

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado. Maestrías en Madera, Celulosa y Papel

Maestrando
Jorge Alberto Celano

Paneles termo-acústicos a base de residuos de madera

Tesis de Maestría presentada para obtener el título de “Magíster en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel”
OTM

Director
Msc. Ing. Ftal. Obdulio Pereyra

Co-Director
Msc. Arq. Guillermo J. Jacobo

Posadas, 2010



Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Universidad Nacional de Misiones

**PANELES TERMO-ACUSTICOS
A BASE DE RESIDUOS DE MADERA**

JORGE ALBERTO CELANO

**Tesis presentada a la Universidad
Nacional de Misiones como exigencia
parcial de la Maestría en Ciencias de
la Madera, Celulosa y Papel
(Orientación Tecnología de la Madera)**

Director: Msc. Ing. Ftal. Obdulio PEREYRA

Co-Director: Msc. Arq. Guillermo J. JACOBO

Marzo 2010

***Dedicado a mí esposa Andrea
y mis hijas Belem y Antonella.***

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeros del cursado de la maestría y al personal de la FCF por su calidad de personas quienes supieron aportar confianza y motivación a lo largo del trabajo, entre ellos quisiera destacar:

Al Ing. Ftal. Obdulio Pereyra que bajo su dirección deposito su confianza en mí para la utilización de las instalaciones del laboratorio durante largas jornadas después de hora;

Al Arq. Guillermo Jacobo que me orientó y motivó para la ejecución de los trabajos de investigación desde mi etapa de estudiante de grado hasta la actualidad.

Al Ing. Constantino Zaderenko por la orientación tanto académica como administrativa a lo largo del desarrollo de la maestría;

Al Lic. Adolfo Acosta quien colaboró con la ejecución de las muestras y probetas;

Al Ing. Qco. Daniel Rizzolo quien me orientó sobre el uso de los adhesivos;

Al Ing. Jugensmeyer (Revisión técnica vehicular Eldorado) quien facilitó y asesoró sobre el uso del instrumento de medición acústica, decibelímetro.

A la Prof. Cristina Mayol quien me orientó en la interpretación de textos en ingles y en la concreción del summary.

A las siguientes empresas que colaboraron con el aporte de insumos para los ensayos:

“Don Guillermo” 9 de julio, Misiones; “Intercon SA”, Garupa, Misiones, “El Pino” Candelaria, Misiones.

RESUMEN

El trabajo tuvo por objetivo, el desarrollo de componentes constructivos alternativos a base de aserrín y virutas; para ser utilizados como aislantes termo-acústicos en la construcción habitacional regional, en reemplazo de los materiales aislantes tradicionales (fibra mineral, lana de vidrio, poliestireno, poliuretano), generadores de gran impacto ambiental en su ciclo de vida, y de producción foránea a la región del Nordeste Argentino. Para la realización de estos componentes se tomaron como materia prima los residuos de la industria de la transformación mecánica de la madera de pino resinoso en la provincia de Misiones, especie que representa cerca del 95% de la extracción de rollos de bosques implantados. En la industria del aserrío y remanufactura, el actual aprovechamiento del tronco en productos de alta calidad representa el 30 %, generando mas del doble en subproductos; el 40 % son re-aprovechados como chip para la fabricación papel y biomasa para generación de energía, dejando un saldo del 30 % en desperdicios sin destino final productivo. Esta materia prima se caracterizó según: la granulometría, composición morfológica, densidad, contenido de humedad y valor del pH. Para los ensayos experimentales se prepararon probetas compuestas con el material fibroso “aserrín, viruta” en tres concentraciones diferentes 100%-0%, 50%-50% y 0%-100%; combinados con tres adhesivos, cemento pórtland, adhesivo vinílico monocomponente y resina urea-formaldehído; se mezclaron en concentraciones alta y baja, y se realizaron 5 repeticiones por cada combinación con un total de 90 probetas. Se analizó el comportamiento como material aislante según las propiedades térmicas con el método de caja caliente (norma IRAM 11559): se colocó el panel en la boca de la caja con la cara interior del panel ensayado a 105 °C, se midió la temperatura de la cara exterior determinándose el diferencial térmico Δt , y se calculó el coeficiente de conductividad térmica λ ; para las propiedades acústicas se aplicó el método de caja acústica (norma IRAM 4065) se colocó el panel en la boca de la caja con la cara interior sometida a 83 dB y se midió la intensidad sonora en la cara exterior determinándose el índice de reducción sonora R_w . También se analizaron las propiedades mecánicas y tecnológicas respecto a: deformación, abrasión, aserrado, comportamiento al

fuego y al agua, los que otorgan parámetros de trabajabilidad y uso. Los ensayos se realizaron sobre los paneles experimentales y materiales aislantes tradicionales, a fin de comparar los resultados en base a un mismo método. Los resultados presentan valores de aislación térmica en el panel 100%-0%.UF(A) de $\Delta t = 81 \text{ }^\circ\text{C}$ aislando 75,1 % y $\lambda = 0,030$, respecto a los tradicionales: lana vidrio con 67,2 % y $\lambda = 0,042$ y la fibra mineral con 62 % y $\lambda = 0,048$ y la madera de pino de 12,5 mm con 59,5 % y $\lambda = 0,16$, la espuma poliuretano con 81,3 % y $\lambda = 0,021$. Respecto a la aislación acústica el panel 0%-100% D3-(A) presentó $\Delta R_w = 51 \text{ dB}$ (83 - 32 dB) aislando 61,4 % y valores $R_w = 12,3 \text{ dB}$; la lana vidrio con 9,81% y $R_w = 8,20 \text{ dB}$; la fibra mineral con 24,1% y $R_w = 20,0 \text{ dB}$; la madera de pino de 12,5mm con 26,8 % y $R_w = 22,3 \text{ dB}$ y la espuma poliuretano con 11,8 % y $R_w = 9,8 \text{ dB}$. Del análisis comparativo se concluye que los paneles a base de residuos de madera y adhesivos son aptos para su uso como materiales aislantes termo-acústicos en la construcción habitacional regional, otorgando mayor valor agregado y un uso más ecológicamente aceptable.

SUMMARY

The objective of this work was the development of alternative construction components, based on sawdust and shavings, to be used as thermo-acoustic insulants in the regional housing construction, replacing the traditional insulating materials (mineral fiber, glasswool, polystyrene, polyurethane), which generate great environmental impact during their life cycle, and also are produced outside the Argentine Northeastern Region. For the making of these components, industry residue from the mechanical transformation of the resinous pine wood from Misiones is used as raw material; this species represents nearly 95 % of the log extraction of the implanted woods. In the sawmill industry and remanufacture, the present yield of high quality products represents a 30 %, of the log doubling this figure is the generation of by-products; a 40 % are destined as chip for paper manufacture, and biomass as hogg fuel for the energy generation, leaving a 30% of waste for uncertain final use. This raw material was characterized according to its granulometry, morphological composition, density, humidity content and pH value. For the experimental tests, compound samples with fibrous material "sawdust, shavings" in three different concentrations 100%-0%, 50%-50% and 0%-100%, combined with three adhesives types: portland cement, monocomponent vinyl adhesive and urea-formaldehyde resin were prepared; they were mixed in high and low concentrations and five repetitions were made for each combination with a total of 90 samples. The behavior as insulating material according to the thermal properties with the hot box method (IRAM 11559): was measured the panel was placed at the opening of the box with the inner face at 105 °C, the temperature of the outer face was measured, the thermal difference Δt was determined and λ , thermal conductivity coefficient, was calculated. For the acoustic properties, the acoustic box method was applied (IRAM 4065), the panel was placed in the opening of the box with the inner face at 83 dB, sound intensity in the outer face was measured, and the R_w sound reduction index, was determined. The mechanical and technological properties were also analyzed in relation to distortion, abrasion, sawing, behavior also as fire and water, behavior all of which a workability and use parameters. Were tested experimental panels

and traditional insulating materials, with the aim of comparing results using the same method. The results showed thermal insulation values in the panel 100%-0% UF (A) with $\Delta t = 81 \text{ }^\circ\text{C}$ insulating 75,1 % and $\lambda = 0,030$, with respect to traditional materials: fiber glass with 67,2 % and $\lambda = 0,042$ and mineral fiber with 62 % and $\lambda = 0,048$, and 12,5 mm thick pine wood with 59,5 % and $\lambda = 0,16$, polyurethane foam with 81,3 % and $\lambda = 0,021$. In respect to acoustic insulation, the panel 0%-100% D3 (A) presented $\Delta R_w = 51 \text{ dB}$ (83 - 32 dB) insulating 61,4 % and values $R_w = 12,3 \text{ dB}$; glasswool with 9,81 % and $R_w = 8,20 \text{ dB}$; mineral fiber with 24,1 % and $R_w = 20,0 \text{ dB}$; pine wood with 26,8 % and $R_w = 22,3 \text{ dB}$ and polyurethane foam with 11,8 % and $R_w = 9,8 \text{ dB}$. From comparative analysis, it can be concluded that wood residue-based panels adhesives are suitable for use as thermo-acoustic insulating materials in the regional housing construction, giving more added value and a more ecological favorable use.

TABLA DE CONTENIDOS

Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Summary	vi
Tabla de contenidos.....	viii
Lista de tablas.....	xiii
Lista de fotos.....	xv
Lista de gráficos.....	xvii
Lista de abreviaturas y siglas.....	xx
Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	5
1.2 Objetivo específicos.....	5
1.3 Hipótesis.....	5
Capítulo 2.- REVISIÓN DE ANTECEDENTES	6
2.1 Resíduos del procesamiento de la madera como MPF	6
2.1.1 Cuantificación de la generación de residuos de madera	6
2.1.2 Distribución geográfica.	7
2.1.3 Valor de los residuos de madera.....	8
2.2 Propiedades térmicas de los materiales	10
2.2.1 Aislamiento térmico y Confort ambiental	10
2.2.2 Propiedades termo físicas de los materiales	11
2.2.3 Conductividad térmica en materiales porosos	17
2.2.4 Materiales de alto vacío y reflectores para el aislamiento	21
2.2.5 Limite entre materiales aislantes y no aislantes	22
2.2.6 Propiedades térmicas de la madera	23
2.3 Propiedades acústicas de los materiales.....	30

2.3.1	Principios de la acústica:	31
2.3.2	Aislación acústica (introducción):	35
2.3.3	Criterios de diseño.....	37
2.4	Materiales aislantes termo-acústicos tradicionales.....	39
2.4.1	Poliuretano expandido (PUR): (termoestable)	40
2.4.2	Poliestireno expandido (EPS): (termoplásticos)	41
2.4.3	Polietileno expandido:.....	42
2.4.4	Lana de vidrio:	42
2.4.5	Lana mineral:.....	43
2.4.6	Corcho en planchas:.....	43
2.5	Materiales aislantes termo-acústicos alternativos	44
2.5.1	La madera reconstituida como material aislante.	45
2.5.2	Procesos de producción:	46
2.5.3	Placas de fibra y adhesivo sintético.....	46
2.5.4	Las placas flexibles y rígidas de fibra de madera sin adhesivo	51
2.5.5	Morteros de aserrín-adhesivo	53
2.5.6	Bloques y Placas de partículas o fibra con adhesivo mineral.....	54
2.5.7	Tableros rígidos aislantes de Virutas de madera.....	64
2.5.8	Los bloques para construcción	67
2.5.9	Tableros rígidos aislantes de fibras de caña o madera afieltradas	68
2.5.10	Material de relleno de partículas con adhesivo mineral.....	68
	Capítulo 3.- MATERIALES Y MÉTODOS	73
3.1	Recolección y caracterización de la materia prima.....	73
3.1.1	Recolección de MPF.....	73
3.1.2	Contenido de humedad	74
3.1.3	Valor de pH.....	75

3.1.4	Composición granulométrica	75
3.1.5	Composición morfológica	75
3.1.6	Densidad aparente y asentamiento	76
3.2	Diseño experimental	76
3.2	Elaboración de probetas.....	77
3.3	Ensayos Físicos, mecánicos y tecnológicos.....	77
3.3.1	Densidad	78
3.3.2	Macro-porosidad.....	78
3.3.3	Contenido de humedad	78
3.3.4	Comportamiento Térmico	79
3.3.5	Aislacion térmica	79
3.3.6	Inercia térmica	80
3.3.7	Comportamiento Acústico.....	80
3.3.8	Comportamiento al Fuego	81
3.3.9	Comportamiento al Agua	82
3.3.10	Comportamiento a la Retracción	83
3.3.11	Comportamiento al Manipulación	84
3.3.12	Comportamiento al Aserrado.....	84
3.4	Instrumentos y materiales de laboratorio.....	85
	Capítulo 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	86
4.1	Caracterización de la materia prima (MPF)	86
4.1.1	Caracterización de la materia prima (MPF)	86
4.1.2	Densidad y asentamiento	87
4.1.3	Potencial hidrogeno pH de MPF	89
4.2	Comportamiento técnico de los paneles.....	89
4.2.1	Aspecto visual	89

4.2.2	La densidad	90
4.2.3	Contenido de humedad	91
4.2.4	Potencial hidrógeno pH de paneles	93
4.2.5	Comportamiento Térmico	94
4.2.6	Comportamiento Acústico.....	100
4.2.7	Comportamiento al Fuego	102
4.2.8	Comportamiento al Agua	104
4.2.9	Comportamiento a la Retracción por fragüe.....	104
4.2.10	Contracción por diferencial térmico	105
4.2.11	Comportamiento al Manipulación:	105
4.2.12	Comportamiento al Aserrado.....	106
4.3	Costo de producción de los paneles.....	107
4.3.1	Costo de residuos de madera (MPF).....	107
4.3.2	Costo de materiales para paneles aislantes.....	107
	Capítulo 5.- CONCLUSIONES.....	109
	Capítulo 6.- PLANTEO FUTURA INVESTIGACION	113
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	114
	Bibliografía adicional consultada	117
	Anexo a: Diseño experimental	120
	Anexo b: (probetas) Elaboración s/diseño.....	121
	Anexo c: (probetas) Costos de elaboración.....	122
	Anexo d: (MPF) Rendimiento de la madera.....	123
	Anexo e: (MPF) Espacio vacío para aislación	124
	Anexo f: (MPF) Aprovechamiento de la madera	125
	Anexo g: (MPF) Morfología y granulometría	126
	Anexo h: (MPF) Asentamiento volumétrico.....	127

Anexo i: (probetas) Contenido de humedad	128
Anexo j: (probetas) Aislación térmica	129
Anexo k: (probetas) Deformación térmica.....	130
Anexo l: (probetas) Determinación analítica de coeficiente de conductividad térmica	131
Anexo m: (probetas) Clasificación según Aislación térmica (ΔT°) Conductividad (λ).....	137
Anexo n:(probetas) Clasificación y orden por Resistencia (K).....	138
Anexo o:(Materiales aislantes alternativos) Propiedades termicas	139
Anexo p: IRAM 11601 Materiales aislantes	143
Anexo q: Costos de producción de 1 m ³ de panel	144

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Aprovechamiento de los residuos de la mecanización de la madera. (CELANO 2009 en base a (7) (MASLATON, INTI 2007)	6
Tabla 2 Precios productos y subproductos forestales, 2009. (CELANO 2009)	9
Tabla 3 Transferencia de calor por convección, Resistencia en pared con cámara de aire.....	14
Tabla 4 Absorbancia y emitancia de materiales de construcción.(IRAM 11605, 1997).....	16
Tabla 5 Aire y agua, conductividad térmica en función de la densidad y temperatura. (37) (HUTTE 1985).....	19
Tabla 6 Porosidad de algunos materiales.....	20
Tabla 7 Valores medios de calor específico de materiales. (11) (CORONEL 1994).....	23
Tabla 8 Conductividad térmica maderas s/orientación de fibra. (IRAM 11601, 1996).....	28
Tabla 9 Coeficiente de absorción sonora de materiales. (IRAM 4065)	36
Tabla 10 Aislacion acústica en función del peso del tabique. (11) (CORONEL).....	37
Tabla 11 Requerimientos de materiales aislantes termo-acústicos.(32) (ALIAS 1997)	39
Tabla 12 Materiales según su composición, conformación y su estructura. (elaborado por el autor)	39
Tabla 13 Tiempo de secado de las placas de fibras aislantes. (25) (IWAKIRI 2004).....	51
Tabla 14 Morfología de partículas de madera según tipos de placas. (Tabla elaborada por autor en base a (25) (IWAKIRI 2004).....	56

Tabla 15 Tratamientos de partículas en base al tiempo y temperatura de hidratación del cemento, en mezcla con madera de “pinus” y “larch”. (28) (MOSLESMI 1977).....	58
Tabla 16 Balance ecológico de materiales casa “Rosenheim”, (33) (SHWARZ 2004).....	69
Tabla 17 Valores de virutas aislantes de relleno. (33) (SHWARZ-RITIM 2004)	70
Tabla 18 Recolección de materia prima según industrias y ubicación. (42) (CELANO 2004).....	73
Tabla 19 Dosificación de probetas y relación con costo-adhesivo. (CELANO 2005).....	77
Tabla 20 Caracterización de residuos de madera, morfológica (CELANO 2005).....	87
Tabla 21 Medición de pH en probetas.	94
Tabla 22 Metodología de cálculo analítica para determinar valores de conductividad térmica en base a datos teóricos.	100
Tabla 23 Conductividad térmica y Aislacion térmica ordenados por capacidad aislante en Δt	100

LISTA DE FOTOS

Foto 1 Viviendas de madera construidas en la actualidad con aislación de lana de vidrio y/o espuma poliuretano. (35) (CELANO 2004)	2
Foto 2 Generación de residuos de madera. (35) (CELANO 2004)	3
Foto 3 Placas flexibles aislantes. (26) (GUTEX 2008)	52
Foto 4 Morteros y revoques de aserrín-virutas. (4) (JACOBO 2003)	54
Foto 5 Placas aislantes rígidas madera-carbonato de magnesio, HERAKLTH-M. (30) HOLZBAU 2004	62
Foto 6 Tableros de aserrín-cemento prensado. (31) (ETERNIT 2005)	65
Foto 7 Bloques de construcción madera cemento OKO-DOMO. (30) HOLZBAU 2004	68
Foto 8 Relleno partículas madera- aditivos orgánicos. (33) (SHWARZ-RITIM 2004)	68
Foto 9 Componentes de relleno aislante, Rosenheim	70
Foto 10 Resíduos según industrias (Don Guillermo y Toll). (42) (CELANO 2004)	73
Foto 11 Residuos generados según maquinaria utilizada. (42) (CELANO 2004)	74
Foto 12 Proceso de determinación de humedad en paneles. (CELANO 2007)	74
Foto 13 Proceso de determinación de pH en MPF y paneles. (CELANO 2007)	75
Foto 14 Granulometría por tamices y morfología tabla milimetrada. (CELANO 2005)	75
Foto 15 Proceso de determinación de asentamiento y densidad. (CELANO 2005)	76
Foto 16 Proceso y materiales para elaboración de probetas. (CELANO 2005)	77

Foto 17 Determinación de densidad de probetas. (CELANO 2006)	78
Foto 18 Método de determinación de aislación térmica “R” y “λ”. (CELANO 2006).....	79
Foto 19 Método e instrumentos, determinación aislacion acústica. (CELANO 2006).....	81
Foto 20 Método e instrumentos, determinación de resistencia al fuego. (CELANO 2006).....	82
Foto 21 Método e instrumentos, determinacion del comportamiento al agua. (CELANO 2007).....	82
Foto 22 Método e instrumentos, determinacion del comportamiento al agua. (CELANO 2006).....	83
Foto 23 Método para determinar el comportamiento al manipuleo. (CELANO 2005).....	84
Foto 24 Método para determinar el comportamiento al aserrado. (CELANO 2005).....	84
Foto 25 Variedad de texturas y colores en paneles experimentales.....	90
Foto 26 Hidrofobicidad de material de probetas, ensayo de pH	93

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1: Estructura de aprovechamiento de la madera (7) (MASLATON, 2007).....	4
Grafico 2: Volumen en m ³ y % madera según destino en vivienda MD/05. (8) (CELANO 2009).....	4
Grafico 3: Industria maderera distribución y conectividad. (CELANO 2009)..	7
Grafico 4: Destino de residuos por cantidad de industrias. (42) (GAUTO 2004).....	8
Grafico 5: Gradiente térmico en pared compuesta. (35) (CELANO 2004) ...	10
Grafico 6: Transferencia de calor por Conducción. (9) (EVANS 1996)	12
Grafico 7: Transferencia de calor por Convección. (9) (EVANS 1996)	13
Grafico 8: Transferencia de calor por Radiación. (Grafico elaborado por autor en base a (9) (EVANS 1996)	16
Grafico 9: Conductividad térmica λ según la porosidad del material C. (Gráfico elaborado en base a (10) (DIAMANT 1985).....	18
Grafico 10: Transferencia calor por Micro-convección y Micro-radiación. (Gráfico elaborado en base a (10) (DIAMANT 1985).....	21
Grafico 11: Variación de conductividad térmica de un material fibroso de alto vacío en relación a la densidad. (Gráfico elaborado por autor en base a (38) (Puppo 1976)	22
Grafico 12: Limite entre materiales aislantes y conductores de calor. (Gráfico elaborado por autor en base a (38) (Hutte 1985).....	23
Grafico 13: Valores de calor especifico medio "Cu" de una madera para distintos contenidos de humedad "u". (elaborado por autor según datos de (11) CORONEL).....	25
Gráfico 14: Conducción de calor en madera según la Ley de Fourier. (Gráfico elaborado por autor según (39) MAC DONNEL 1996).....	26
Grafico 15: Conductividad térmica maderas según orientación de fibras y densidad. (Gráfico elaborado por autor según datos de (11) CORONEL)...	28

Grafico 16: El sonido y sus magnitudes físicas. (Gráfico elaborado por autor en base a IRAM 4064).....	31
Grafico 17: Efectos del sonido al impactar un panel. (Gráfico elaborado por autor en base a IRAM 4064).....	33
Grafico 18: Variación aislación acústica del panel según la frecuencia. (Gráfico elaborado por autor según (40) CICER 2005).....	34
Grafico 19: Aislación acústica en función del peso del tabique. (Grafico elaborado por autor en base a (11) (CORONEL).....	37
Grafico 20: Tabla periódica de materiales a base de madera. (25) (IWAKIRI 2004).....	46
Grafico 21: Esquemas de producción de placas aislantes. (25) (IWAKIRI 2004).....	49
Grafico 22: Difusividad térmica de placas aislantes flexibles. (26) (GUTEX 2008).....	53
Grafico 23: Morfología de partículas de madera según tipos de placas. (Gráfico elaborado por autor en base a datos de (25) (IWAKIRI 2004)	57
Grafico 24: Curva de hidratación sistema Madera-Cemento. (28) (MOSLEMI 1977).....	58
Grafico 25: Flujograma de producción de palcas “FLAKE” proceso “VISON”. (25) (IWAKIRI 2004)	64
Grafico 26: Panel con relleno aislante, comportamiento a la humedad. (33) (SHWARZ-RITIM 2004)	71
Grafico 27: Composición granulométrica según tipo de máquina. (CELANO 2005).....	87
Grafico 28: Densidad y asentamiento en MPF.....	88
Grafico 29: Incremento de densidad por asentamiento de MPF.....	89
Grafico 30: Densidad de probetas: medias y desvíos.....	91
Grafico 31: Contenido de humedad (%) en probetas (base húmeda).....	92
Grafico 32: Probetas relación densidad (gr/cm^3) – humedad (%).....	92

