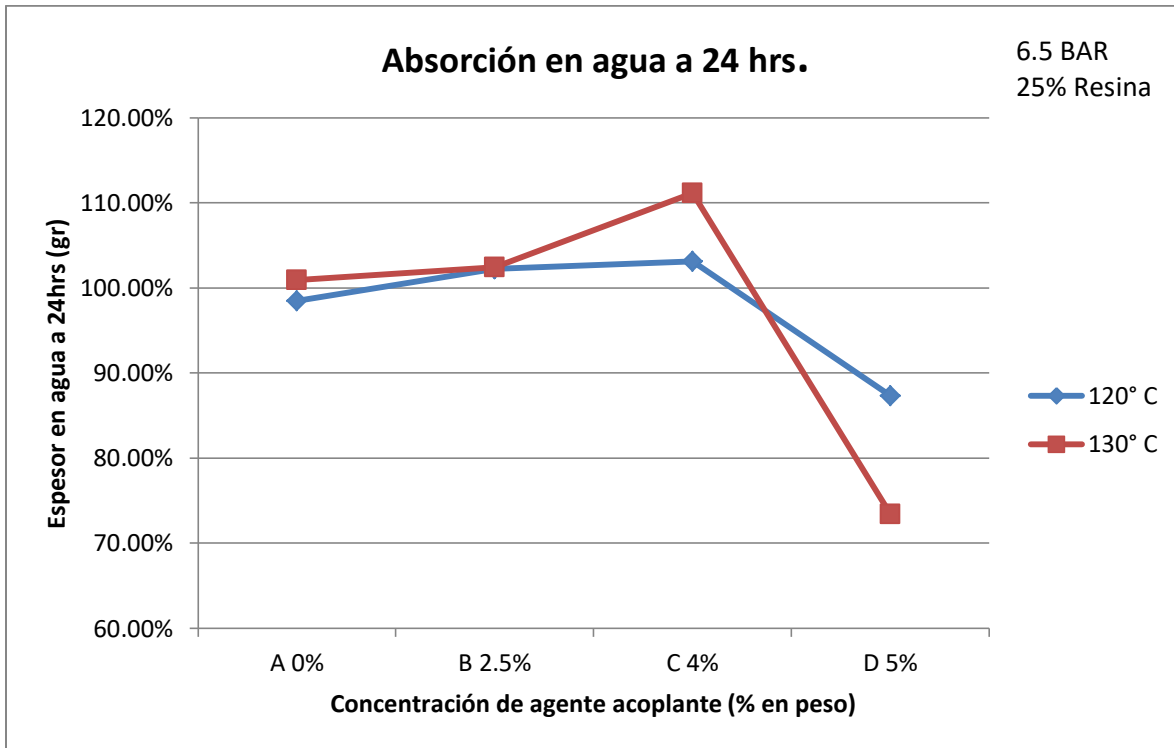


Figura 4.94 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 10% de resina fenólica

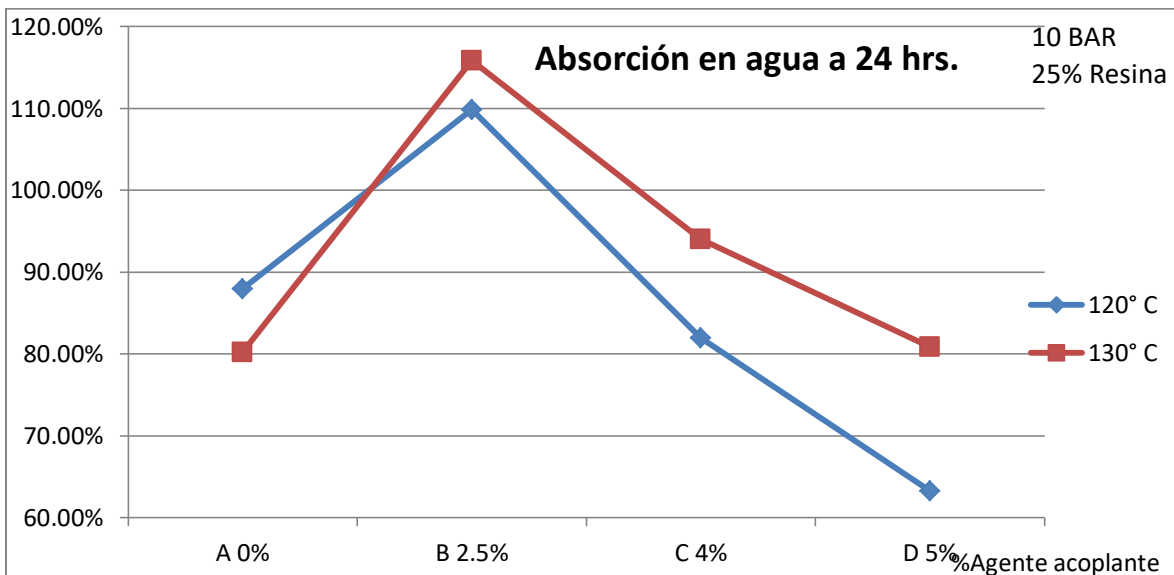


Figura 4.95 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 25% de resina fenólica.

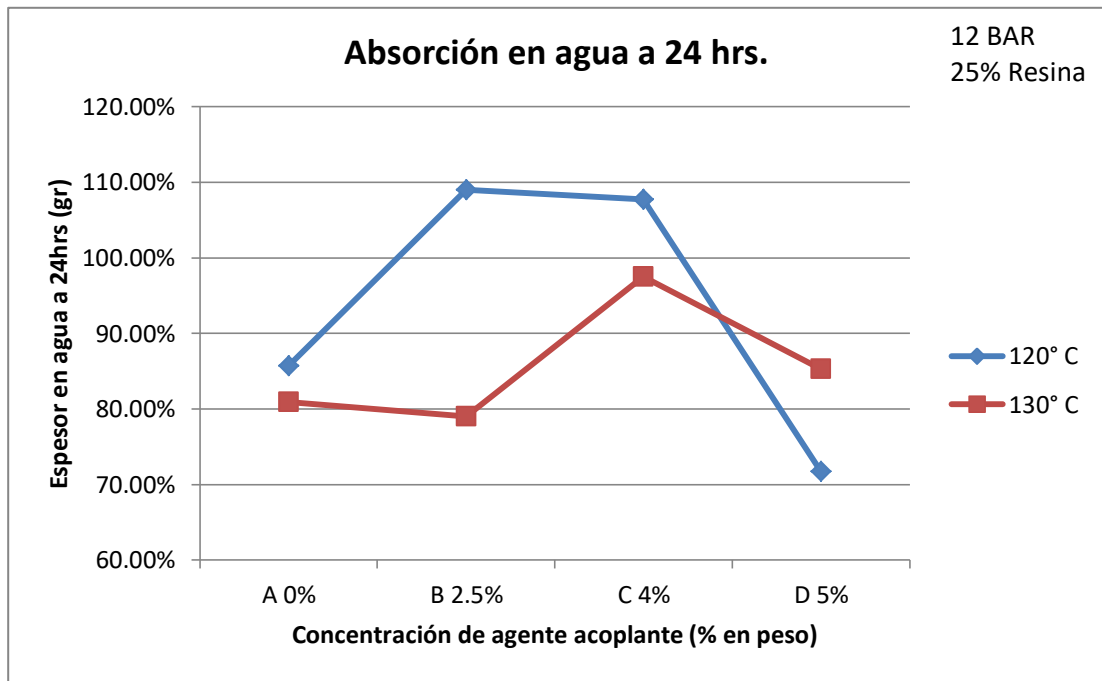


Figura 4.96 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 25% de resina fenólica.

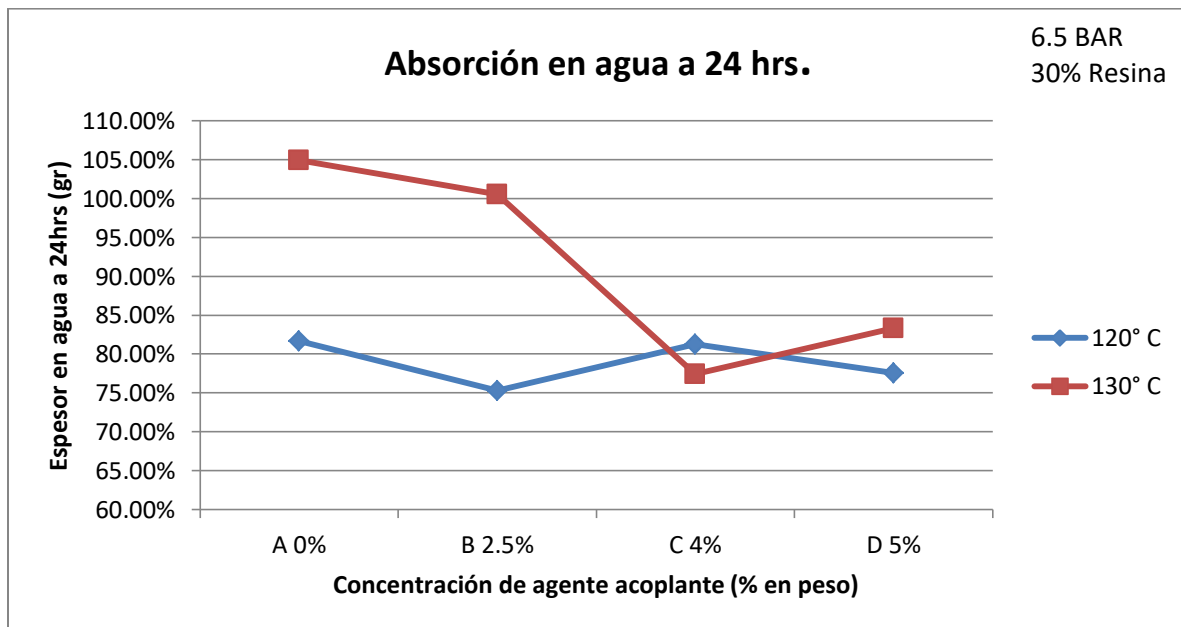


Figura 4.97 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 30% de resina fenólica.

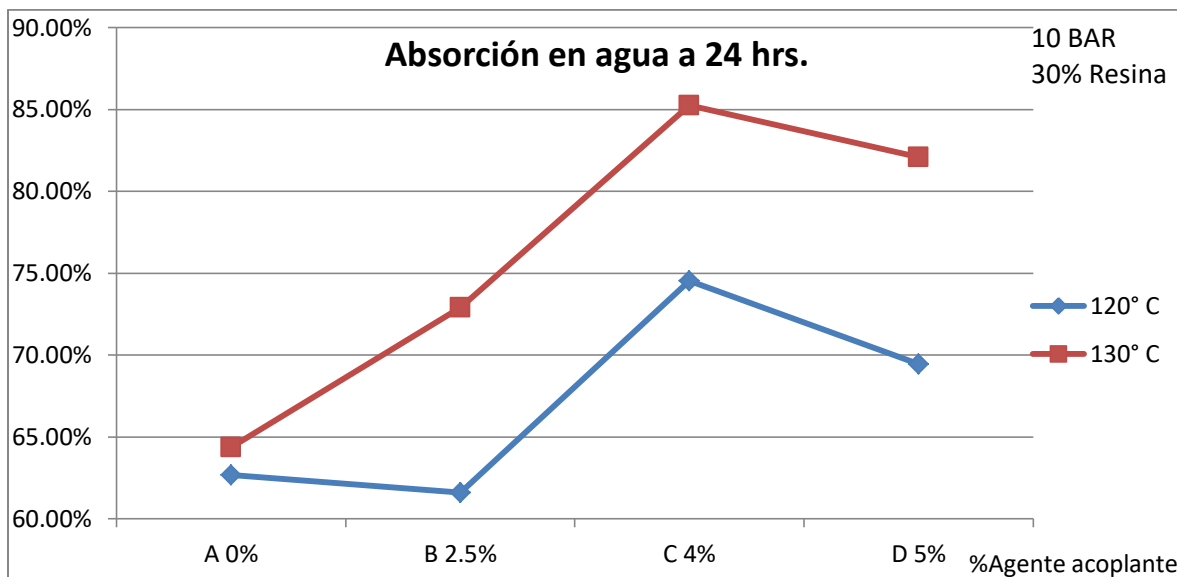


Figura 4.98 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 30% de resina fenólica.

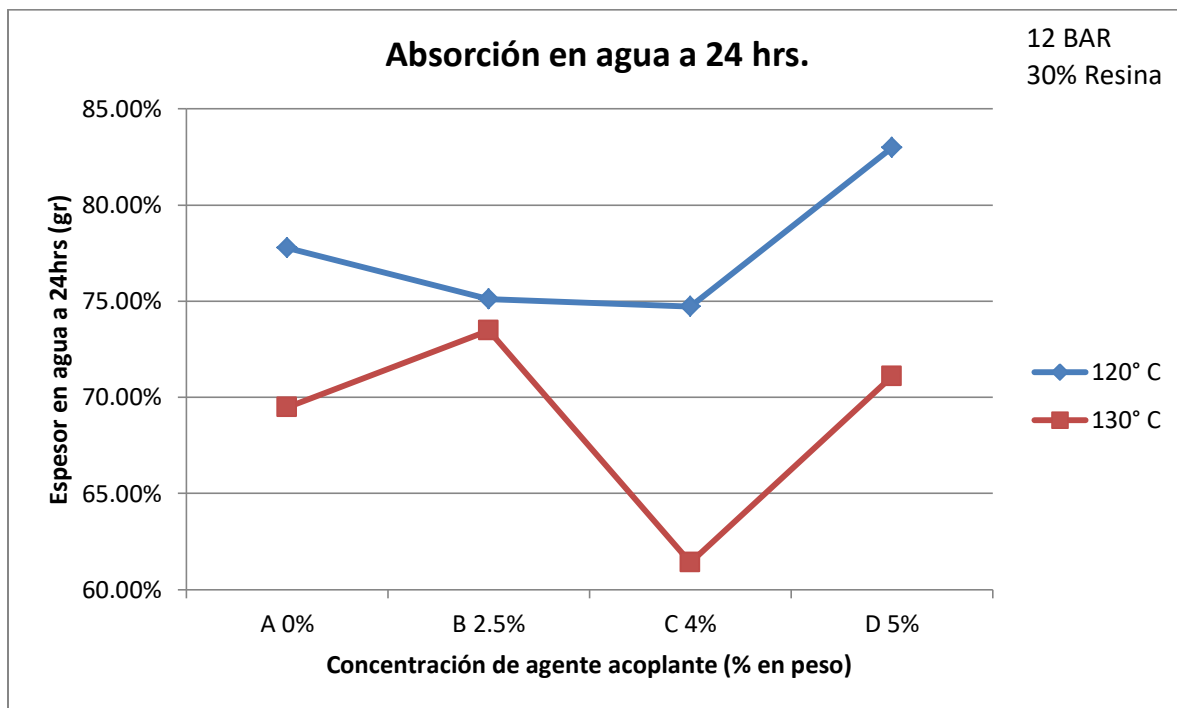


Figura 4.99 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 30% de resina fenólica.

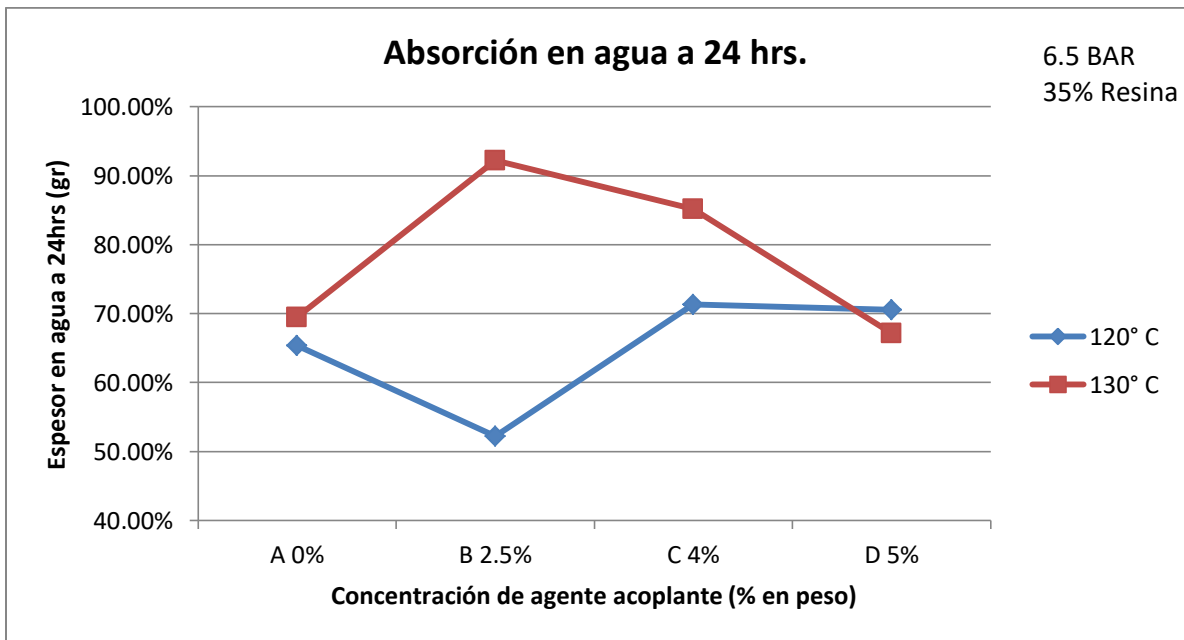


Figura 4.100 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 35% de resina fenólica.

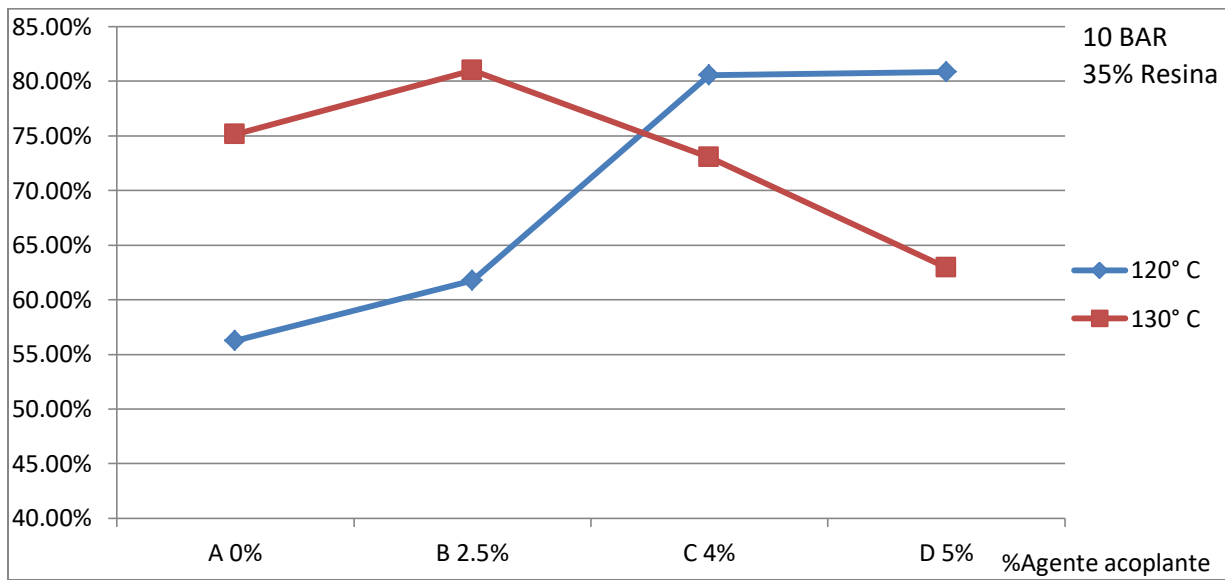


Figura 4.101 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 35% de resina fenólica.

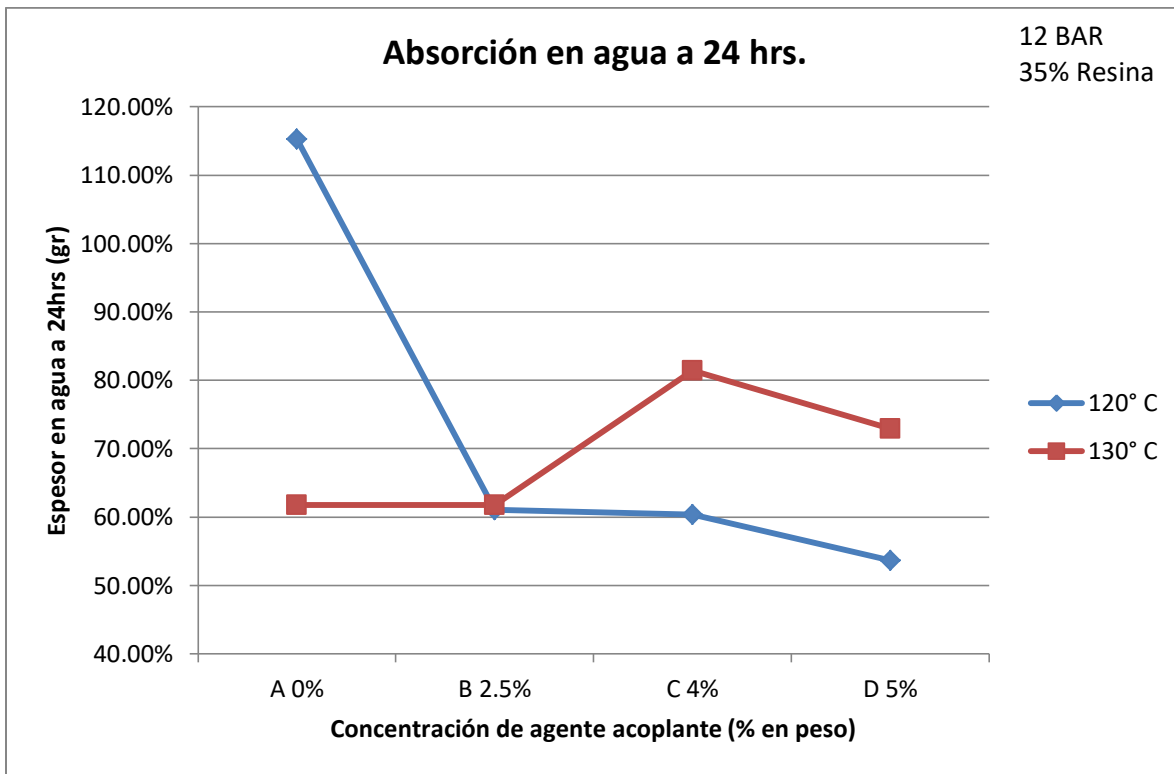


Figura 4.102 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 35% de resina fenólica.

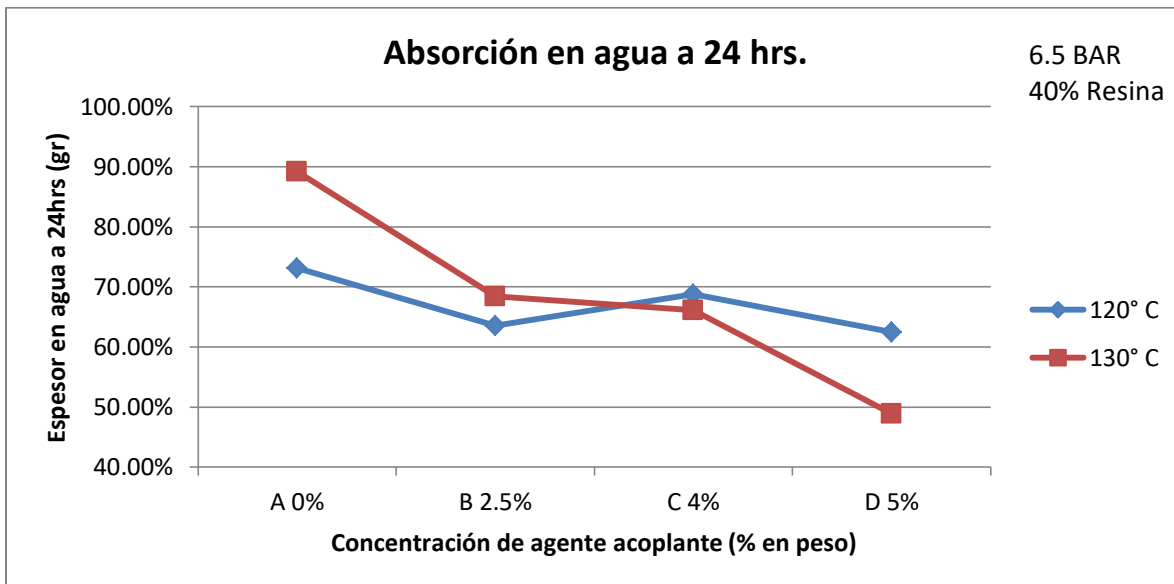


Figura 4.103 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 6.5 Bar y 40% de resina fenólica.