Grafico 33: Aislación térmica entre probetas.	95
Grafico 34: Aislación térmica final: panel vs. materiales tradicionales.	95
Grafico 35: Aislación térmica evolución: panel vs materiales tradicionales.	96
Grafico 36: Aislación térmica entre probetas, evolución de gradiente térmico.	96
Grafico 37: Temperaturas por efecto de condición de borde.	97
Grafico 38: Caída de temperatura, cara interna panel (64) 100-0% D3-ALTO	98
Grafico 39: Inercia térmica panel vs materiales tradicionales	98
Grafico 40: Relación densidad - humedad - aislación térmica	99
Grafico 41: Aislación acústica (%) en probetas.	101
Grafico 42: Aislación acústica (%) probeta vs materiales tradicionales.	101
Grafico 43: Gradiente térmico en probetas – cara superior.	102
Grafico 44: Temperatura de ignición y tiempo de ignición.	103
Grafico 45: Tiempo de retardo en generar humo.	103
Grafico 46: Retracción y contracción en probetas.	105
Grafico 47: Aserrado en probetas, ponderación de factores.....	106
Grafico 48: Estructura de costo de materiales para paneles (CELANO 2009).	108
Grafico 49 Costo de materiales para producir 1 m ³ de panel (CELANO 2009).	108

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

AMAYADAP: Asociación Maderera de Aserraderos y Afines del Alto Paraná

ANOVA: Análisis de varianza

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

Coef.: Coeficiente

Ed.: Edición

Ind.: Índice

MPF.: Materia prima fibrosa

NEA.: Región Nordeste Argentino

FCF: Facultad de Ciencias Forestales

PROCyP: Programa de Celulosa y Papel

UNaM: Universidad Nacional de Misiones

CEDITeC: Comité Ejecutivo de Innovación Tecnológica

IPRODHa: Instituto Provincial de Desarrollo Habitacional

SAGPYA: Secretaria Agricultura Ganadería y Pesca

VER: Valor energético de los residuos

Vol.: Volumen

ha.: Hectáreas

m².: metros cuadrados

cm.: centímetros

cm².: centímetros cuadrados

cm^3 .:	centímetros cúbicos
Aa:	Absorción de agua
dB :	Decibeles
Hz :	Hertz
W:	Potencia en Watt
λ :	Coefficiente de conductividad térmica
k:	Tramitancia térmica
y:	Difusividad térmica
δ :	Densidad aparente
ρ :	Peso específico
Δ :	Diferencial
Σ :	Sumatoria
t:	Temperatura °C
°C	Grados centígrados
°K	Grados kelvin
c_m	Calor específico medio
c_x	Calor específico madera húmeda
c_u	Calor específico madera húmeda sobre peso seco
c_0	Calor específico madera seca
u	Contenido de humedad de la madera
C_m	Velocidad media del sonido

J	Joule
X:	Media aritmética
S:	Desvío estándar
CV:	Coeficiente de variación
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
EPA	Envairomental Protection Agency
UV	Ultravioleta
MDF	Mediun Density Fiber
SDF	Soft Density Fiber
HDF	High Density Fiber
sd	Espesor de panel

CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN

La construcción tradicional en nuestro país y principalmente la vivienda de interés social desarrollada por el Estado, demostró poca utilización de los sistemas constructivos alternativos como los industrializados, la prefabricación, la utilización de materiales innovadores y el aprovechamiento integral de los recursos renovables, como es el caso de la madera, que ofrece una variedad de productos y materiales para la construcción.

Específicamente en la provincia de Misiones, la cual procesa el 64% de rollos de maderas implantadas del país (1) (SAGPYA 2007), el uso de la madera en la construcción habitacional oficial, referente a la ejecución de viviendas industrializadas de madera representa solo el 11,3 % del total de 4843 de viviendas de construcción tradicional húmeda de mampostería ejecutadas en el periodo 2004-2008, (2) (IPRODHa 2009). El mayor uso de la madera se restringe al uso en cielorrasos de machimbre, puertas placas interiores y en algunos casos estructuras del techo.

En la actualidad en nuestro país los productos utilizados como aislantes para la construcción habitacional, siguen siendo materiales tradicionales, por ejemplo los paneles aislantes, que utilizan elementos de origen mineral y sintéticos, como la “lana de vidrio”, “lana mineral” y las “espumas poliuretánicas”, paneles a base de “roca de yeso”; los cuales en su Análisis de Ciclo de Vida “ACV” tanto en sus procesos de producción, utilización y desecho, producen altos grados de contaminación al medio ambiente y un consumo considerable de energía de producción, con el consecuente alto costo ecológico (3) (CIATEA 2007). Además, estos materiales de “construcción tradicional” no son producidos en la región NEA, por lo que el mercado de la construcción regional los debe “importar”, con sus consecuentes costos económicos, ecológicos y sociales al no haber generación de puestos de trabajo productivos regionales genuinos.

En las viviendas de construcción tradicional el uso de la aislación térmica se realiza en el techo utilizando “lana de vidrio”, “film plástico alveolar”, y “espuma poliuretano”, que si bien estos últimos son muy efectivos, tienen un

alto precio de mercado, y generan un gran impacto ambiental al liberar al gas expandente a la atmósfera. Otros sistemas constructivos como los de viviendas industrializadas de madera o metal, profundiza este lineamiento, donde todos los paramentos exteriores y el techo de la vivienda se recubre con material aislante térmico. Esto denota el potencial de demanda de aislantes térmicos a ser suplido por materiales alternativos más ecológicos.



Foto 1 Viviendas de madera construidas en la actualidad con aislación de lana de vidrio y/o espuma poliuretano. (35) (CELANO 2004)

La madera como material de construcción posee ventajas comparativas frente a otros materiales tradicionales, dado que se elabora como producto industrial con un consumo aceptable de energía y de bajo impacto ambiental por la mínima emisión de CO₂. Al utilizar la madera se elabora productos aprovechando los recursos renovables, cumple el importante rol en cuanto a la adaptación al clima del sitio y el bajo impacto ambiental en el proceso de producción y construcción del hábitat. La madera específicamente favorece al ahorro del consumo energético por sus cualidades naturales como aislante térmico y mejora las condiciones de habitabilidad por sus cualidades acústicas (4) (JACOBO 2003); además ofrece la belleza propia de su textura, color y veteado en un uso adecuado.

Este recurso natural, puede estar disponible en la forma de **nuevos materiales** (5) (GWT-TUD 2002) y productos alternativos en el mercado comercial de la construcción, de manera accesible en cuanto a costos y tecnología; si se los implementa según una explotación racional, sustentable, con un uso conciente de sus potencialidades, y a través de su máximo aprovechamiento de productos y subproductos, como los residuos del

procesamiento de la madera implantada a ser aplicados en paneles de aislación termo-acústica.

No obstante la situación actual de toda la producción de la población forestal, 1/3 es biomasa considerada como residuos forestales, 1/3 es madera de diámetros bajos que se destina a la trituración y 1/3 corresponde a trozos que son destinados al procesamiento mecánico. De este último la 1/2 se recicla a la biomasa o a la madera de trituración, esto indica que para cada metro cúbico (1 m^3) de tabla o de laminas es necesario procesar 5 m^3 del volumen del árbol y con una gran generación de subproductos. (6) (VOLKART 1995). Esta situación, si bien es válida en la actualidad, fue modificándose el uso que se le da a estos residuos o subproductos.

En la región a lo largo de las rutas se observan las industrias de la madera con grandes pilas de aserrín que no tienen uso rentable siendo el destino la quema, el empleo como abono, o en el mejor de los casos se utiliza como biomasa para la generación de energía calórica. Estos desperdicios son la fuente de materia prima para el desarrollo de nuevos materiales alternativos aplicables a la construcción, como en el caso de este trabajo serán paneles de aislación termo-acústicos.



Foto 2 Generación de residuos de madera. (35) (CELANO 2004)

En Misiones donde la extracción anual de madera de pino implantada es de 4,8 millones de toneladas (1) (SAGPYA 2007) equivalentes a 5,9 millones de m^3 , genera un 15,5 % del volumen del tronco en subproducto como aserrín verde y viruta seca sin uso productivo actual (7) (INTI 2007); lo que deja en Misiones un saldo de 649.000 m^3 por año de materia prima para elaboración de paneles termo-acústicos (ver ANEXO D tabla porcentual).

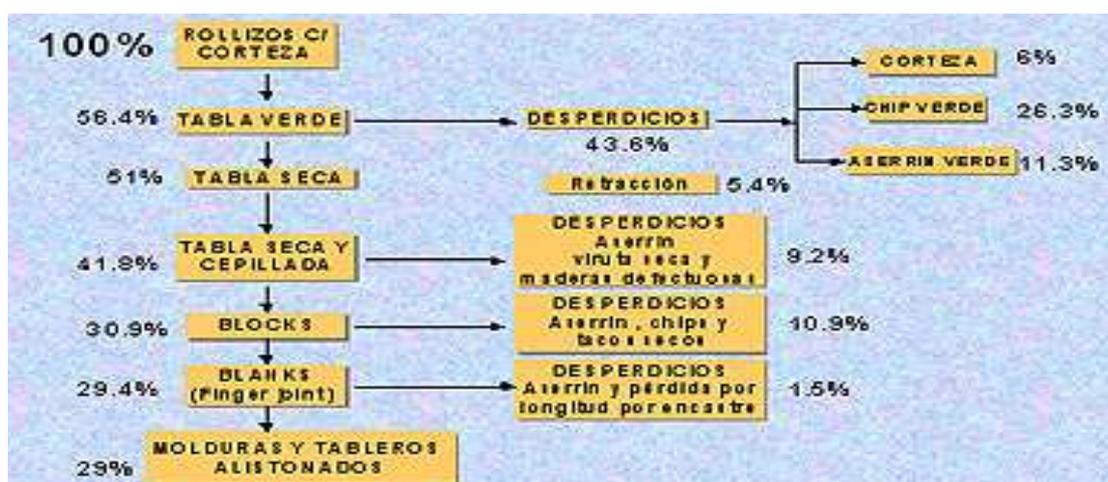


Grafico 1: Estructura de aprovechamiento de la madera (7) (MASLATON, 2007)

Realizando un ensayo preliminar y tomando como cierto que una vivienda social industrializada prototipo MD-05 de madera de 54 m^2 de superficie útil (5) (IPRODHa 2005), consume 6,70 m^3 de madera procesada, equivalente 16,02 m^3 de madera de rollo y a 15,89 m^3 de espacio (vacío) para aislación en paredes y techo (8) (CELANO 2009), este espacio es posible de ser utilizado por aislaciones a base de viruta-aserrín; lo que posibilita realizar un total de 40.800 viviendas más ecológicas. (Ver ANEXO F vivienda MD/05). Esto es un caso hipotético donde la producción total de desperdicios de la industria maderera de misiones se orienta a la construcción habitacional.

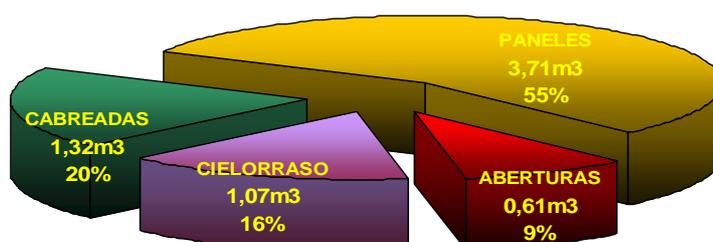


Grafico 2: Volumen en m^3 y % madera en vivienda MD/05. (8) (CELANO 2009)

En particular, los gobiernos podrían proporcionar su apoyo adquiriendo los productos alternativos, como sería el caso específico de los institutos de vivienda de las provincias, promoviendo la utilización de este material en sus planes habitacionales, de paneles a base de materiales orgánicos como las “virutas y aserrín”; favoreciendo la preservación del medio ambiente al reemplazar los materiales tradicionales sintéticos altamente tóxicos. Resulta interesante propiciar la utilización de la madera por ser un material autóctono, ecológico y abundante en la región.

1.1 Objetivo general

Fue el desarrollo de paneles aislantes a base de residuos de la industria de la transformación mecánica de la madera, para ser utilizados como componentes constructivos alternativos en la construcción regional.

1.2 Objetivo específicos

Caracterizar los residuos de la industria de la madera, como materia prima para la fabricación de paneles.

Determinar las propiedades físico-mecánicas de las probetas en sus diferentes combinaciones de materia prima fibrosa y adhesivos.

Analizar el comportamiento técnico de los paneles producidos en cuanto a su aislación térmica y acústica.

Determinar las aptitudes de uso de los paneles con mayor valor agregado según sus propiedades aislantes termo acústicas.

1.3 Hipótesis

El desarrollo de productos a base de material orgánico “aserrín-virutas”, combinados con distintos adhesivos, permitirán obtener componentes constructivos alternativos con rendimientos técnicos competitivos respecto a los materiales tradicionales de aislacion termo-acústica.

CAPITULO 2.- REVISIÓN DE ANTECEDENTES

2.1 Residuos del procesamiento de la madera como MPF

La utilización de los residuos del procesamiento industrial de la madera prevé tres puntos: el abastecimiento, (la cantidad de generación de residuos, porcentaje disponible); la distribución geográfica y el costo del mismo.

2.1.1 Cuantificación de la generación de residuos de madera

Analizando el aprovechamiento de estos residuos forestales, donde la extracción anual de madera de pino implantada en Misiones (1) (SAGPYA 2007) es de 4,8 millones de toneladas equivalentes a 5,9 millones de m³, se tiene un aprovechamiento de madera aserrada de alta calidad (blok-blanc) de 1,7mill. m³ es decir un 29 %, dejando un saldo de 71 % de subproductos; de los cuales un 42 % (corteza, madera defectuosa, chip) son para celulosa o quema en caldera, y un 23,9 % equivalente a 1,41mill. m³ de residuos de granulometría pequeñas no apto de uso industrial actual, de los cuales el 8,4 % (polvo, aserrín y virutas seca), se esta orientando al uso como briquetas y pellets; y los **15,5 %** restantes (aserrín verde y viruta seca) sin uso productivo actual (7) (INTI 2007); lo que deja en Misiones un saldo de 649.000 m³ por año de materia prima para elaboración de paneles termoacústicos.

Tabla 1 Aprovechamiento de los residuos de la mecanización de la madera. (CELANO 2009 en base a (7) (MASLATON, INTI 2007)

Rendimiento en M3 del Aserradero y Remanofacturas (PINO) 2006							
PRODUCTO - Materia prima			SUBPRODUCTO - Residuos				Densidad
Tipo	(m3)	(%)	(%)	Tipo	(%) total	(%) parcial	kg/m3
ROLLIZOS c/CORTEZA (densidad = 900kg/m3)	1,00	100,0%	0,0%				900
TABLA VERDE (densidad = 900kg/m3)	0,56	56,4%	43,6%	Corteza	6,0%		350
				Chip Verde	26,3%		270
				Aserrin Verde	11,3%		
TABLA SECA (densidad = 600kg/m3)	0,51	51,0%	5,4%	Retraccion	5,4%		---
TABLA SECA Y CEPILLADA (densidad = 600kg/m3)	0,42	41,8%	9,2%	Aserrin seco	3,2%	29,4%	170
				Viruta seca	4,2%	38,6%	55
				Madera defectuosa	1,8%	16,6%	600
BLOCKS (densidad = 600kg/m3)	0,31	30,9%	10,9%	Aserrin seco polvo	3,8%	41,4%	170
				Tacos secos	7,1%	77,4%	270
BLANKS (fin ger joint) (densidad = 600kg/m3)	0,29	29,4%	1,5%	Aserrin seco polvo	1,0%	66,7%	170
				Perdida long por finger	0,5%	33,3%	
MOLDURAS Y TABLEROS ALISTONADOS	0,29	29,0%	0,4%	Aserrin seco polvo	0,4%	0,4%	170
TOTAL aprovechameinto productos alta calidad	0,29	29,0%	71,0%	papely/o caldera sin uso	41,2%		
				viruta seca paneles	23,9%	55 kg/m3	
				aserrin verde paneles	4,2%	270 kg/m3	
				aserrin seco p briquetas	11,3%	170 kg/m3	
				total desperdicios	8,4%		
					71,0%		

2.1.2 Distribución geográfica.

La industria maderera en Misiones posee una estructura de 650 aserraderos, 3 plantas celulósicas, 1 planta de MDF, 15 fabricas de compensados, 16 de laminadoras, 8 faqueadoras y aproximadamente 1000 carpinterías. Se distribuyen geográficamente según dos factores claves: la disponibilidad de materia prima del bosque, la conectividad a través de las rutas. Estos factores determinaron la estructura industrial maderera, sobre las rutas nacionales N° 12 se establecieron las industrias de bosques implantados (pino) y de mayor capacidad en el área de aserrado (5000 a 25000 m³/mes) en la zona del alto Paraná, el conjunto agrupa casi al 70% de los aserraderos; sobre la ruta N° 14 se desarrolla las industrias de bosques nativos de mediana a pequeña capacidad (100 a 2500 m³/mes) que agrupa al restante 30 %. Las carpinterías presentan la misma estructura pero trabajan con madera seca y en menor escala. Las plantas celulósicas y de MDF por la demanda de agua están ubicadas sobre el río Paraná y las laminadoras dependiendo de del tipo de madera se distribuyen en el centro y este de Misiones.

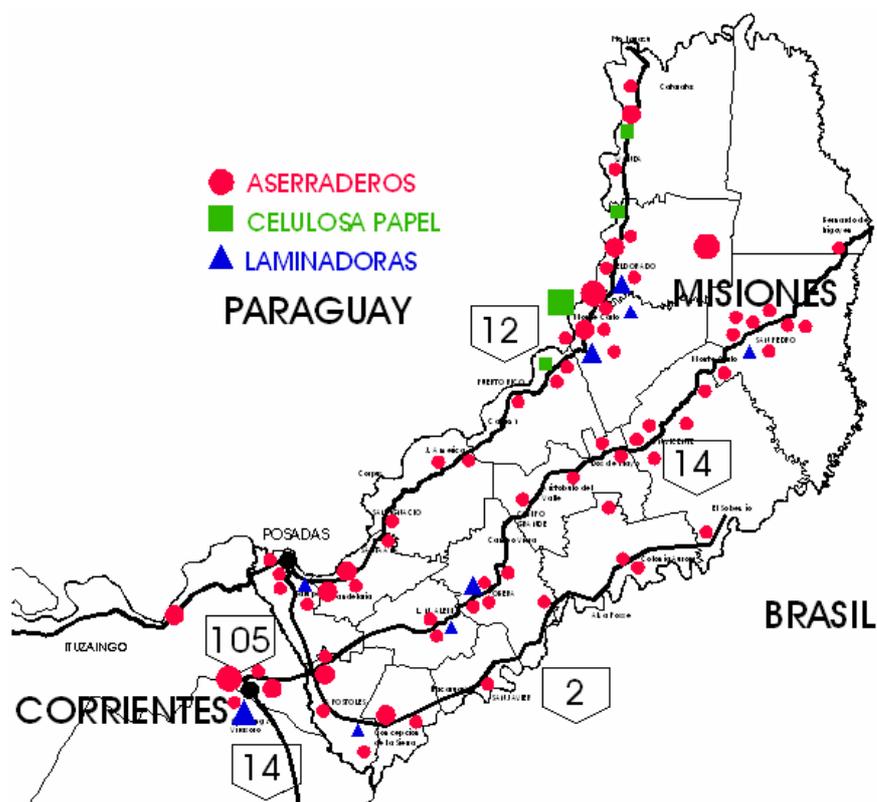


Grafico 3: Industria maderera distribución y conectividad. (CELANO 2009)

CENSO DE LA FORESTO INDUSTRIA AÑO 2003 DESTINO DE RESIDUOS POR CANTIDAD DE INDUSTRIAS						
	ENERGIA	DESECHA	QUEMA	VENDE	total	conectividad
ESTE	63	230	268	65	626	Ruta 14 y 2
OESTE	113	97	65	276	551	Ruta 12
SUR	35	300	285	36	656	Ruta 105 y 14
total					1833	

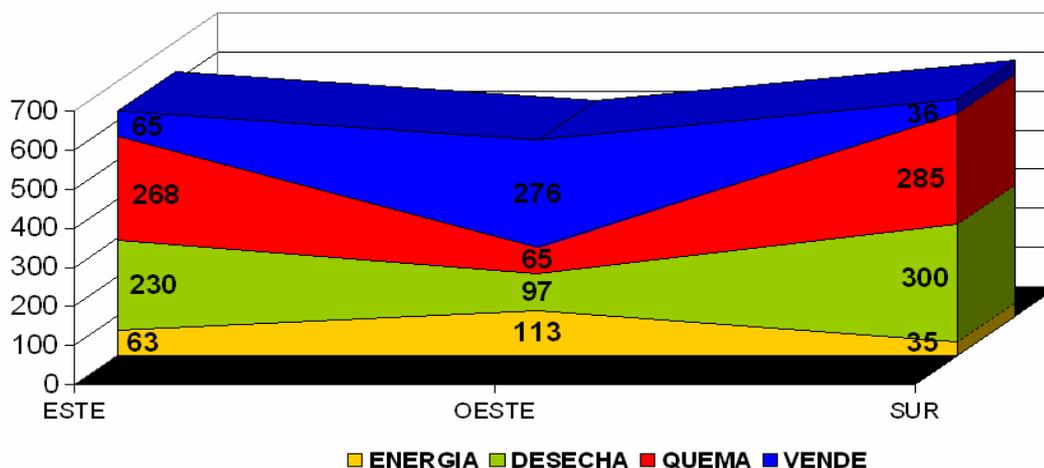


Grafico 4: Destino de residuos por cantidad de industrias. (42) (GAUTO 2004)

2.1.3 Valor de los residuos de madera

Respecto al **costo** de los residuos de madera (MPF), considerados años atrás (2000) como desperdicio sin uso definido y de costo nulo; el fin de la paridad peso-dólar (2001) con exportaciones casi nulas; la crisis energética global y regional manifestada por el aumento en la demanda e incremento en el precio de la electricidad (costo de energía en argentina es 27,5 u\$s/MW); en la actualidad (2009) este subproducto es una fuente de materia prima con un valor agregado considerable para diferentes usos, especialmente los energéticos. Se encuentran así ejemplos de industrias regionales muy desarrolladas y otras insipientes en el uso de los residuos (CELANO 2009):

Las grandes industrias madereras que cuentan con el ciclo completo de etapas de producción, utilizan estos subproductos (seco y verde) como biomasa en su línea de recupero y generación de energía eléctrica a través de turbinas. Como ejemplo, el establecimiento Don Guillermo con la turbina de capacidad de 3,0 MW, generando 2,4 MW con 150 tn residuos por día, a $2,4\text{MW} \times 24\text{hs/día} \times 27,5\text{u}\$/\text{MWh} = 1.584\text{u}\$/\text{día}$, y $1.584\text{u}\$/\text{día} / 150\text{tn/día}$

= **10,56 u\$\$/tn** este es el valor energético de los residuos (V.E.R.); Alto Paraná S.A. con su turbina de capacidad de 30MW, genera 25MW con 1.000 tn residuos por día, a $25\text{MW} \times 24\text{hs/día} \times 27,5\text{u\$/MWh} = 1.584\text{u\$/día}$, y que $1.584\text{u\$/día} / 1.000\text{tn/día} = 1,584\text{u\$/tn}$ V.E.R. Las medianas industrias utilizan los residuos como biomasa en la generación de energía calórica en calderas para secaderos de madera, ejemplo Toll Maderas S.A.; o bien venden a otras industrias como Forestal Guaraní vende a **8 u\$\$/tn**, a la empresa Quilmes para uso en caldera. Las pequeñas industrias son las más incipientes en el uso de residuos y están destinando la viruta seleccionada y seca como "cama de animales" con precio de **100 u\$\$/tn**. densidad $0,052\text{ gr/cm}^3$ equivalente a $19,25\text{ m}^3/\text{tn}$ es decir $5,20\text{ u\$/m}^3$. Existe también la implementación de producción de briquetas y/o pellets con residuos de aserrín y astillas secas con precios de venta internacional a promedio de **160 u\$\$/tn**. En un futuro inmediato se prevé una mayor demanda, selección y un aumento del precio de estos subproductos, por lo que se propone el uso a paneles aislantes con un mayor valor agregado y un uso más ecológico dado que no se quema y se mantiene almacenado el CO_2 . (CELANO 2009).

Tabla 2 Precios productos y subproductos forestales, 2009. (CELANO 2009)

PRECIOS PRODUCTOS Y SUPRODUCTOS FORESTALES 2º sem estr 2009 (sin IVA)					
	provincia	dimension	calidad	precio	unidad
* 1º transformacion					
Rollo pino taeda	Misiones	18-25	1º	\$ 105,0	\$/tn
Rollo pino taeda	Misiones	25-30	1º	\$ 117,0	\$/tn
Rollo pino taeda	Misiones	30-35	1º	\$ 138,0	\$/tn
Rollo pino taeda	Misiones	> 7	raleo	\$ 50,0	\$/tn
* 2º transformacion					
Madera aserrada tabla verde	Entre Rios	1"	1º	\$ 1,1	\$/p ²
Madera aserrada tabla seca horno	Misiones	1"	2º	\$ 1,5	\$/p ²
Madera aserrada tabla impreganda CCA	Misiones	1"	3º	\$ 2,0	\$/p ²
* 3º transformacion					
Machimbre Pino taeda	Misiones	1/2"	1º	\$ 9,6	\$/m ²
		3/4"	1º	\$ 13,5	\$/m ²
		1"	1º	\$ 17,6	\$/m ²
* 4º transformacion					
Chip pino	Misiones			\$ 44,0	\$/tn
Costanero eucalipto	Entre Rios			\$ 26,0	\$/tn
Aserrin eucalipto-pino	Entre Rios			\$ 28,5	\$/tn
Viruta eucalipto-pino	Entre Rios			\$ 41,5	\$/tn
** Aserrin Viruta seca Pino	Corrientes			\$ 28,5	\$/tn
*** Brasil					
Aserrin Viruta seca Pino	Brasil Sur			\$ 220,0	\$/tn
Cascara	Brasil Sur			\$ 88,0	\$/tn
Aserrin	Brasil Sur			\$ 154,0	\$/tn
Viruta	Brasil Sur			\$ 363,0	\$/tn
Chip sucio combustible	Brasil Sur		3º	\$ 132,0	\$/tn
Chip limpio	Brasil Sur		2º	\$ 176,0	\$/tn
Chip limpio seco	Brasil Sur		1º	\$ 264,0	\$/tn

(*) SAGPYA junio 2009

(**) FORESTAL GUARANÍ noviembre 2009

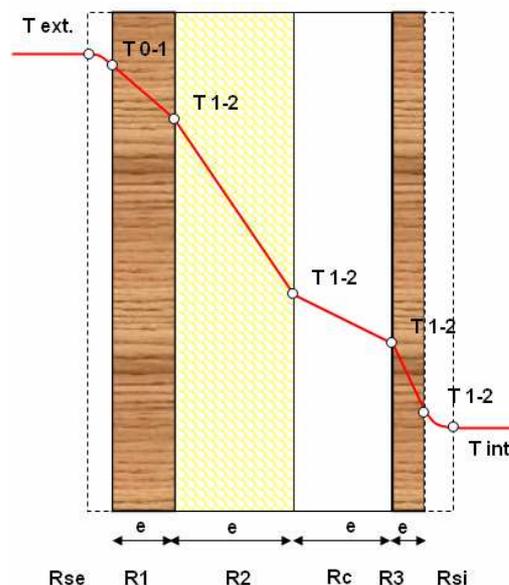
(***) APICO.FOM: noviembre 2009

2.2 Propiedades térmicas de los materiales

2.2.1 Aislamiento térmico y Confort ambiental

Los principales factores de modificación del estado de confort en los ambientes en los edificios son el calor y el agua. El calor pasa de un medio más caliente a otro más frío, de lo que resulta que en un muro el calor se traslade de la cara más caliente a la más fría por cualquiera de sus formas de transmisión (conducción, convección o radiación), según su estructura física de los materiales componentes y del contenido de humedad (agua).

En la edificación el aislamiento térmico apunta a la obtención de varias finalidades: evitar las ganancias de calor (problema crítico en la región NEA), evitar las fugas de calor (para regiones frías), lograr determinadas temperaturas en las superficies de los cerramientos, para confort ambiental, e impedir problemas de condensación; por la disminución del poder de aislación térmica.



Como ejemplo se presenta un diseño de panel exterior de vivienda prefabricada en madera y su gradiente térmico, según la aplicación de la norma IRAM 11601, las que deben cumplir con los requisitos mínimos de transmitancia térmica según la zona bioclimática del país. Detallado en la norma IRAM 11605

Gráfico 5 Gradiente térmico en pared compuesta. (35) (CELANO 2004)

Los procedimientos básicos de obtención del confort ambiental interior a través de la aislación térmica son: por la resistencia térmica de los materiales, los buenos materiales aislantes térmicos permiten obtener gran resistencia con pequeños espesores; por la forma de colocar los elementos, adoptando posiciones que no favorezcan el pasaje de calor (alternando

cámaras de aire, metales pulidos a la vista); y por integración de los dos procedimientos: usando materiales de buenas características aislantes, dispuestos de manera adecuada.

2.2.2 Propiedades termo físicas de los materiales

Los intercambios de calor en los edificios se pueden efectuar según cuatro formas: la conducción, la convección, la radiación y la evaporación o condensación, (9) (EVANS 1996).

Conducción: Cuando un flujo de calor atraviesa un material por contacto de moléculas más caliente con moléculas más frías. Se da principalmente en los cuerpos sólidos cuando existe una diferencia de calor entre dos puntos, la transferencia se da desde el cuerpo de mayor energía al de menor energía por medio de la interconexión molecular. El mecanismo de transferencia está en función de las propiedades de los materiales, que se da por vibración en los cuerpos cristalinos (ordenados), madera, plásticos, no metales y por choque de partículas de movimiento libre en los cuerpos no cristalinos (aleatorio) como los metales. No hay desplazamientos relativos de las partículas del cuerpo, por lo que es característico de los cuerpos sólidos y líquidos donde el contacto molecular es permanente. En estado gaseoso las moléculas están dispersas y separadas entre sí y el contacto se produce cuando hay colisiones casuales entre ellas en un brevísimo tiempo por lo que la transferencia de calor es despreciable. Para cuantificar se utiliza la Ley de Fourier:

$$qk = A \cdot k \cdot \Delta t$$

A = área
k = coeficiente transmitancia térmica
Δ t = diferencia de temperatura.

El coeficiente de transmitancia térmica “k” depende de la sustancia del material, estructura interna, contenido de humedad. Si se considera un cuerpo homogéneo e isótropo de área “A” y de espesor “e”, toda la cara izquierda se mantiene a temperatura t2 y la cara derecha a temperatura interior t1, el calor pasa a través del cuerpo de mayor a menor temperatura. Después de un tiempo las temperaturas de los puntos interiores de la lámina disminuyen uniformemente con la distancia entre la cara de la a t1 hasta la

cara de t_2 y permanecen a temperatura constante en el tiempo; entonces se dice que el cuerpo esta en estado estacionario. La cantidad de calor que atraviesa el cuerpo por unidad de tiempo en estado estacionario, es directamente proporcional a la superficie A y a la diferencia de temperatura Δt (t_2-t_1), al tipo de material λ e inversamente proporcional al espesor e ; el tiempo que se considera para la transferencia es h , y se mide en horas.

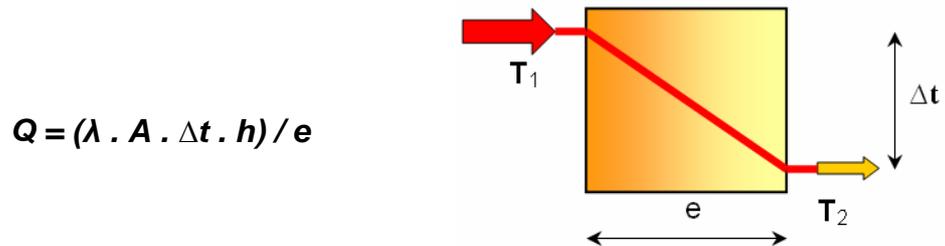


Grafico 6 Transferencia de calor por Conducción. (9) (EVANS 1996)

Por lo que el coeficiente de conductividad térmica interna de un material: es la cantidad de calor (kcal) que atraviesa por hora, en estado de equilibrio, un cubo de una metro de arista, desde una de sus caras a la opuestas cuando entre estas existe una diferencia de temperatura de 1°C .

El coeficiente de conductividad térmica λ , es representativo de cada material y depende de la sustancia del cuerpo, se expresa en $\text{kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ o $\text{W/m}^2.^{\circ}\text{C}$, es una propiedad de los cuerpos y función de su estado físico siendo mayor para los sólidos que para líquidos y menor para gases. Sus valores limites son $360 \text{ W/m}^2.^{\circ}\text{C}$ para la plata y $0,02 \text{ W/m}^2.^{\circ}\text{C}$ para aire en reposo. No existe el material térmico perfecto y λ no puede llegar al valor 0. La transmisión del calor puede disminuirse pero nunca anularse. El valor de conductividad térmica λ es función de una cantidad de variables.

- **Temperatura** (inicial de la sustancia)
- **Estructura interna:** (distribución de la sustancia)
- **Peso específico aparente** (relación de material sólido con los vacíos)
- **Contenido de humedad** (en los materiales higroscópicos)
- **Composición de los cuerpos compuestos** (disposición, separación y espesores de las partes)

- **Edad.**
- **Posición del punto** (donde se realiza la medición)

La resistencia térmica es la capacidad del material de impedir el paso del calor, se expresa como la inversa de la transmitancia térmica.

$$\lambda = (Q / h \cdot A) / (\Delta t / e)$$

$$k = \lambda / e$$

$$R = 1/k$$

λ = coeficiente de conductibilidad térmica

Q = cantidad de calor

A = superficie (m^2)

k = coeficiente transmitancia térmica

Δt ($t_2 - t_1$) diferencia de temperatura ($^{\circ}C$)

R = resistencia térmica

e = espesor (m)

h = el tiempo (horas)

Convección: Cuando las moléculas de la sustancia se desplazan de un lugar a otro intercambiando el calor que ellas contienen. Se da en los fluidos (líquidos o gaseos) en contacto con material sólido de mayor temperatura lo que genera un aumento de temperatura y de volumen, disminuyendo la densidad y produciendo un movimiento ascendente denominado convectivo. El coeficiente convectivo "h" depende de la sustancia del material, del flujo y de la geometría. Para cuantificar se utiliza la Ley de Newton:

$$q_c = A \cdot h \cdot \Delta t$$

A = área

h = coeficiente convectivo

Δt = diferencia de temperatura.

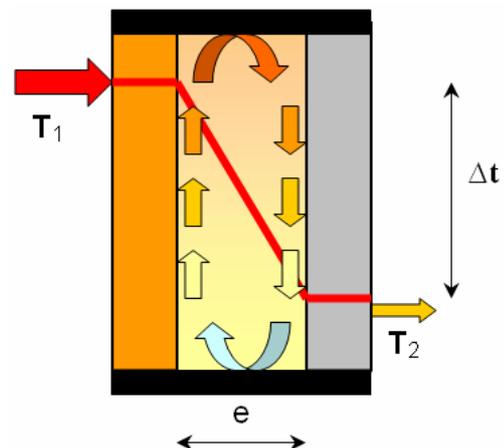


Grafico 7 Transferencia de calor por Convección. (9) (EVANS 1996)

Convección en recintos cerrados, si el paramento 1 tiene una temperatura t_1 superior a la del fluido, el aire en contacto con la cara caliente aumenta su temperatura en consecuencia necesitan mas espacio y por lo tanto en la unidad de volumen habrá menor número de moléculas disminuye el peso específico y en consecuencia se provocara un desplazamiento ascendente

de la porción del fluido que ha recibido calor, permitiendo que nuevas porciones ocupen su lugar y al calentarse repitan el fenómeno. Al estar el recinto limitado en su parte superior, el aire al llegar a él es deflelado al llegar al paramento 2 por fenómeno inverso, ceden energía las moléculas del fluido a la pared, reducen su separación aumenta en el sentido indicado por las flechas.

La cantidad de energía térmica transferida por convección "qc" entre dos puntos depende de la diferencia de temperatura $\Delta^{\circ}t$ entre ambos y de la facilidad de desplazamiento de la corriente convectiva de fluido. La transferencia disminuye cuando el fluido no puede desplazarse acentuándose a medida que aumenta la posibilidad de movimiento, interviene: diferencia de temperatura, coeficiente de conductividad del flujo y sólido, dimensiones del entorno y su forma y posición, peso específico, presión y viscosidad del fluido. La incidencia de la convección es menor que la de la radiación. En los cálculos comunes para cámaras de aire en la edificación, no se trabaja con las tres formas de transferencia por separado sino que se las engloba en un solo coeficiente, mal llamado coeficiente de conductividad térmica de cámara de aire, pues se trata más bien de conductancias de la cámara de aire λ/e .

Tabla 3 Transferencia de calor por convección, Resistencia en pared con cámara de aire.

<i>Incidencia de la diferencia de temperatura entre paramentos en la transferencia por convección.</i>		<i>Resistencia térmica equivalente $1/\lambda$ de cámaras de aire sin convección delimitadas por paramentos de alta emisividad.</i>	
<i>Diferencia de temperatura entre paramento y aire</i>	<i>Coeficiente de transferencia por convección, resistencia pelicular</i>	<i>Ancho de la cámara</i>	<i>Resistencia térmica equivalente</i>
Δt ($^{\circ}C$)	$\alpha \cdot Cv$ ($kcal/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C$)	$e = (cm)$	$1 / \lambda$ ($kcal/m \cdot h \cdot ^{\circ}C$)
2	3,30	1	0,16
10	3,35	2	0,19
20	3,50	5	0,21
30	3,75	10	0,20
40	4,00	15	0,19
50	4,30		
60	3,70		

Radiación: Cuando hay un intercambio de calor a través del espacio por ondas electromagnéticas desde los cuerpos con mayor temperatura que poseen mayor energía radiante. Mejora su comportamiento cuanto menos gases o materiales hayan en su intermedio. Para cuantificar se utiliza la Ley de Stefan:

$$qr = A \cdot \sigma \cdot \Delta t^4$$

A = área
σ = constante de Stefan
Δt⁴ = diferencia de temperatura, (t₁⁴ - t₂⁴) para cuerpo negro.

Todo cuerpo emite ondas de energía, estas radiaciones atraviesan el espacio sin necesitar la presencia de material para su propagación, en el vacío a la velocidad de la luz o en cualquier otro material como el aire a una velocidad algo menor a la del a luz. Al ser interceptadas por otros cuerpos, una cierta fracción de la radiación es absorbida (poder absorbente “a”) transformándose en calor y elevando su temperatura; y el resto es reflejado (poder reflectante “r”); ambos son números abstractos comprendidos entre 0 (cero) y 1 que dependen de la naturaleza de la superficie, así para una superficie opaca (r + a) = 1.

La cantidad de energía radiante emitida por unidad de tiempo y unidad de superficie es el poder emisivo “e” definido como el flujo radiante emitido por un área. Si el poder absorbente “a” es grande, el poder emisivo “e” es grande. Una superficie plateada tiene un alto valor reflectante y pequeños poderes absorbentes y emisivos.

El poder de transparencia Pt se mide con la radiación que deja pasar, si tr = 1, es a = r = 0, recibe el nombre de cuerpo transparente o diatérmano; si a = 1, es r = tr = 0 y se esta en el caso del llamado cuerpo negro ideal, que absorbe la totalidad de las radiaciones que sobre el incide. Ninguna superficie material absorbe toda la energía radiante que recibe.

En diferentes medios el aire es altamente permeable, diatérmico; el vidrio en cambio es permeable a las radiaciones infrarrojas provenientes de fuentes de alta temperatura de longitud de onda corta e impermeable a los infrarrojos de onda larga provenientes de fuentes de baja temperatura.

La relación existente entre el coeficiente de radiación del cuerpo no negro C_x y del cuerpo negro C_n expresa la relación de absorptividad o de emisividad, $\epsilon = C_x/C_n$. donde $\epsilon = 0,95$ significa que refleja el 5% y absorbe o emite el 95%.

Todos los materiales no metálicos de uso en la construcción tienen valores muy elevados de C_x son muy absorbentes y muy emisores (del 87 al 95%). los materiales metálicos cuando la superficie pulida y abrigantada resultan poco absorbente y emisores (3 al 5%), si se opacan o se oxidan se vuelven mas emisores.

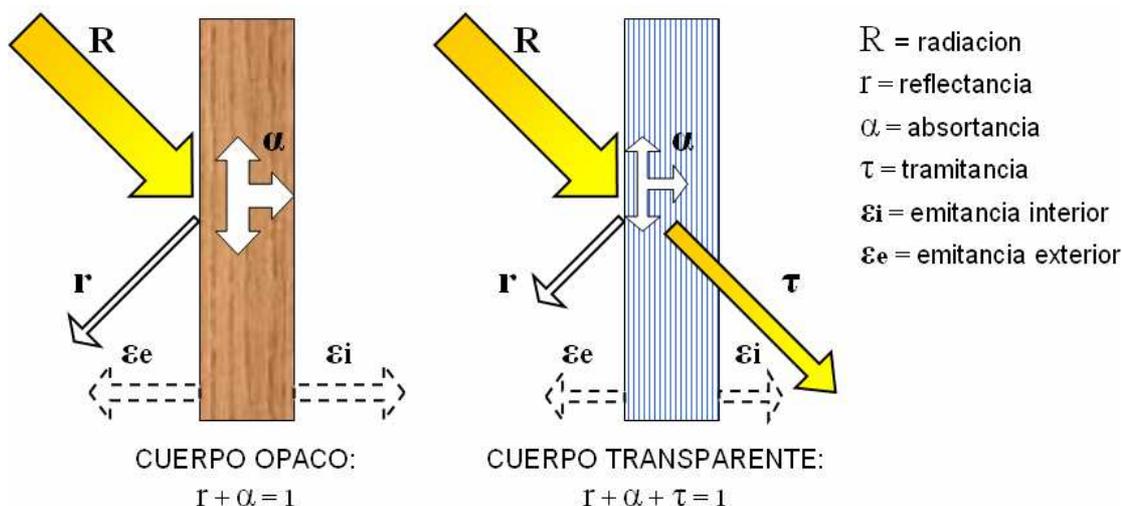


Grafico 8 Transferencia de calor por Radiación. (Grafico elaborado por autor en base a (9) (EVANS 1996)

Tabla 4 Absorbancia y emitancia de materiales de construcción.(IRAM 11605, 1997)

Material	Absorbancia	Emitancia	Reflectante	Tramitancia
	α	ϵ	r	τ
	$1 - r - \tau$	$(1 - r - \tau)/C_x$	$1 - \alpha - \tau$	$1 - \alpha - r$
Cuerpo negro	1,00	1,00	0,00	0
Cuerpo espejo perfecto	0	0	1,00	0
Vacío perfecto	0	0	0	1,00
Vidrio transparente	0,03	0,77	0,07	0,90
Ladrillos	0,70	0,93	0,07	0
Mampostería	0,70	0,90	0,10	0
Hormigón	0,70	0,94	0,06	0
Poliestireno exp.	0,25	0,94	0,06	0
Tierra	0,75	0,90	0,10	0
Madera	0,60	0,90	0,40	0
Aluminio anodizado	0,90	0,80	0,20	0
Hierro galvanizado	0,89	0,80	0,20	0
Acero inoxidable pulido	0,10	0,074	0,026	0
Pintura negro mate	0,97	0,85	0,15	0
Pintura blanco a la cal	0,20	0,90	0,10	0

Evaporación y condensación: Ambos implican un cambio de estado (del líquido al gaseoso y viceversa) produciendo una absorción o una emisión de calor. Además la presencia de agua en sus diferentes estados sólido, líquido o gaseoso, posee mayor poder de transmitancia térmica disminuyendo el poder aislante del material, dado que el aire a 20 °C posee un valor de $\lambda = 0,022$ mientras que el agua $\lambda = 0,50$.

2.2.3 Conductividad térmica en materiales porosos

Porosidad: La variación de la conductividad térmica de ciertos materiales respecto al peso específico aparente, es comprensible pues depende de su estructura alveolar, es decir, de los espacios de aire en su interior, y si estos son suficientemente pequeños para que el aire contenido en ellos este en absoluto reposo, es evidente que mejorara las condiciones aislantes térmicas del material (10) (DIAMANT 1985).

Si se considera a la madera, constituida por la misma sustancia, material leñoso (celulosas, lignina), se observa que para distintas especies poseen distintos valores de densidad por la distribución interna de la materia, es decir en distintas proporciones de material-aire; lo que denota una variabilidad del valor λ ; asimismo dentro de cada especie varia por la distribución interna del material por ejemplo en dirección paralela o transversal a la fibras, (11) (CORONEL 1994).

Cuando se habla de coeficiente de conductividad térmica de materiales porosos, éste involucra la transferencia por conducción, convección y radiación, se puede decir que: para reducir la cesión de calor por conducción del aire dentro del poro convienen poros grandes, mientras que en estas condiciones aumenta la transferencia por radiación y convección. Teniendo en cuenta que la cantidad total transferida debe su parte más importante a la radiación, en segundo lugar a la convección, y por último interviene la conducción del aire con valores proporcionalmente bajos, los poros deben ser los más chicos posibles.