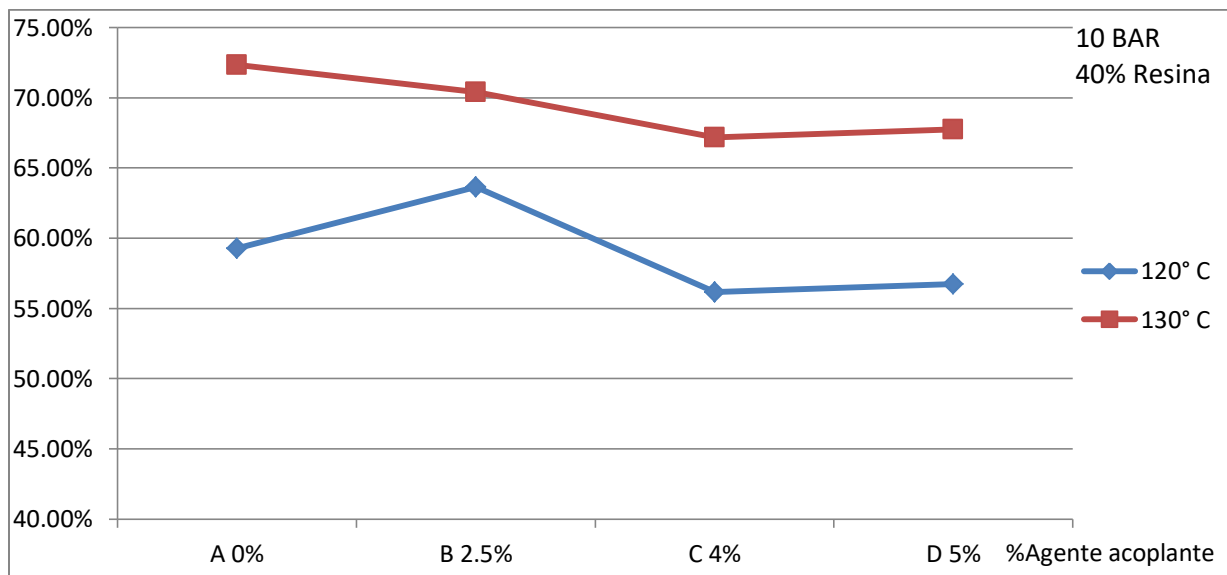


Figura 4.104 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 10 Bar y 40% de resina fenólica.

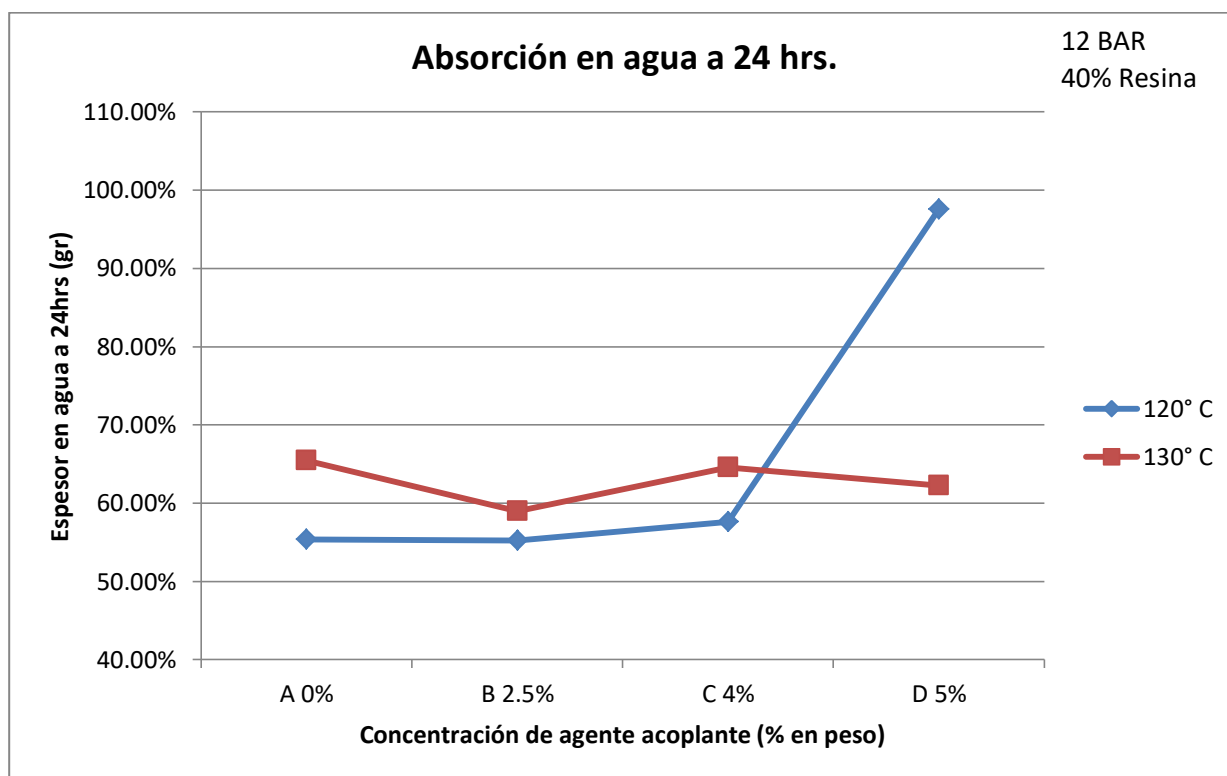


Figura 4.105 Efecto de la concentración del agente acoplante y la temperatura en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 12 Bar y 40% de resina fenólica.

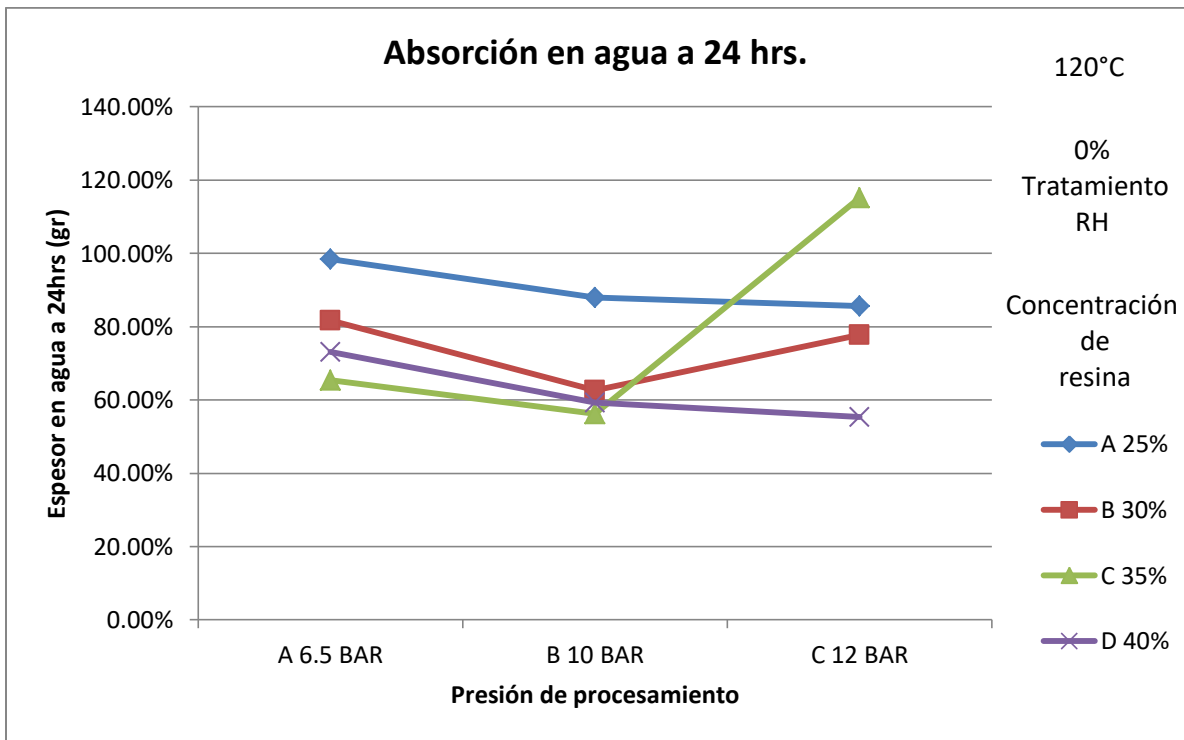


Figura 4.106 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

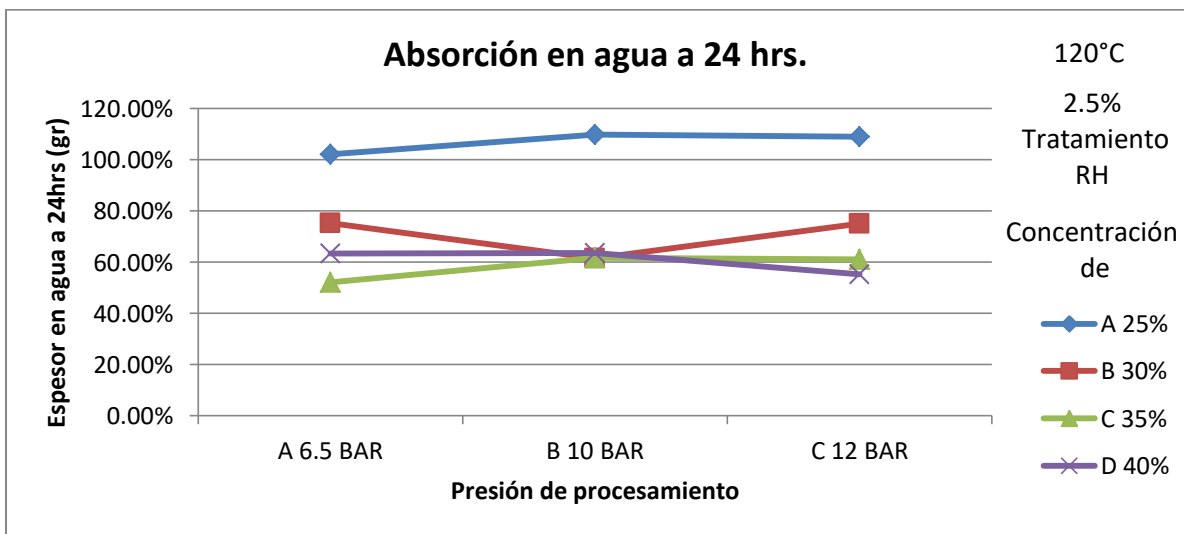


Figura 4.107 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

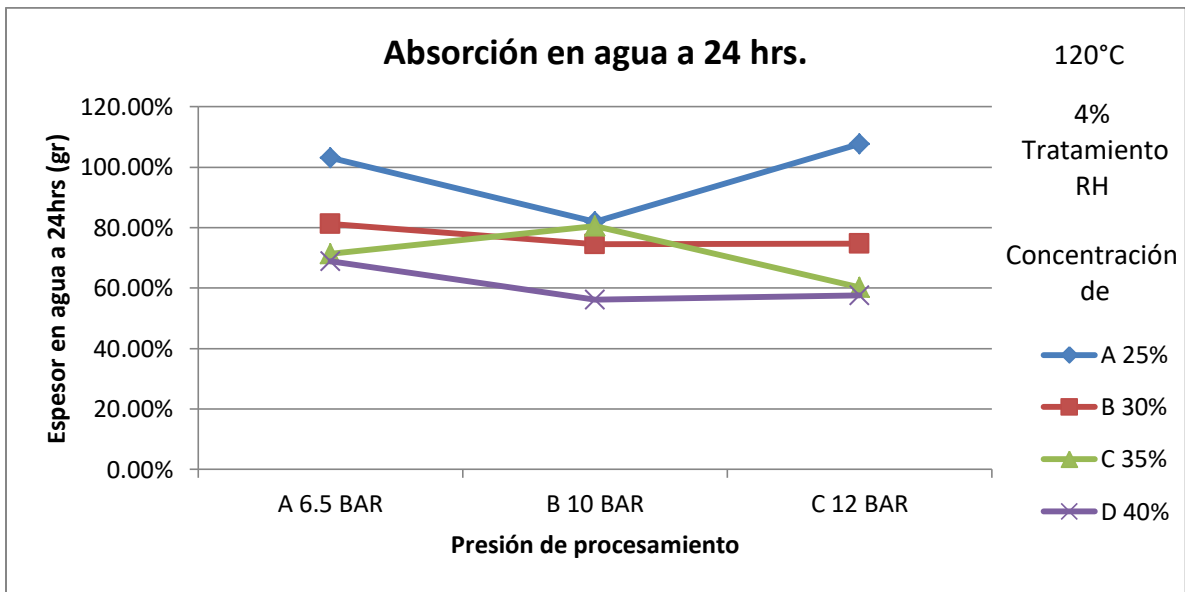


Figura 4.108 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

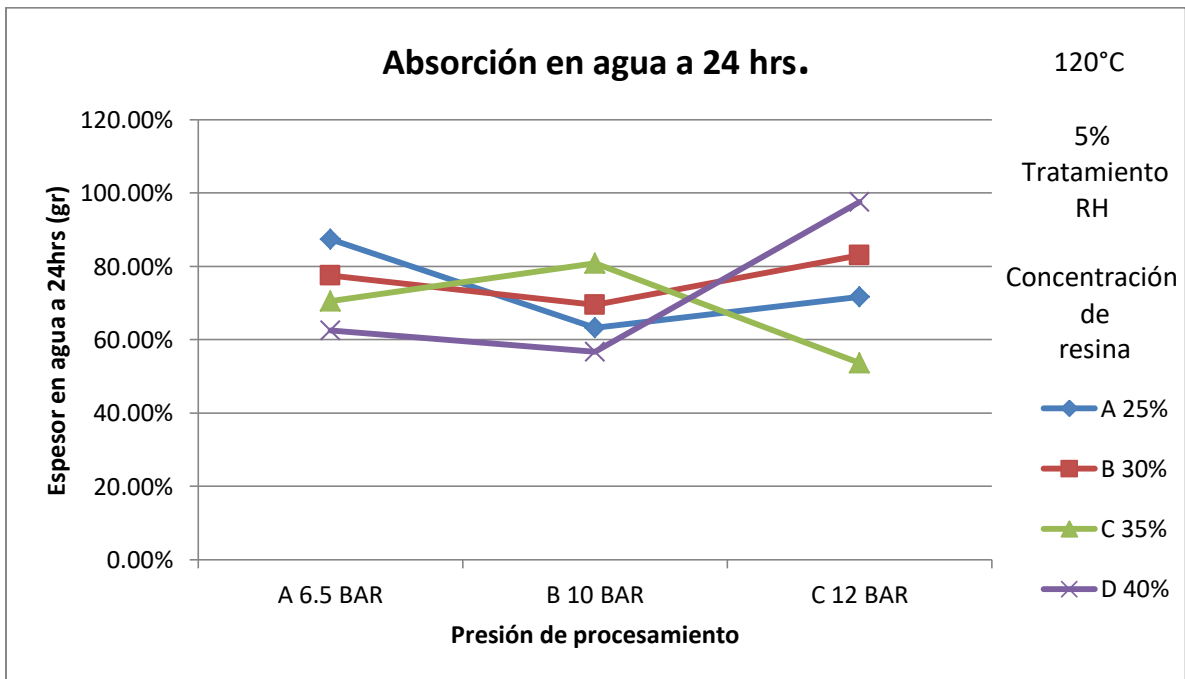


Figura 4.109 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 120°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

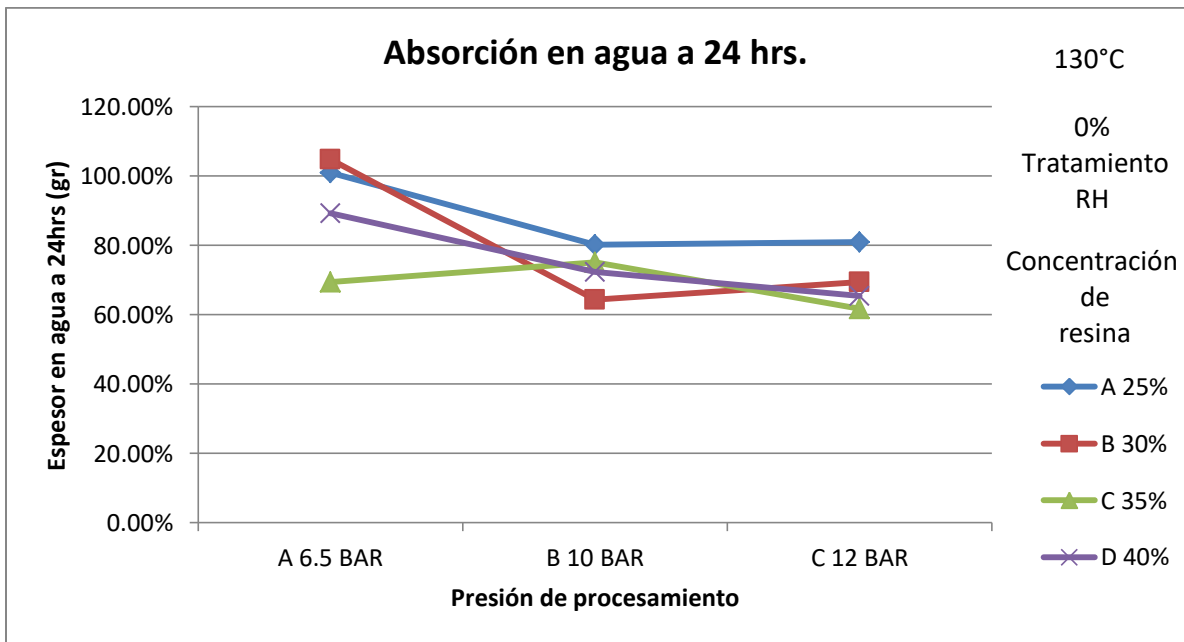


Figura 4.110 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 0% en la concentración del agente acoplante.

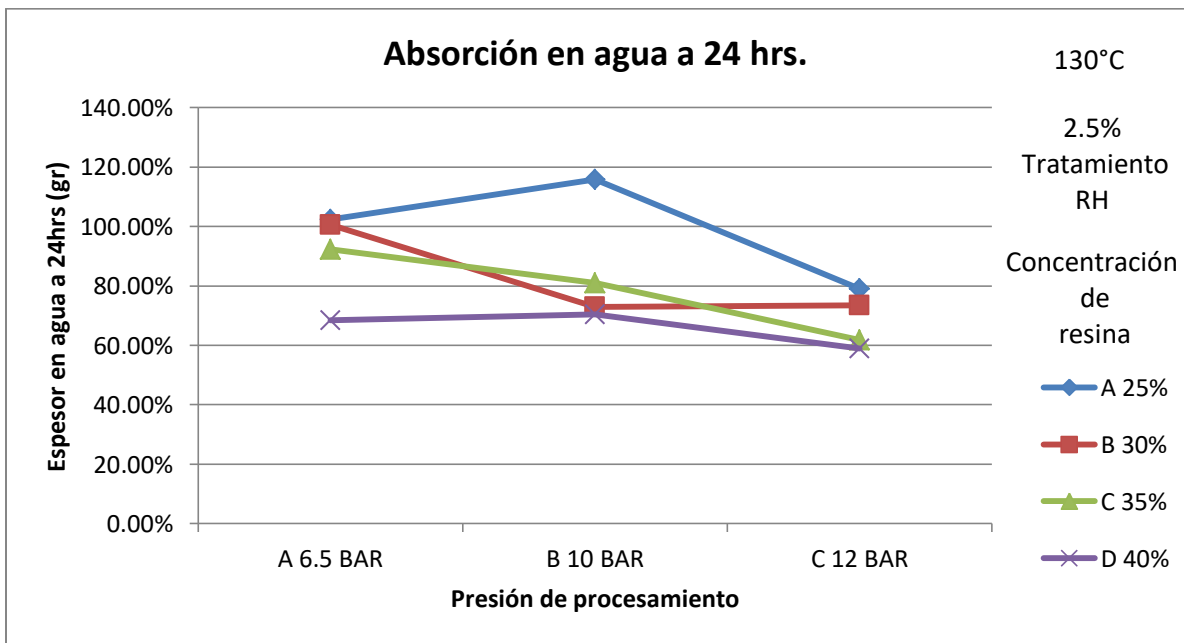


Figura 4.111 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 2.5% en la concentración del agente acoplante.

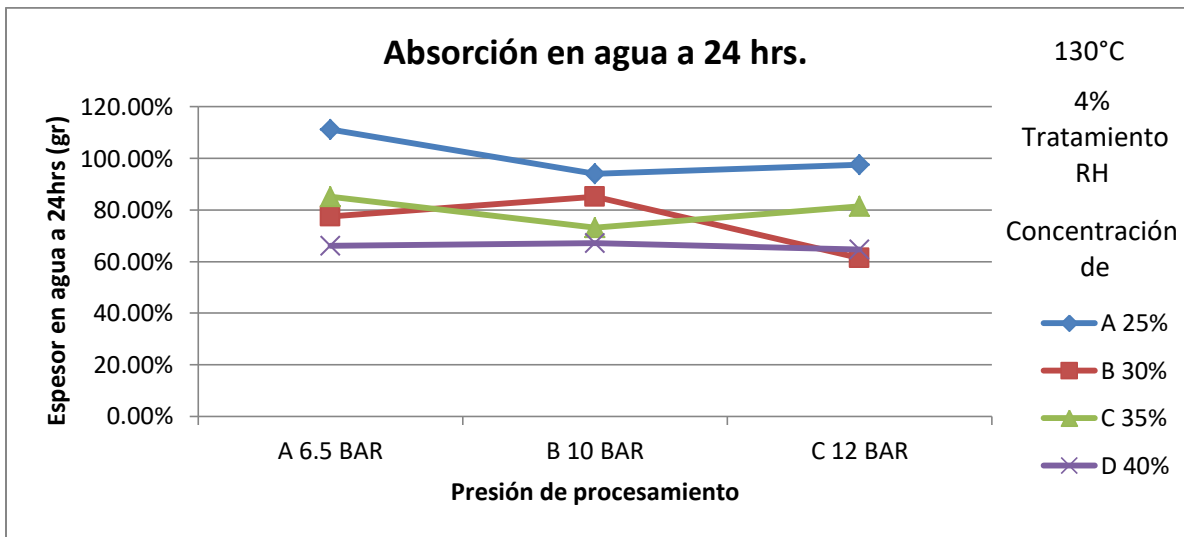


Figura 4.112 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 4% en la concentración del agente acoplante.