En el análisis se han supuesto cuerpos de distribución sistematizada, pero en realidad los poros son en algunos casos, pequeños huecos esféricos

herméticos distribuidos al azar, y en otros casos pueden estar constituidos por los espacios intercomunicados que quedan entre las partículas; hay una gran diferencia entre ambos casos. En el primer grupo pertenece a un sistema de dos o más fases, donde los poros constituyen la fase dispersa y no están normalmente en comunicación; en el segundo grupo el aire contenido en los poros constituyen una fase continua, pudiendo establecerse su circulación.

Para una sustancia determinada pueden darse materiales con muchos o con pocos poros, variando así su λ lo que se representa en el grafico cartesiano.

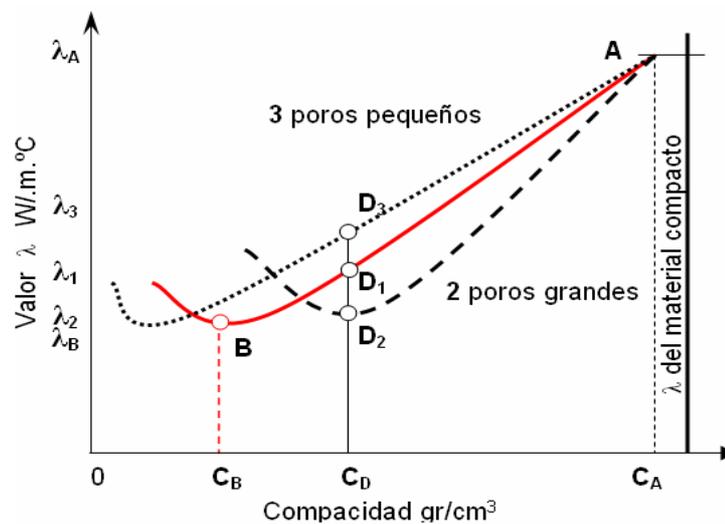


Gráfico 9 Conductividad térmica λ según la porosidad del material C. (Gráfico elaborado por el autor en base a (10) (DIAMANT 1985).

Habrá un punto A correspondiente al λ de la sustancia compacta. A partir de entonces y a medida que el material comienza a contener poros, van disminuyendo los valores de C compacidad y de λ conductividad, esto ocurre hasta un cierto valor de compacidad C_B , sobrepasando el cual, al aumentar aun más la porosidad vuelve a aumentar el valor de λ al producirse la intercomunicación entre los poros y aumentar la influencia de la transmisión por convección. Para una misma sustancia puede también ocurrir que se consiga un determinado valor de C con poros de distinto tamaño CD, en ese caso los valores de λ también variarán. Para una porosidad dada λ es menor para el material de poros más pequeños, por la mayor influencia de la conducción del aire que sobre la convección del aire.

En los materiales granulares y fibrosos influye el compactamiento dado que el menor compactamiento equivale a mayor separación entre los componentes, lo que puede llegar a permitir el movimiento de la masa de aire que los rodea originándose convección.

Además en materiales porosos y fibrosos hay que considerar la influencia de la humedad. Si los poros son herméticos el material en relación a la humedad se comporta como compacto, pero si ellos están intercomunicados entre si y también con el exterior podrán llegar a saturarse de agua, para lo que los valores de λ comienzan a aumentar desde el inicio del humedecimiento. Si el material llegara a saturarse, descontando la radiación y la convección, y considerando solo la conducción, la transferencia se incrementa significativamente, dado que el valor de λ del aire a 20°C es 20 veces menor que el agua según se expresa en la siguiente tabla. Es decir la presencia de agua o contenido de humedad hace a los materiales más o menos aislantes térmicos. De allí la importancia de mantener seco los materiales que cumplen la función de aislantes térmicos. (32) (ALIAS 1997)

Tabla 5 Aire y Agua, conductividad térmica en función de la densidad y temperatura. (37) (HUTTE 1985)

Sustancia	Estado		Temperatura	Densidad aparente	Conductividad Térmica
			t °C	ρ kg/m ³	λ W/m.°K
Aire	Reposo	Gas	0°C	1,2950	0,0243
	Reposo	Gas	20 °C	1,2104	0,0259
	Reposo	Gas	35 °C	1,1480	0,0268
	Reposo	Gas	50 °C	1,0870	0,0279
	Reposo	Gas	100 °C	0,9900	0,0302
Agua	Reposo	Sólido	0 °C	1000	0,5690
	Reposo	Líquido	20 °C	999	0,6030
	Reposo	Vapor	100 °C	958	0,6810

Poros: son cámaras pequeñas intercomunicadas entre si por una red de pequeños conductos y cuyo tamaño puede oscilar entre 0,1mm hasta 1mm. Del tamaño de éstos y su porcentaje en relación a la materia sólida dependerá la eficiencia de aislación térmica de los materiales, para cada uno de los cuales existen límites mínimos y máximos de densidad. Por ejemplo: una espuma rígida de resina sintética tendrá su mayor eficacia entre los 16 y 25 kg/m³, por debajo de esta densidad los poros serán tan grande que

aparecerán fenómenos de micro-convección y micro-radiación interna; y por encima de ese peso aparente, la cantidad de materia sólida presente pondrá en marcha el fenómeno de conducción del calor en un medio sólido. (10) (DIAMANT 1985).

El estudio del movimiento del agua en materiales es función de cierto número de parámetros que caracterizan la estructura: particularmente la porosidad y la capilaridad. La porosidad expresada en porcentaje, es el volumen total de vacíos en relación con el volumen aparente; y varía con los diferentes materiales. Siendo que el material leñoso (celulosa lignina) presenta una densidad de $1,5 \text{ tn/m}^3$, y denota diferentes pesos específicos o densidades aparentes según las especies.

Tabla 6 Porosidad de algunos materiales.

	<i>Porosidad (%)</i>	<i>Densidad aparente (kg/m³)</i>	<i>Densidad real (kg/m³)</i>
<i>Ladrillo</i>	18 – 26 %	1600	2100
<i>Hormigón</i>	10 – 27 %	2200	2900
<i>Mortero calcáreo</i>	20 – 35 %	1400	1900
<i>Piedras calcáreas</i>	1 – 45 %	1600	3100
<i>Madera liviana (pino)</i>	60 %	600	1500
<i>Madera pesadas (algarrobo)</i>	20 %	1200	1500

Capilares: son canales que comunican entre sí a los poros aunque puede existir sin la presencia de éstos, es decir, como una red de capilares en materiales no porosos. Son conductos muy finos, cuyo diámetro varía entre 0,01 mm hasta 1 mm. Por un fenómeno físico (combinación de fuerzas electro moleculares, tensión superficial del agua y presión atmosférica), el agua en estado líquido avanza inexorablemente por los conductos capilares, ascendiendo por ellos hasta una altura que tiene relación directa con el diámetro y la forma de éstos. En nuestro medio (0,00 a 85 m.s.n.m.) el agua ascenderá por los muros un promedio de entre 1,20 m a 1,60 m (mancha de humedad en paredes). El agua avanzará en sentido opuesto a la marcha de la corriente eléctrica por la diferencia potencial. La capilaridad es la facultad que tienen los materiales de absorber y retener los líquidos en sus vacíos bajo efecto de presiones capilares. (10) (DIAMANT 1985).

Alvéolos: son cámaras no comunicadas entre si, generalmente en forma esférica, de cuyo diámetro depende la eficacia de la aislacion térmica, ya que se pueden producir, si son grandes, micro-convecciones y micro-radiaciones, lo que provoca la ruptura de la aislación. Si la intercomunicación entre alvéolos es estricta, tenemos además un material aislante hídrico, lo que es de gran utilidad. Es muy extraño que en los materiales de construcción aparezcan algunas de estas en forma exclusiva, pero es frecuente encontrarlos en formas combinadas a los que se denominan estructuras celulares mixtas. (10) (DIAMANT 1985).

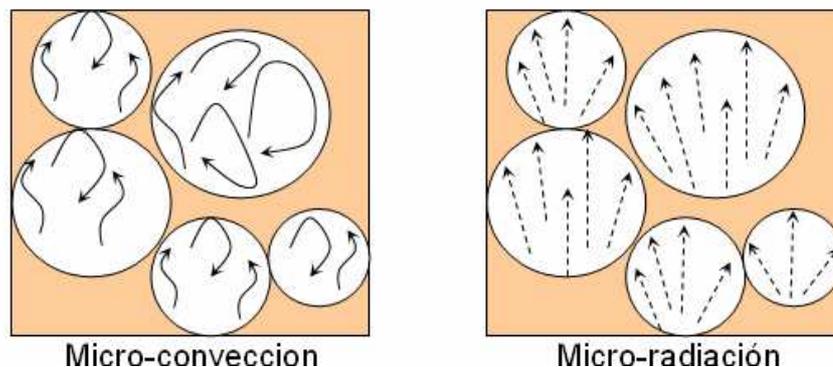


Grafico 10 Transferencia calor por Micro-convección y Micro-radiación. (Gráfico elaborado por el autor en base a (10) (DIAMANT 1985).

2.2.4 Materiales de alto vacío y reflectores para el aislamiento

Son materiales en los que el espacio ocupado por la parte sólida del material es comparativamente pequeño siendo la mayor parte del volumen un gas. La función del material sólido es simplemente la de restringir el movimiento de las moléculas del gas y limitar de esta forma las corrientes convectivas. (38) (PUUPO 1976 citado por ALIAS).

Los materiales porosos de aislamiento pueden dividirse en los de poros abiertos y los de poros cerrados. En general cuando las dimensiones de los poros son del mismo orden, el material de poros cerrados tiene menor conductividad que el de poros abiertos. En ciertas sustancias fibrosas la conductividad puede no ser la misma en todas las direcciones, pues la forma y distribución de los intersticios puede diferir según la dirección, tal es el caso de las maderas que poseen orientación de la estructura fibrosa.

Además cuanto más finas sean las fibras, tanto menor será la conductividad del material.

En general puede decirse que la conductividad de un material poroso disminuye al bajar su densidad, pero la transmisión de calor por radiación es casi inversamente proporcional a la densidad del material. La densidad óptima es aquella en que la suma de las transmisiones de calor por conducción, y convección es mínima.

En la práctica este estado se alcanza cuando la densidad del material poroso está comprendida entre 0,32 y 0,35 kg/m³. En tales circunstancias la suma de conductividades térmicas por conducción, convección y radiación es cercano a 0,032 o 0,035 kcal/m.h.°C.

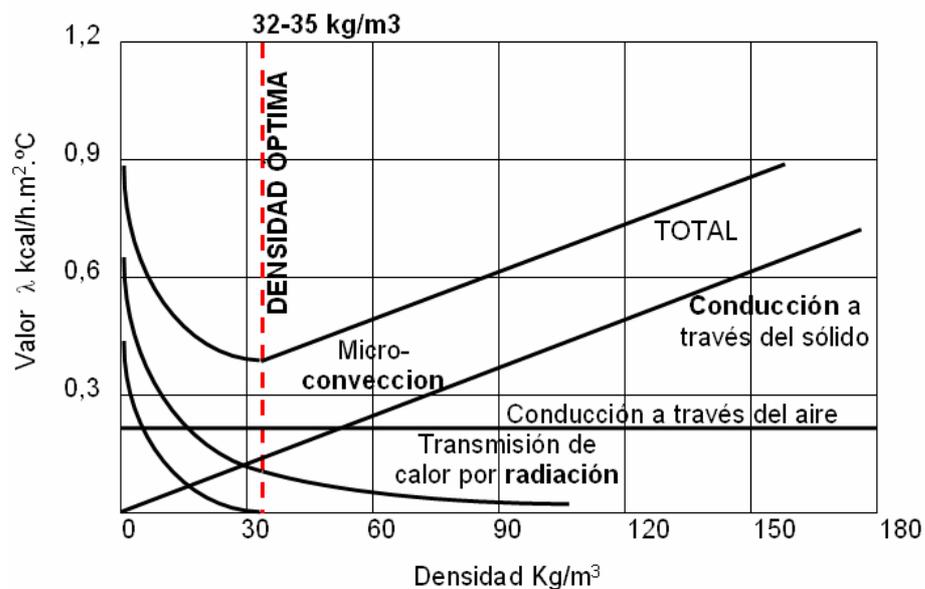


Gráfico 11 Variación de conductividad térmica de un material fibroso de alto vacío en relación a la densidad. (Gráfico elaborado por autor en base a (38) (Puppo 1976)

2.2.5 Límite entre materiales aislantes y no aislantes

Todos los materiales ofrecen cierta resistencia al paso del calor, por lo cual es necesario fijar un límite que permita diferenciar entre materiales aislantes y no aislantes o conductores. Se consideran materiales aislantes térmicos aquellos que tienen un coeficiente de conductividad térmica menor a $\lambda = 1$ kcal/m.h.°C. Dentro de los usados el valor más bajo es $\lambda = 0,22$ para el aire a 20°C, es decir que la gama tiene una amplitud de 0,2 a 1. Comienzan a

mostrar buenas condiciones para valores inferiores a $\lambda = 0,5$ y $\lambda = 0,6$. (PUPPO 1976) (ANEXO P: tabla de λ para materiales según IRAM)

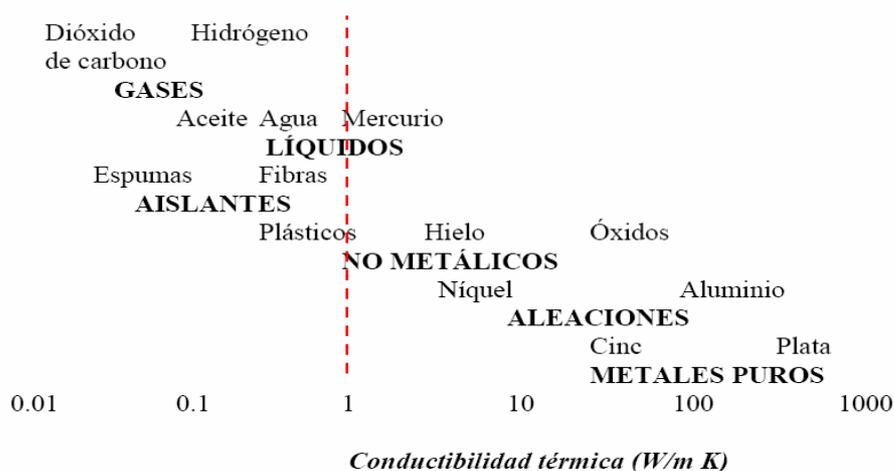


Gráfico 12 Límite entre materiales aislantes y conductores de calor. (Gráfico elaborado por autor en base a (38) (Hutte 1985)

2.2.6 Propiedades térmicas de la madera

Calor específico de la madera

El calor específico de la madera “c”, es la cantidad de calor (en cal o Kcal) necesaria para elevar 1 °C la masa de 1gr o 1kg de una sustancia, por lo que la dimensión del calor específico es Kcal/kg.°C. (11) (Coronel. 1994)

Por lo expresado se tiene que $c = Q/m \cdot \Delta t$, que es una expresión de la derivación de la ecuación fundamental de la calorimetría, que es $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$, donde se indica que la cantidad de calor que gana o cede un cuerpo de masa “m” al variar la temperatura en Δt , es directamente proporcional a su masa, a la variación de temperatura y al calor específico de la sustancia.

Tabla 7 Volares medios de calor específico de materiales. (11) (CORONEL 1994)

Sustancia	Calor específico	
	Kcal / kg . °C	Nivel de calor (temp)
Agua	1,000	14,5 a 15,5 °C
Alcohol	0,600	“
Aluminio	0,226	“
Cobre	0,094	“
Hierro	0,115	“
Plomo	0,035	“
Vidrio	0,200	“
Hormigón	0,180	“

Ladrillo	0,200	"
Aire	0,240	0 °C
Madera (cont. humedad u =0%)	0,324	14,5 a 15,5 °C

Diferentes estudios han demostrado que el calor específico de la madera, no depende de la especie, ni de su peso específico aparente, pero si varía con la temperatura. El calor específico de la madera es aproximadamente 50% más alto que del aire, y 4 veces mayor que el del cobre.

El calor específico se incrementa cuando la madera contiene mayor humedad, debido a que la cantidad de calor necesaria para aumentar en 1°C un gr. o kg. de agua contenida en madera, es mayor que la correspondiente a la madera anhidra (3,5 % a 5 %).

El efecto combinado de la conductividad térmica y el calor específico de un material se denomina "difusibilidad calorífica" o velocidad de absorción térmica, que se define como la relación entre la conductividad térmica y el producto formado por el peso específico aparente y calor específico, que expresa el motivo por el cual la madera puede absorber calor lentamente.

$$\delta = \lambda / (\rho \cdot c)$$

δ = difusibilidad calorífica
 λ = conductividad térmica
 ρ = peso específico aparente
 c = calor específico

Esto explica por qué la madera no presenta una superficie muy fría ni demasiado caliente como otros materiales. Esto es propicio para el uso en la construcción como en los pisos y paredes. La alta resistencia que ofrece la madera al paso del calor a través de ella, la convierte en un buen aislante térmico y un material resistente al fuego dentro de los límites tolerables.

(F. DUNLAP 1912 citado por CORONEL) estableció mediante experiencias la ecuación que relaciona el calor específico con la temperatura, con lo que se puede determinar el valor medio del calor específico " c_m ", dentro del entorno de $t = 0$ °C a 100 °C.

$$c = 0,266 + 0,00166 t \text{ (kcal/kg.}^\circ\text{C)}$$

$$c_m = 0,324 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$$

c_m = valor medio del calor específico de la madera seca

El calor específico de la madera es independiente del peso específico aparente para valores de $\rho_0 = 0,23$ a $1,10 \text{ gr/cm}^3$ en virtud de que el aire tiene un calor específico $C=0,24 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$, que es muy semejante al valor que presenta la madera. En cambio la humedad de la madera influye significativamente en el calor específico y su valor medio "cx" puede ser calculado por la regla de las mezclas:

$$c_x = x \cdot c_a + c_o \cdot (1 - x)$$

c_x = calor específico madera húmeda (peso húmedo)
 c_a = calor específico del agua

$$c_x = x + c_o \cdot (1 - x)$$

c_o = calor específico madera seca (anhidra) 0,324
 x = grado de humedad (referido a peso húmedo)

$$c_u = u/(1+u) + c_o \cdot (1 - u/(1+u))$$

Para aplicar a la madera esta relación se sustituye el valor x por u (humedad referido a peso seco y cuya relación es: $x = u$)

$$c_u = 0,324 + u / 1 + u$$

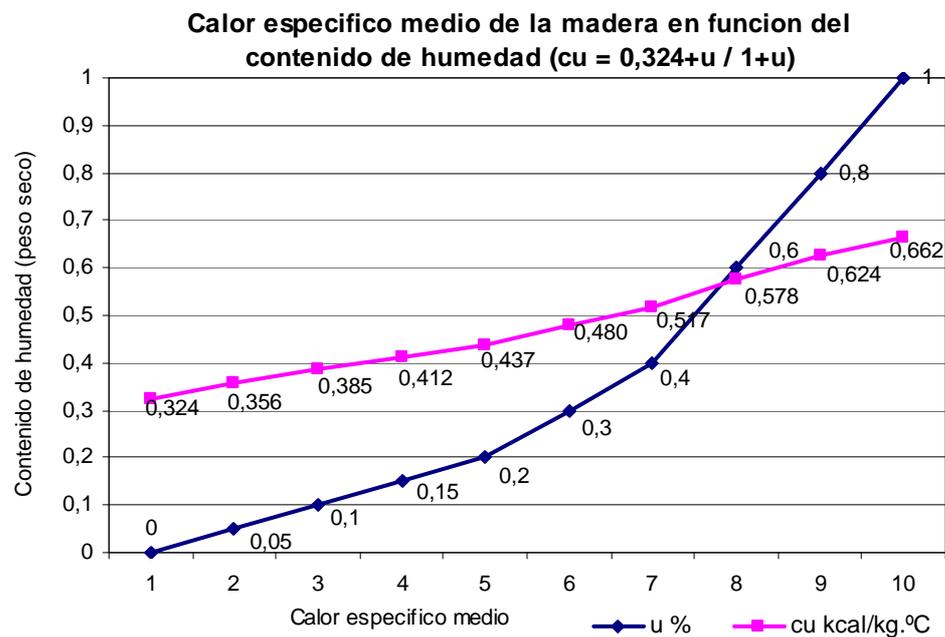


Grafico 13 Valores de calor específico medio "cu" de una madera para distintos contenidos de humedad "u".(elaborado por el autor según datos de (11) CORONEL)

Conductividad térmica de la madera (λ)

Por lo expuesto, la conductividad térmica es una medida de la rapidez con que fluye la energía o calor a través de un material sometido a un gradiente

de temperatura, y que se evalúa mediante el coeficiente de conductividad térmica; por lo que cuando más elevado es el valor de coeficiente de conductividad térmica mas baja es la capacidad de este material como aislante térmico. En el caso de las maderas, el coeficiente de conductividad térmica depende de la dirección del flujo, del contenido de humedad, del peso específico aparente, de la temperatura y de la conformación anatómica del leño (anisotropía). (12) (NOACK 1964)

$\lambda = \text{flujo calor} / \text{gradiente temp.}$

$$\lambda = (Q / h \cdot a) / (\Delta t / e)$$

$$\lambda = (Q \cdot e) / (h \cdot a \cdot \Delta t) \text{ (kcal/m.h.}^\circ\text{C)}$$

$\lambda =$ conductividad térmica (kcal/m.h.°C)

$Q =$ cantidad de calor transferido (kcal)

$e =$ espesor del recorrido (m)

$h =$ tiempo en (horas)

$a =$ área perpendicular al flujo (m²)

$\Delta t =$ diferencia temp.entre superficies (°C)

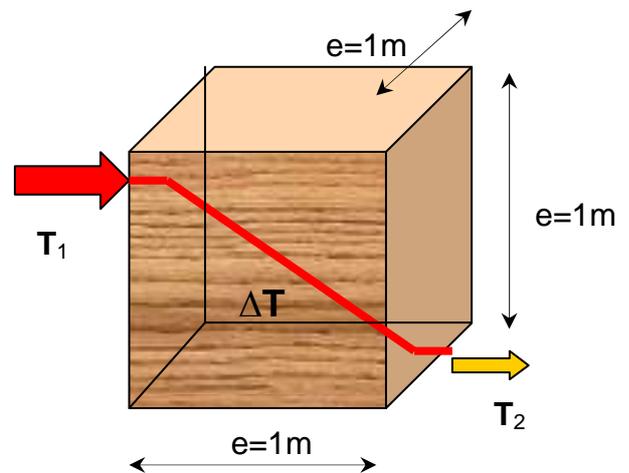


Gráfico 14 Conducción de calor en madera según la Ley de Fourier. (Gráfico elaborado por autor según (39) MAC DONNEL 1996)

La madera debido a su estructura porosa, posee una conductividad térmica baja ($\lambda = 0,12$ kcal/m.h.°C) en sentido transversal a las fibras, debiéndose principalmente a la baja conductividad térmica del material leñoso (celulosa, lignina, etc). La densidad del material leñoso es de $1,5 \text{ gr/cm}^3$ (1500 kg/m^3). La conductividad de la madera es considerablemente menor que la mayoría de los materiales de construcciones, por ello es muy apreciada como material aislante del calor. (12) (NOACK 1964)

Pero está comprobado que las maderas con elevado contenido de humedad, presentan mayores valores de coeficiente conductividad térmica, tendiendo éstos a valores del agua $\lambda_{\text{agua}} = 0,5$ kcal/m.h.°C cuando mayores sean los porcentajes de humedad, en consecuencia la madera pierde sus propiedades de aislante térmico con el aumento del tenor de humedad.

La determinación del coeficiente de conductividad térmica de la madera es compleja ya que engloba diferentes factores tales como dimensiones celulares, espesores de las capas de molécula de agua de la superficie, los cosenos en la dirección de las fibras, coeficiente de conductibilidad térmica de cada una de las partes componentes, etc. por lo que se han de aplicar formulas empíricas obtenidas por vía estadística (regresión, curva de mejor ajuste). (11) (CORONEL 1994)

Coeficiente de conductividad térmica en función del peso específico aparente (cuantitativo) (13) (KOLLMANN 1959). Como el peso específico aparente reúne casi todas las cualidades de la madera. Se ha tomado esta propiedad para formular una ecuación empírica que da los valores de coeficiente de conductibilidad térmica con buena aproximación en la práctica:

$$\lambda = 0,168 \cdot \rho_u + 0,022 \text{ (kcal/m.h.}^\circ\text{C)}$$

λ = conductividad térmica (kcal/m.h.°C)
 ρ_u = peso específicos aparentes
 Promedio de humedad = 12%
 Temperatura de referencia = 25°C

En el grafico se observa la correlación entre el coeficiente de conductividad térmica interna de una madera con el peso especifico aparente de una madera maciza, que es valido para productos elaborados a base de madera, tanto laminados como porosos.

Coeficiente de conductividad térmica en función la dirección de las fibras, (cualitativo) (13) (KOLLMANN 1959). La conductividad térmica interna de la madera varia según la orientación de las fibras, cuando el flujo de calor es paralelo a la fibra λ_{\parallel} es de 2,25 hasta 2,75 veces mayor que cuando es en dirección perpendicular λ_{\perp} . Esto se da por la continuidad de la materia en la estructura celular del material leñoso (grano, textura, vetado). Las variaciones de los valores entre la dirección radial o tangencial son insignificantes.

El uso común de la madera en la construcción la orientación de las fibras es transversal, como los tableros compensados, OSB, estructuras de techo, correas, tirantes, por lo cual se debe utilizar el coef. λ_{\perp} , para el caso de

elementos de uso como herramientas cabo martillos mango sartenes, etc. se debe utilizar el coef. λ_{\equiv} . Para el caso de tableros aglomerados (poroso isótropo) y MDF (compacto isótropo) se deben calcular los coeficientes, según ensayos. (11) (CORONEL 1994)

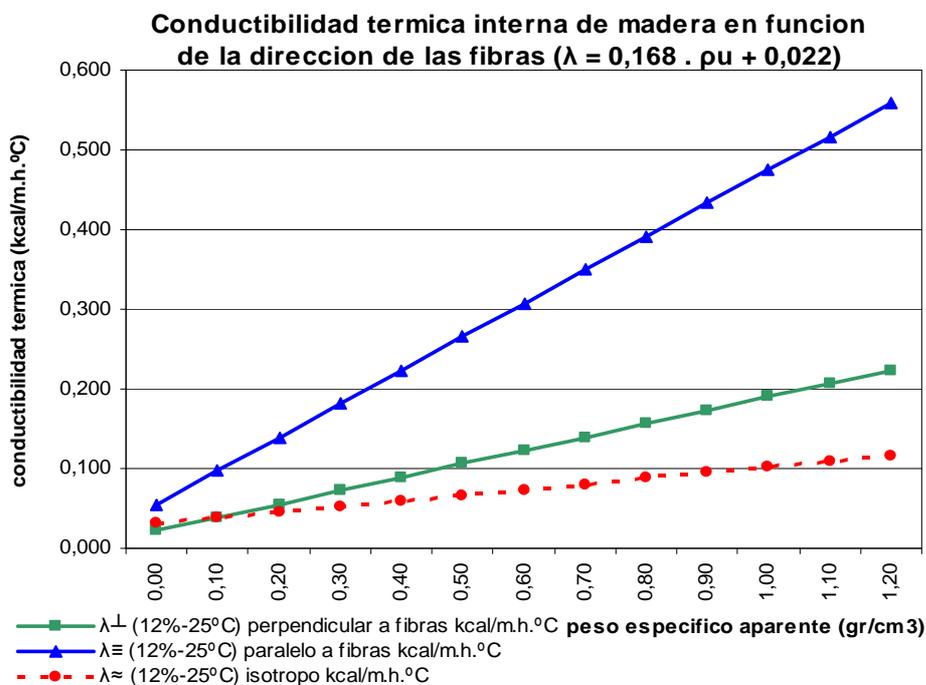


Grafico 15 Conductividad térmica maderas s/orientación fibras y densidad. (Gráfico elaborado por autor según datos de (11) CORONEL)

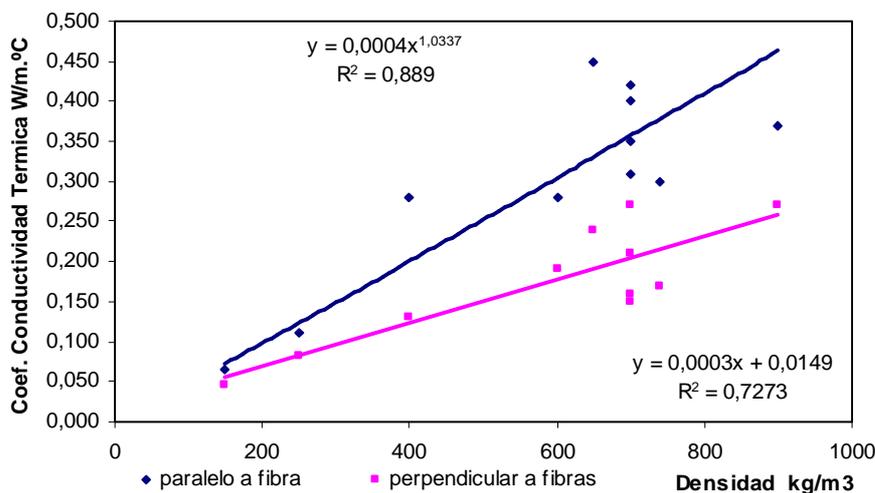


Tabla 8 Conductividad térmica maderas según la orientación de fibra. (Gráfico elaborado por el autor según datos de IRAM 11601, 1996)

MADERAS	Densidad	Conductividad térmica	
		paralelo a fibra	perpendicular a fibras
Fresno	740	0,300	0,170
Haya	700	0,350	0,210
Haya	900	0,370	0,270

Balsa	150	0,066	0,047
Balsa	250	0,110	0,081
Caoba	700	0,310	0,150
Arce	700	0,420	0,160
Roble	650	0,450	0,240
Abeto	400	0,280	0,130
Abeto	600	0,280	0,190
Nogal	700	0,400	0,270
Pino taeda	600	0,320	0,160
Madera dura	1200	0,480	0,340

Coefficiente de conductividad térmica en función de la temperatura de la madera (cuantitativo): (11) (SCHIMDT 1927 citado por CORONEL) indica que en la madera y materiales aislantes elaborados con ella, la influencia de la temperatura en el coeficiente de conductividad térmica siempre es positiva y crece con el volumen de poros y con el tamaño medio de éstos.

Calculando la variación del coeficiente de conductividad interna en % por cada grado centígrado que varía la temperatura, se obtienen cifras que están en relación con el peso específico aparente y por consiguiente, también con el volumen de poros que posee la madera. Sobre esta base puede aplicarse para la variación $\Delta\lambda$ de λ (%) por cada °C que varía la temperatura mediante la ecuación:

$$\Delta\lambda = 1,47.p - 0,367$$

ρ_o = peso aparente anhidro de la madera
 p = volumen de poros
 ρ_r = peso real de madera (material leñoso, sin poros) 1,50gr/cm³
 $\Delta\lambda \approx 1,10 \text{ a } 0,98.p_o$
 ρ_{rc} = peso real de celulosa = 1,58gr/cm³ (40-50% de la fibra)
 ρ_{rc} = peso real hemicelulosa = 1,50gr/cm³ (20-35% de fibra)
 ρ_{rl} = peso real de la lignina = 1,40gr/cm³ (15-35% de fibra)
 ρ_{rr} = peso real de la resina = 0,90gr/cm³
 ρ_{rt} = peso real de la tanino = 1,35gr/cm³

De esta forma puede establecerse además, la variación de λ causada por la temperatura, que es válida en el intervalo comprendido entre -50 °C a 100°C:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot (1 - (1 - 0,98.p_o) \cdot (t_1 - t_2) / 100)$$

λ_1 = coef. conductividad térmica inicial (t_1)
 λ_2 = coef. conductividad térmica después del aumento de la temp. (de t_1 a t_2)
 ρ_o = peso aparente anhidro de la madera

Coefficiente de conductividad térmica en función de la humedad de la madera (cuantitativo) (13) (KOLLMANN 1959). Respecto a la influencia de la humedad de la madera, se ha comprobado que dentro del dominio

higroscópico, aproximadamente entre 5 % y el 30 % de humedad, por cada 1% de agua admitida (referido a peso anhidro), el coeficiente de conductividad térmica aumenta en un relación casi lineal en un 0,7 a 1,8 (promedio de 1,25 %) y recíprocamente.

Al determinarse estos coeficientes en materiales húmedos, se tiene la dificultad de que la humedad se desplaza desde la parte caliente hacia la fría, debiéndose calcular la variación de λ causada por la influencia de la humedad. Por lo tanto, puede establecerse de una manera aproximada.

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot (1 - 0,0125 \cdot (u_1 - u_2))$$

*λ_2 = coef. conductividad térmica después del aumento de humedad (de u_1 a u_2)
 u = contenido de humedad de la madera*

2.3 Propiedades acústicas de los materiales

La acústica esta relacionada con la naturaleza de las vibraciones y ondas en un medio elástico, es decir, la acústica es el estudio del sonido y sus efectos. En la construcción en general se utilizan variados materiales entre ellos la madera, que con su característica elástica responde a casi todas las consideraciones cuando se habla de acústica en la construcción. Las propiedades acústicas de las maderas son formuladas mediante leyes físicas que pueden expresarse a través de ecuaciones: la propagación del sonido, velocidad del sonido dependen del peso específico aparente, del contenido de humedad de la madera y de la dirección de las fibras. La propagación del sonido en la madera esta limitada por la resistencia acústica, que es muy baja en la madera, en contraposición a otros materiales como el acero. La amortiguación del sonido con la madera se produce como consecuencia del rozamiento interno producido en el movimiento molecular y a través de la reflexión del sonido, ocasionando con ello la disminución de la intensidad del sonido. La amortiguación es de gran magnitud en la madera y depende del contenido de humedad, la temperatura y sus propiedades elásticas. La reflexión del sonido causada por la amortiguación depende de la velocidad del sonido y del peso específico y la baja resistencia acústica de las maderas. (11) (Coronel. 1994)

2.3.1 Principios de la acústica:

Sonido: son las oscilaciones mecánicas (vibraciones) de un medio elástico, aire, líquido o sólido. El oído humano percibe las variaciones de presión cuando la frecuencia está entre 20 y 20.000 Hz (ciclos por segundo) y su intensidad o volumen está entre 0 y 120 dB (Decibeles). (14) (IRAM 4064)

Frecuencia: es el número de oscilaciones completas efectuadas en la unidad de tiempo. La frecuencia "f" se mide en Hz o CPS (ciclos por segundo), la frecuencia es un parámetro que nos indica la rapidez de los cambios de presión en el aire. Las frecuencias menores a 16 Hz son infrasonoras y las superiores a 16.000 Hz son ultrasonoras y representan los límites de la capacidad auditiva humana. (14) (IRAM 4064)

Intensidad del sonido: La intensidad es un parámetro que indica la magnitud de los cambios de presión, definida como la cantidad de energía vibratoria que pasa por la unidad de superficie durante la unidad de tiempo. Su unidad de medida es la presión sonora y se mide en decibeles. (14) (IRAM 4064)

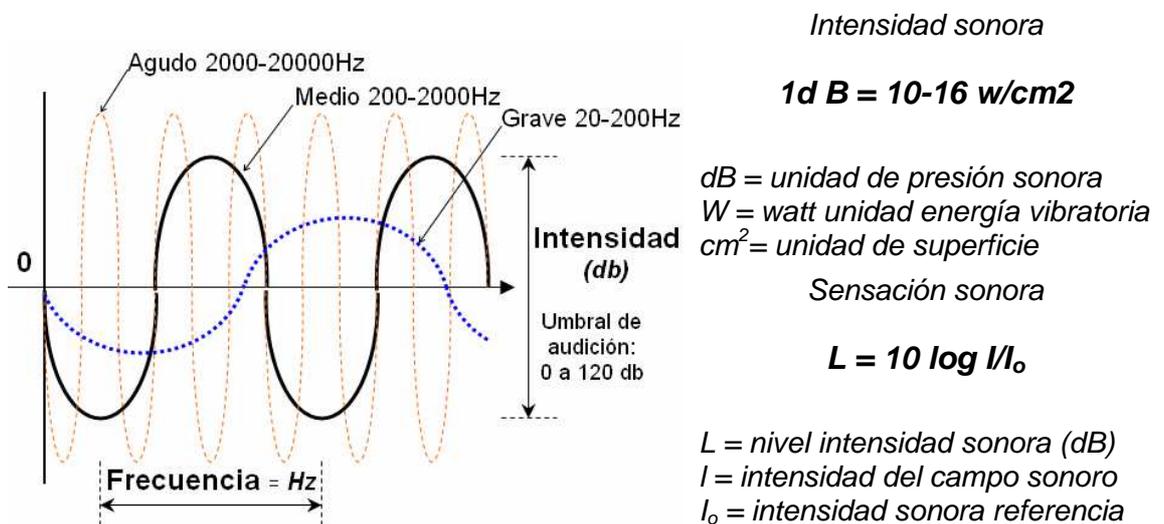


Grafico 16 El sonido y sus magnitudes físicas. (Gráfico elaborado por el autor en base a IRAM 4064)

Sensación sonora: es la intensidad de la sensación auditiva que esta en relación con la presión sonora y la frecuencia, es lo que nuestro oído percibe como volumen. Se adopta 1.000 Hz como frecuencia de referencia, y 0 dB

intensidad de referencia, que es la menor cantidad de sonido en el aire perceptible por el oído humano (Umbral de audición). Nuestro oído percibe entre 0 dB y 120 dB. (15) (IRAM 4066)

Velocidad del sonido: es la velocidad de transmisión de las ondas de la deformación elástica a través del medio elástico. Para ondas longitudinales y transversales en cuerpos rígidos anisótropos fibrosos como la madera se calcula tomando el valor de módulo elasticidad longitudinal y transversal respectivamente, y el peso específico aparente se reemplaza por la densidad. (14) (IRAM 4064)

$$C = \sqrt{S / P} \quad C_{m\parallel} = \sqrt{E_{\parallel} \cdot 980.665 / \delta} \quad C_{m\perp} = \sqrt{E_{\perp} \cdot 980.665 / \delta}$$

*C= Velocidad el sonido S= rigidez a la deformación
Cm= Velocidad media del sonido E= resistencia a la deformación elástica (kg/cm²)
P= peso específico aparente δ = densidad (kg. seg²/cm⁴)*

Resistencia acústica: es la inversa de la velocidad, en la madera se diferencia de los metales ya que su resistencia acústica W decisiva para la transmisión de las ondas sonoras y especialmente para la reflexión en el límite de dos medios. Este concepto se aplica en el diseño de la construcción con madera. (14) (IRAM 4064)

$$W = \delta \cdot C \quad W = \delta \cdot \sqrt{E \cdot 980.665 / \delta} \quad W = \sqrt{E \cdot 980.665 \cdot \delta}$$

*W=Resistencia acústica C= Velocidad el sonido
E= resistencia a la deformación elástica (kg/cm²) δ = densidad (kg. seg²/cm⁴)*

Transmisión del sonido: El sonido necesita para su transmisión de algún medio que conduzca las ondas: gas, líquido o sólido. El sonido se propaga en todas direcciones y alcanza el oído humano a través de las moléculas de aire en vibración (sonido aéreo), cuando llega a un obstáculo (tabique) lo hace vibrar, una parte del sonido incidente se refleja y es lanzado hacia atrás, otra parte de las ondas es absorbido cuando penetran en la construcción transformándose en calor y se pierden, y otra parte la atraviesan. (16) (IRAM 4063)

Presión sonora: La presión sonora en un punto del panel depende de la intensidad de la fuente sonora y de su distancia a la misma, a medida que se aleja se producen pérdidas acústicas por la masa del aire y el movimiento de sus partículas provoca pérdidas por fricción.

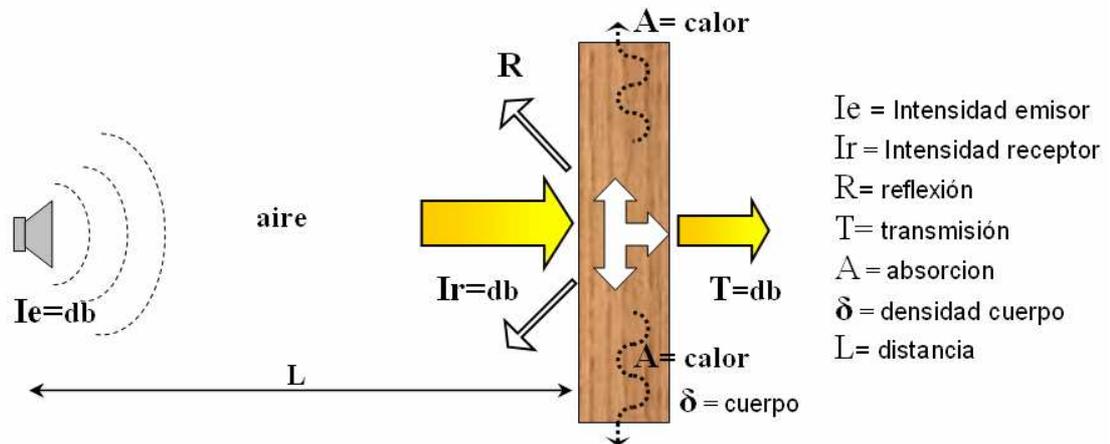


Grafico 17 Efectos del sonido al impactar un panel. (Gráfico elaborado por el autor en base a IRAM 4064)

Para determinar la **aislación sonora** de un tabique que divide a dos ambientes contiguos se coloca una fuente sonora en uno de los locales y se mide la intensidad sonora en el otro. La relación entre ambas energías sonoras es lo que se conoce como: “Índice de Reducción Sonora R ” la norma IRAM 4063 lo define:

$$R = 10 \log_{10} W_1/W_2$$

$$R_w = I_1(\text{dB}) - I_2(\text{dB})$$

R = Índice de reducción sonora
 W_1 = potencia sonora que impacta
 W_2 = potencia sonora transmitida

R_w = Índice compensado de reducción sonora
 I_1 = intensidad sonora que impacta
 I_2 = intensidad sonora transmitida

La aislación varía con la frecuencia, o sea que un mismo tabique tiene distinta aislación sonora para cada frecuencia. Con el objeto de comparar el comportamiento de distintos tipos de tabiques, los especialistas en sonido crearon un parámetro denominado “Índice compensado de reducción sonora R_w ” consistente en un número que resume el comportamiento del tabique para distintas frecuencias. (16) (IRAM 4063)

Ley de masas y frecuencias: La ley de masas y frecuencias dice que el aislamiento acústico de un tabique es mayor cuanto mayor sea su masa superficial (Kg/m^2) y también es mayor para frecuencias altas. Pues a mayor masa el panel será más denso y por lo tanto más difícil de mover y atravesarlo por la acción de la presión del aire (vibración). En términos generales se calcula que cada vez que duplicamos la masa se consigue una mejora de 6 dB en la aislación acústica. Esta ley se cumple entre dos frecuencias que son la frecuencia natural (f_n) y la frecuencia crítica o de coincidencia (f_c), pero la aislación decrece en las cercanías de estas frecuencias. A muy bajas frecuencias el factor controlante de la aislación sonora del tabique es la rigidez, hasta llegar a las inmediaciones de la frecuencia natural en donde la aislación es mínima, a partir de este punto se cumple la ley de masas (a mayor masa y frecuencia mayor aislación) hasta llegar al entorno de la frecuencia de coincidencia. (40) (CICER 2005)

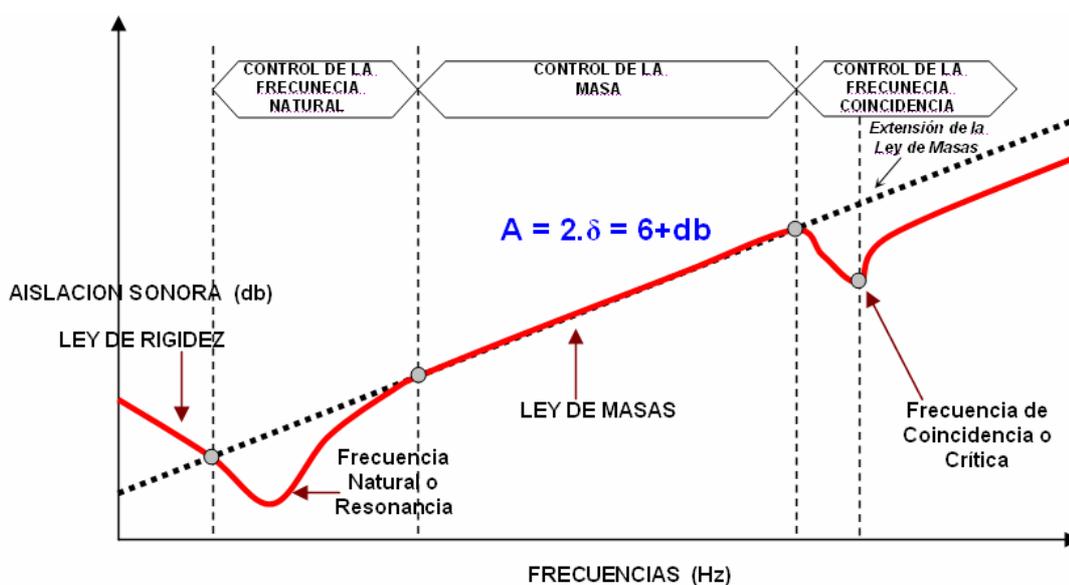


Gráfico 18 Variación aislación acústica del panel según la frecuencia. (Gráfico elaborado por el autor según (40) CICER 2005)

Frecuencia natural o Resonancia: Cada tabique tiene una frecuencia natural de vibración, que se da cuando es impactado por una onda sonora de una determinada frecuencia (f_n), el tabique responde por simpatía vibrando con la misma frecuencia regenerando el sonido del otro lado. La frecuencia natural de un tabique depende de su masa, rigidez, vinculación en su perímetro, dimensiones (largo, ancho, espesor) y forma. La

transmisión del sonido por causa de la frecuencia natural ocurre a bajas frecuencias. (40) (CICER 2005)

Frecuencia crítica o de coincidencia: La aislación acústica varía también con la dirección de incidencia de las ondas sonoras. Existe una frecuencia y ángulo de incidencia de la onda sonora sobre el tabique en donde la longitud de onda incidente proyectada coincide con la longitud de onda de flexión del panel entrando las ondas en fase y reforzándose. El resultado es una menor aislación acústica. Este fenómeno ocurre a frecuencias altas y se denomina frecuencia crítica (f_c). (40) (CICER 2005)

2.3.2 Aislación acústica (introducción):

El aislamiento sonoro de un elemento es la resistencia al paso de un sonido de un recinto a otro. El control del ruido o sonido en los ambientes habitables se debe mantener dentro de los límites tolerables. Las dos técnicas para reducir el sonido en edificios son: la amortiguación de los sonidos externos y la absorción de sonidos interiores. Son técnicas complejas que dependen de la densidad, la rigidez de los materiales y de la impermeabilidad de las aberturas al paso del aire como medio conductor.