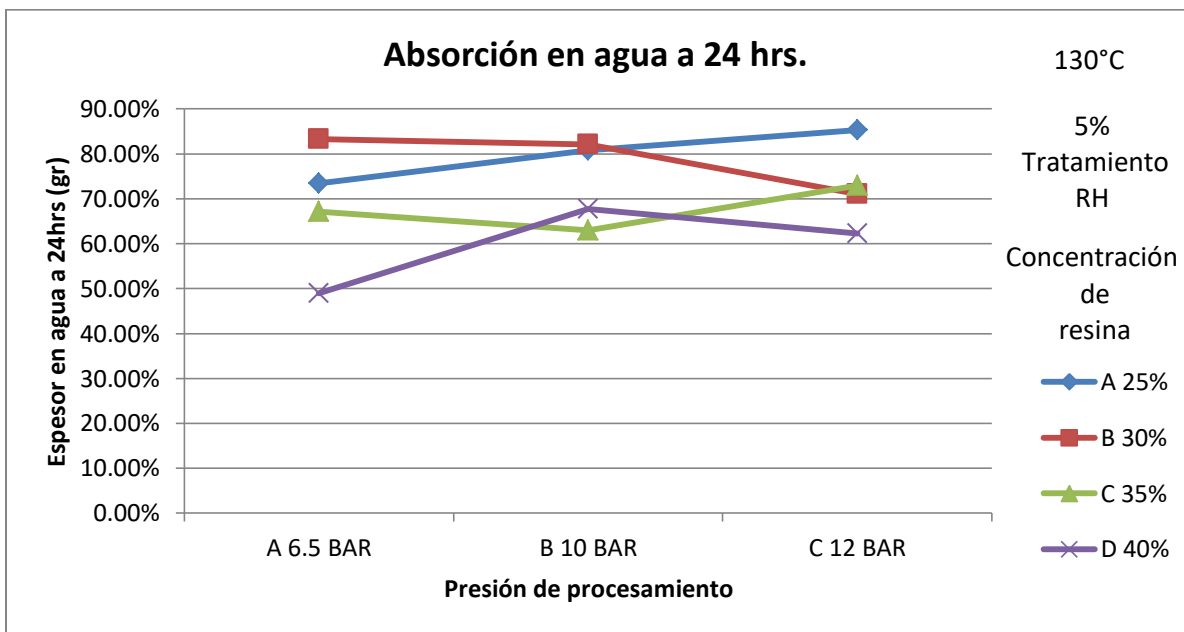


Figura 4.113 Efecto de la concentración de la presión aplicada y la concentración de resina en absorción en agua del material compuesto en 24 horas, a 130°C y 5% en la concentración del agente acoplante.

4.4.4 Velocidad de quemado

Los resultados mostrados para los materiales compuestos según la norma es un material ignífugo, ya que la norma ASTM D1037 indica que si un material no pasa la marca de 25 mm a flama directa durante 30 segundos, no reportar tiempo, ni distancia de quemado, ver Figuras 4.114, 4.115.



Figura 4.114 Prueba velocidad de quemado.



Figura 4.115 Probeta con referencia de marca 25mm.

De todas las formulaciones experimentales en el presente trabajo de tesis se seleccionaron específicamente **8** (27, 30, 45, 48, 78, 87, 93, 96) materiales elaborados que dieron mejores resultados en las caracterizaciones anteriores, para caracterizarlos mediante FTIR y posteriormente mediante microscopía electrónica de barrido.

4.4.5 FTIR de los materiales compuestos

Se realizó FTIR a las probetas fracturadas en la caracterización mecánica en modo flexión para poder identificar enlaces y grupos funcionales que pudieron generarse al elaborar los materiales compuestos debido a las concentraciones de resina, % de tratamiento de la cascarilla de arroz y las temperaturas de curado manejadas que se manejaron en el mezclado y prensado.

Se realizó FTIR a las probetas fracturadas para poder identificar enlaces y grupos funcionales que pudieron generarse al formar los compuestos debido al proceso de elaboración en el cuál afectaban concentración de resina fenólica, tratamiento de cascarilla de arroz, las temperaturas y presiones que se manejaron en el prensado (130-120 °C) y (6.5, 10, 12 MPA) respectivamente, de manera que se pudieran comparar y discutir la probable causa de las mejoras en las propiedades mecánicas de los compuestos.

En las Figuras 4.116, 4.117 se muestran los espectros de los compuestos 27, 30, 45, 48, 78, 87, 93, 96 (ver Tabla 4.9) que son los compuestos que presentaron mejoras en las propiedades mecánicas (esfuerzo a tensión y flexión) y mejores propiedades de absorción e hinchamiento en agua. Ambas imágenes se puede apreciar que los espectros de cada material compuesto no cambian a pesar de su formulación distinta para cada material. Se pueden apreciar las señales características de la resina fenólica en 3600 cm^{-1} la presencia de OH, la señal característica del agente acoplante el PVAc el C=O a los 1700 cm^{-1} .

Tabla 4.9 Compuestos 27, 30, 45, 48, 78, 87, 93, 96.

		Temperatura							
		120°C				130°C			
		Concentración de resina							
Tratamiento	Presión	A 25%	B 30%	C 35%	D 40%	A 25%	B 30%	C 35%	D 40%
A 0%	A 6.5 BAR	1	13	25	37	49	61	73	85
	B 10 BAR	2	14	26	38	50	62	74	86
	C 12 BAR	3	15	27	39	51	63	75	87
B 2.5%	A 6.5 BAR	4	16	28	40	52	64	76	88
	B 10 BAR	5	17	29	41	53	65	77	89
	C 12 BAR	6	18	30	42	54	66	78	90
C 4%	A 6.5 BAR	7	19	31	43	55	67	79	91
	B 10 BAR	8	20	32	44	56	68	80	92
	C 12 BAR	9	21	33	45	57	69	81	93
D 5%	A 6.5 BAR	10	22	34	46	58	70	82	94
	B 10 BAR	11	23	35	47	59	71	83	95
	C 12 BAR	12	24	36	48	60	72	84	96

El estiramiento de CH₃, CH₂ Y CH aproximadamente en la señal de 2800-3000, 3000-3100 y 3100-3400 cm⁻¹ respectivamente. En C-CH₃, la flexión simétrica y asimétrica de la banda C-H en los CH₂ y CH₃ en 1370 y 1460 cm⁻¹ y las señales provocadas por los estiramientos simétricos y asimétricos del enlace C-H de las especies CH₂ y CH₃ presentes en el intervalo de 2840 – 2950 cm⁻¹. Además de las señales correspondientes a la flexión del enlace C-H en la sustitución “meta” en la especie aromática, aparecen las señales en ~690, ~780 y ~880 cm⁻¹.

Correspondiente a la cascarilla de arroz también se le puede atribuir la banda de absorción media ancha alrededor de la región de 3300-3600 cm⁻¹ debido a la vibración de estiramiento de los grupos intermoleculares unidos por hidrógeno –OH en las fibras de celulosa. Y la presencia de grupos funcionales de Si O Si a 1096 cm⁻¹ y SiH alrededor de los 801-469 cm⁻¹.

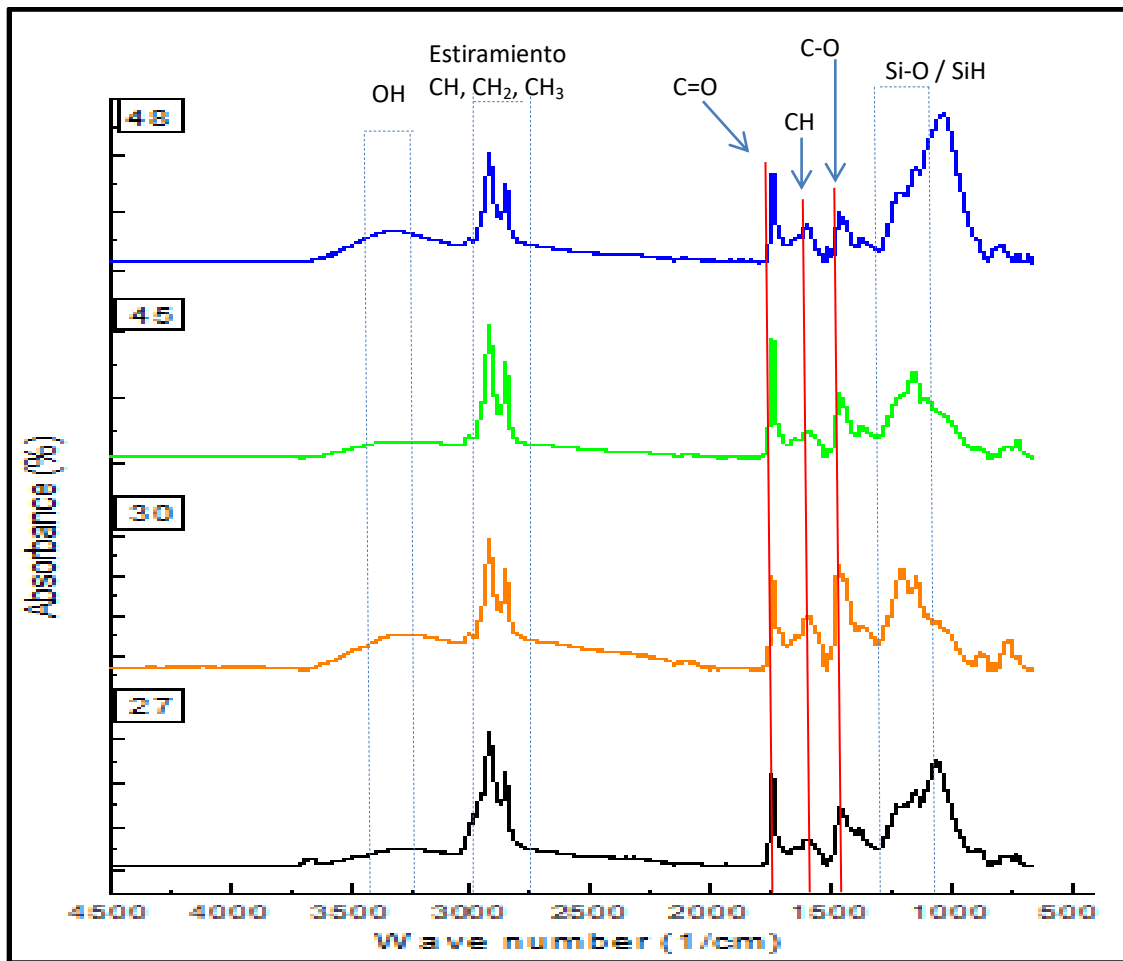


Figura 4.116 Espectro en absorbancia FTIR de 4 diferentes formulaciones de materiales compuestos (27, 30, 45, 48).

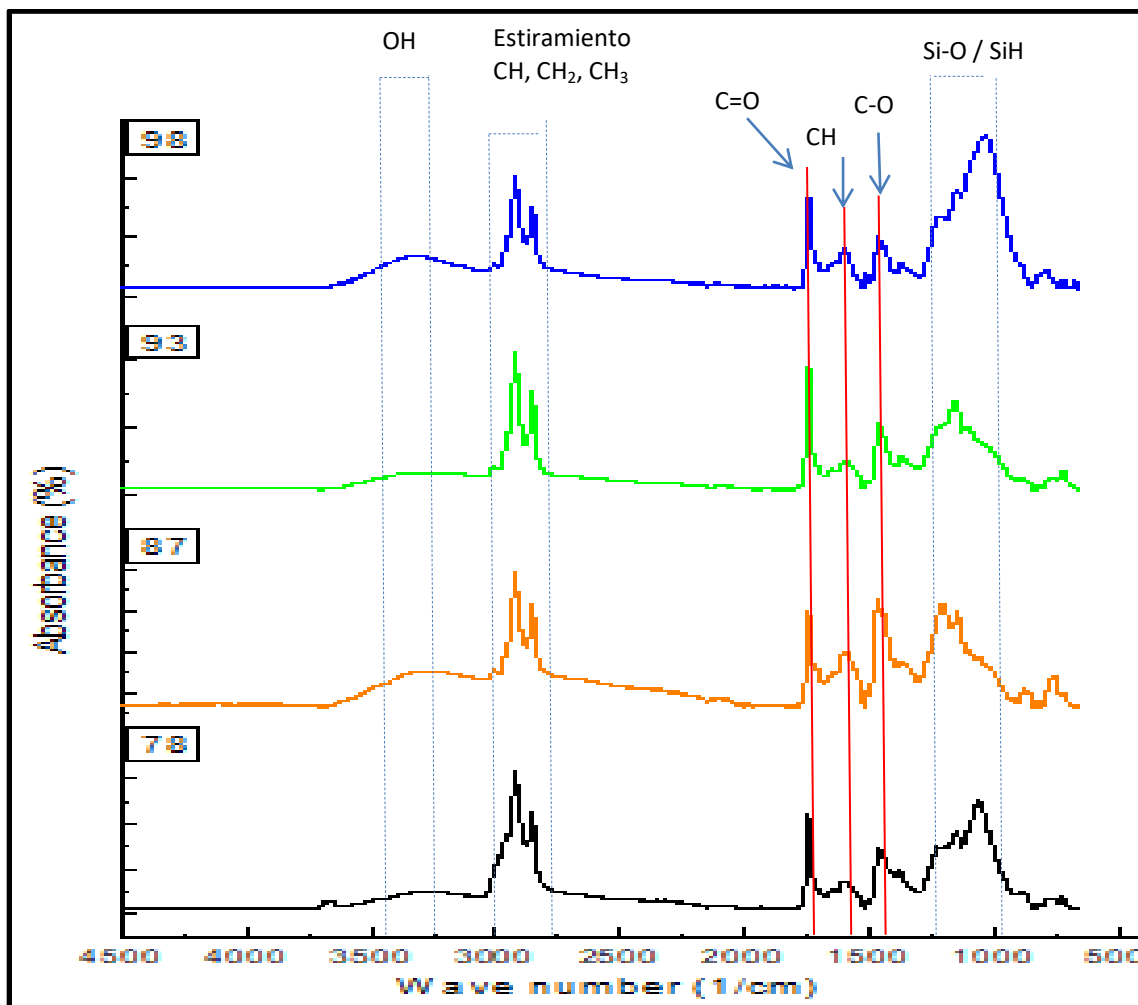


Figura 4.117 Espectro FTIR de 4 diferentes formulaciones de materiales compuestos (78, 87, 93, 98).

4.4.6 Análisis de los SEM de los materiales compuestos

Se realizó SEM a las probetas fracturadas en flexión para poder identificar enlaces y grupos funcionales que pudieron generarse al elaborar los materiales compuestos debido a las concentraciones de resina, % de tratamiento de la cascarilla de arroz y las temperaturas de curado manejadas que se manejan en el mezclado y prensado, y discutir la probable causa de los valores obtenidos en las propiedades mecánicas de los compuestos.

En las Figuras 4.118 a la 4.125 se presentan los SEM de las formulaciones 27, 30, 45, 48, 78, 87, 93, 96 respectivamente, que son las formulaciones que arrojaron los mejores valores en las pruebas mecánicas y de hinchamiento en agua.

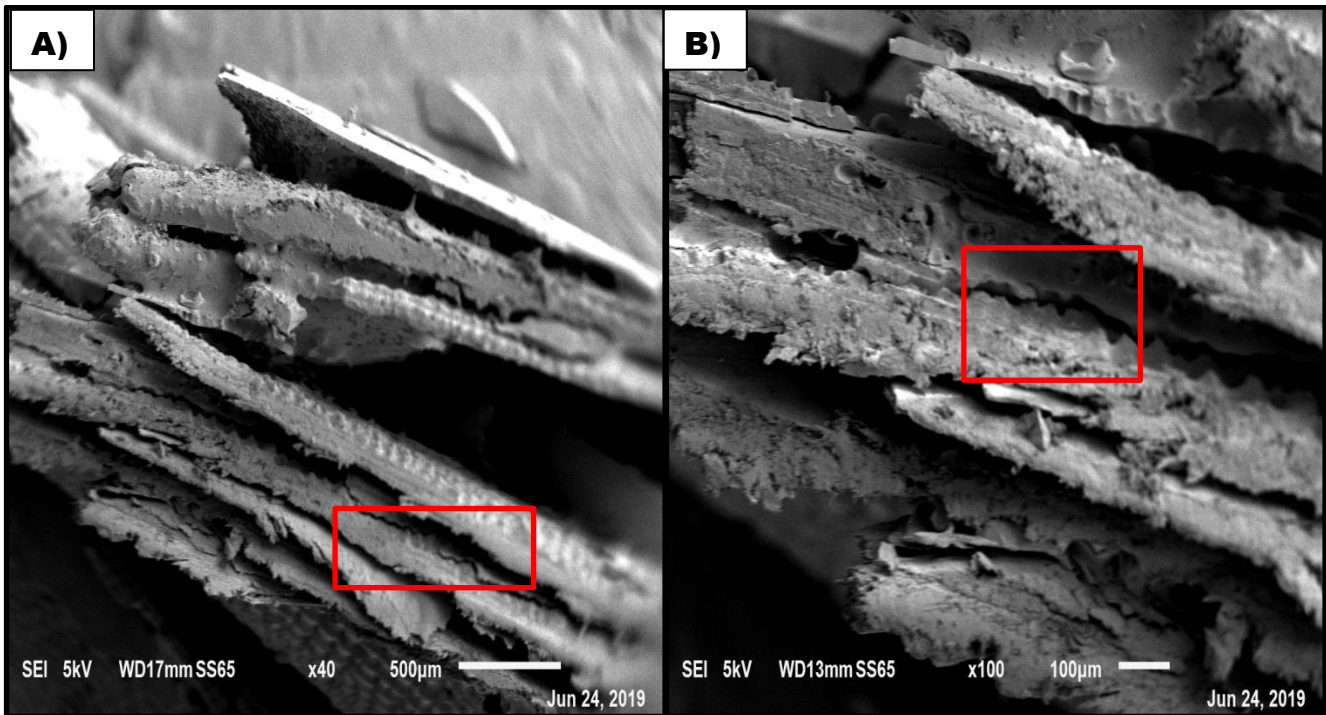


Figura 4.118 Micrografías SEM de la formulación 27 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material.

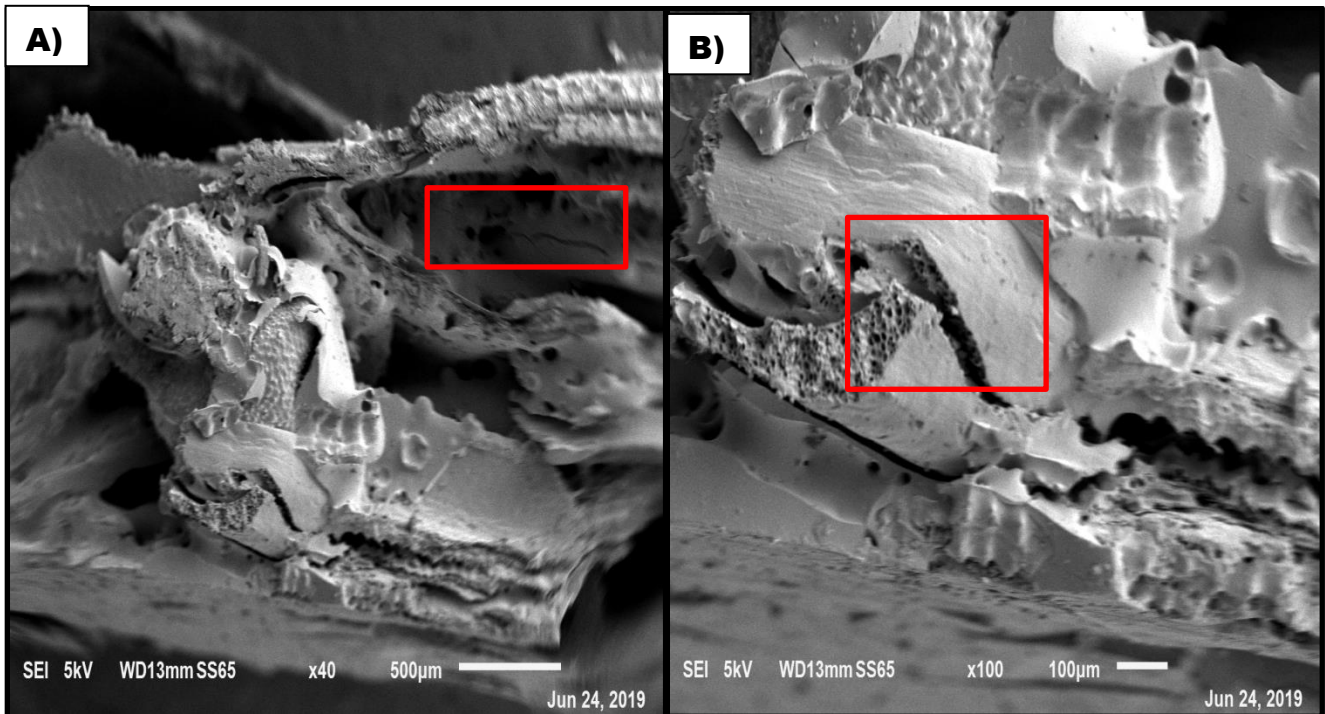


Figura 4.119 Micrografías SEM de la formulación 30 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material.

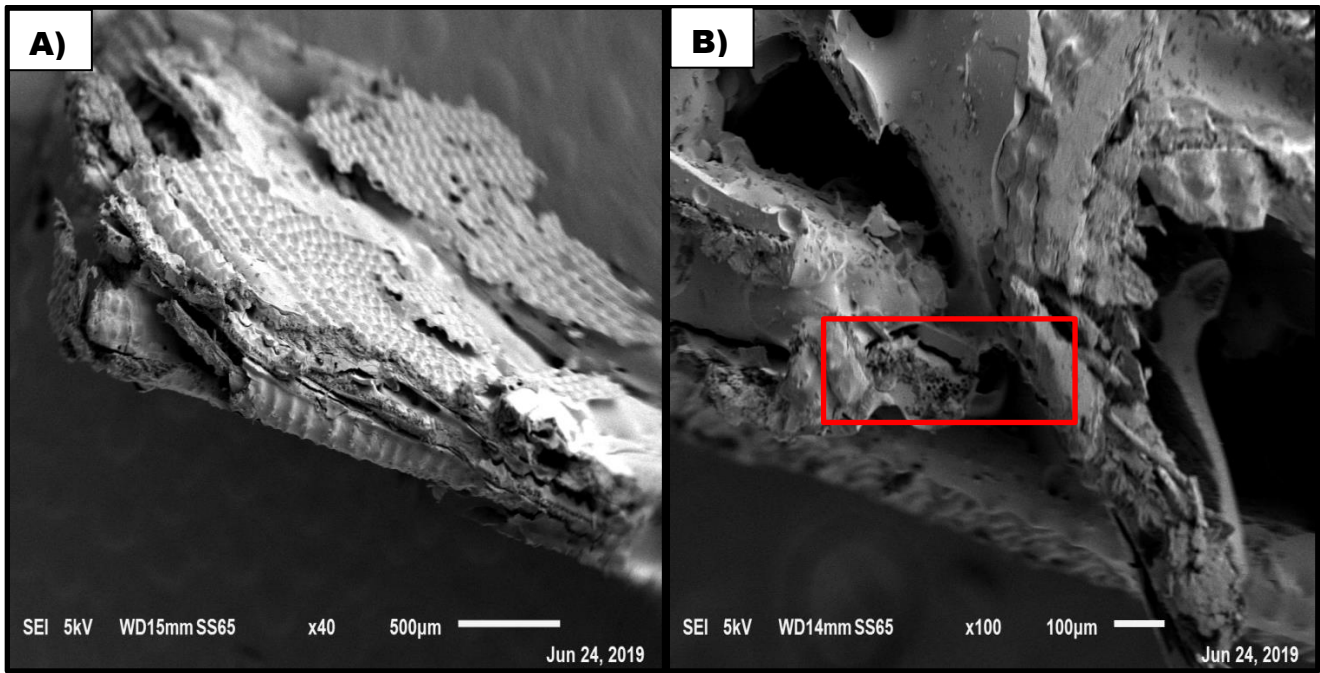


Figura 4.120 Micrografías SEM de la formulación 45 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material.