Absorción acústica: La absorción es la transformación de la energía sonora en calor, mediante materiales porosos las ondas sonoras encuentran fricción en su interior. La efectividad acústica de un material se expresa por el “coeficiente de absorción sonora” “A” definido como la fracción de energía de ondas sonoras incidentes y absorbidas por el mismo, se determinan sobre una serie de frecuencias con determinados ángulos de incidencia y montajes. (Método ensayo IRAM 4065). La acústica en los recintos esta determinada por la reflexión y absorción del material de su perímetro y la composición geométrica del recinto que afecta la frecuencia y ángulo de reflexión. Para el caso de reflexión completa $A = 0$ y de absorción perfecta es $A = 1$. En este tipo de aislacion se distinguen los materiales de absorción porosa y de resonancia (amortiguación). (17) (IRAM 4065)

El valor de “A” “coeficiente de absorción sonora” para las maderas es favorable pues al contrario de otros materiales absorbe más las frecuencias

bajas (grave) que las alta (agudo), lo que resulta un efecto satisfactorio en el empleo de la madera en la aislación del sonido. (18) (GODSHALL 1970)

Tabla 9 Coeficiente de absorción sonora de materiales. (IRAM 4065)

Material o medio	Coeficiente de absorción "A"	
	120Hz	2000Hz
Ventana abierta	1,00	1,00
Cemento	0,10	0,02
Agua	0,10	0,02
Vidrio	0,10	0,02
Placas de fibra de vidrio	0,04	0,85
Placas de yeso con perforaciones	0,26	0,62
Madera maciza	0,10	0,08
Paneles de partículas	0,04	0,04
Panel compensado	0,20	0,10
Placa de lana madera	0,05	0,82
Placa de fibras madera con ranuras	0,12	0,62
Placa de madera en capas con fibras cruzadas	0,50	0,11

Los aislantes **porosos** son de materiales blandos con superficies rugosas y de poros abiertos: fieltro madera, aglomerado de madera, fibra de vidrio, placas fibras minerales. El sonido penetra en los poros donde se frena o amortigua por rozamiento del movimiento vibratorio de las moléculas del aire, transformándose la energía sonora en energía calórica. Presentan características de absorber los tonos altos (agudos). (18) (GODSHALL 1970)

Los aislantes de **resonancia** están formados por placas de poros cerrados, como paneles compensados, paneles de fibras, cartón enyesado, parte de la energía del sonido propagada por las ondas vibratorias del aire se convierte en energía cinética. Absorbe los tonos bajos (graves). Los tonos medios son combinación de los dos anteriores. (18) (GODSHALL 1970)

Amortiguación acústica: Las ondas sonoras transmitidas por el aire al chocar con una pared hacen que la misma entre en vibración y a su vez transporten el sonido a través del aire para lugares vecinos. Para un buen aislamiento del sonido transmitido por el aire desde el exterior al interior en la construcción, los paramentos deberán ser reducidos en espesor y de masa o rigidez elevada. (10) (DIAMANT 1985). La amortiguación del sonido

transmitido por el aire efectuada por una pared simple constituida por un solo material puede ser verificada con la ecuación:

$$Dt = 20 \log . (0,004 . G . f)$$

$Dt =$ amortiguación del sonido (dB)
 $G =$ peso del tabique (kg/m²)
 $f =$ frecuencia del tono (Hz)

Tabla 10 Aislacion acústica en función del peso del tabique. (11) (CORONEL)

Material	Coef. amortiguación (db)	Peso por superficie (kg/m ²)	Espesor (m)	Densidad (kg/m ³)
Panel compensado 5mm	19,00	2,30	0,005	460
Vidrio 4mm	27,00	12,00	0,004	3000
Vidrio 8mm	28,50	24,00	0,008	3000
Placa de yeso 40mm	33,00	32,00	0,040	800
Paja prensada revocada 90mm	38,00	70,00	0,090	778
Piedra pómez revocada 120mm	38,00	150,00	0,120	1250
Hormigón y capa corcho 110mm	39,50	175,00	0,110	1591
Mampostería revocada 150mm	42,00	240,00	0,150	1600
Mampostería revocada 270mm	49,00	430,00	0,270	1593
Chapa de hierro 2mm	34,00	16,00	0,002	8000

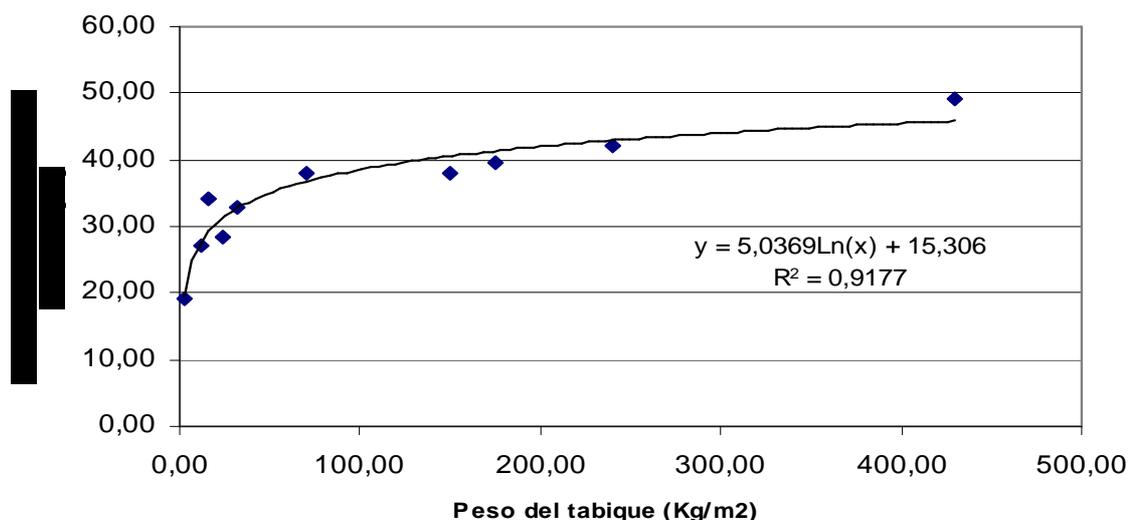


Gráfico 19 Aislación acústica en función del peso del tabique. (Gráfico elaborado por autor en base a (11) (CORONEL).

2.3.3 Criterios de diseño

Aislamiento en paredes simples y múltiples: Una pared simple puede ser homogénea (un solo material, plomo), o puede ser heterogénea (varias capas; muros de ladrillos huecos revocados). La condición para que sea considerada simple es que los puntos situados sobre una misma normal no modifiquen su distancia mutua al realizar vibraciones, no estén separadas.

Tanto la pared de plomo como la de ladrillos huecos se consideran como simples. En paredes dobles con cámara de aire el sonido que impacta produce una vibración en la placa expuesta, ésta transmite parte de la energía a la cámara de aire que a su vez transmite vibraciones a la segunda placa la que irradia energía vibracional al recinto receptor; pero para que sea efectiva, las placas deben actuar independientemente, de no ser así se comportarán como un tabique simple de masa igual a la suma de sus caras. Debido a que solo una fracción de la energía sonora es transmitida en cada una de estas etapas, permiten obtener mayores valores de aislación acústica a igualdad de masa. (40) (CICER 2005).

Onda estacionaria o de resonancia masa-aire-masa: En paredes simples la frecuencia natural o de resonancia generalmente cae fuera del campo audible por lo que no es un problema. Pero en paredes dobles la frecuencia de resonancia es mayor que la de una hoja simple de igual masa pasando a ser un problema. El aire atrapado entre las hojas actúa como un resorte neumático transfiriendo energía vibratoria de una hoja a la otra. Hay una frecuencia específica en donde el sonido rebota sobre las paredes opuestas y se combina reforzándose y haciendo que las placas entran en resonancia transfiriendo fácilmente la energía vibratoria de una placa a la otra. Estas ondas quedan reflejándose una y otra vez formando una onda estacionaria. La formación de ondas estacionarias es inversamente proporcional al espesor de la cámara de aire y a la masa de las placas; a mayor tamaño de la cámara y mayor masa de placas será menor la posibilidad de formación de ondas estacionarias. Se mejora llenando la cámara con materiales absorbentes y construyendo las hojas de distinta masa. (40) (CICER 2005).

Se comprueba que los mejores resultados son obtenidos con altas frecuencias pues las oscilaciones rápidas (sucesión de los choques, vibración) son deficientemente acompañadas por los materiales de construcción por su alta densidad. Los tabiques simples de madera presentan aislamiento acústico deficiente debido a su poco peso, pues tiene aptitud para las vibraciones. Los tabiques de entramado revestidos en ambos lados con madera o planchas de fibras y revocados con un peso de

entre 50 a 100 kg/m² pueden ofrecer valores de amortiguación comprendidos entre 37 a 44 dB. En tabiques múltiples compuestos de varias paredes simples que encierren entre ellas espacios huecos llenos de aire que actúan como amortiguador, disminuyen las vibraciones de las partes concretas de los materiales que la constituyen. (40) (CICER 2005).

2.4 Materiales aislantes termo-acústicos tradicionales

Los materiales aislantes utilizados en la construcción en general son denominados termo-acústicos, dado que no se realiza una aplicación individual para cada uno de los conceptos. El criterio que prevalece es de optar por un material aislante térmico lo mas eficiente posible y aceptar la capacidad de aislación acústica que posee. La aislación acústica de las edificaciones se da por los materiales estructurales que conforman el cerramiento propiamente dicho (muros, tabiques, placas) que al tener mucha masa resultan buenos aislantes acústicos como amortiguadores del sonido; mientras que el material aislante térmico eficiente de baja masa posee propiedades de absorción del sonido, complementándose así los dos conceptos. (ANEXO O: Materiales aislantes tradicionales y alternativos)

Tabla 11 Requerimientos de materiales aislantes termo-acústicos.(32) (ALIAS 1997)

<i>Conductividad térmica baja:</i>	<i>Propiedades estructurales:</i>
<i>Absorción del sonido alta:</i>	<i>Adecuada resistencia al fuego:</i>
<i>Mal absorbente de la humedad:</i>	<i>Resistencia a biodegradación:</i>
	<i>Costo razonable y fácil aplicación:</i>

Tabla 12 Materiales según su composición, conformación y su estructura. (Elaborado por el autor)

<i>Composición:</i>	<i>Conformación</i>	<i>Estructura:</i>
<i>Orgánicos</i>	<i>Gasificados (espumas)</i>	<i>Rígidos</i>
<i>Minerales</i>	<i>Disgregados (bolsas)</i>	<i>Elásticos</i>
<i>Sintéticos</i>	<i>Laminares flexibles (rollos)</i>	<i>Plásticos</i>
	<i>Laminares rígidos (tableros)</i>	

2.4.1 Poliuretano expandido (PUR): (termoestable)

Los materiales aislantes a base de espuma rígida de poliuretano, son espumas plásticas duras de estructura celular por encima del 90% de células cerradas, que se obtienen en presencia de catalizadores y bajo la acción de hidrocarburos halogenados como agente expandente, mediante reacción química entre poli-isocianatos compuestos con grupos hidroxilo y o por trimerización de poli-isocianatos. La espuma PUR se obtiene mediante la mezcla de productos químicos líquidos: isocianato polioliol y diferentes aditivos, como agente espumante se emplea monofluortriclorometano (R11). El PUR es una materia sintética duro-plástica fuertemente reticulada espacialmente y no fusible. En volumen la espuma contiene solamente una pequeña cantidad de materia sólida, con una densidad de 30 kg/m^3 solo el 3% del volumen es materia sólida. Esta estructura de huecos y paredes celulares presenta un cuerpo compacto que se resuelve por un entramado de retículas y uniones celulares, para lograr rigidez y seguridad al pandeo, con el mismo peso. Presenta una estructura de constitución direccional, con propiedades anisótropas. En la espuma rígida la forma celular se alarga en el sentido en que se ha realizado la espumación. Debido a ello la resistencia a la compresión en ese sentido es casi el doble, el modulo de elasticidad casi el triple y el alargamiento a la rotura casi la mitad de los valores que se logran en sentido perpendicular a la espumación. Su resistencia mecánica y su alta estabilidad dimensional hacen que sea aplicable a temperaturas de trabajo desde $-180 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $100 \text{ }^\circ\text{C}$ y $+130 \text{ }^\circ\text{C}$. Es apta como insonorizante o amortiguador de ruido. La densidad varía de 30 a 100 kg/m^3 no portantes y para usos bajo esfuerzos mecánicos se emplea densidades mayores a 100 kg/m^3 . La alta capacidad aislante de la espuma rígida se debe a la muy baja conductividad térmica el gas espumante monofluortriclorometano ocluido en el interior de sus células cerradas con $\lambda = 0,0079 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, alcanzando la espuma rígida una conductividad térmica $\lambda_{10^\circ} = 0,019 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. La absorción de agua por la espuma rígida se produce en función de las condiciones ambientales y puede tener lugar por humectación o por difusión y condensación de vapor, pero en la práctica no supera el 5 % en peso. Por lo cual la humedad de equilibrio depende del contenido de humedad y

temperatura ambiente y alcanza como máximo el 5% en peso. La estabilidad es superior a la mayoría de los materiales de construcción, es suficientemente resistente al envejecimiento e inerte bioquímicamente frente a hongos e insectos. La forma de provisión es de espuma de aplicación in-situ adaptándose a las superficies y formas, placas rígidas, placas recubiertas en capas por otros materiales madera, metales, plásticos. (19) (PUR-PIR 2008).

2.4.2 Poliestireno expandido (EPS): (termoplásticos)

Son materiales sintéticos de baja conductividad por la sustancia en si mejorada por la inclusión de gran cantidad de poros en la masa. Poco sensibles a la acción de la humedad, no soportan temperaturas elevadas. La resistencia mecánica es baja y la capacidad de aislacion térmica varía con la densidad entre $\lambda = 0,045$ para una densidad 10 kg/m^3 a $\lambda = 0,031$ para 30 kg/m^3 . El material en bruto se suministra en pequeños glóbulos que tienen un diámetro comprendido entre 0,4 y 6 mm, son blancos o transparentes y contienen un agente expansivo (generalmente butano). Cuando los gránulos se calientan mediante vapor, agua caliente o radiación de infrarrojos, el agente expansivo contenido en el granulo, se transforma en gas expandido, así el poliestireno reblandecido es un granulo de peso ligero compuesto de microscópicas células. Los gránulos expandidos luego se funden y se consolidan colocándolos en moldes apropiados e inyectando vapor. El calor del vapor reblandece el poliestireno y expande el gas del interior de las células de manera que el aire y el vapor condensado entre los gránulos es expulsado. Mediante la dilatación y reblandecimiento de los gránulos se producen presión mayor a 1 kg/cm^2 lo que motiva que funda y se consolide en una masa sólida uniforme, con estructura de unidades poliédricas de contacto mutuo. El tiempo de endurecido para un bloque es de aproximadamente 4 minutos, luego se deja enfriar el molde y se puede cortar según las dimensiones requeridas. Para producir poliestireno se usan recursos naturales no renovables, ya que es un plástico derivado del petróleo y su huella ecológica, una de las principales preocupaciones es la emisión de clorofluorocarbonos (CFC) a la atmósfera. Según la EPA en 1986

el poliestireno se clasificaba como el quinto producto químico cuya producción generaba más desechos peligrosos. (20) (TELGOPOR 2005).

2.4.3 Polietileno expandido:

Son membranas a base de polietileno expandido como espuma termoplástica, generando un material de poros incomunicados con burbujas herméticas, que le confieren comportamiento de aislante térmico eficiente. La estructura química del polietileno, es representada como $(CH_2 - CH_2)_n$. Se proveen en diferentes espesores que otorgan resistencia mecánica y con recubrimientos de aluminio como reflectantes de las ondas de calor y/o plásticas para protección de rayos UV, estas láminas son adheridas al sustrato de polietileno por medio de una tela plástica en proceso "coating" (soldadura por fusión). La capacidad aislante esta determinada por la densidad, el espesor y el tipo de recubrimiento, variando de 2,0mm a 10mm simples o con aluminio o plásticos anti-UV. El coeficiente de conductividad térmica es $\lambda = 0,036$ a $0,046$ W/m^{°C} y la acción como aislante de masa en 10mm posee valores de transmitancia térmica $K = 0,045$ W/m.^{°C} y. No son afectadas por la humedad o condensación, no permiten desarrollo microbiano ni hongos, son absolutamente impermeables, son livianas y fácil manejo en obra, no se rompen en el manipuleo, no se rasgan por clavos o golpes, y se proveen en rollos de muy bajo peso. Algunas marcas de nuestro mercado son MEXPOL, ALUMAIR. (21) (ALUMAIR 2007).

2.4.4 Lana de vidrio:

Son materiales a base de minerales de silicio, con conformación de fibras orientadas y entrelazadas que dan estabilidad, volumen y aislación. Soporta hasta 500 °C, con la fibra en sentido transversal tiene mayor resistencia al pasaje del calor. Son de composición estable, rigurosamente homogénea, inatacable por agentes químicos, excepto el ácido fluorhídrico. Posee una baja conductividad térmica $\lambda = 0,028$ kcal/m.h.^{°C}. Posee buen comportamiento respecto a la higroscopicidad dado que la fibra de vidrio no absorbe agua, lo que evita el paso de la humedad en el aislante. Si se humedece accidentalmente, seca con rapidez, pues el agua escurre por sus fibras de vidrio, conservándose íntegras todas sus propiedades. Su aumento

de peso por exposición, en una atmósfera húmeda es inapreciable. Es incombustible e imputrescible. Si bien el peso de la materia prima (vidrio) es elevado en su conformación de fibra presenta densidades de fabricación muy bajas y pesos muy reducidos por m² de material constructivo. (22) (ISOVER 2009).

2.4.5 Lana mineral:

Es un material artificial filamentoso, que se fabrica partiendo de rocas naturales, principalmente de origen adiabáticas como el basalto, que son fundidas a más de 1.600 °C en horno para retornarla a su estado inicial de lava, que es vertida en ruedas que giran a gran velocidad, y se transforma en fibras debido al efecto de la fuerza centrífuga. Tras la pulverización de un ligante orgánico, se reúnen las fibras para formar un colchón de lana primaria. Después de haber sido comprimido, pasa a la última fase de *curing* donde el producto adopta su forma final. Se obtienen filamentos muy delgados, de propiedades similares a las de la lana de vidrio. La composición de la lana de roca es de 98 % roca volcánica y 2 % ligante orgánico. El filamento es inerte, poco reactivo con el medio ambiente, no higroscópico e imputrescible. El material en si es poco aislante, pero la capacidad de asilamiento depende de los espacios que quedan entre las fibras, determinando su grado de empaquetamiento, señalado por su peso específico aparente. Su capacidad disminuye cuando aumenta su compacidad y si esta muy suelto puede influir desfavorablemente por la formación de corrientes convectoras en su conjunto. El coeficiente de conductividad térmica es $\lambda = 0,030$ a $0,041$ W/m°C. No es apta para soportar cargas, sufriendo compactamiento por aplastamiento y trepidación. Es apta para baja y media temperatura. En contacto con materiales metálicos tienden a corroerlos más rápidamente de lo que lo harían en el aire a causa de la aireación parcial. (23) (INTI 2005).

2.4.6 Corcho en planchas:

Proviene de la corteza del alcornoque triturado, puede usarse en planchas o disgregado. Constituido por celulosa y lignina, es eminentemente poroso, de cámaras de aire microscópicas y sin comunicación entre ellas. Los gránulos

se encuentran unidos entre si por la propia lignina bajo presión y calor, conformando los poros entre grano y grano. Tienen impregnación de sales y resinas que lo hacen más durable. El corcho es capaz de respirar y conserva su estabilidad de volumen tanto en frío como en calor, estas propiedades se deben a la estabilidad de forma de la suberina, resina natural, componente principal del corcho, y los conductos de equilibrio de presión en las paredes celulares. De su gran capacidad de aislamiento térmico, solo una mínima parte se la debe el corcho al aire ya que esta formado por células adyacentes en números de unos 12 millones por cm^3 . Las capas de celulosa que recubren las cámaras celulares están llena de aire, dos capas completamente endurecidas, más compactas e impermeables, y una capa media leñosa que le da a la estructura la resistencia necesaria. Los conductores de equilibrio de presiones dejan pasar simplemente el aire y la humedad en ellos contenida. Al comprimir el corcho el aire sale de los conductos, este hecho y la elasticidad de las células le dan al corcho la elasticidad permanente. Es combustible y fácilmente atacable por insectos o roedores. (24) (PIÑA 1992).

Pertenece al rango de materiales aislantes de baja temperatura. Se usa para relleno de cámaras de aire, su coeficiente de conductividad térmica depende del tamaño y la calidad de su granulometría y del grado de apretamiento que viene definido por su peso específico aparente, cuando más pesado, más compacto y menos aislante.

Estos materiales básicos presentan propiedades térmicas favorables, los que producidos bajo diferentes formas (material suelto en láminas o placas) y combinadas con elementos o materiales adicionales (papel, fieltros, superficies vinílicas) confieren resistencia mecánica y tecnológica de terminaciones o presentación del producto final.

2.5 Materiales aislantes termo-acústicos alternativos

Se podría realizar una diferenciación de los materiales aislantes entre aquellos tradicionales de uso común en el entorno constructivo del NEA, y los alternativos desarrollados en los últimos años según los conceptos de

sustentabilidad, optimización de los recursos naturales, reciclado de materiales considerados como desperdicios, análisis ciclo de vida (ACV), y minimización del impacto ambiental. Así, se analizó el uso de la madera en todas sus variedades, innovando en la utilización de los subproductos y residuos, empleando las virutas de madera como materia prima básica; el uso de adhesivos y aditivos químicos que minimizan el impacto en la salud humana a largo plazo. Estas nuevas tecnologías en madera, que se desarrollaron en algunos países de la Unión Europea durante la década de 1990-2000 y fueron expuestas como innovaciones tecnológicas en la Exposición Internacional de la madera en el año 2.000 de Hannover, siendo de uso actual y compitiendo en el mercado con la tecnología tradicional húmeda del mampuesto. (4) (JACOBO 2003).

2.5.1 La madera reconstituida como material aislante.

El desarrollo tecnológico de la madera se orienta a la optimización del material en todas sus etapas de procesamiento, empleando adhesivos adecuados se obtienen productos con eficiencia funcional, estructural, durabilidad y estética para una amplia gama de alternativas de usos, dentro de los cuales están los materiales aislantes termo-acústicos.

Dentro de este género existen materiales con diferentes configuraciones y materiales constituyentes, y proceso de producción y utilización.

La primera diferenciación es a) el tipo de materia prima utilizada, pudiendo ser del procesamiento de madera o utilización de residuos de otras operaciones e inclusive residuos agrícolas (cáscara maní, bagazo caña azúcar); la segunda consideración b) es el tipo de adhesivo utilizado: natural, sintético (resinas) o mineral (cemento), c) el tipo de procesos: en frío o con temperatura y presión, d) las configuraciones pueden ser placas, láminas, bloques, material disgregado de relleno o de inyección. (25) (IWAKIRI 2004)



Grafico 20 Tabla periódica de materiales a base de madera. (25) (IWAKIRI 2004)

2.5.2 Procesos de producción:

Se presentan los procesos de producción en base al tipo de adhesivo utilizado, sintéticos o minerales, con ejemplos concretos de cada una de estas variantes. Dentro de las placas de fibras y partículas interesan las de baja densidad, menor a $0,60 \text{ t/m}^3$, por ser una propiedad fundamental para la aislación térmica.

Placas de fibra y partículas con adhesivo sintético	Gutex (Alemania) Ceve panel mani (Argentina)
Material de inyección de partículas con adhesivo sintético	Gutex (Alemania)
Placas o bloques de fibra y partículas con adhesivo mineral	Heraklith (Alemania) Oko-domo (Alemania) Duripanel (Alemania)
Material de relleno de partículas con adhesivo mineral	Rosenheim (Alemania)

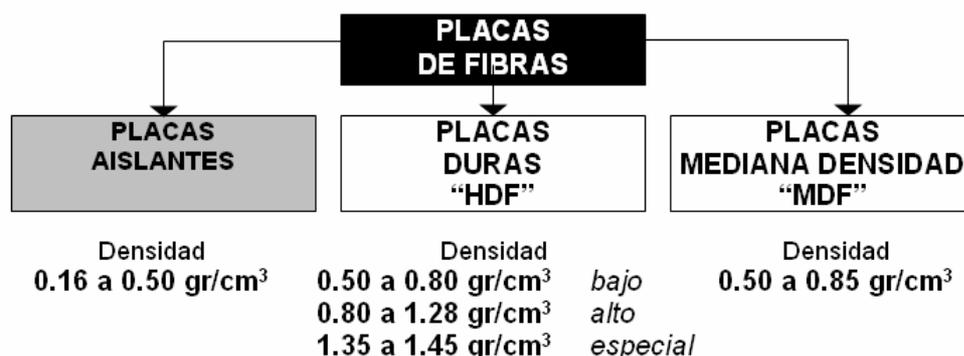
2.5.3 Placas de fibra y adhesivo sintético

Las placas de fibra de madera aislante se caracterizan por ser un material con estructura altamente homogénea e isotrópica, por la utilización de fibras de madera individualizadas bajo el principio de reconstitución de la matriz randómica u orientada, confiriéndole al producto mayor homogeneidad en

sus propiedades. En los tableros de fibras de madera, las fibras son unidas en seco mediante resinas sintéticas con un prensado en alta frecuencia, consiguiéndose de este modo un producto de alta calidad y con una homogeneidad total en todo su espesor. Los tableros aislantes no poseen resinas ni prensado. Las placas de fibra pueden ser destinadas a una amplia gama en lo que refiere a utilización, tales como: paneles de aislamiento térmico y acústico (de baja densidad SDF), paredes divisorias internas, revestimientos en general, muebles, puertas, marcos, etc. (MDF y HDF), variando su uso en función del peso específico de la placa. Las placas de fibra de madera son paneles producidos con fibras lignocelulósicas, cuya adhesión primaria se procesa a través del entrelazamiento de las fibras y por las propiedades adhesivas de algunos componentes de la madera, como la lignina. Los adhesivos y aditivos químicos pueden ser incorporados al material para mejorar las propiedades de las placas, en términos de resistencia mecánica, a la humedad, al fuego y a los agentes biodegradables. (25) (IWAKIRI 2004). Los diferentes tipos de placas de fibras pueden ser definidos tomando como base los siguientes criterios:

- *Tipos de materia prima*
- *Método de formación del colchón y placa*
- *Tipos de adhesivos*
- *Peso específico del producto*
- *Método de desfibramiento*
- *Tipo y local de utilización.*

En relación al peso específico, las placas de fibra pueden clasificarse de la siguiente forma:



La principal **materia prima** utilizada en escala industrial es la madera, procesada en forma de rollos con un diámetro superior a los 50 cm y también en forma de residuos de procesamiento como: cortezas, puntas y tablas, meolos, etc. Otros materiales con potencial de utilización son residuos agrícolas (trigo, algodón, caña de azúcar, mimbre, fibra de cáscara de coco, hojas de palmeras, residuos de papel). De acuerdo con los estudios realizados por la FAO (2005), las industrias de placas de fibras utilizan cerca del 50 % de madera en forma de rollos y 50 % de residuos de otras industrias de procesamiento de maderas.

Las especies de coníferas son las más indicadas en la producción de placas de fibras, debido al bajo peso específico de la madera y el mayor largo de las fibras "*traqueidas*" y la cantidad de fibras por unidad de volumen es menor (de 0,6 a 0,8 mill./cm³) favorecen las condiciones de formación de las placas. La madera de latifoliadas es empleada, principalmente, en la producción de placas aislantes y duras dado que sus elementos anatómicos "*vasos*" presentan menor longitud y mayor rigidez son más cortos, la pared celular es más espesa y resulta mayor cantidad de material ligno celulósico por unidad de volumen (de 2 a 3 mill./cm³).

Los **procesos de producción** se diferencian principalmente en términos de formación de las placas, que pueden ser húmedos, en las placas aislantes SDF, o secos para placas MDF o HDF. Las **placas aislantes SDF** son aquellas de menor **densidad** y varían entre **0,16 a 0,50 gr/cm³**, empleándose como aislante de paramentos. Las placas aislantes se clasifican como **S-0-S**, ya que presentan las dos caras con marca de tela, debido a que se realiza por proceso húmedo y sin el prensado para la consolidación del material. Las etapas del proceso de producción se presentan en la figura.

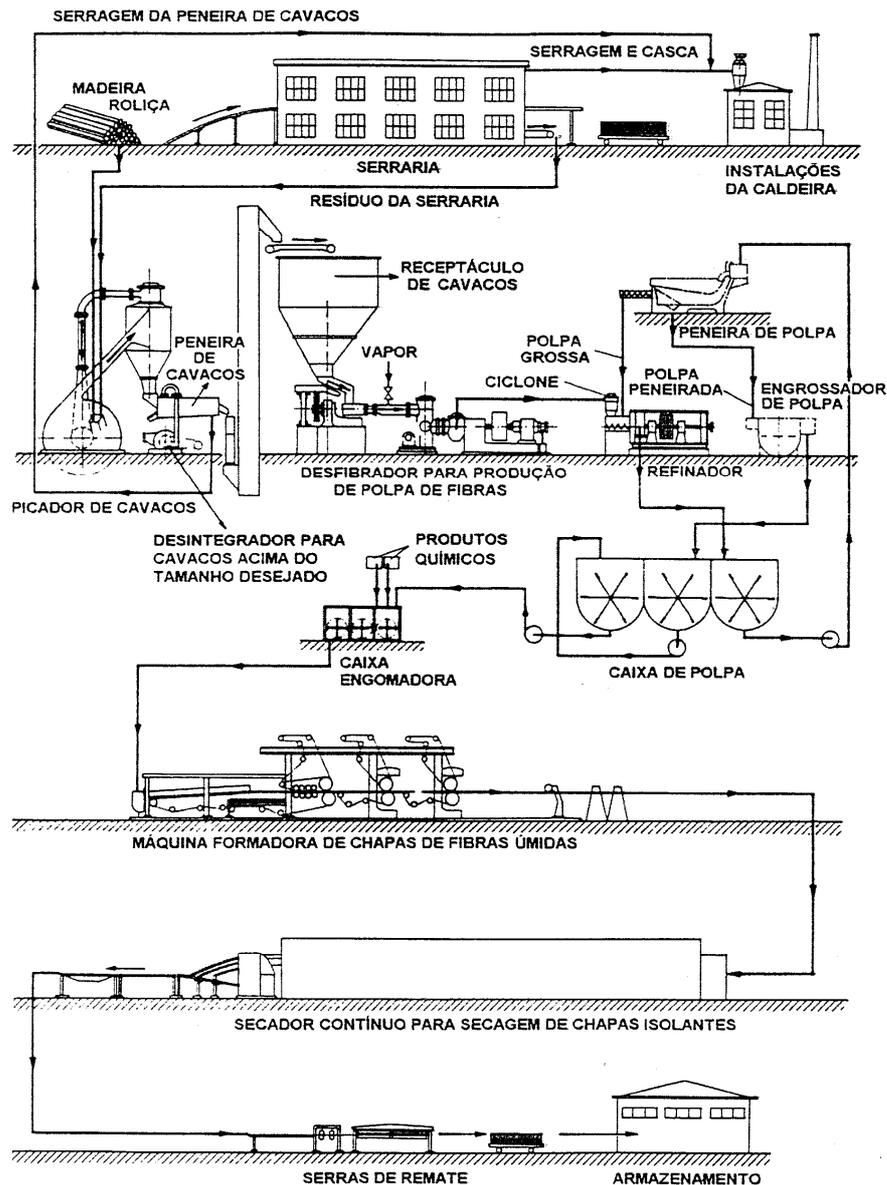


Grafico 21 Esquemas de producción de placas aislantes. (25) (IWAKIRI 2004)

El proceso se inicia con el **desfibramiento** de la madera, a través de varios métodos, siendo el termo-mecánico el más utilizado. Para preparar la masa de fibras el material se somete a un proceso de **lavado** y **refinamiento**, las fibras individualizadas, son procesadas en un refinador de discos. La masa de fibras es conducida hacia tanques, donde se realiza el control de la **consistencia** en la proporción adecuada de fibras-agua y siguen hacia los recipientes para la adición de productos **químicos** como parafina, retardantes de fuego y productos preservantes contra agentes biodegradantes. La formación del **colchón** es un proceso de deposición de la suspensión de fibras-agua sobre una tela formadora, el cual puede ser

realizado a través de tres métodos: a) *Caja formadora*: método discontinuo, donde una cantidad predeterminada de material para una placa es depositada sobre una caja telada con sistema de vacío y mediante una leve presión para la remoción del exceso de agua y compactación del colchón. b) *Fourdrinier*: método continuo y el más empleado, similar a máquina formadora de papel. El material es continuamente depositado sobre una tela móvil con caja de succión a aire para la remoción del exceso de agua. La velocidad de la cinta transportadora es de 2,5 a 15 m/minuto, variable en función del espesor y del peso específico de la placa. c) *Cilindro*: método continuo, consiste en un tambor filtrante con tela, el cual gira dentro de un recipiente manteniendo la suspensión de fibras-agua para la retirada y la transferencia del material sobre una cinta. El sistema de aplicación de vacío y presión ejercida por los cilindros giratorios elimina el exceso de agua del material. La función del agua en la suspensión de las fibras es la de auxiliar la manipulación del material y asegurar la homogeneidad de la deposición de las fibras, uniformidad en el espesor y el peso específico de la placa. La característica de entrelazamiento de las fibras y el posicionamiento horizontal de las fibras, es un factor importante para conferir a las placas propiedades de resistencia adecuadas y uniformes. Las fibras depositadas en posiciones inclinadas o verticales, resultarán en placas con mayor textura y asperezas en la superficie, mayor absorción de agua y peores condiciones de acabado superficial. El **secado** de placas es la fase de consolidación de la placa de fibras aislantes, que por ser formado por proceso húmedo, presenta un alto grado de humedad, normalmente entre el 50 al 80%, y el secado debe realizarse rápidamente hasta conseguir una humedad final en torno al 3 %. Los tipos de secadores son: a) *Secador tipo túnel*: las placas son apiladas en carros transportadores, que son conducidos a una determinada velocidad a través de la cámara de secado; b) *Secador con placas de calentamiento a vapor*: el secado se realiza a través del contacto de las placas calentadas y las placas fabricadas; c) *Secador continuo de rollos*: es el proceso más utilizado y consiste en cámaras de 45 a 90 m de largo, 3,6 m de ancho y hasta 8 líneas de alimentación. Las placas son conducidas a través de rollos a una determinada velocidad, en función de su espesor y del peso específico, pasan por varias secciones de secado a

diferentes temperaturas, siendo ésta mayor en la entrada 230 °C que en la salida 177 °C. El **acabado de placas** involucran las etapas de escuadramiento, ajuste del ancho y largo de las placas en una sierra circular escuadradora; tratamiento de las placas: aplicación de productos químicos como retardantes de fuego y de protección contra ataques de agentes biodegradables; revestimiento: aplicación de materiales de revestimiento superficial.

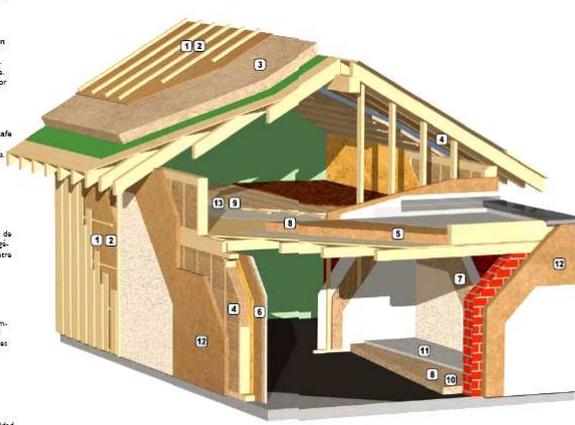
Tabla 13 Tiempo de secado de las placas de fibras aislantes. (25) (IWAKIRI 2004)

ESPEJOR DE LA PLACA (mm)	VELOCIDAD (m/min)	TIEMPO DE SECADO (hs)	PESO ESPECÍFICO DE LA PLACA (gr/cm ³)
3,2	18,0	1,5	0,268
12,7	6,5	4,0	0,260
25,4	5,0	5,0	0,245

2.5.4 Las placas flexibles y rígidas de fibra de madera sin adhesivo

Como ejemplo de marca comercial se presenta **GUTEX Dammplatten Aus Holz**, se fabrica en Alemania bajo una gran variedad de tableros rígidos o flexibles de conformación monocapa de hasta 240 mm de espesor. Su uso es como material de relleno en capas sucesivas dentro estructura interna de las paredes, techos, entrepisos, con función de aislante térmico, acústico y gran permeabilidad a la difusión de vapor, controlando la humedad ambiental, mejorando la eficiencia energética y confort ambiental. Las placas rígidas y flexibles de fibras se ejecutan con el procesado de restos de madera de abeto blanco y rojo obtenidos de la silvicultura sostenible de la selva negra (Alemania); se fabrica en sistema monocapa; como adhesivo utiliza 4 % de resina de poliuretano, 5 % de látex para incrementar la resistencia y 2 % de parafina para tableros hidrofobicos, 3 % de adhesivo vinílico blanco para uniones de diferentes capas; los aditivos que se utilizan como estabilizadores son orgánicos por lo que pueden ser devueltos a la naturaleza de manera limpia; el consumo de energía de secado es 40 % menos que los tableros convencionales. (26) (GUTEX 2008).

**Correctamente aplicados,
nuestros productos desarrollan
al máximo sus facultades.**



1 GUTEX Multiplex-top
El tablero bajo-capa impermeable de densidad homogénea, también válido para interiores.
Grosor: 18, 22, 28 + 35 mm
Formato: 75 x 250 cm

2 GUTEX Ultratharm
El tablero bajo-capa impermeable con gran capacidad aislante y densidad homogénea de capa única.
Grosor: 50, 60, 80, 100 + 120 mm
Formato: 60 x 178 cm

3 GUTEX Thermosafe-homogen
El tablero universal aislante para cubierta, pared y forjado de densidad homogénea y de una sola capa. Excelente protección frente al calor estival y frío invernal.
Grosor: 40 - 200 mm
Formato: 62,5 x 120 cm

alternativo, GUTEX Thermosafe
El tablero universal aislante para cubierta, pared y forjado multicapa. Excelente protección frente al calor estival y frío invernal.
Grosor: 20 - 100 mm
Formato: 62,5 x 120 cm

4 GUTEX Thermoflex
El tablero aislante flexible de fibra de madera con una apariencia homogénea única para el aislamiento entre cables y enterrados.
Grosor: 40 - 200 mm
Formato: 57 x 122 cm

5 GUTEX Thermoflat
El tablero aislante resistente a compresión con apariencia y densidad homogénea única para soluciones de cubierta plana.
Grosor: 100 - 160 mm
Formato: 60 x 123 cm

6 GUTEX Thermoinsulat
El tablero aislante resistente a compresión con apariencia y densidad homogénea para el aislamiento de planos de techos.
Grosor: 50 mm
Formato: 60 x 125 cm

7 GUTEX Thermoroom
El tablero aislante especial con apariencia y densidad homogénea para aislamientos posteriores de la pared exterior en viviendas desde el interior.
Grosor: 20 - 80 mm
Formato: 50 x 120 cm

8 GUTEX Thermosafe-wid
El tablero aislante de densidad homogénea de capa única, resistente a compresión para el aislamiento en suelos y paredes. Apto para utilizar debajo de solado húmedo o seco.
Grosor: 20 - 160 mm
Formato: 60 x 125 cm

9 GUTEX Thermosafe-wf
Con su rastrel de colocación, el soporte ideal para todo tipo de techos flotantes. Aísla térmicamente y disminuye considerablemente el ruido de impacto.
Grosor: 41/40 mm
Formato: 38 x 119 cm

10 GUTEX Thermofloor
El tablero aislante acústico para disminuir el ruido de impacto. Apto para utilizar debajo de solado húmedo o seco.
Grosor: 21/20, 31/30 mm
Formato: 60 x 120 cm

11 GUTEX Happy Step
La base responsable para todo tipo de pavimentos de calidad. Su colocación es sumamente sencilla.
Grosor: 4 + 6 mm
Formato: 59 x 88 cm

12 GUTEX Thermovall-gf
El tablero ideal como soporte de revoco con apariencia y densidad homogénea para el sistema integral de aislamiento de fachadas GUTEX.
Grosor: 20 - 160 mm
Formato: 59 x 125 cm, 60 x 130 cm, 60 x 83 cm, 125 x 260/280 cm

GUTEX Standard-in
El tablero aislante con múltiples aplicaciones posibles en interiores.
Grosor: 6 - 18 mm
Formato: 100 x 250 cm

Foto 3 Placas flexibles aislantes. (26) (GUTEX 2008)

Para el clima del NEA estos tableros aislantes poseen gran eficiencia frente al calor estival, gracias a su elevada inercia térmica (capacidad calorífica específica, $c = 2100 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$) esto se traduce en un desfase enorme en la transmisión de calor desde el exterior hacia el interior. Estos tableros aislantes protegen, por su reducido coeficiente de transmisión térmica, ($\lambda D = 0,037 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$) evitan la entrada y ganancia de calor al interior de la vivienda en verano. Con espesores de 200 mm permiten alcanzar valores "k" de 0,20 a $0,14 \text{ W/m}^2\text{C}$ más que suficiente para alcanzar la impermeabilidad térmica y evitar los puentes térmicos. (Ejemplo: utilizando *Gutex Thermosafe-homogen 180 mm* la difusividad térmica, al exterior con 35°C día (14hs) y 14°C noche (03hs) con una fluctuación de 21°C ; mientras que al interior día 20°C (14hs) y noche 23°C (0hs) con una fluctuación de 3°C , presenta un desfase de tiempo de temperaturas máximas de 10 horas, posee un factor difusividad térmica de $y = 7$. Los tableros aislantes de fibra de madera otorgan una resistencia a la difusión de vapor ($y = 3$) y regulan la humedad del ambiente por su capacidad de absorberla hasta un 20 % de su peso en agua y expelerla cuando es preciso, sin perder su capacidad aislante; no generan condensación intersticial y evitan la formación de hongos. (Ejemplo: en panel de densidad 110 kg/m^3 y espesor de 20 cm y contenido de humedad de equilibrio del 10 % puede absorber 2,2 lts de agua por metro

cuadrado sin perder capacidad aislante). Tanto por su estructura de poro abierto como por su densidad los tableros cumplen con exigencias actuales de aislamiento acústico, tanto al ruido de impacto como aéreo posee un $R_w = 57$ dB (espesores = 0,06 a 0,24 m). La protección al fuego es posible con los tableros aislantes de fibra de madera con varias soluciones constructivas ensayadas para cubiertas y paredes desde F = 30-B hasta F = 90-B.