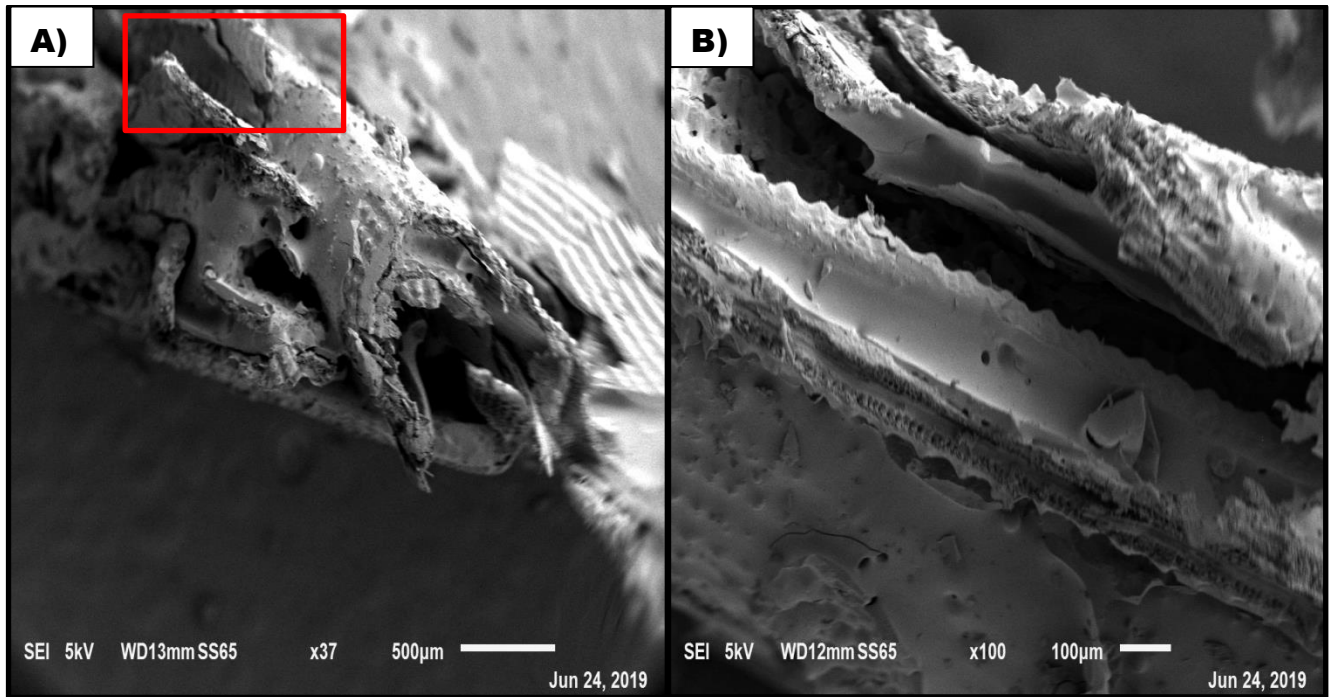


Figura 4.121 Micrografías SEM de la formulación 48 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material.

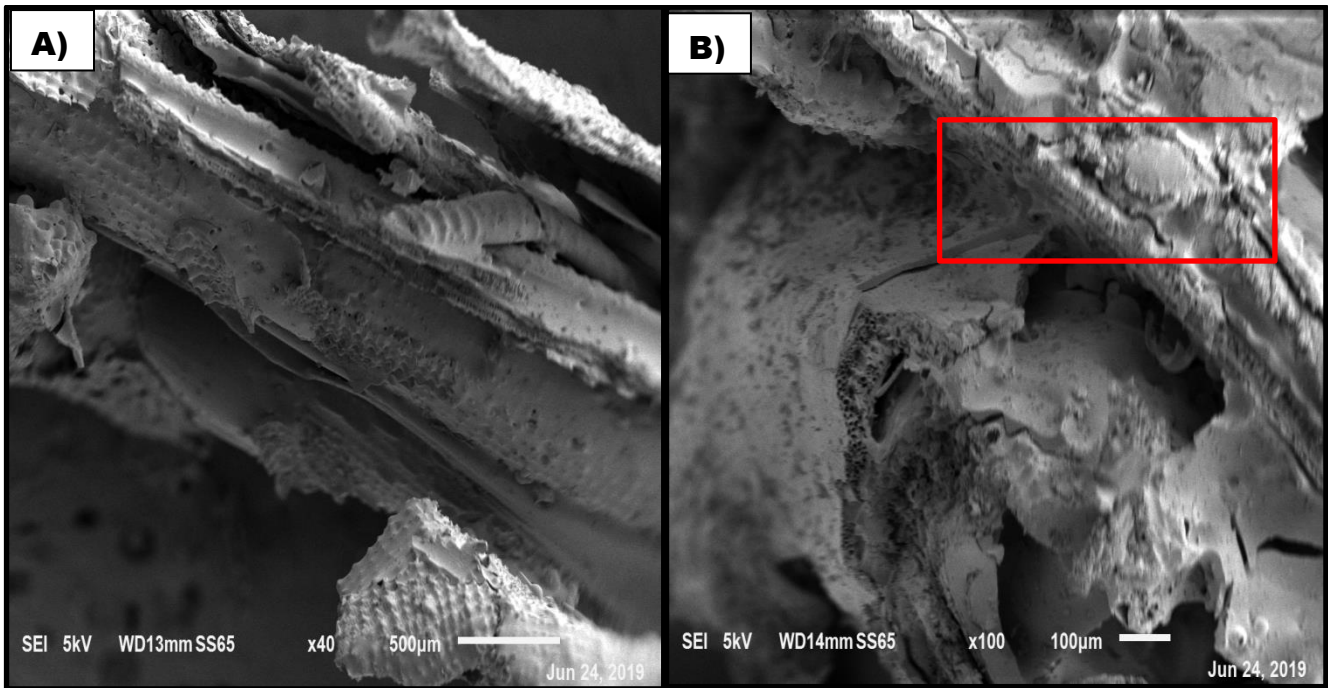


Figura 4.122 Micrografías SEM de la formulación 78 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material.

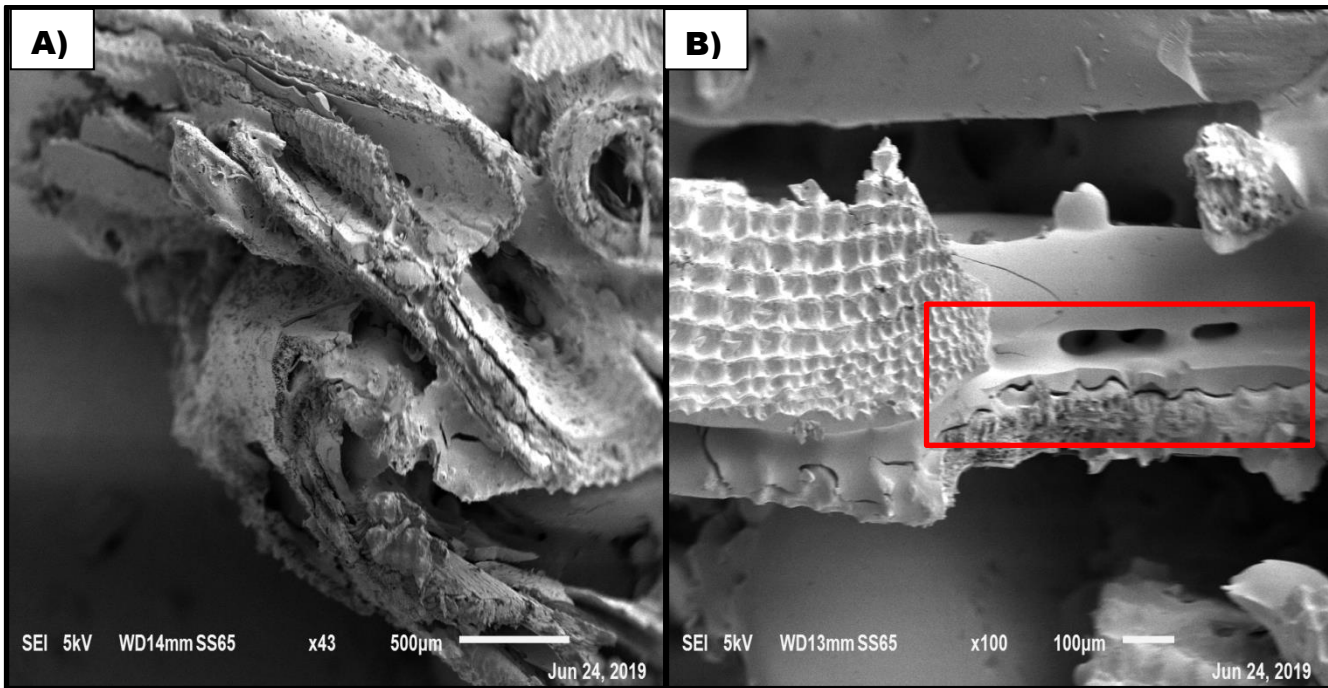


Figura 4.123 Micrografías SEM de la formulación 87 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material.

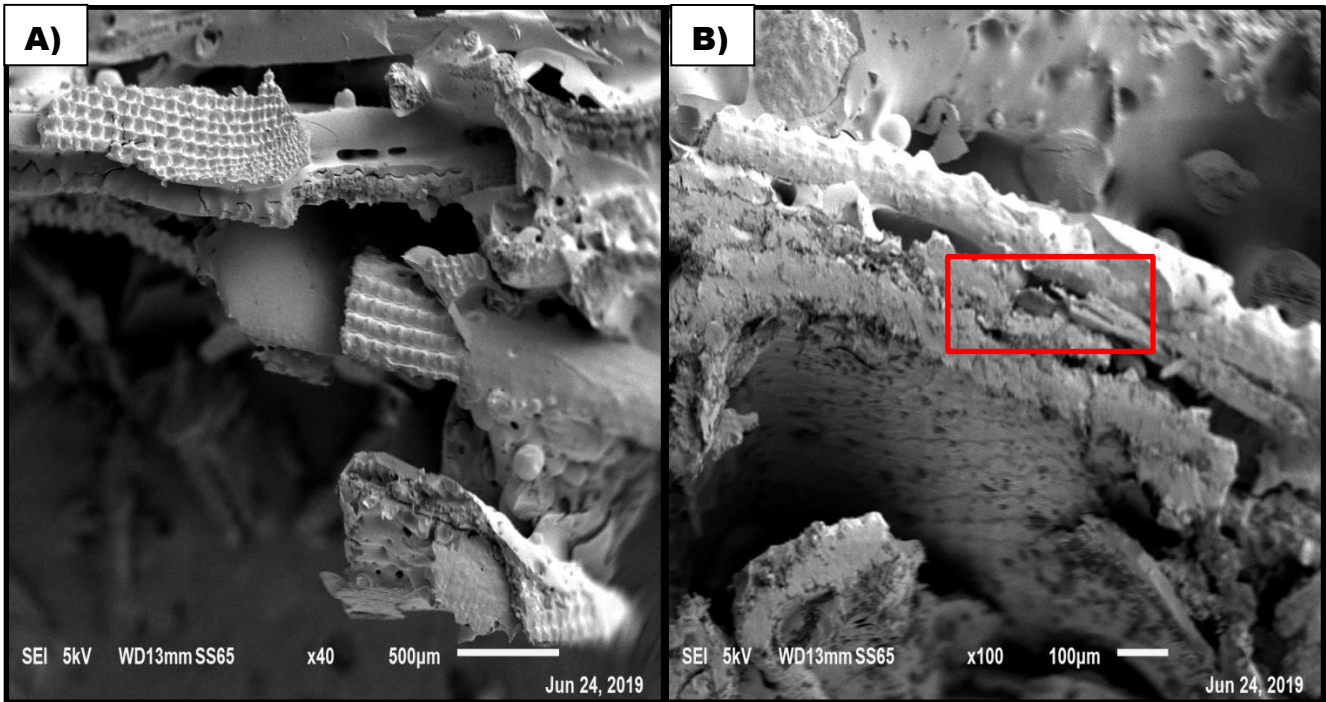


Figura 4.124 Micrografías SEM de la formulación 93 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material.

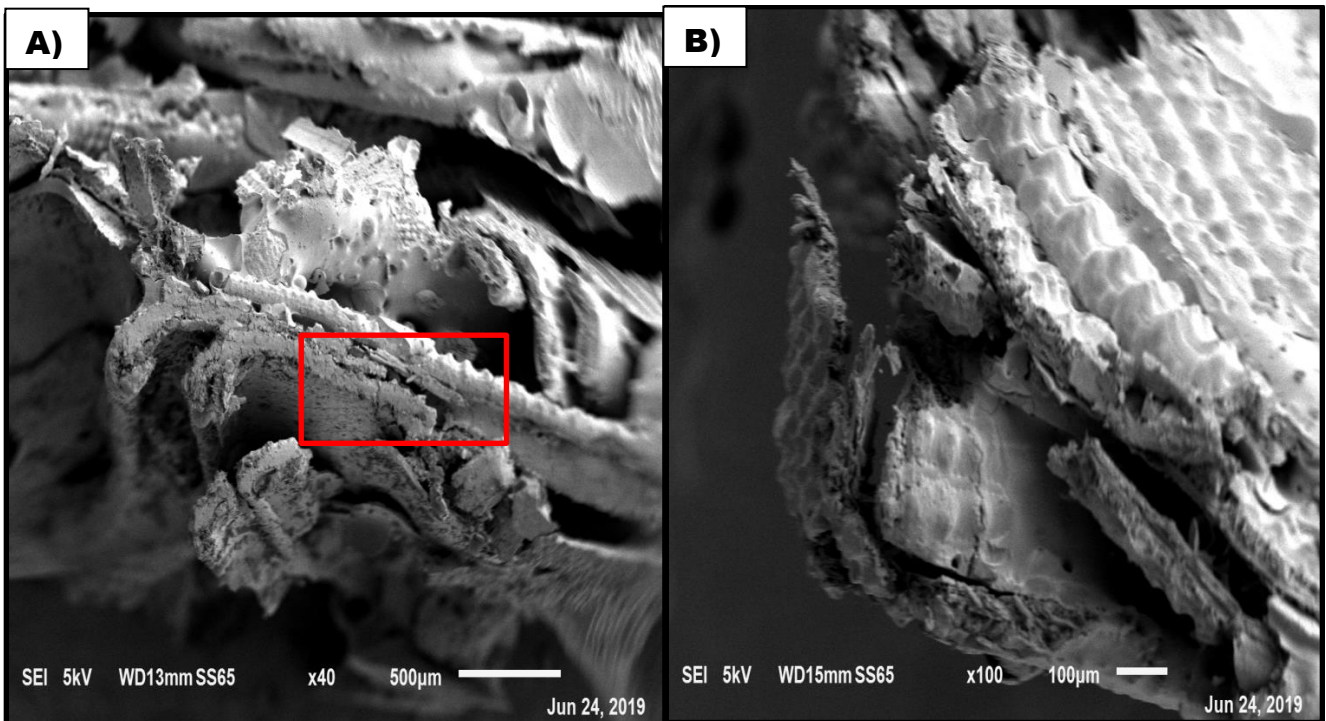


Figura 4.125 Micrografías SEM de la formulación 96 A) 40X, B) 100X. Se muestran en los cuadros rojos algunas fracturas del material.

Las Figuras 4.118 – 4.125 muestran las micrografías SEM de las superficies fracturadas de los materiales compuestos a partir de resina fenólica reforzadas con cascarilla de arroz tratadas con un agente compatibilizante para mejorar la interface del material. La ausencia de matriz en algunas partículas es una indicación de una distribución no uniforme de la matriz en los materiales compuestos a pesar de un aumento en las propiedades de adhesión de las cáscaras de arroz tratadas con el agente compatibilizante.

Esto se debe a una mala distribución de la resina en el compuesto y la mala humectación de las partículas de cáscaras de arroz. En las figuras se observa una morfología similar, no varía tanto en su apariencia la temperatura de curado, presión aplicada, ni el porcentaje de tratamiento de las partículas y la cantidad de resina ocupadas en el proceso de elaboración de dichos materiales. Una mala humectación deja que la cascarilla de arroz no esté completamente embebida por la resina, y hace que se puede fracturar y tenga huecos el material, tal como se puede observar en el SEM, y hace que debilite sus propiedades mecánicas, a pesar de que se reportan propiedades similares a las reportadas por (Desirello *et al.*, 2004), pero muy bajas en tensión comparadas con las comerciales.

Se puede mejorar dichas propiedades mecánicas tamizando la partícula, esto debe a que la reducción del tamaño de partícula aumenta el área de superficie de las partículas. Esto probablemente llevó a una distribución de resina inadecuada y una unión de interfaz no uniforme en el compuesto.

4.5 Comparación de resultados

La Tabla 4.10 muestra una comparación de los mejores resultados obtenidos en las propiedades caracterizadas del material compuesto elaborado en la presente tesis, con Maderas Conglomeradas, S.A de C.V grupo MACOSA, y 2 reportados por diferentes grupos de investigación. En la cual se muestran resultados similares en donde se aprecia que no varían mucho las propiedades a pesar de no utilizar mismas presiones en el procesamiento del material compuesto.

Tabla 4.10 Comparación de resultados.

Fuente	Propiedad				
	Densidad (gr/cm^3)	Flexión Módulo de ruptura (MPA)	Tensión Módulo de elasticidad MPA	Absorción en agua 24 horas (gr) (%)	Hinchamiento en agua 24 horas (mm) (%)
Presente trabajo de Investigación	.690	6.03	2670.96	53.67%	6.13%
Grupo de investigación, (Desirello <i>et al.</i> , 2004).	.630	14.2	1800.25	22.1%	6.7%
Grupo de investigación, (Nadir Ayrilmis <i>et al.</i> , 2012).	.830	11.4	2581	56%	19%
Comercial Macos (MACOCEL), (Maderas Conglomeradas, MACOSA)	.740	28.09		40%	30%
Comercial Macos (MACOPAN), (Maderas Conglomeradas)	.760	18.69		50%	35%

4.6 Análisis estadístico

El ANOVA de los resultados obtenidos para el esfuerzo a la tensión, flexión, densidad, absorción de agua a 24 horas y espesor en agua a 24 horas. Se analizó mediante el software Minitab el cuál arrojó los valores para el parámetro estadístico con un nivel de significancia de 5% y 95% de confianza.

- Análisis estadístico de regresión: densidad**

Para este caso se estudiaron los 4 factores diferentes para analizar la densidad, el primer factor es temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz con el agente compatibilizante (C) y concentración de resina (D), así como la interacción entre ellos. El nivel de confianza utilizado en la prueba es del 95% ($\alpha=0.05$), ver Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Tabla ANOVA para el análisis de densidad.

Method	Multilevel Factorial Design	
Factor coding (-1, 0, +1)	Factors: 4	Replicates: 3
	Base runs: 96	Total runs: 288
Analysis of Variance	Base blocks: 1	Total blocks: 1
	Number of levels: 2, 3, 4, 4	

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A Temperatura	1	0.013788	0.01379	3654.22	0.00
B Presión	2	0.480176	0.24009	63631.61	0.00
C Tratamiento RH	3	0.029445	0.00982	2601.35	0.00
D Concentración resina	3	0.011851	0.00395	1046.96	0.00
A Temperatura*B Presión	2	0.03042	0.01521	4031.15	0.00
A Temperatura*C Tratamiento RH	3	0.014461	0.00482	1277.59	0.00
A Temperatura*D Concentración resina	3	0.000497	0.00017	43.91	0.00
B Presión*C Tratamiento RH	6	0.015904	0.00265	702.52	0.00
B Presión*D Concentración resina	6	0.01193	0.00199	526.96	0.00
C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	0.015763	0.00175	464.18	0.00
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH	6	0.009225	0.00154	407.49	0.00
A Temperatura*B Presión*D Concentración resina	6	0.003353	0.00056	148.12	0.00
A Temperatura*C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	0.011136	0.00124	327.94	0.00
B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	0.155951	0.00866	2296.24	0.00
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	0.037392	0.00208	550.57	0.00
Error	192	0.000724	4E-06		
Total	287	0.842015			

Model summary	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0019424	99.91%	99.87%	99.81%

Se analizaron los datos de la Tabla 4.11 obtenidos en el ANOVA de 4 factores, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, con lo cual se determinó que de los 4 factores considerados, el factor temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz con el agente compatibilizante (C) y concentración de resina (D), así como la interacción entre ellos tienen influencia significativa en las propiedades de densidad del material compuesto.

Los resultados obtenidos revelaron que la presión aplicada (B), es el factor que afecta mayormente a la variable de respuesta con una $F=63,631.21$.

- **Análisis estadístico de regresión: esfuerzo a la flexión**

Para este caso se estudiaron los 4 factores diferentes para analizar el esfuerzo a la flexión, el primer factor es temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz con el agente compatibilizante (C) y concentración de resina (D), así como la interacción entre ellos. El nivel de confianza utilizado en la prueba es del 95% ($\alpha=0.05$), ver Tabla 4.12.

Tabla 4.12 Tabla ANOVA para el análisis de respuesta de esfuerzo a la flexión.

Method	Multilevel Factorial Design			
Factor coding (-1, 0, +1)	Factors: 4	Replicates: 3		
	Base runs: 96	Total runs: 288		
Analysis of Variance	Base blocks: 1	Total blocks: 1		
	Number of levels: 2, 3, 4, 4			

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A Temperatura	1	0.656	0.6559	9.55	0.002
B Presión	2	114.358	57.179	832.98	0.000
C Tratamiento RH	3	26.815	8.9382	130.21	0.000
D Concentración resina	3	0.782	0.2607	3.8	0.011
A Temperatura*B Presión	2	3.195	1.5974	23.27	0.000
A Temperatura*C Tratamiento RH	3	6.423	2.1411	31.19	0.000
A Temperatura*D Concentración resina	3	1.029	0.3429	4.99	0.002
B Presión*C Tratamiento RH	6	13.572	2.262	32.95	0.000
B Presión*D Concentración resina	6	9.653	1.6088	23.44	0.000
C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	18.284	2.0316	29.6	0.000
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH	6	10.687	1.7811	25.95	0.000
A Temperatura*B Presión*D Concentración resina	6	12.633	2.1055	30.67	0.000
A Temperatura*C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	10.868	1.2076	17.59	0.000
B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	122.601	6.8112	99.22	0.000
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	46.221	2.5678	37.41	0.000
Error	192	13.18	0.0686		
Total	287	410.957			

Model summary	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.262001	96.79%	95.21%	92.78%

Se analizaron los datos de la Tabla 4.12 obtenidos en el ANOVA de 4 factores, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, con lo cual se determinó que de los 4 factores considerados, el factor temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz y con el agente compatibilizante (C), así como la interacción entre ellos tienen influencia significativa en las propiedades mecánicas de esfuerzo a la flexión del material compuesto, excepto el factor concentración de resina (D) por sí sola, pero sí influye en las demás interacciones.

Los resultados obtenidos revelaron que la presión aplicada (B), es el factor que afecta mayormente afecta la variable de respuesta con una $F=832.98$.

• **Análisis estadístico de regresión: esfuerzo a la tensión**

Para este caso se estudiaron los 4 factores diferentes para analizar el esfuerzo a la tensión, el primer factor es temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz con el agente compatibilizante (C) y concentración de resina (D), así como la interacción entre ellos. El nivel de confianza utilizado en la prueba es del 95% ($\alpha=0.05$), ver Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Tabla ANOVA para el análisis de respuesta de esfuerzo a la tensión.

Method	Multilevel Factorial Design	
Factor coding (-1, 0, +1)	Factors: 4	Replicates: 3
	Base runs: 96	Total runs: 288
	Base blocks: 1	Total blocks: 1
Analysis of Variance	Number of levels: 2, 3, 4, 4	

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A Temperatura	1	1507782	1507782	998.39	0.00
B Presión	2	16598891	8299446	5495.53	0.00
C Tratamiento RH	3	1061845	353948	234.37	0.00
D Concentración resina	3	1570749	523583	346.69	0.00
A Temperatura*B Presión	2	100616	50308	33.31	0.00
A Temperatura*C Tratamiento RH	3	289552	96517	63.91	0.00
A Temperatura*D Concentración resina	3	957471	319157	211.33	0.00
B Presión*C Tratamiento RH	6	1127599	187933	124.44	0.00
B Presión*D Concentración resina	6	2609833	434972	288.02	0.00
C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	1265145	140572	93.08	0.00
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH	6	2931831	488638	323.56	0.00
A Temperatura*B Presión*D Concentración resina	6	1590412	265069	175.52	0.00
A Temperatura*C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	3209329	356592	236.12	0.00
B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	18799704	1044428	691.57	0.00
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	6641071	368948	244.3	0.00
Error	192	289962	1510		
Total	287	60551790			

Model summary	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
38.8615	99.52%	99.28%	98.92%

Se analizaron los datos de la Tabla 4.13 obtenidos en el ANOVA de 4 factores, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, con lo cual se determinó que de los 4 factores considerados, el factor temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz

con el agente compatibilizante (C) y concentración de resina (D), así como la interacción entre ellos tienen influencia significativa en las propiedades mecánicas de esfuerzo a la tensión del material compuesto.

Los resultados obtenidos revelan que la presión aplicada (B), es el factor que afecta mayormente a la variable de respuesta con una $F=5,495.53$.

- **Análisis estadístico de regresión: absorción de agua en 24 horas**

Para este caso se estudiaron los 4 factores diferentes para analizar la absorción de agua en 24 horas, el primer factor es temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz con el agente compatibilizante (C) y concentración de resina (D), así como la interacción entre ellos. El nivel de confianza utilizado en la prueba es del 95% ($\alpha=0.05$), ver Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Tabla ANOVA para el análisis de respuesta de absorción de agua en 24 horas.

Method	Multilevel Factorial Design	
Factor coding (-1, 0, +1)	Factors: 4	Replicates: 3
	Base runs: 96	Total runs: 288
	Base blocks: 1	Total blocks: 1
Analysis of Variance	Number of levels: 2, 3, 4, 4	

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A Temperatura	1	0.04989	0.04989	1027.88	0.00
B Presión	2	2.53817	1.26909	26148.96	0.00
C Tratamiento RH	3	0.41951	0.13984	2881.26	0.00
D Concentración resina	3	0.33322	0.11107	2288.64	0.00
A Temperatura*B Presión	2	0.00127	0.00063	13.07	0.00
A Temperatura*C Tratamiento RH	3	0.00191	0.00064	13.13	0.00
A Temperatura*D Concentración resina	3	0.15296	0.05099	1050.58	0.00
B Presión*C Tratamiento RH	6	0.27847	0.04641	956.3	0.00
B Presión*D Concentración resina	6	0.62035	0.10339	2130.33	0.00
C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	0.37395	0.04155	856.12	0.00
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH	6	0.18704	0.03117	642.3	0.00
A Temperatura*B Presión*D Concentración resina	6	0.21574	0.03596	740.86	0.00
A Temperatura*C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	0.4417	0.04908	1011.22	0.00
B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	0.57684	0.03205	660.3	0.00
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	0.88081	0.04893	1008.26	0.00
Error	192	0.00932	0.00005		
Total	287	7.08114			

Model summary	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0069666	99.87%	99.80%	99.70%

Se analizaron los datos de la Tabla 4.14 obtenidos en el ANOVA de 4 factores, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, con lo cual se determinó que de los 4 factores considerados, el factor temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz con el agente compatibilizante (C) y concentración de resina (D), así como la interacción entre ellos tienen influencia significativa en el porcentaje de absorción de agua en 24 horas del material compuesto.

Los resultados obtenidos revela que la presión aplicada (B), es el factor que afecta mayormente afecta la variable de respuesta con una $F= 26,148.96$.

• **Análisis estadístico de regresión: Hinchamiento en agua a 24 horas**

Para este caso se estudiaron los 4 factores diferentes para analizar el hinchamiento en agua a 24 horas, el primer factor es temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz con el agente compatibilizante (C) y concentración de resina (D), así como la interacción entre ellos. El nivel de confianza utilizado en la prueba es del 95% ($\alpha=0.05$), ver Tabla 4.15.

Tabla 4.15 Tabla ANOVA para el análisis de respuesta de hinchamiento en agua a 24 horas.

Method	Multilevel Factorial Design				
Factor coding (-1, 0, +1)	Factors: 4	Replicates: 3			
	Base runs: 96	Total runs: 288			
Analysis of Variance	Base blocks: 1	Total blocks: 1			
	Number of levels: 2, 3, 4, 4				

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A Temperatura	1	0.000921	0.000921	147.4	0.00
B Presión	2	0.008478	0.004239	678.25	0.00
C Tratamiento RH	3	0.019266	0.006422	1027.54	0.00
D Concentración resina	3	0.015526	0.005175	828.03	0.00
A Temperatura*B Presión	2	0.0163	0.00815	1303.96	0.00
A Temperatura*C Tratamiento RH	3	0.003341	0.001114	178.2	0.00
A Temperatura*D Concentración resina	3	0.026671	0.00889	1422.48	0.00
B Presión*C Tratamiento RH	6	0.037591	0.006265	1002.42	0.00
B Presión*D Concentración resina	6	0.011282	0.00188	300.87	0.00
C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	0.012411	0.001379	220.64	0.00
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH	6	0.012748	0.002125	339.95	0.00
A Temperatura*B Presión*D Concentración resina	6	0.020643	0.003441	550.48	0.00
A Temperatura*C Tratamiento RH*D Concentración resina	9	0.044448	0.004939	790.19	0.00
B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	0.081401	0.004522	723.56	0.00
A Temperatura*B Presión*C Tratamiento RH*D Concentración resina	18	0.056357	0.003131	500.95	0.00
Error	192	0.0012	0.000006		
Total	287	0.368585			

Model summary	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0025	99.67%	99.51%	99.27%

Se analizaron los datos de la Tabla 4.15 obtenidos en el ANOVA de 4 factores, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, con lo cual se determinó que de los 4 factores considerados, el factor temperatura de curado (A), la presión aplicada (B), tratamiento de la cascarilla de arroz con el agente compatibilizante (C) y concentración de resina (D), así como la interacción entre ellos tienen influencia significativa en el porcentaje de hinchamiento en agua del material compuesto de agua en 24 horas del material compuesto.

Los resultados obtenidos revelan que la interacción (A)-(D) temperatura de curado y concentración de resina respectivamente, es el factor que afecta mayormente a la variable de respuesta con una $F=1422.48$

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que es posible obtener placas de aglomerado con características similares a los productos actualmente disponibles comercialmente, a partir de residuos lignocelulósicos como la cascarilla de arroz. A pesar de que ya hay investigaciones con dichos materiales en general se observaron similares resultados en el comportamiento mecánico y una disminución en el porcentaje de hinchamiento de agua a media que crece el porcentaje de adhesivo y la presión aplicada durante su procesado, entre más presión en el proceso de prensado se puede mejorar considerablemente las propiedades mecánicas. Los valores de absorción de humedad de los materiales compuestos fueron significativamente más altos a los comerciales y a los reportados en anteriores investigaciones cuando la presión aplicada en el proceso aumento, mencionando que no se llegaron a las presiones tan altas que utilizan en los procesos de elaboraciones de materiales compuestos.

Sin embargo, la resistencia a la tracción de los compuestos es baja aún por que la interface del material compuesto es baja aún con un agente compatibilizante, se recomienda tamizar la cascarilla de arroz para garantizar un humectación de partículas suficientes y una distribución uniforme de la resina, que es el mayor problema al momento de elaborar tales materiales.

Cabe recalcar que el material compuesto desarrollado logró tener características plenamente anti flama, denominado material ignífugo

Recomendaciones

Tamizar la cascarilla de arroz para mejorar la unión entre las partículas mejorando la humectación de partículas suficiente y una distribución uniforme de la resina, y experimentar los distintos tamaños de partículas posibles.

Mejorar la calidad de los equipos empleados en el proceso, mejorar la capacidad del suministro de presión para aumentar los niveles de presión,

Emplear acero inoxidable en el molde para aumentar los niveles de presiones mencionados anteriormente.

ANEXOS

En esta sección se presentan algunas gráficas representativas, así como algunos otros resultados pertinentes que se emplearon para analizar los comportamientos del material compuesto.

Anexo 1. Fabricación de prensa.

Se restauraron los componentes tanto de distribución neumática como el reemplazo de algunos componentes de la prensa, para ello se adquirió una válvula neumática 4/2 vías y racors de 1/8 para sustituirlos en el pistón para una mejor funcionamiento. Se diseñó un diagrama neumático en el programa Festo Fluidsim (ver Figura 1) que mostró la función y elementos a usar en la prensa. Se implementó un sistema de control de temperatura (PID), para alcanzar y mantener constante la temperatura deseada en la placa metálica (ver Figura 2).

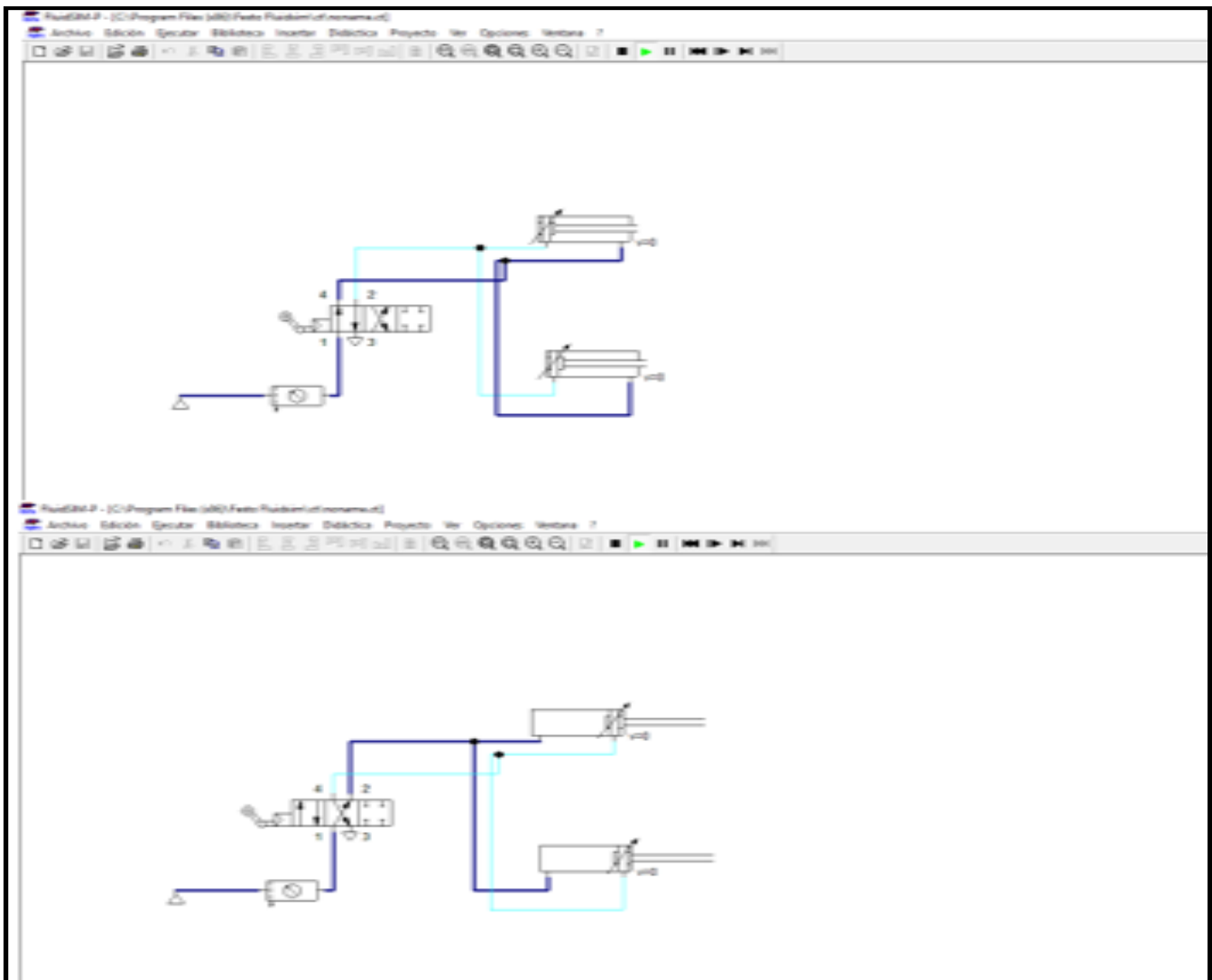
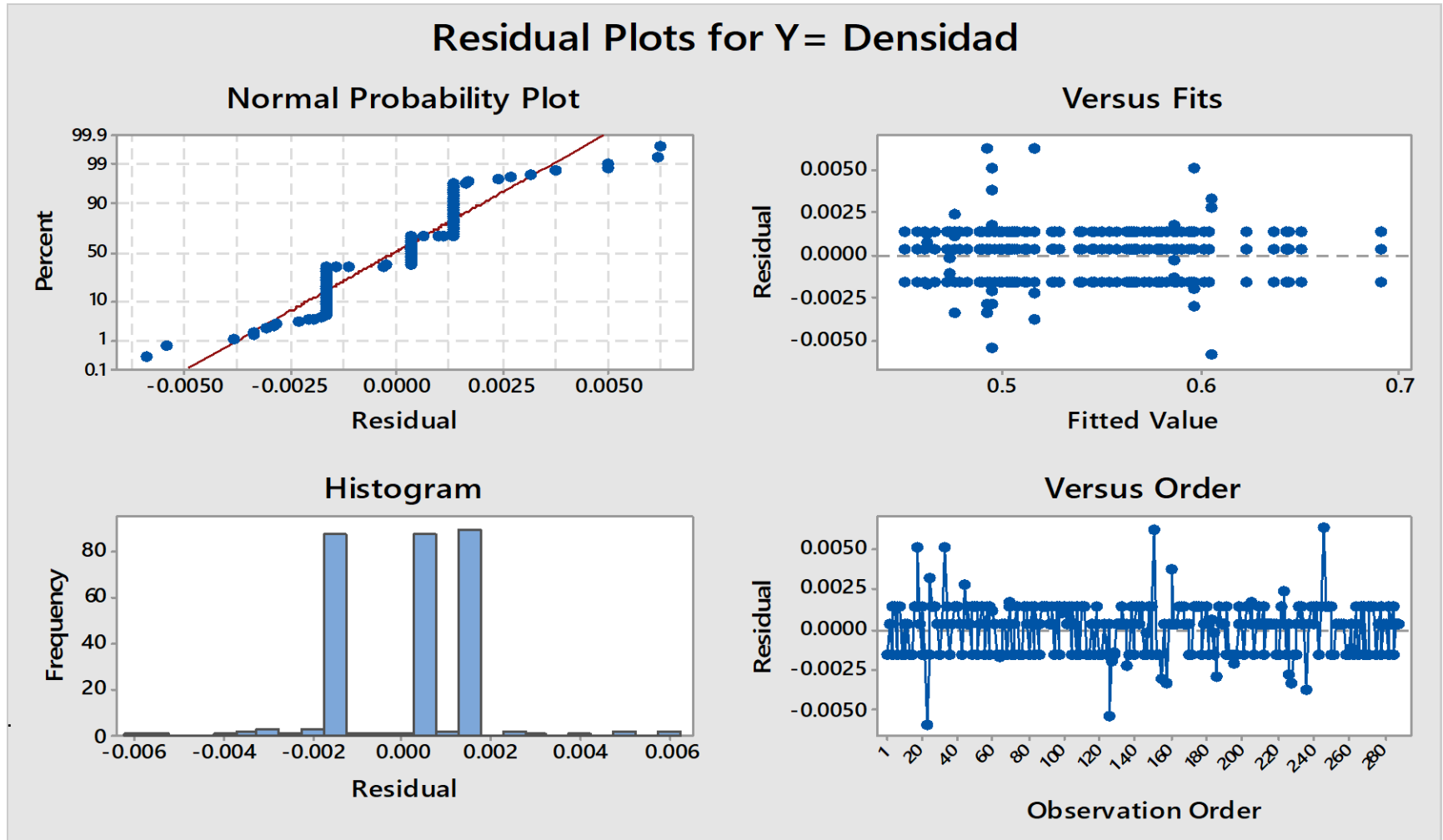


Figura 1. Diagrama neumático de la prensa.

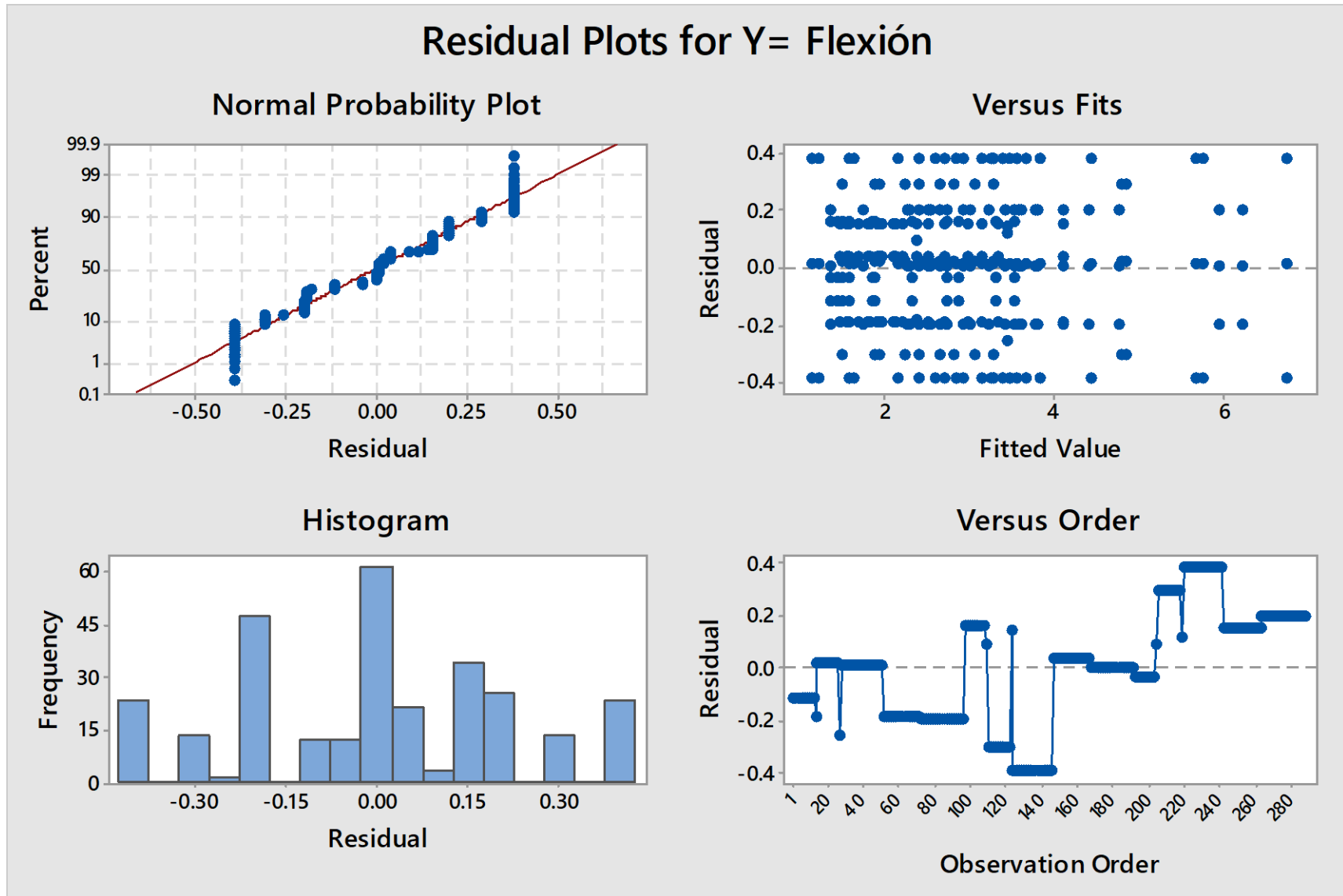


Figura 2. Prensa neumática calefactora.

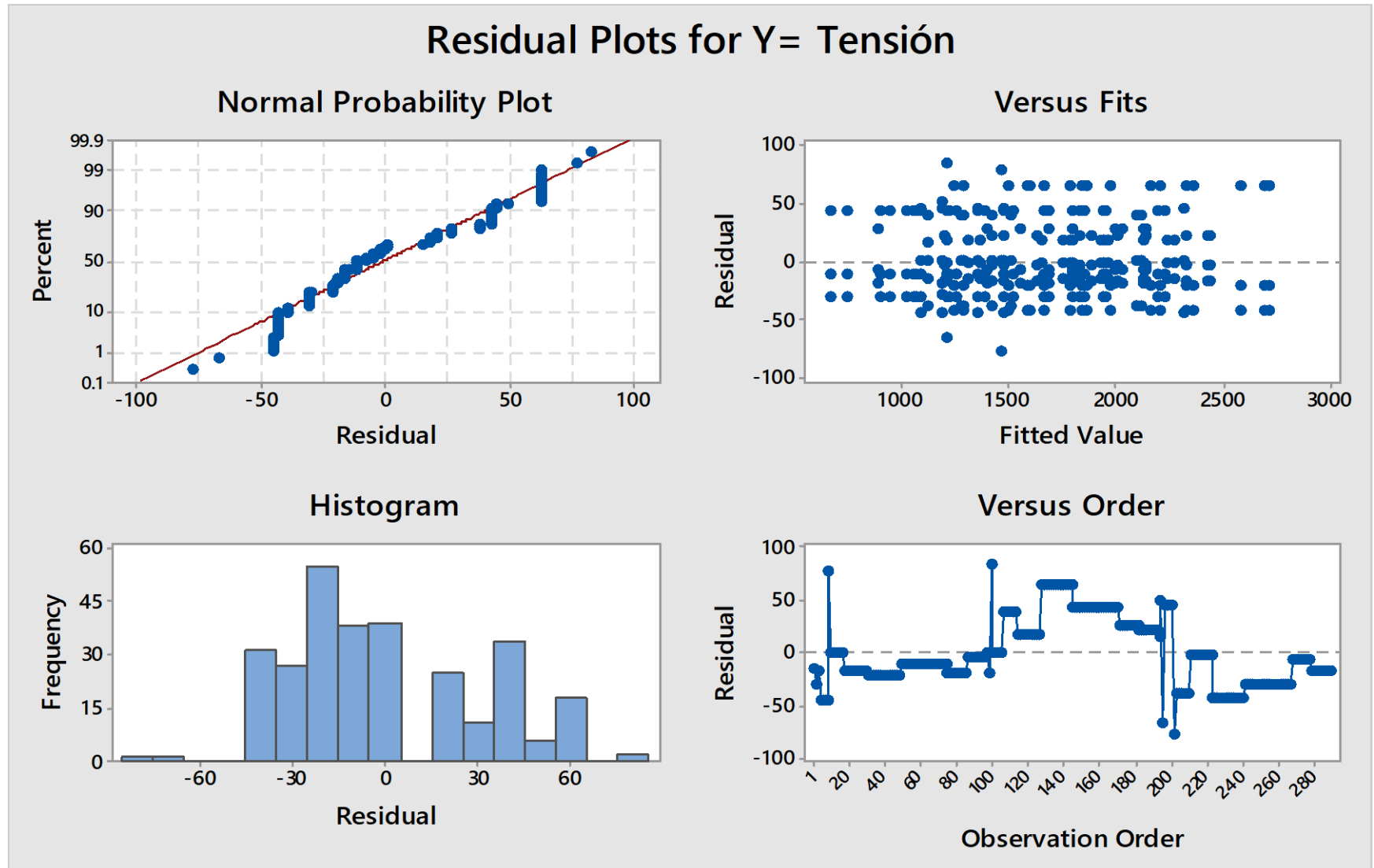
Anexo 2. Gráficas de residuos de la regresión lineal de densidad obtenida en el programa Minitab.



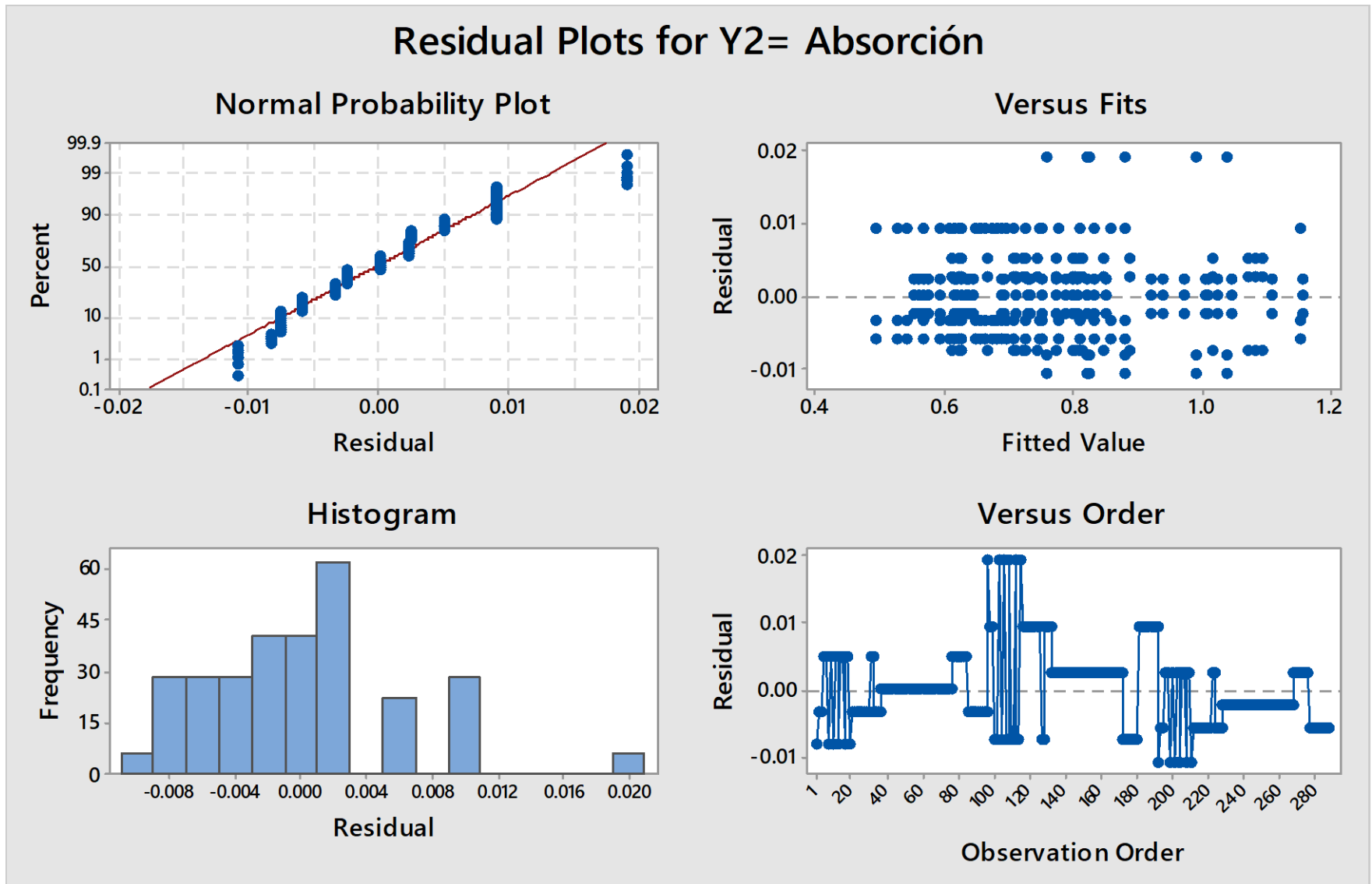
Anexo 3. Gráficas de residuos de la regresión lineal del Esfuerzo de rotura por flexión obtenida en el programa Minitab.



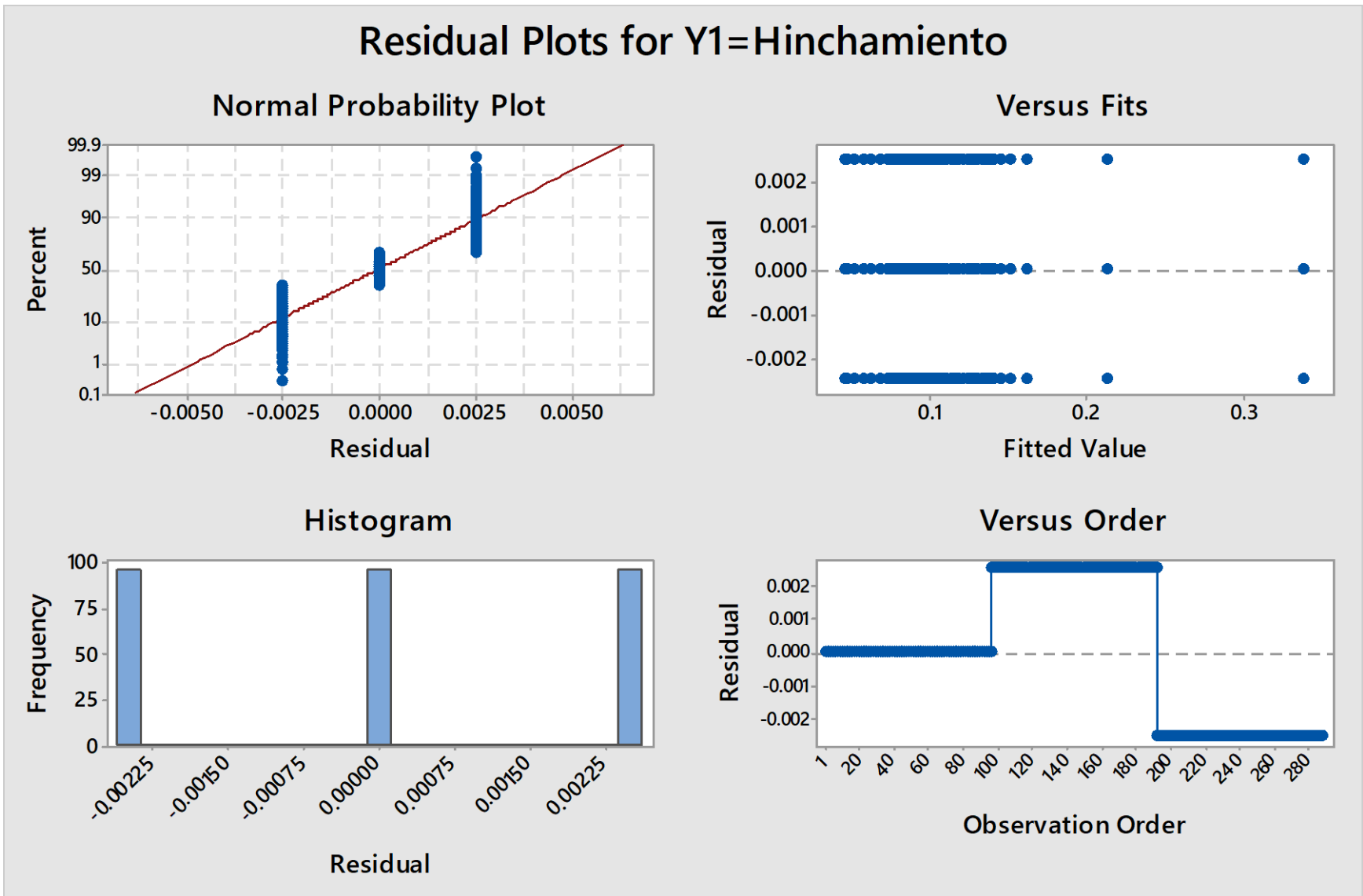
Anexo 3. Gráficas de residuos de la regresión lineal del Esfuerzo de rotura por tensión obtenida en el programa Minitab.



Anexo 4. Gráficas de residuos de la regresión lineal de la absorción de agua a 24 horas obtenida en el programa Minitab.



Anexo 5. Gráficas de residuos de la regresión lineal del hinchamiento en agua a 24 horas obtenida en el programa Minitab.



Anexo 6. Artículos de divulgación producto del presente trabajo de tesis.

Revista Mexican Journal of Materials Science and Engineering

Irving Giovanni Diaz-Iturbe, Artemio Vazquez, Fernando Emir Arellano-Alcántara, Jomaelah Morales-Rayó, María Magdalena Domínguez-Domínguez, Héctor Alberto Salgado-Sagal¹, Antonio Champi3n-Coria, Radam3s Trejo-Valencia, Juan Carlos Tapia-Picazo, Edgar Garc3a-Hern3ndez, Zully Vargas-Galarza, Rene Salgado-Delgado, Manuel Jesus Granados-Baeza, & Alberto Alvarez-Castillo (2017). The use of polymers in the building industry, Vol. 4 (2017), p3ginas 43-51.

THE USE OF POLYMERS IN THE BUILDING INDUSTRY

Irving Giovanni Diaz-Inurbe¹, Artemio Vazquez¹, Fernando Emir Arellano-Alcántara¹, Jomelah Morales-Rayó¹, María Magdalena Domínguez-Domínguez¹, Héctor Alberto Salgado-Sagal¹, Antonio Champión-Coria¹, Radamés Trejo-Valencia², Juan Carlos Tapia-Picazo³, Edgar García-Hernández¹, Zully Vargas-Galarza¹, Rene Salgado-Delgado¹, Manuel Jesús Granados-Baeza¹, Alberto Álvarez-Castillo*¹

¹Technological Institute of Zacatepec, Division of Postgraduate Studies-Department of Chemical Engineering and Biochemistry, Calzada Tecnológico No.27, Zacatepec, Morelos, México, C.P. 62780.

²National Technological Institute of Mexico, Arcos de Belén Núm. 79, Colonia Centro, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06010, México, D.F.

³Department of Chemical Engineering and Biochemistry, Technological Institute of Aguascalientes, Av. Adolfo López Mateos 1801, Aguascalientes, Aguascalientes, México, C.P. 20256.

*Corresponding author (alberto.ac@itzacatepec.edu.mx)

Abstract. In this review the importance of the use of polymers in the construction industry is presented. Then, an analysis of the commercial applications of the most important polymers in the construction industry is discussed, considering the classification of the types of polymers: thermoplastics and thermosets. Finally, some commentaries are given related to the importance of the role that these materials play in the construction industry and a panorama of the future.

Keywords: Polymers, plastics, construction industry.

Introduction

Polymers have existed since life started, in the form of natural products, which man used for a more comfortable. Some of the natural polymers used in those times, are: the natural horn (bull horn), amber (resin of conifers), shellac (natural polymer produced by the secretions of the female of a bug called lac) and the gutta percha (natural rubber) [1]. The first synthetic polymer was obtained, from the 2nd half of the 20th century until now, synthetic products have been produced, namely plastics, artificial fibers, synthetic rubbers, adhesives synthetics, etc.

The synthesis of polymers for commercial applications began with the commercialization of Bakelite in 1909 [2], considered as the first fully synthetic polymer. From that date and until today the polymer industry offers hundreds of different types and thousands of different products based on this type of chemicals. It is for that reason that

this industry is a multimillion dollar business [1] and expansion with an experimental growth.

In the construction industry, polymeric materials are used more and more, due to their exceptional characteristics [3] such as: lightness (densities oscillate between 0.03 and 2 Kg / dm³), which benefits the economy and ease of transport and assembly, significant reduction of dead loads, excellent behavior against corrosion and attack of environmental agents, maintenance is practically non-existing, their mechanical properties make them highly moldable, so different forms and designs can be obtained. In addition, they are excellent thermal, acoustic and electrical insulators, among others.

Due to the above exceptional characteristics, the polymer-based materials market is growing at a fast rate globally, especially in the construction industry. In figure 1, the demand in 2017 for

Article history: Received 16 April 2018; Accepted 6 June 2018; Available online 30 December 2017.

plastics in Europe, in different segments is shown [4]. The largest consumer of plastics in Europe is the packaging industry with more than 39.9%, of the total amount, followed by the construction and building industry and 19.7%, that represents a consumption of 9.83 Mton.



Figure 1. Demand in 2017 for plastics in Europe by industry (Adapted from reference 4).

In the Mexican market the percentage of consumption of polymer-base material by industry reported in 2010 as follows [5]: packaging 48%, consumption 23%, construction 11%, electrical and electronics 6%, furniture 4%, automotive 4%, industry 2%, agricultural 1% and health 1%. Two years later, the market was as follows: [6]: packaging 47%, consumption 23%, construction 13%, electrical and electronic 8%, automotive 4%, industrial 1%, agricultural 3% and medical 1%. With a total consumption of 5.8 M tons. These data indicate an increase in those two years of a 2% in only 2 years corresponding to 0.116 M tons (116 thousand tons).

As can be seen, by 2012, the consumption of plastics in the construction industry in Mexico was 754 KTon, which represent a high rate of growth of the market.

It is clear that these data reflect the magnitude and importance of the use of plastic materials in the construction and building industry. So the types of plastics used in this industry will be discussed in the next sections.

1. Applications of polymers in construction

Plastics and their applications in the construction industry are divided according to their response to heat, including thermoplastics or thermosets [7]. This classification is quoted in the journal *Modern Materials* [8] calling plastics as building materials of the twentieth century. On the other hand, each type of plastic has its subdivision into subclasses according to their properties, that make them unique and that circumscribes them in some application. Therefore, the types of polymers will be defined and each type of plastics and their particular class will be analyzed in different applications in the construction industry.

A thermoplastic material comprises all the plastics that melt or flow with the heating and solidify with the cooling, whereas a thermofix is the plastic material that does not melt with the heating and instead decomposes when it reaches a certain temperature [9].

1.2 Thermoplastics.

Within the type of thermoplastic polymers more details of the following classes will be provided:

a) Poli(etilen tereftalato) (PET).

The commercial uses of PET include in plates for posters and exhibitors, geotextiles for paving / road reinforcement, two commercial examples of these are Mirafi® [10] or CARTHAGE FX® [11]. Another commercial example is PET fibers for carpets, curtains and upholstery. Currently, the modification of cementitious materials with the addition of PET in the form of fiber [12, 13], in the form of pellets [14], flakes [15], in the form of strips cut by hand directly from the bottles of commercial beverages or powder are under development. [16, 17] [18]. The inclusion of PET in cementing mixtures has represented several improvements to the material, such as a larger bending stress of the cementitious composite material by adding PET fibers and being treated with sodium hydroxide [12]. It is also reported that the addition of fibers in the 0.05-0.5% composition range does not improve their

mechanical strength but improves the fracture properties, such as their fracture resistance and impact resistance [13]. It has also found very marked improvements in the resistance to alkalis and the resistance to the flexion of mortars [16], while some publications report improvements in thermal insulation [19] useful for maintaining the cold or heat in buildings or houses and in the ductility of concrete [17]. Prototypes of houses made with PET bottles and plat have been designed, although the manufacturing process is described very generally [20]: "the bottles must be arranged horizontally, placing one line on top of another until reaching the desired height. Completed, the walls are covered with wire cloth or ceiling and they are given a bath of concrete, mud, stucco or mud to achieve greater rigidity". Even though the poor physicochemical compatibility of PET with cementitious materials is not mentioned, in order to achieve acceptable mechanical strength properties, it is necessary to use a chemical or physical coupling agent to improve that compatibility. In this regard, polymeric coupling agents have been used which substantially improve the resistance to compression of cementitious materials modified with recycled PET [14].

b) High density polyethylene (HDPE).

This type of plastic has been used quite successfully in the supply of drinking water, in the stages of conduction, networks and home connections [21] through pipes (i.e. Acuaflex PAVCOMR), also its uses include the coating of cables as electrical insulation, where CONDUMEX producing wiring for particular uses, for example the wire 600 V TYPE XHHW is resistant to most oils and greases, has a high resistance to penetration of moisture and is resistant to low temperatures and with a normal operating temperature of 90 ° C. Other uses include telephony, drainage and sanitary use, as well as pots, geomembranas [22] (i.e. PAVCOMR geosystems) and geotextiles, where HDPE is one of the most used polymers for their manufacture. The latter began to be used in drainage and filtration and new terrain applications in civil works have emerged, such as the reinforcement

and separation [23]. One of the latest commercial applications is the use of recycled HDPE, under the name "plastic wood" [24] (i.e. SYNTREWOODMR). The use of crushed HDPE from polyethylene bags in cement mortar is currently under investigation [25]. In this work the mortars developed have lower resistance to flexion and compression, but improvements are achieved in the decrease of permeability to chloride penetration, carbonation and capillary absorption. A more recent application of this polymer in the form of fibers is in concrete in order to reduce the damage caused by bullet impacts [26].

c) PVC = Polyvinyl chloride.

This polymer is the star in applications in the construction sector. Like the HDPE, this material is used in membranes or sheets to waterproof floors or structures (i.e. FULMALAN MR) [27] and in sheets for posters and exhibitors. It is also used in slotted and perforated pipes for drainage (ie Pipedren® and Topdren®), irrigation pipes (ie Grupo Plásticos Ferro) [28] and drinking water distribution pipes (in public or domiciliary networks) (ie Mexichem) [29]. Another application is in the conduits of electrical, telephone or communications installations (public or residential) (i.e. DURMAN ESQUTVEL) [30]. Regarding the electrical sector, PVC is applied in the insulating coating of cables, electrical distribution boxes, plugs and receptacles. Additionally, it is applied on wall and floor coverings with profiles or sheets and with vinyl papers, on floors and ceilings by means of moldings, carpets, curtains, blinds and upholstery. In order to give ventilation to buildings is applied in complete windows and doors, as well as in dividing panels and fences, furniture for interiors or exteriors and in sanitary ware.

d) LDPE = Low density polyethylene.

This polymer has lower mechanical properties than HDPE, so the number of applications is smaller. It is applied on tiles (ORMIPOL®) [31], irrigation pipes (Extrudeline system®) [32], as electrical insulation on cables (Anicor®) [33]. The films of this material are used to place under

the concrete to keep it free of moisture and on the concrete to cure it more quickly, avoiding moisture losses. Additional applications of LDPE films are provided in a publication by The Aberdeen Group PUBLICATION # C 5 7 0 1 0 2, Copyright © 1957 [34].

e) PP = Polypropylene.

The applications of this material include carpets, pipes (i.e. Distribuidora Imperial S.A. de C.V.) [35] and installations for cold and hot water (i.e. Polimax Company) [36], electricity boxes, plugs, profiles, furniture. Modular systems (Aquacell AMANCO®) integrated by polypropylene cells of high structural resistance are also constructed, which serve as storage or as a regulation system during a rain event that makes possible the sustainable management of rainwater. Another use of PP is in waterproofing of residences, commercial and industrial buildings (SCUDOTENE V POLYNET®) [37], modified asphalt membranes having the upper surface covered by a special polypropylene network. Copolymer fibers of PP are used commercially to reinforce the concrete with the name of FORTA FERRO® [38] and also in experimental phase is the use of gamma radiation to improve the mechanical properties of concrete reinforced with PP fibers [39].

f) EPS = expanded polystyrene.

It has been used as a thermal insulator in the construction industry, such as Thermocrete® [40] by BASF, Rastra® [41], foam lite concrete® [42], etc., concrete modified with EPS that substantially improves both the thermal insulation and the lightness of the material. Special as cuts are used in the form of half-round for both cold and heat insulation of all types of pipes [43]. The EPS is also commercially available in a mixture with cementitious material in the form of piles of mortar to be applied, for example, in flat surfaces and to thermally insulate a wall [44]. On the other hand, the elastification process of the EPS gives this material acoustic-insulating properties and is applied in the construction of floating floors [45]. Complete plates of this material are used for use in ceilings for the construction of false ceilings

[46], combined with other materials are obtained modular systems used in construction [47], or for the manufacture of sandwich-like panels that are formed from made of colored steel sheet steel and an EPS layer to form an economical, easy to handle and flexible construction material [48]. Other uses are in cold insulation in cold rooms and shuttering to make lightened slabs [49]. Recently, EPS compatibility with cementitious materials was improved by physical and chemical treatments, to achieve improved mechanical strength properties, by means of a coupling agent [50, 51] and treatment with sulfuric acid [52], respectively. In both cases, the resistance to the understanding of the modified cementitious materials with recycled EPS is substantially improved.

g) PC = Polycarbonate.

The PC sheets present a wide variety of applications, such as billboards, signs, protective covers and security fences and cabinets, among others. Given their excellent transparency they work perfectly well as security "Glasses", in windows, in domes, skylights, etc. [53]. The PC helps architects and builders to face the challenges they are currently facing and those they will face in the future. While, an excellent series of PC uses that provide an added dimension in architectural and interior and exterior glazing applications are more widely described on the web [54].

1.2 Thermosets.

More details of the construction uses of the following classes of thermoset polymers will be provided:

a) PU = Polyurethane.

The PU Helps to keep our buildings comfortably air-conditioned and maintains refrigerated food in good condition by taking advantage of its low coefficient of thermal conductivity. It can be found everywhere in construction, from sports stadiums to hospitals, cold stores or homes [55]. It is one of the most important bastions with what is currently counted to contribute in the fight against climate change through its excellent

property of thermal insulation. Besides that it is lightweight, easy to handle and install. The most common forms of presentation are in insulating boards, insulating blocks, insulating structural panels, jackets for pipes, application by spraying, injection in chambers and sandwich panels. The modular prefabricated constructions based on this material are built with a sandwich panel composed of two sheets of steel and high density polyurethane foam, generating an exceptional thermal and acoustic insulation, being equipped with electrical and plumbing installation, thus guaranteeing the usual needs [56].

b) Silicones.

For more than 60 years, silicone has been an irreplaceable player in the construction industry, covering applications such as adhesives, sealants and coatings for structural glazing with a very good resistance to weathering [57, 58]. For example, the Dow Corning 999A Silicone is an acid-curing one-component sealant that vulcanizes on contact with air humidity [59] that is used for the conventional sealing of common or tempered glass.

c) Epoxy resins.

There are high strength epoxy based commercial adhesives for the construction industry and their uses are [60]:

i) The rigid bonding. It is used for the rigid union of elements of concrete, wood, fiber cement, steel, aluminum, iron, stone, glass, ceramics and for fixing and repairing in concrete and masonry elements. It is also used for structural bonding of fresh concrete with hardened concrete.

ii) Injection systems. To fill cracks by gravity or pressure injection in concrete structures, wood and masonry, in order to recover the monolithic and integrity of these elements.

iii) Anchors. Quick-cure anchors for bars or rods, threaded bolts, screws and special fasteners, in substrates such as, concrete, stone, solid rock, solid or hollow masonry.

iv) Anticorrosive coating for the protection of steel. For the protection of reinforcing steel both in repairs and in new construction is a good bridge of adhesion for concrete and mortars with steel.

d) Polyester resins.

This type of resin has the same as the epoxy a number of applications [61] of which we can mention are: high gloss varnishes for wood that after applying have a fast curing, developing good hardness, high brightness and excellent color; polymeric concrete with an excellent loading capacity and low viscosity, with fast and cyclic times (times) of curing; synthetic marble, made in the form of castings with excellent load acceptance capacity to make wash basins and prefabricated elements for facades; translucent sheets reinforced with glass fiber with good physical properties, stabilized to UV light, with a good resistance to environmental corrosion and showing a good color; and backrest of thermoformed acrylic tubs that present good adhesion to acrylic, excellent fiberglass wetting, high load acceptance and excellent dimensional stability.

In the past decade, in the experimental phase it was tried to find a substitute for the wood made of polyester resin and by-products of rice industry (rice husk). The result is a composite material with excellent mechanical, hydrophobic and fireproof (self-extinguishing) properties as shown in figure 2 [62, 63].

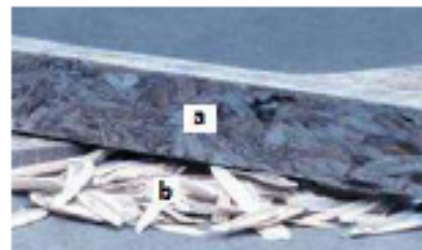


Figure 2. (a) Composite material made of polyester resin and rice husk as a substitute of wood; (b) rice husk.

Results and discussion

Due to the large number of applications and statistical data, it is undoubted that polymers play a very important role in the construction industry, where such applications range from pipes to facades, from floors, walls, roofs to roofs, etc., practically covering the construction of the whole house, as well as the structural constructions. It is used in all types of new buildings or to maintain or remodel existing ones.

Due to their very good chemical stability, polymers have an enviable durability and can be formulated additionally to provide greater resistance for outdoor applications, making them excellent players in the generation of novel construction materials.

Given their relatively low thermal conductivity these materials provide excellent thermal performance that will help us in the future to find a sustainable solution to the problem of climate change.

Due to the recycling capacity of thermoplastic polymers, these materials can be reused in the construction industry to create a sustainable construction scheme in the medium term, contributing to the problem of climate change.

References

[1] García, S., Referencias históricas y evolución de los plásticos, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 10, n° 1, pp. 71-80, 2009.

[2] Torrison, L., The Effect of Microwave Radiation on Polypropylene Used in Food Containers, *Cantarus*, n° 7, pp. 44-46, 1999.

[3] Miravete, A., Los nuevos materiales en la construcción, España: Reverte, p.13, 1995.

[4] Plastics - the Facts, An analysis of European plastics production, Demand and waste data for 2011, Association of Plastics Manufactures in Europe

(APME), 2012. [En línea]. Available: <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-2012.aspx?Page=DOCUMENT&Fo1ID=2>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].

[5] C. S., "Industria del plástico en el Noreste de México y en Texas, 1995-2005", *Región y Sociedad*, vol. XXII, n° 47, pp. 165-192, 2012.

[6] «Exportaciones plásticas: El desafío del México global,» *Mundo plástico*, vol. Año 10, n° 56, pp. 10-16.

[7] R. K. G. Kumar A., «Fundamentals of Polymer Engineering,» Marcel Dekker, 1997, p. 4.

[8] «Plastics: Building Material of the 20th Century,» *Modern Materials*, vol. November, pp. 5-6, 2013.

[9] R. Ebeuele, de *Polymer Science and Technology*, CRC Press LLC, 2000, p. 26.

[10] [En línea]. Available: http://www.tencate.com/amer/Images/PDS/PET0407_tcm29-9542.pdf. [Último acceso: 08 Octubre 2013].

[11] [En línea]. Available: http://www.carthagemills.com/products/geotextiles/fx_woven_high-strength_pet_polyester.php. [Último acceso: 08 Octubre 2013].

[12] A. L. K. L. M. É. L. B. P. O. K. F. S. F. Manchovié V., «Effect of aging of PET fibre on the mechanical Properties of PET fibre reinforced cement composite,» *Ceramics Silikáty*, vol. 52, n° 3, pp. 172-182, 2008.

[13] M. O. R. K. G. P. J. P. R.-R. H. Pelissera F., «Mechanical Properties of Recycled PET Fibers in Concrete,» *Mat. Res.*, vol. 15, n° 4, pp. 679-686, 2012.

[14] A. A.-C. R. B. C.-Q. O. S.-T. A. C.-C. J. Morales-Rayó, «Formulación y estudio de mezclas cementantes utilizando polietilentereftalato reciclado para la elaboración de materiales para la

- industria de la construcción,» Memorias del XXV Congreso Nacional de la Sociedad Polimérica de México A.C., Mérida Yucatán, pp. 194-203, 2012.
- [15] J. V.-R. F. Casanova-del-Angel, «Manufacturing Light Concrete with PET Aggregate,» *ISRN Civil Engineering*, vol. 2012, n° ARTICLE ID 28733, pp. 1-10, 2012.
- [16] I. F. C. P. E. P. L. F. F. Fraternali, «On the use of R-PET strips for the reinforcement of cement mortars,» *Composites: Part B*, vol. 46, pp. 207-210, 2013.
- [17] D. Foti, «Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers,» *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, n° 1906-1915, 2011.
- [18] A. A. G. Y. P. G. S. A. P. S. L.R. Bandodkar, «Pulverised PET Bottles as Partial Replacement for Sand,» *Inter. J. Earth Sci. Eng.*, vol. 4, n° 6, pp. 1009-1012, 2011.
- [19] Y. I. P. T. B. Yesilata, «Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces,» *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, pp. 1878-1882, 2009.
- [20] «Periódico La Jornada (México),» 1 Diciembre 2010. [En línea]. Available: <http://www.jornada.unam.mx/2010/12/01ciencias>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [21] [En línea]. Available: 21. http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CD8QFjAB&url=http%3A%2F%2Fpavco.com.co%2Ffiles%2Fdata%2F20120116152442_s.pdf&ei=VjDKUZmNGquyAHlu4G-oBQ&usg=AFQjCNEAMffLAh3jVt-iGcWgEpr39gIIQ&sig2=ATTPYHOXhcfkspAC7kVFVw&bvm=b. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [22] [En línea]. Available: 22. http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CEEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fpavco.com.co%2Ffiles%2Fdata%2F2011112373258_s_3.pdf&ei=IzjKUCyHH4iUrAGdo4DIB-A&usg=AFQjCNG4Z_RcDTPcridowWb9V5aLt19Hwi&sig2=0qYg6N-a5rIYqAd5Hs9ajA&bvm=b. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [23] D. C.-F. M. G.-O. F. Ballester-Muñoz, «Definición, Función y clasificación de los geotextiles,» *Arte y Cemento*, vol. 30/10/00, pp. 122-130, 2000.
- [24] J. M. D. M. J. R. C. Córdoba, «Aprovechamiento de Polipropileno y Polietileno de Alta Densidad Reciclados Reforzados con Fibra Vegetal, Tetera (Stromathe Stromathoides),» *Iberoam. Polím.*, vol. 11, n° 7, pp. 417-427, 2010.
- [25] A. M. C. V. S. M. S. Gómez, «Influencia de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) usado como adición en el mortero de cemento,» *Constr.*, vol. 10, n° 3, pp. 110-121, 2001.
- [26] K. M. K. T. Y. M. M. Yamaguchi, «An Experimental Study on Blast Resistance of Polyethylene Fiber Reinforced Concrete,» *J. Temporal Des. Arch. Environ.*, vol. 9, n° 1, pp. 158-161, 2009.
- [27] [En línea]. Available: http://www.fulma.es/verpdf.asp?queURL=documentos/file/productos/pdf2/A04_Catalogo_Laminas_PVC.pdf. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [28] [En línea]. Available: 28. http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&ved=0CG4QFjAJ&url=http%3A%2F%2Fwww.grupoplasticosferro.com%2Fopencms%2Fexport%2Fsites%2Fgpf_nuevo%2Fgaleria_descargas%2FQuienesSomos%2FAreaNegocio%2FRegadxo_y_drenajes.pdf&ei=uCFL. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [29] [En línea]. Available: 29. <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&ved=0CFwQFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.mexichem.com.ar%2Fdescar>

- gas%2Finfra%2Famanco_redaguapotableFT.pdf&ei=d57LUbnbO4HM9Q5-8YDADw&usq=AFOjCNHUduixOZTi_0T9JMWUJzxftqV6g&sig2=WXbm27KpX. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [30] [En línea]. Available: 30.
http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.coval.com.co%2Fpdfs%2Fmanuales%2Fman_durman_ducto_telefonico_electrico.pdf&ei=9zDLUZ-_N4bi9gTkglHgBQ&usq=AFOjCNGHEg9RN9-fghTXAvyqMfCmhlZtDw&sig2=-. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [31] [En línea]. Available:
<http://www.ormiflex.com/es/hogares/folletos/>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [32] [En línea]. Available: <http://www.extruline.es/>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [33] [En línea]. Available:
http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.aniconcables.com.ar%2Fpdf_tecnicos%2Fpdf_caracteristicas_materiales.pdf&ei=H2rMUd20JojS9QTIkYHQCOQ&usq=AFOjCNE3QcxEhy3zQCgXg5n1B6WwMhag8w&sig2=XjyrTel. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [34] [En línea]. Available:
http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDUQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.concreteconstruction.net%2Fimages%2FPolyethylene%2520Film_tcm45-343813.pdf&ei=MG3MUa2gMoTY8g5u34CIAw&usq=AFOjCNFM9tWz9mMfEjSbRLu9mfjGeWrQ&sig2=-. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [35] [En línea]. Available:
<http://www.imperialsa.com.py/catalogo/GALVANIZA DOS.pdf>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [36] [En línea]. Available:
http://www.cyaccesoriososte.com.ar/prod_polime x.htm. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [37] [En línea]. Available:
http://www.italiana.com.mx/scudotene_V_polinet2 5c.htm. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [38] [En línea]. Available: <http://www.forta-ferro.com/products/macrobuffers/forta-ferro/>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [39] F. U.-N. O. G. W. B. G. Martínez-Barrera, «Mechanical properties of polypropylene-fiber reinforced concrete after gamma irradiation,» Composites: Part A, vol. 42, pp. 567-672, 2011.
- [40] [En línea]. Available: <http://www.basf-cc.co.in/en/products/Sustainable%20Construction/HERMOCRETE/Pages/default.aspx>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [41] [En línea]. Available: <http://www.rastra.com/>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [42] [En línea]. Available:
<http://foamliteconcrete.com/>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [43] [En línea]. Available:
<http://www.tecnopor.com.ar/medias-canas.php>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [44] [En línea]. Available:
<http://www.grupoestisol.com/aislacion-termica>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [45] [En línea]. Available:
<http://www.andimat.es/sobre-aislamiento/aislamiento-acustico>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [46] [En línea]. Available:
<http://www.vedovatto.com.ar/cielorrasos.htm>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].

- [47] [En línea]. Available: <http://es.mdue.it/>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [48] [En línea]. Available: <http://www.prefabhousecn.es/5-1-eps-sandwich-panel.html>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [49] [En línea]. Available: <http://www.tecnisec.com.ar/productosFicha.php?p=31&sc=4&c=5>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [50] F. D.-S. R. L.- B. T. C.-R. E. G.- H. B. G.-M. R. S.-D. G. M.- B. A. A.-C. F. E. Arellano-Allcántara, «El uso de poliestireno en la industria de la construcción,» NOUSITZ, n° 33, pp. 56-63, 2006.
- [51] F. D.-S. E. G.-H. R. S.-D. G. M.-B. A. A.-C. F. E. Arellano-Allcántara, «Reciclamiento del Poliestireno para la Elaboración de Nuevos Materiales para la Industria de la Construcción,» Memorias del IX Congreso Nacional de la Sociedad Polimérica de México, pp. 1-6, 2006.
- [52] T. C.-R. E. C. M. C. A. C.-C. M. J. G.-B. A. R. S.-D. A. A.-C. A. Vázquez, «Modificación Química Superficial del Poli(estireno) Reciclado para Mejorar la Compatibilidad con Material Cementante,» Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Sociedad Polimérica de México A.C. Tijuana B.C, pp. 303-307, 2010.
- [53] [En línea]. Available: <http://berkel.com.br/indexes.html>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [54] [En línea]. Available: <http://www.hierrostorrent.com.ar/polycarbonato/>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [55] [En línea]. Available: <http://www.excellence-in-insulation.eu/site/index.php?id=9>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [56] [En línea]. Available: http://www.ofertascasasdemadera.com/Casas_de_madera_Paneles_EPS.aspx. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [57] [En línea]. Available: [http://www.dowcorning.com/content/publishedlit/63-1046-05_\(Americas\).pdf](http://www.dowcorning.com/content/publishedlit/63-1046-05_(Americas).pdf). [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [58] [En línea]. Available: <http://www.christensen.cl/uploads/biblioteca/pdfs/f8e0462a02f2fcd.pdf>. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [59] [En línea]. Available: www.furukawa.com.pe/PDF/Silicona.pdf. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [60] [En línea]. Available: http://mex.sika.com/es/system/search.html?_chars_et=utf-8&q=adhesivos. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [61] [En línea]. Available: http://www.reichhold.com/brochures/composites/Composites_CatalogSpanish.pdf. [Último acceso: 08 Octubre 2013].
- [62] E. A. A.-C. V. C. F. García-Zetina, «Numerical analysis of experimental results on the mechanical properties of polyester resins reinforced with natural fibres,» Journal of Reinforced Plastic and Composite, vol. 14, n° 6, pp. 641-649, 1995.
- [63] V. P. A. L. C. M. A. A.-C. V. C. R. López, «Alkaline surface modification of sugar cane bagasse,» Advance Composite Materials: The Official Journal of the Japan Society of Composite Materials, vol. 9, n° 2, pp. 99-108, 2000.

Anexo 7. Revista bianual memorias Congreso Internacional en Tecnología, Innovación y Docencia.

Álvarez-Castillo, E. García-Hernández, C. D. Arrieta-González, M. J. Granados-Baeza, I. G. Diaz-Iturbe (2019). OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ/RESINA FENÓLICA, Núm.2, año2, 140-148.

OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ/RESINA FENÓLICA

A. Álvarez-Castillo¹, E. García-Hernández¹, C. D. Arrieta-González¹, M. J. Granados-Baeza¹, I. G. Díaz-Iturbe¹.

¹*División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico No.27, Col. Centro, Zacatepec Morelos, México. alberto.ec@itzacatepec.edu.mx, edgar.gh@itzacatepec.edu.mx, cinthya.ao@itzacatepec.edu.mx, granados@itzacatepec.edu.mx, irvingiturbe_1992@hotmail.com.*

Área de participación: Materiales poliméricos (IQ).

Resumen: El presente proyecto consiste en la generación de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica y su correspondiente caracterización mecánica. El propósito del trabajo tiene como finalidad concluir que estos materiales compuestos cumplan técnicamente desde el punto de vista mecánico en su aplicación para la sustitución del aserrín de madera tradicional en tableros para la industria maderera.

Una vez obtenidos los materiales compuestos, se obtendrá la densidad aparente de la cáscara de arroz en condiciones anhidras. Así como también, se determinará la densidad aparente de los materiales compuestos pesando y midiendo el volumen de las placas inmediatamente después de ser extraídas de la prensa. Las probetas obtenidas a partir de las diferentes placas de material compuesto serán ensayadas en modo tensión en una máquina universal siguiendo el procedimiento de ensayo descrito en la norma ASTM D 638-02a (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics) y en modo flexión en tres puntos en una máquina universal siguiendo el procedimiento de ensayo descrito en la norma ASTM (D790-92 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials). Posteriormente se evaluarán en los siguientes aspectos: absorción de agua de los materiales compuestos de acuerdo a la norma ASTM D790-92 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement; y velocidad de quemado, siguiendo la norma ASTM D1037 (Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position).

Introducción

La cascarilla de arroz (RH, por sus siglas en inglés, Rice Husk) es un residuo agroindustrial proveniente del cultivo de arroz y una de las aplicaciones actuales es su incorporación en matrices poliméricas para la fabricación de compuestos ecológicos [1]. Un inconveniente es la disposición final de la cascarilla de arroz, ya que representa el 25% del peso de la semilla de arroz; En 2015 la producción anual de arroz México fue de 123,013 toneladas que equivale a 31,753.25 toneladas de cascarilla de arroz [2], es por ello que en los últimos años es creciente el interés de encontrar alternativas de uso para estos desechos. Estas propuestas incluyen el aprovechamiento energético, aditivo en materiales cerámicos posterior a su pirolisis, cargas en polímeros, y para la fabricación de aglomerados con diferentes aplicaciones.

Normalmente para la elaboración de materiales compuestos para la industria maderera se utilizan materiales provenientes de la tala de árboles, esto tiene como consecuencia que en la actualidad la deforestación siga en aumento.

Por lo tanto, este trabajo se concentrará en analizar la viabilidad técnica para la fabricación de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica como una alternativa al uso tradicional del aserrín y astilla de madera para elaborar aglomerados. La meta principal es que el material compuesto desarrollado a base de cascarilla de arroz/resina fenólica tenga igual o mejores propiedades mecánicas que las del material compuesto comercial y si es posible, a los materiales compuestos reportados en la literatura. Para esto la primera fase de la elaboración de estos materiales es la compatibilización de la resina fenólica con la cascarilla de arroz para lograr una mejor interface. Por lo que, en el presente comunicado se muestra el análisis del pretratamiento para mejorar la interface carga/matriz, mediante el uso de dos agentes compatibilizantes que actúan físicamente.

Sección Experimental y/o Fundamento Teórico

Materiales

La cascarilla de arroz se obtuvo del molino de arroz San José (Arroceros de la Región Sur del Estado de Morelos U.S.P.R de R.L), esta cascarilla de arroz tipo palay se caracteriza por ser un grano grande de apariencia opaca y de tamaño extra largo. Será utilizada sin ningún tipo de trituración o tratamiento previo para ahorrar costos en el proceso de fabricación del material compuesto. El arroz palay debe tener una longitud mayor de 10.0 mm, una anchura mayor de 3.0 mm, y un espesor mayor de 2.0 mm [3]. Se utilizaron dos tipos de agentes compatibilizantes para mejorar la interface del material compuesto, mejorando la unión física: a) sellador 5x1 Comex (poli acetato de vinilo) (PVAc) y b) pegamento artesanal comercial Unirapid Comex (poli alcohol vinílico) (PVA).

Se tomaron 4 muestras de cascarilla de arroz con 100g cada una y se adicionaron a 4 diferentes concentraciones (0, 1, 2.5, 5% en volumen en agua) para saber cuál es la concentración óptima a utilizar en la elaboración de los materiales compuestos. Se estableció un tiempo estándar para escurrir la cascarilla de arroz por 5 minutos posterior al lavado y al pretratamiento. La caracterización de FTIR para cada agente compatibilizante muestra como no varía significativamente los espectros correspondientes al PVA con relación a la cascarilla de arroz pura. Mientras que en los espectros con PVAc se muestran cambios en los picos a 1635 cm^{-1} - 1750 cm^{-1} en 5 y 2.5% de concentración respectivamente que se atribuyen a la vibración de alargamiento $C = O$, lo que confirma cambio en la estructura superficial, sin embargo muestra diferentes comportamientos en la parte interna como externa de la cascarilla, por lo que se propuso como cantidad óptima de concentración para el PVAc a 3.5% o 4% para obtener un óptimo recubrimiento de la cascarilla de arroz tanto interna como externamente.

Caracterización de la cascarilla de arroz pre tratada.

Absorción de humedad.

Se tomó 1 gramo de cascarilla de arroz pretratada en los porcentajes mencionados para evaluar el porcentaje de absorción de humedad a temperatura ambiente a 24 horas, se realizaron 3 repeticiones por cada porcentaje.

Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier.

Los análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) para la cascarilla de arroz, agentes compatibilizantes, se determinaron por el método de reflectancia atenuada Total (ATR, por sus siglas en inglés) utilizando un equipo marca Perkin Elmer modelo Spectrum Two ubicado en el laboratorio de posgrado del ITZ realizando 16 barridos en el infrarrojo medio ($4,000-400\text{ cm}^{-1}$) con una resolución de 4 cm^{-1} .

Microscopia óptica.

La microscopia óptica de las muestras de cascarilla de arroz se analizaron en un microscopio óptico marca ABBE MPT01 modelo YJ-2016, utilizando magnificaciones de 40x con una cámara adaptada WIFI CAMERA EYEPIECE proyectando la imagen mediante la aplicación UCAM PLUS APP.

Resultados y Discusión

Caracterización de la cascarilla de arroz pre tratada.

Absorción de humedad.

En la tabla 8 se observan los datos obtenidos de absorción de humedad, se pudo determinar que la cascarilla de arroz a 2.5%, 3.5% y 5% muestran mayor propiedad hidrofóbica que la de 1% y sin tratamiento.

Tabla 1. Porcentaje de absorción de humedad de la cascarilla de arroz

Cascarilla de arroz:	Promedios	Desviación estándar
Sin tratamiento de agente compatibilizante	4.33%	1.052
Agente compatibilizante al 1%	4.33%	.7922
Agente compatibilizante al 2.5%	3%	.0020
Agente compatibilizante al 3.5%	3.33%	1.0012
Agente compatibilizante al 5%	3.33%	1.025

Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier.

En los siguientes espectros infrarrojos se observan los cambios en los grupos funcionales de la cascarilla de arroz con los dos tipos de agentes compatibilizantes PVA y PVAc, a 4 diferentes concentraciones (0, 1, 2.5, 5% en volumen en agua) para saber cuál es la concentración óptima a utilizar en la elaboración de los materiales compuestos. La caracterización de FTIR fue para determinar la concentración de grupos funcionales para cada agente compatibilizante que se

utilizó. En la figura 1b) y 1c) se muestra como no varía significativamente los espectros correspondientes al PVA con relación a la cascarilla de arroz pura (ver figura 1). Mientras que en las figuras 2b) y 2c) se muestran cambios en los picos a 1635 cm^{-1} - 1750 cm^{-1} en 5 y 2.5% de concentración respectivamente que se atribuyen a la vibración de alargamiento $\text{C} = \text{O}$, lo que confirma cambio en la estructura superficial (ver figura 2).

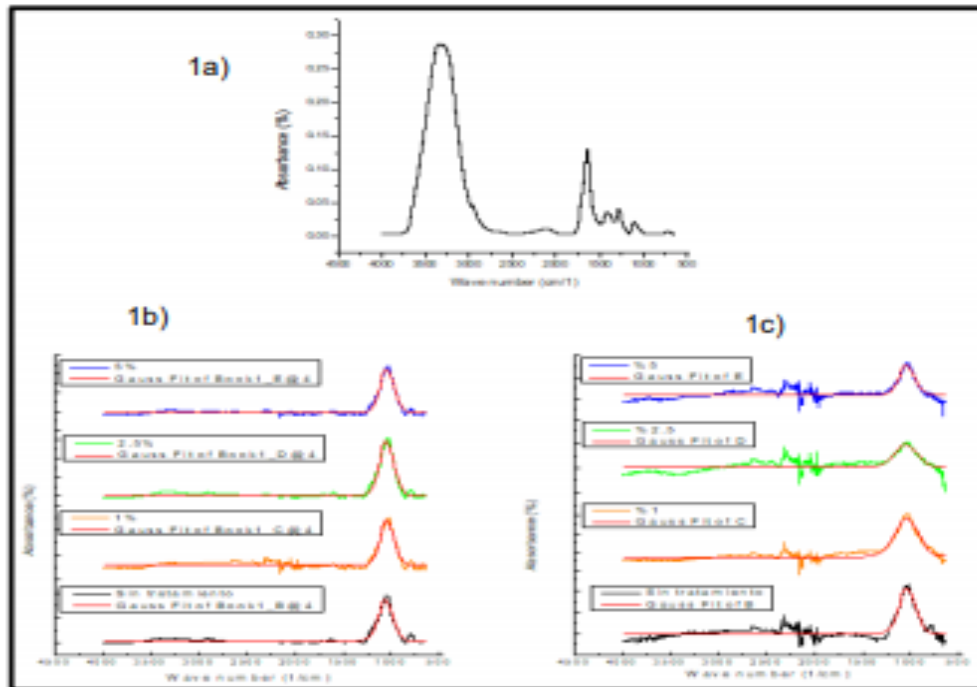


Figura 1. Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVA: 1a) Agente compatibilizante (PVA), 1b) PVA a diferentes concentraciones en la superficie interna y 1c) PVA a diferentes concentraciones en la superficie externa.

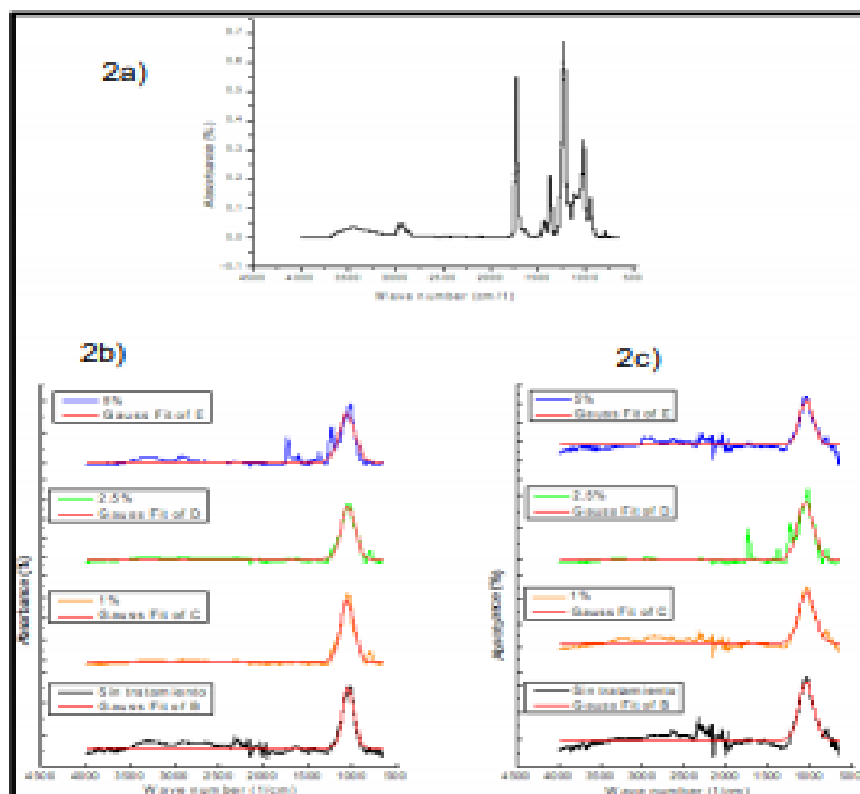


Figura 2. Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVAc: 2a) Agente compatibilizante (PVAc), 2b) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie interna y 2c) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie externa.

La caracterización de FTIR fue para determinar la concentración de grupos funcionales para cada agente compatibilizante que se utilizó. En la figura 1b) y 1c) se muestra como no varía significativamente los espectros correspondientes al PVA con relación a la cascarilla de arroz pura. Mientras que en las figuras 2b) y 2c) se muestran cambios en los picos a 1635 cm^{-1} - 1750 cm^{-1} en 5 y 2.5% de concentración respectivamente que se atribuyen a la vibración de alargamiento C = O, lo que confirma cambio en la estructura superficial.

Los espectros de infrarrojo confirman buenos resultados para el tratamiento de la cascarilla de arroz con PVAc. Dado que el PVA tiene bastantes grupos OH en el polímero, y estos no se ven reflejados en la señal a aproximadamente 3500 cm^{-1} , se determina que este pretratamiento no es efectivo. Lo que se propone como cantidad óptima de concentración para el PVAc a 3.5% para obtener un óptimo recubrimiento de la cascarilla de arroz tanto interna como externamente (ver figura 3).

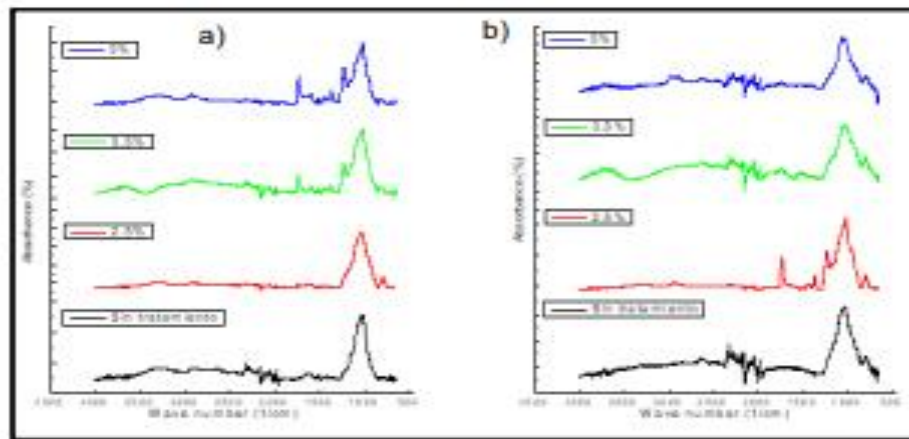


Figura 3. Espectros FTIR de la cascarilla de arroz con pretratamiento PVAc 3.5%: a) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie interna y b) PVAc a diferentes concentraciones en la superficie externa.

Microscopía óptica

Las imágenes muestran cambios superficiales con el PVAc a concentración de 2.5, 3.5 y 5%, tales que se ve como dependiendo el porcentaje de agente compatibilizante la capa superficial se va haciendo más lisa y recubriendo los poros de la misma dando a interpretar que si hay buena interacción entre el agente compatibilizante y la cascarilla de arroz (ver figuras 4 - 7).

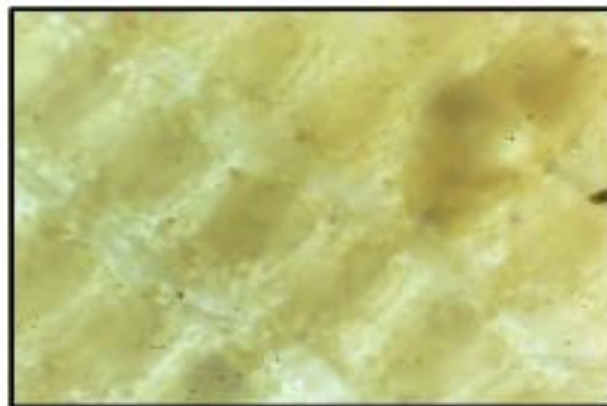


Figura 4. Visualización de la cascarilla de arroz sin tratamiento en microscopio óptico a 40X.

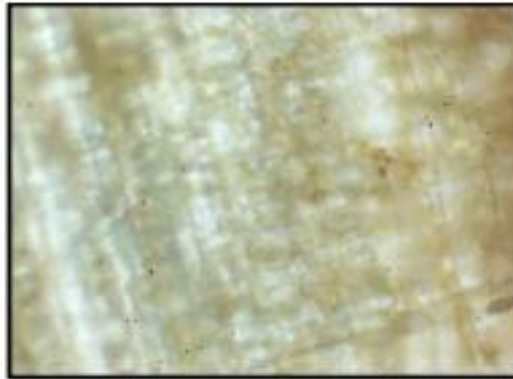


Figura 5. Visualización de la cascarilla de arroz pre tratada a 2.5% con PVAc en microscopio óptico a 40X.

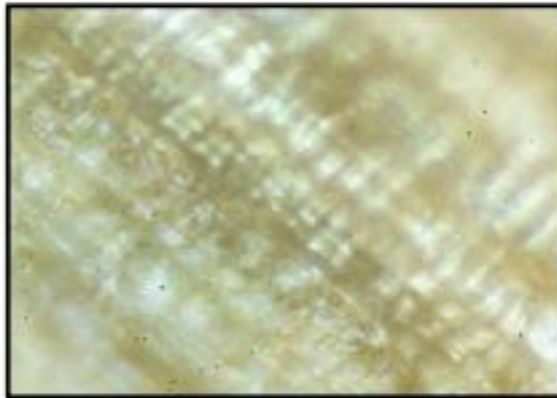


Figura 6. Visualización de la cascarilla de arroz pre tratada a 3.5% con PVAc en microscopio óptico a 40X.

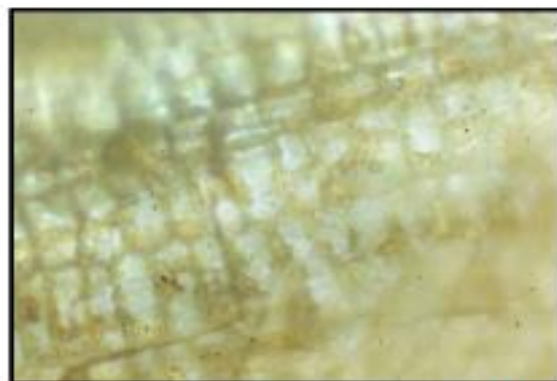


Figura 7. Visualización de la cascarilla de arroz pre tratada a 5% con PVAc en microscopio óptico a 40X.

Conclusiones

Los espectros de infrarrojo confirman buenos resultados para el tratamiento de la cascarilla de arroz con PVAc. Dado que el PVA tiene bastantes grupos OH en el polímero, y estos no se ven reflejados en la señal a aproximadamente 3500 cm⁻¹, se determina que este pretratamiento no es efectivo. Lo que se propone como cantidad óptima de concentración para el PVAc 3.5 o 4% para obtener un óptimo recubrimiento de la cascarilla de arroz tanto interna como externamente y lograr una mejor interface en el material compuesto.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Zacatepec por inculcarme valores y conocimientos que me ayudan a gestionar y aptitudes capaces de apoyar y fomentar el crecimiento de los diferentes sectores económicos, tecnológicos; Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por confiar en mis capacidades y apoyarme económicamente tanto académicamente.

Referencias

1. 5 Rice Hulls for Composites. (s.f.). En *Introduction to Polymeric Composites with Rice Hulls* (págs. 57 - 67).
2. SAGARPA. (2015). Obtenido de SAGARPA.
3. Industrial, E. I. (2012). DECLARACION General de Protección de la Denominación de Origen "Arroz del Estado de Morelos". *DIARIO OFICIAL*, 118-124.
4. A. Álvarez-Castillo, E. G.-H.-D.-B.-C.-G.-C.-F.-C.-M. (2012). APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE LOS MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 140-150.
5. Abelardo Prada, C. E. (2010). LA DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO INTEGRAL. *ORIOQUIA*, 155-170.
6. Backahuss., M. D. (s.f.). Cascarilla de arroz para la industria. *Ráfagas*, 5.
7. Barcelona, U. d. (13 de 06 de 2018). *Universidad de Barcelona*. Obtenido de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/resinas-fen%C3%B3licas>
8. C. Desirello, S. C. (2004). Efecto de las condiciones de procesado sobre las propiedades mecánicas de aglomerados de cáscara de arroz. *CONGRESO CONAMET/SAM 2004*, 1-6.
9. Carolina Giovanna Cadena, A. J. (2002). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Ingeniería y Desarrollo*, 1-9.
10. CV, A. d. (2018). *Grupo Ixtla Morales*. Obtenido de <http://www.gpomorales.com/historia.html>
11. D. Chandramohan, A. (2017). Experimental data on the properties of natural fiber particle reinforced polymer composite material. *ELSEVIER*, 460 - 468.
12. FAO. (2014). Obtenido de FAO.
13. Gloria María Doria Herrera, . A. (2012). Caracterización estructural de la cascarilla de arroz modificada como adsorbente alternativo y eficiente para la remoción de CR(IV) en solución. *Investigación Agraria y Ambiental*, 21-29.

14. Héctor E. Covarrubias Velázquez, A. S. (2016). RESINAS TERMOESTABLES DE FENOL-FORMALDEHÍDO. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 1-11.
15. Hemida, É. (2011). *Polímeros*. Buenos Aires, Argentina.: Educar.
16. Hill, J. W., & Kolb, D. K. (2000). *Química Para El Nuevo Milenio - 8b: Edición* . Pearson Publications Company.
17. Humayatul Ummah, D. A. (2015). Analysis of chemical composition of rice husk used as absorber plates sea water into clean water. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6046-6050.
18. Joel Telles de Souza, W. M. (2017). EVALUATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF RICE HUSK PANELS GLUED WITH TANNIN-FORMALDEHYDE. *Ciência Florestal vol.27.*, 1003 - 1015.
19. M.Sc. Alexander Gaitán, P. G.-C. (2016). Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de Pennisetum purpureum schum, Philodendron longirrhizum y Musa acuminata. *Rev Cie Téc Agr vol.25 no.1 San José de las Lajas*.
20. Mariano. (06 de Noviembre de 2012). *Tecnología de los plásticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/11/resinas-melamina-formaldehido-mf.html>
21. Meira, G. (2014). POLIMERIZACIONES POR PASOS CON FORMACIÓN DE RED INFINITA. 1-13.
22. Omar Faruk, A. K.-P. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *ELSEVIER*, 1552-1596.
23. Parija, A. (2014). Thermal Studies Of Different Agrowaste Reinforced Novolac Composites Prepared Under Isothermal Conditions. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 1-20.
24. plasticos, T. d. (25 de Noviembre de 2018). *Tecnología de los plásticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/>
25. Stupenenengo., F. (2011.). *Materiales y materias primas*. Buenos Aires, Argentina.: Encuentro.
26. VALVERDE, I. A. (2007). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ. *Scientia et Technica Año XIII, No 37. Universidad Tecnológica de Pereira.*, 255-260.

Anexo 8. Participación en congresos.

- IX Congreso Nacional de Ciencia e Ingeniería en Materiales celebrado en la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, del 21 al 23 de Marzo del 2018.

“El uso de los polímeros en la industria de la construcción”

- XXXI Congreso Nacional de la Sociedad Polimérica de México, A.C., celebrado en la Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla, del 14 al 18 de Octubre del 2018.

“Obtención y caracterización de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica”

- Congreso Internacional en Tecnología, Innovación y Docencia 2019, celebrado en el Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Zacatepec, del 01 al 05 de Abril del 2019.

“Obtención y caracterización de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica”

- La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, celebrado en Huatulco Oaxaca, México, del 07 al 10 de Mayo del 2019.

“Obtención y caracterización de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica”

- Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica 2019 Etapa Local, celebrado en el Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Zacatepec el 28 de Mayo del 2019.

Proyecto “Aglomerados RESIN RICEHUSK”



IX Congreso Nacional de Ciencia e Ingeniería en Materiales otorga

la presente Constancia a:

IRVING GIOVANNI DIAZ ITURBE

Quien presentó la contribución:

El uso de los polímeros en la industria de la construcción.
en el IX Congreso Nacional de Ciencia e Ingeniería en Materiales
celebrado en la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Ver del 21 al 23 de marzo de 2018.

ELIZABETH REYES CHÁVEZ
RECTORA



CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA
E INGENIERÍA EN MATERIALES

SEP | Centro de Trabajo: 30EUT00020
Clave de la Institución: 30MSU90272 | STPS UTC041109TU4 0013



El Comité del Congreso Nacional SPM 2018

Otorga el Reconocimiento a la Presentación

Obtención y caracterización de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz/resina fenólica

Presentada por

Irving Giovanni Díaz Iturbe, Alberto Álvarez Castillo, Edgar García Hernández, Cinthya Dinorah Arrieta González y Manuel Jesús Granados Baeza

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Bonilla Cruz", written over a white background.

Dr. José Bonilla Cruz
Presidente de la SPM

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Judith Percino", written over a white background.

Dra. Judith Percino Zacarías
Co-organizador - BUAP

14-18 de Octubre de 2018, Puebla, Puebla.

XXXI

CONGRESO NACIONAL DE LA SOCIEDAD POLIMERICA DE MEXICO, A.C.



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN ZACATEPEC

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

**A. Álvarez-Castillo, E. García-Hernández, C. D. Arrieta-
González, M. J. Granados-Baeza, I. G. Díaz-Iturbe.**

POR SU PARTICIPACIÓN CON LA PONENCIA:

**“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES
COMPUESTOS A PARTIR DE CASCARILLA DE
ARROZ/RESINA FENÓLICA”**

EN EL CONGRESO INTERNACIONAL EN TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN Y DOCENCIA
(CITID 2019)

CELEBRADO DEL 01 AL 05 DE ABRIL DEL 2019

ZACATEPEC, MOR., A 01 DE ABRIL DE 2019.

ROBERTO ORTIZ DELGADILLO
DIRECTOR



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE ZACATEPEC
DIRECCIÓN



El Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001:2015
está certificado por el Organismo de Certificación de
Calidad de México (OCM) y está en
fuerza desde el 01 de octubre de 2015.

AMIDIQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ)

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a:

Irving Giovanni Diaz Iturbe, Alberto Álvarez Castillo, Cinthya Dinorah Arrieta-González,
Manuel Jesús Granados Baeza, Rene Salgado Delgado, Alfredo Olarte Paredes

Por la presentación del trabajo:

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A PARTIR DE
CASCARILLA DE ARROZ/RESINA FENÓLICA**

ID: 17


Dr. Miguel Ángel Morales Cabrera
PRESIDENTE DEL AMIDIQ Y DEL COMITÉ ORGANIZADOR


Dr. Tomás Iiveros Garcia
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO



Huatulco, Oaxaca, México 7 al 10 de Mayo de 2019



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN ZACATEPEC

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

IRVING GIOVANNI DÍAZ ITURBE

POR SU DESTACADA PARTICIPACIÓN CON EL PROYECTO "AGLOMERADOS RESIN
RICEHUSK" EN LA CATEGORÍA PRODUCTO/SERVICIO DEL

EVENTO NACIONAL ESTUDIANTIL DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA 2019 ETAPA LOCAL

ZACATEPEC, MOR., A 28 DE MAYO DE 2019

LORENZO O. HERNÁNDEZ
DIRECTOR



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE ZACATEPEC
DIRECCIÓN



La Norma Mexicana NMX-R-025-SCFI,
"Igualdad Laboral y No Discriminación" II
número de registro: NFI-E-072 y fecha de inicio:
2017-04-10 y término de la certificación 2021-
04-10.

REFERENCIAS

- Anbu Clemensis Johnson, Y. Bhg. Dato' Engr, N. bin Y. (2009). Particleboards from Rice Husk: A brief introduction to Renewable materials of construction. *Chemical Engineering Technology*, (June), 12–15. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.09.021>
- Antonio Marcilla Gomis, M. B. R. (2012). *Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades* (1st ed.; P. D. L. U. De Alicante, Ed.). España.
- Carolina Giovanna Cadena, J. A. B. S. (2002). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Ingeniería y Desarrollo*, (12), 1–9. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2511100&info=resumen&idioma=ENG>
- Castillo, A. Á., Hernández, E. G., Domínguez, M. M. D., Granandos, J. M., Cruz, A. A., García, R. C., ... Martínez, A. M. M. (2012). APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE LOS MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 13(4), 140–150.
- Chandramohan, D., & Presin Kumar, A. J. (2017). Experimental data on the properties of natural fiber particle reinforced polymer composite material. *Data in Brief*, 13, 460–468. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.06.020>
- Covarrubias Velázquez, H. E., Galindo, A. S., & Facio, A. O. C. (2016). Resinas Termoestables De Fenol-Formaldehído. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 17(6), 266–276. Retrieved from <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/NOV16/covarrubias.pdf>
- Cristian Moya Villablanca, H. P. (2012). PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE COMPUESTOS DE POLIETILENO. *Maderas.Ciencia y tecnología*, 13-30.
- Cruz, Y. C. de la. (2011). *Espectrometría de Absorción en el Infrarrojo*. Retrieved from <https://es.slideshare.net/sakurakyomi666/electroscopia-ir>

Desirello, C., Cerini, S., Charadía, R., Scalfi, R., Liberman, C., & Stefani, P. M. (2004). Efecto de las condiciones de procesado sobre las propiedades mecánicas de aglomerados de cáscara de arroz. *Congreso Nacional de Metalurgia y Materiales de Chile y Las Jornadas Argentinas de Materiales* .

Federación, D. oficial de la. (2012). DECLARACION General de Protección de la Denominación de Origen “Arroz del Estado de Morelos.” *DIARIO OFICIAL*, p. 32.

Haghighat, M., Zadhoush, A., & Nouri Khorasani, S. (2005). Physicomechanical properties of α -cellulose-filled styrene-butadiene rubber composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(6), 2203–2211. <https://doi.org/10.1002/app.21691>

Hermida, É. (2011). *Polimeros* (09 ed.). Retrieved from http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf

Herrera, G. M. D., & Suarez, A. H. A. & D. G. (2013). Caracterización estructural de la cascarilla de arroz modificada como adsorbente alternativo y eficiente para la remoción de Cr (VI) en solución. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(1), 21–29.

Ing. Orlando Castro Ocampo, Dr. Alberto Álvarez Castillo, D. P. H. F. (2018). “*EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN Y EL GRADO PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE POLIPROPILENO [PP]*.”

INTERNATIONAL, A. (2003). *D 635 Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position*. 1–7.

J. O Osarenmwinda, J. N. (2007). Effect of particle size on some properties of Rice Husk Particleboard . *Advanced Materials Research Vols. 18-19*, 43-48.

Jang, J., Bae, J., & Kang, D. (2001). *Role of silane coupling agents for performance improvement of poly (vinyl acetate)/ tetraethyl orthosilicate hybrid composites prepared by a sol – gel process*. 1251(April), 1247–1251. <https://doi.org/10.1002/pi.734>

Joel Telles de Souza, Waldir Marques de Menezes, Clovis Roberto Haselein, Talita Baldin, Rafael da Rosa Azambuja, W. W. C. M. (2017). EVALUATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF RICE HUSK PANELS GLUED WITH TANNIN-FORMALDEHYDE. *Ciência Florestal, Santa Maria*, 27(3), 1003–1015. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5566>

Lee, J., Broughton, R. M., Worley, S. D., & Huang, T. S. (2008). Antimicrobial polymeric materials; cellulose and m-aramid composite fibers. *AATCC Review*, 8(5), 43–48. <https://doi.org/10.1177/155892500700200404>

López, C. M. (2015). *RESIDUOS AGROINDUSTRIALES E INDUSTRIALES PARA LA CONFORMACIÓN DE COMPUESTOS EMPLEADOS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.*

López C, F. (2004). Fundamentos de polímeros. In R. C. Bernardo Fontal (Ed.), *Fundamentos de Polímeros* (2004th ed., Vol. 1). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2573.0000>

Maderas Conglomeradas, S. d. (s.f.). MACOSA. Recuperado el 06 de 11 de 2019, de <http://www.macosa.com.mx/index.php?seccion=macopan>

Maderas Conglomeradas, S. d. (s.f.). MACOSA. Recuperado el 20 de 08 de 2019, de <http://www.macosa.com.mx/index.php?seccion=macocell>

Mecánica de materiales. (2018). Retrieved November 4, 2019, from DEFORMACIÓN SIMPLE website: <http://mecanicamateriles.blogspot.com/p/seformacion.html>

Meira, G. (2014). B.09) *Polimerizaciones por pasos con formación de red infinita. ejemplos y diagramas ttt.* 1–13.

Moreno M., L. E., Trujillo, E. E., & Osorio, L. R. (2007). Estudio de las características físicas de haces de fibra de Guadua Angustifolia. *Scientia Et Technica*, 613-618.

Nadir Ayrilmis, J. H. (2012). Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. *ELSEVIER*, 79-83.

Nakbanpote, W., Goodman, B. A., & Thiravetyan, P. (2007). Copper adsorption on rice husk derived materials studied by EPR and FTIR. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 304(1–3), 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.04.013>

Obtención y caracterización de materiales compuestos de fibras de la “piña” de henequén y polipropileno. (2006). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(1), 39–44.

Osarenmwinda, J. O., & Nwachukwu, J. C. (2007). Effect of Particle Size on Some Properties of Rice Husk Particleboard. *Advanced Materials Research*, 18–19, 43–48. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.18-19.43>

P., J. S. G. (2009). DISEÑO DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA NATURAL PARA SUSTITUIR LA UTILIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO (UNIVERSIDAD EAFIT DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO; Vol. 2). Retrieved.

Parida, S., Panda, M., Parija, A., & Das, S. C. (2014). Thermal Studies Of Different Agrowaste Reinforced Novolac Composites Prepared Under Isothermal Conditions. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 5(2), 1580–1592.

Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). LA DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO INTEGRAL. *Orinoquia*, 14(1), 155–170. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>

Sánchez, D. (2018). Quora. Retrieved August 4, 2019, from ¿Cuál es la diferencia entre el momento de flexión y la torsión? website: <https://es.quora.com/Cuál-es-la-diferencia-entre-el-momento-de-flexión-y-la-torsión>

Stupenengo, F. (2011). *Materiales y materias primas*.

Torkaman, J. (2010). Improvement of Bondability in Rice Husk Particleboard Made With Sodium Silicate. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*.

Ummah, H., A.Suriamihardja, D., Selintung, M., & Wahab, A. W. (2015). Analysis of chemical composition of rice husk used as absorber plates sea water into clean water. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(14), 6046–6050. <https://doi.org/1819-6608>