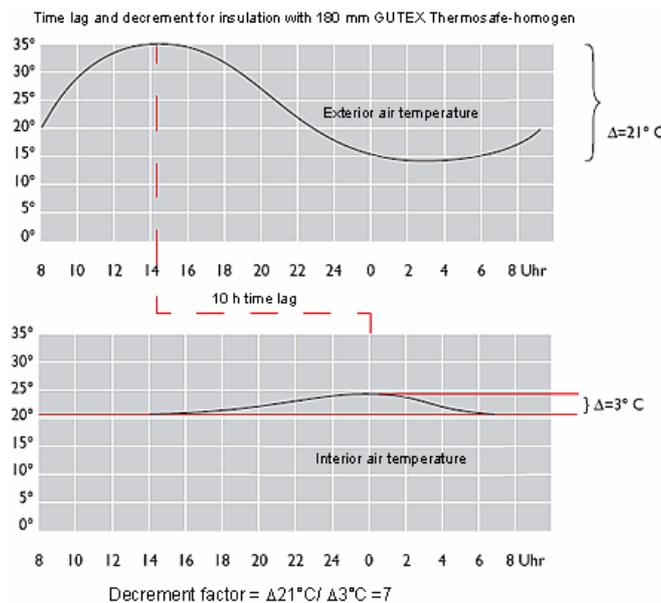
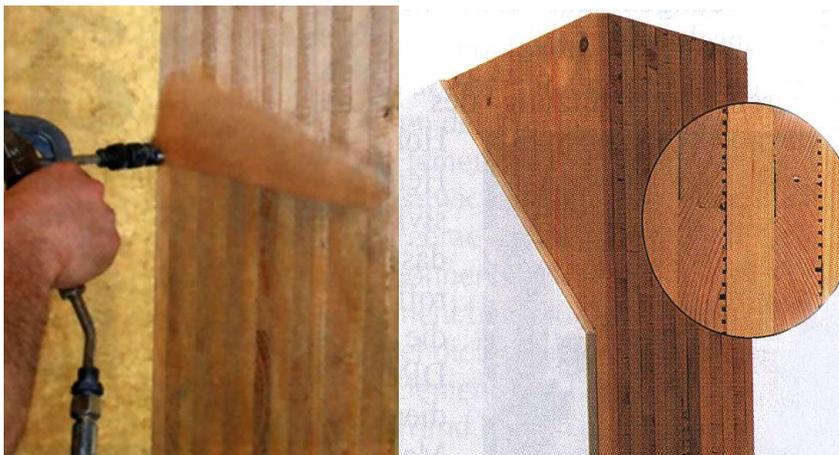


Grafico 22 Difusividad térmica de placas aislantes flexibles. (26) (GUTEX 2008)

2.5.5 Morteros de aserrín-adhesivo

Otra de las innovaciones tecnológicas dentro del campo de la construcción ecológica es el desarrollo de morteros especiales, a base de elementos naturales, “cera, aceite de girasol y aserrín de madera”, que es inyectado manualmente tanto en obra como en fábrica. Esta mezcla de revestimiento permite alcanzar un valor promedio de transmitancia térmica $k = 0,15$ $\text{W/m}^2\text{C}$ con un espesor total de $e = 30$ cm del panel de madera laminada (coef. conductividad térmica $\lambda = 0,045$), alcanzando así una resistencia térmica perimetral de 26 horas. Además, se alcanza un valor de resistencia al fuego de 90 minutos, F-90. (4) (JACOBO 2003)



Construcciones en panel laminado de placas flexibles según sistema "LenoTec®", con revestimientos incorporados de revoques ecológicos a base de cera, aceite de girasol y aserrín de madera.

Fuente: Revista "HOLZBAU-MAGAZIN", 2004

Foto 4 Morteros y revoques de aserrín-virutas. (4) (JACOBO 2003)

2.5.6 Bloques y Placas de partículas o fibra con adhesivo mineral

La tecnología de producción de placas minerales comenzó a ser desarrollada a inicios del pasado siglo. En 1914, en Austria, surgió el primer producto en el mercado con la denominación de "heraklith", que era un compuesto de partículas minerales y carbonato de magnesio como elemento aglutinante. En Alemania a partir de 1928, el cemento comenzó a ser utilizado en escala industrial como aglutinante por tener mayor disponibilidad, costos favorables y mejores propiedades que los paneles producidos. El cemento mezclado con partículas de madera de tipo "excelsior" producía placas de baja masa específica destinadas al aislamiento térmico y acústico en la construcción de complejos habitaciones. La mayoría de las unidades industriales existentes en los Estados Unidos iniciaron su producción en placas "excelsior" en 1940, a partir de 1960 las partículas de madera del tipo "flake" pasaron a ser utilizadas industrialmente por la "Elmendorf" en la producción de placas de madera-cemento. En la década de 1960 se desarrollaron las placas de fibrocemento con asbesto-cemento los cuales repercutieron negativamente por generar problemas de cáncer a largo plazo; la alternativa ecológica y saludable fue el desarrollo en década de 1980 en Alemania de las placas de fibras de celulosa de madera y cemento conocidas actualmente en Argentina como Superboard de la empresa Eternit.

Actualmente las placas de madera-cemento son utilizadas en gran escala en Europa, Japón, y Estados Unidos, principalmente debido a las propiedades aislantes y mayor resistencia al fuego y por estar relacionadas a la tradición cultural de estos países. Alemania es un gran productor de placas de madera-cemento, desarrollador tecnológico y también como fabricante de equipamientos para su producción; a través de sus marcas conocidas como "Vison".

Un requisito fundamental para la promoción de un mercado de placas de madera-cemento es el desarrollo de sistemas constructivos modulares adecuados para su utilización.

Definición: Las placas minerales son productos fabricados a partir de partículas de madera con la mezcla de algún aglutinante mineral y aditivos químicos, consolidadas a través del prensado en frío.

Las placas minerales presentan algunas ventajas que hacen de este producto un material atractivo para la construcción civil:

Los productos son virtualmente incombustibles.

Alta resistencia a la humedad y cambios climáticos cíclicos.

Alta resistencia a los ataques de agentes biodegradados.

Alto índice de aislamiento térmico y acústico.

Posibilidad de ser usados con herramientas comunes.

Posibilidad de modelado de superficies de las placas y aplicación de materiales de revestimiento.

Aplicación como paredes externas, forro, aislamiento, etc.

Las materias primas para producción de las placas minerales son: la madera (partículas, filamento o polvo); los aglutinantes minerales (cemento magnesita, gipsita-yeso, oxido-sulfato magnesio); los aditivos químicos (agentes estabilizadores y acelerantes de fragüe); y el agua (para hidratar la mezcla y activar al cemento) (25) (IWAKIRI 2004)

La madera: Las características físicas y químicas de la madera son factores que influyen en la calidad de las placas minerales.

a) Las características físicas: La densidad de la madera debe ser de baja a media para asegurar una relación de compactación de las placas dentro de los niveles adecuados para densificar y consolidar el material. Las

dimensiones de las partículas: ejercen efectos importantes sobre las propiedades de las placas, principalmente en relación a la flexión estática, el control de la geometría de las partículas se realiza a través de los equipamientos de generación de partículas, como el picador, molino de martillo y clasificador de partículas. Las partículas pueden ser generadas en la forma de “flake”, “excelsior” y “partículas finas”, siendo estas utilizadas en las capas externas de la placa. Las dimensiones de las partículas para la producción de placas de madera-cemento deben estar en la faja de 2 a 20 mm de longitud, 0,2 a 2,5 mm de ancho y 0,1 a 0,9 mm de espesor, (28) (MOSLESMI 1977). Las partículas de aserrín pueden ser utilizadas en pequeñas cantidades para reducir los costos sin interferir significativamente sobre las propiedades de las placas. El tenor de humedad: no hay necesidad de secar de las partículas a nivel muy bajo, dado que el proceso de producción adiciona agua en la mezcla de los materiales, las partículas deben ser secadas hasta el tenor de humedad en la faja de 8 a 15%. Los principales tipos de placas minerales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14 Morfología de partículas de madera según tipos de placas. (Tabla elaborada por autor en base a (25) (IWAKIRI 2004)

Características	Placas “Excelsior”:	Placas “Flake”:	“Bloques de construcción”:
Peso específico	240 – 420 kg/m ³ .	950 – 1300 kg/m ³	600 – 700 Kg/m ³ .
Partículas	largo de 500mm ancho 5mm espesor 0,5 mm	largo 2,0 a 20,0mm, ancho 0,2 a 2,5mm espesor 0,1a 0,9mm	largo 10 a 45mm ancho 3 a 5,5mm espesor 0,5a 1,5mm
Usos:	Aislamiento térmico y acústico (forro, paredes internas)	construcción civil (paredes, pisos, forros)	Paredes de casas y edificios

Las placas “Flake” pueden tener tres tipos de fibras: Tipo “A”: partículas con disposición aleatoria en 1 a 3 capas. Tipo “B”: partículas con disposición en 3 capas, siendo las externas orientadas y las internas aleatorias. Tipo “C”: Superficie externa texturizada con material a base de cemento e hinchamiento inorgánico. Los bloques de construcción tienen las siguientes dimensiones: 0,2 x 0,3 x 1,21 m, Volumen: 0,0726 m³ y un peso de peso 45,5 kg.

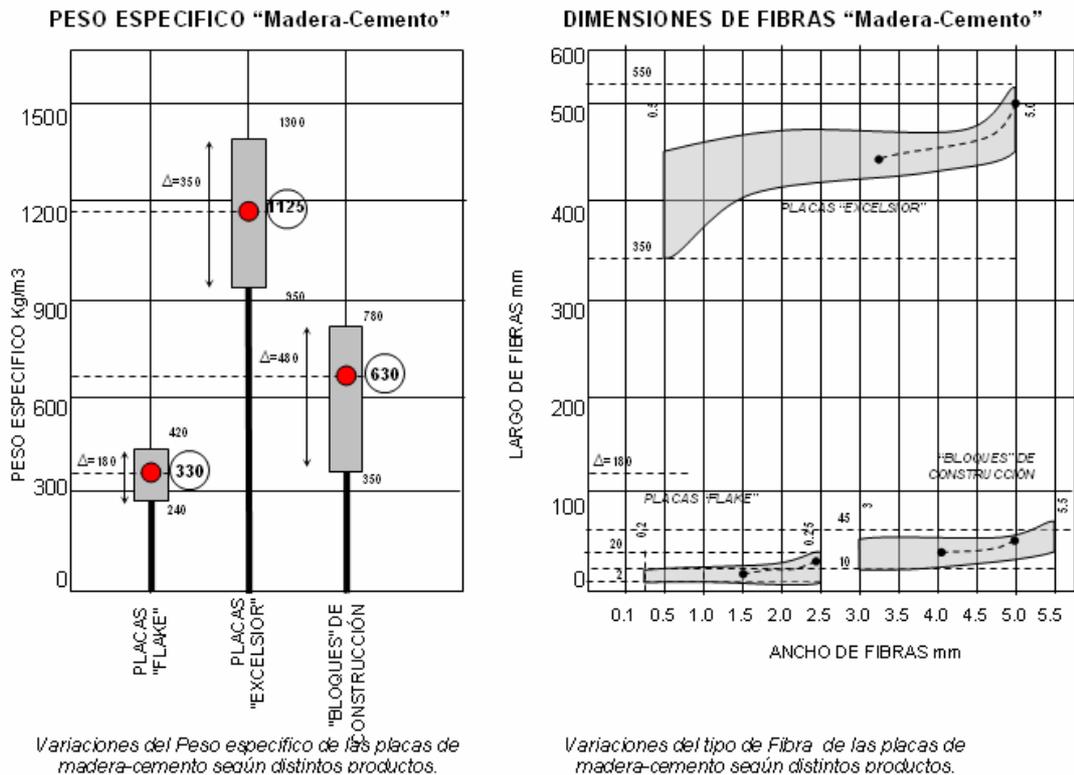


Grafico 23 Morfología de partículas de madera según tipos de placas. (Gráfico elaborado por autor en base a datos de (25) (IWAKIRI 2004)

b) Las características químicas: Los componentes químicos presentes en la madera y que son perjudiciales para la cura del cemento son: polioses (foliosos); almidón, taninos y azúcares simples (manosa, galactosa, glucosa, xilosa, etc.); carbohidratos solubles en agua. La cantidad de componentes varía del cerne al alborno, leño inicial al leño tardío y la época de corte de los árboles. La cantidad máxima de algunos extractivos como inhibidores de la cura del cemento son: 1 % de azúcares, 2 % de taninos y 3 % de aceites o aceites. Las maderas de latifoliadas presentan mayores limitaciones para la cura del cemento, por el alto tenor de polioses en alborno y de fenoles en el cerne. La aparición de la mancha azul en la madera puede tener efecto positivo en la cura del cemento debido al consumo de componentes solubles perjudiciales por los hongos manchadores, (28) (MOSLESMI 1977).

c) El tratamiento de las partículas: se enfoca a la extracción de componentes químicos perjudiciales para la cura del cemento, de esta forma viabilizar la utilización de éstas para la producción de placas de madera-cemento. La temperatura de hidratación del cemento disminuye con la presencia de

químicos en la madera, variando de acuerdo con las especies, lo que puede ser controlada a través del índice de inhibición. (28) (MOSLESMI 1977).

Tabla 15 Tratamientos de partículas en base al tiempo y temperatura de hidratación del cemento, en mezcla con madera de "pinus" y "larch". (28) (MOSLESMI 1977).

ESPECIE	TRATAMIENTOS	TIEMPO (hs.)	TEST DUNCAN	TEMPERATURA (°C)	TEST DUNCAN
"PINUS"	Sin Tratamiento	12.00	a	74.50	B
	Agua caliente	11.63	a	58.50	A
	NaOH (1%)	11.88	a	68.50	A
"LARCH"	Sin Tratamiento	24.00	c	25.75	B
	Agua caliente	10.38	a	66.50	A
	NaOH (1%)	11.25	b	63.25	A

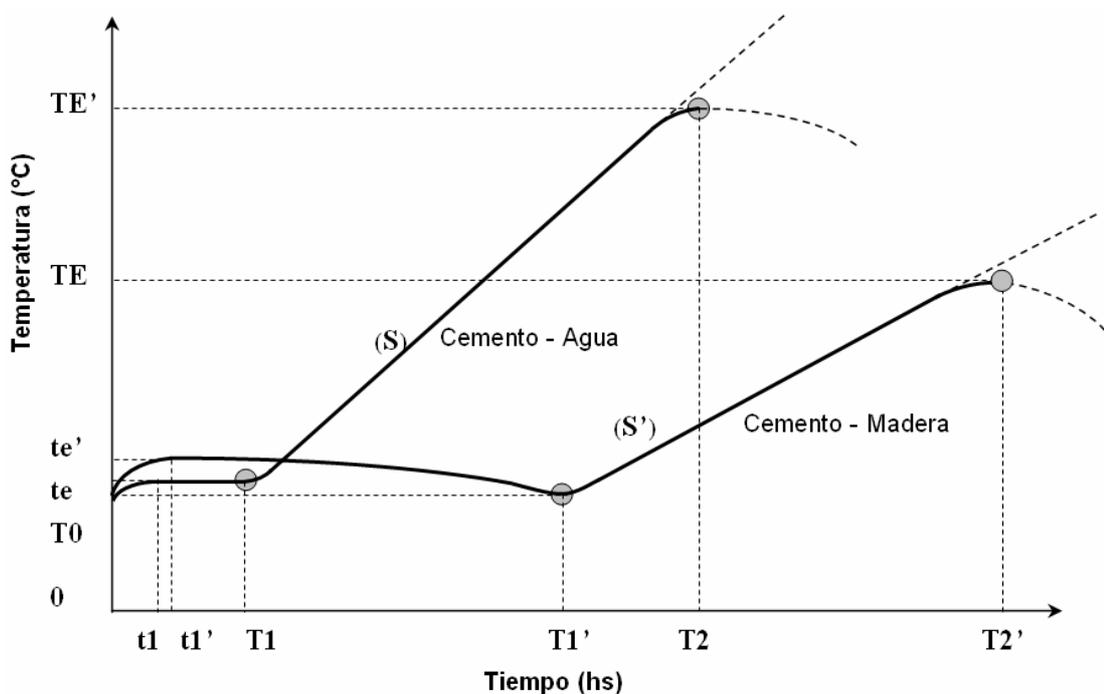


Gráfico 24 Curva de hidratación sistema Madera-Cemento. (28) (MOSLEMI 1977).

d) Métodos empleados en los tratamientos de las partículas:

Tratamiento en agua fría: inmersión de las partículas en agua fría por un periodo de 12 a 24 hs.

Tratamiento en caliente: inmersión de las partículas en agua caliente a temperatura de 80 °C por 6 horas con lavado cada 2 horas y posterior secado de partículas.

Tratamiento con hidróxido de sodio: inmersión de partículas en solución diluida (1 %) de NaOH por un periodo de 24 horas y posterior drenaje y lavado de las partículas.

Tratamiento biológico: exposición de las partículas al ataque de hongos manchadores (mancha azul) por un periodo de 4 semanas, los cuales se alimentan de los azúcares, sustancias fenólicas y algunas otros extractivos solubles en agua caliente, (29) (MALONEY 1977).

Los aglutinantes minerales: los principales tipos son:

El **cemento Pórtland** es el más utilizado, cerca del 80%, debido a su disponibilidad, mayor rapidez de curado y mejor calidad de placas producidas; las placas tipo “flake” comercialmente denominado “Duripanel” de Eternit en Alemania.

La **magnesita o oxisulfato de magnesio**, llamado de cemento “sorell” es utilizado para producción de placas tipo “excelsior” y denominado comercialmente de “Heraklith”.

La **gipsita (yeso)**, es utilizada en el relleno de palcas revestidos por papel “kraft” en las caras destinadas para aplicaciones interiores. Estas placas presentan baja resistencia a variaciones climáticas. (Durlock, Knauff)

El cemento o compuesto básicamente de 4 elementos químicos: silicio, aluminio, hierro y calcio. La cura del cemento ocurre por el procesos de hidratación y de la relaciones entre sus componentes constitutivos, con una consecuente liberación de calor al sistema. Las etapas de este proceso envuelven a enfriamiento y cristalización del cemento con un cerramiento de los espacios entre las partículas de madera, cuyos cristales formados forman una ligazón entre partículas. En la producción de placas de madera-cemento es deseable que las relaciones de hidratación del cemento ocurran con una mayor liberación posible del calor para que la cura sea más rápida. Los cementos con alto tenor de silicato tricalcico y aluminato férrico, son los más adecuados para la producción de palcas de madera-cemento. La proporción ideal de cemento-madera en la mezcla para la producción de placas puede

variar en la faja de 1:2,5 a 1:3,0. Estudios realizados por (28) (MOSLESMI 1974) demuestran un aumento gradual en el modulo de elasticidad de las placas con un aumento en la proporción madera-cemento de 1:1,5 a 1:2,0 - 1:2,5 y 1:3,0. Para el modulo de ruptura el mejor resultado fue obtenido para proporciones de 1:2,0 para proporciones encima de 1:3,0 resulta una reducción de la resistencia de las placas.

Los aditivos químicos: Los aditivos químicos son denominados aceleradores de cura o fragüe, los mineralizantes que son adicionados en la mezcla con la finalidad de acelerar la reacciones de hidratación y de cura del cemento. Los productos más utilizados como aceleradores de fragüe o cura son: *clorato de calcio, clorato férrico, clorato de magnesio, sulfato férrico, sulfato de aluminio y silicato de sodio*. El *hidróxido de sodio* es utilizado también en el pre-tratamiento de partículas para la remoción de extractivos de madera perjudiciales en la cura del cemento. Los aceleradores de cura son utilizados en una proporción que varia de 1 a 5 % en base a peso seco del cemento. Cuando son empleados en cantidades elevadas pueden acelerar excesivamente la cura del cemento y perjudicar la resistencia mecánica de las placas.

El agua: Es necesaria una determinada cantidad de agua para la hidratación del cemento, disolver los aditivos químicos y asegurar una mezcla uniforme entre las partículas de madera y cemento. Para la hidratación completa del cemento Pórtland es necesario una cantidad mínima de agua en torno a 25%, 1:4 (basada en peso seco del cemento), (29) (MALONEY 1977), las proporciones ideal de agua-cemento presenta la siguiente relación:

- Decrece con el aumento en la masa específica de las placas.
- Aumenta con la reducción de las dimensiones de las partículas.
- Decrece con el aumento en la masa específica de la madera.

Experiencias en laboratorios para la producción de placas de alta masa específica con maderas de "spruce" con masa específica 0,43 gr/cm³ fue utilizada a razón agua-cemento de 40 % con resultados satisfactorios.

Procesos de producción de placas minerales

Las placas “excelsior”: Las unidades industriales pueden operar a través de procesos convencionales semi o totalmente automatizados. La producción de placas “excelsior” por el proceso convencional se describió a continuación. (25) (IWAKIRI 2004).

Los troncos con diámetros máximo de Ø 50 cm máximo son descortezados y transformadas en partículas (astillas de madera) en los picadores especiales con largos de 50 cm y anchos de 4 a 5 cm y espesores de 3 mm. Las partículas pasan por la unidad de inmersión en agua, son retiradas y prensadas a través de rollos de goma para el drenaje del agua. Las partículas húmedas, la *magnesita* (cemento sorell) y los aditivos son colocados en una mezcladora para formar una masa homogénea. Los materiales se depositan sobre moldes en movimiento a través de un sistema de rodillos transportadores. Los moldes con materiales son apilados entre dos platos, prensados, grampeados, retirados de la prensa y mantenidas por 24 horas para el endurecimiento. Después del endureciendo las grampas son removidas y las placas son apiladas en posición vertical con separaciones entre si para la circulación de aire para maduración.

Como la forma de las partículas es estrecha, larga y fina, permiten el entrelazamiento entre las mismas confiriendo resistencia adecuada a la placa, posibilitándose consolidación a una baja masa específica y menor razón de compactación. Las placas son producidas en masa específica de 0,24 a 0,42 gr/cm³ y son materiales con buen aislamiento térmico y acústico, destinadas para aplicaciones en techos y paredes de casas.

Las placas *heraklith* son producidas con madera reprocesada convertidas en lana de madera y unidas por magnesita mineral de adhesión, la cual penetra en la madera prolongando su durabilidad, es un subproducto de la minería, contiene un 70 % del volumen en aire. (30) Holzbau 2004.



Ladrillos de virutas y fibra de madera y paja unidos con **silicato de potasio**. La producción de estos ladrillos debido a que el silicato de potasio produce cristalización de la masa no es necesario el secado final, además no es necesario incorporar altas temperaturas, por lo que se consume menos energía en la etapa de producción. El silicato de potasio es resistente a insectos y hongos por lo que las fibras son protegidas. Se pueden producir ladrillos de 2 a 20 cm de espesor. Es un muy buen aislante térmico. Los residuos de su uso en obra son reutilizables como combustible natural para calderas o como natural de agricultura. Fuente *Holzbau-Magazin* 2004

Paneles de virutas y fibras de madera blanda con **carbonato de magnesio** como medio de unión, se desarrollan placas con un 70% de aire incorporado en su masa, por lo que los convierte en excelentes aislantes acústicos y térmicos. El carbonato de magnesio permite que sean ignífugas, cuya versión comercial se denomina "HERAKLITH-M@" y se encuentra en el mercado de la construcción desde el año 2002 en toda la Unión Europea. Su utilización es para terminaciones de cielorrasos y paramentos interiores en paneles prefabricados, es totalmente permeable al vapor de agua. Fuente *Holzbau-Magazin* 2004

Foto 5 Placas aislantes rígidas madera-carbonato de magnesio, HERAKLITH-M. (30) Holzbau 2004

Las Placas "Flake": La producción de placas de madera-cemento del tipo "Flake" a través de un proceso "Bisón" es presentada esquemáticamente en la grafico siguiente y descriptas a continuación (25) (IWAKIRI 2004):

Los troncos son almacenados en playa de acopio por un período aproximado de 2 meses para equilibrio de la humedad y posibilitar a los hongos manchadores el consumo de los componentes químicos inhibidores de la cura del cemento. Periodo mas prolongados de exposición puede favorecer al desarrollo de hongos que pudren la madera. Los troncos son descortezados y sometidos en los picadores del tipo tambor o a discos para la generación de virutas con largos de 10 a 30 cm y espesor de 0,2 a 0,3 mm. Un porcentaje de virutas se reducen sus dimensiones en el molino de martillo para ser utilizadas en las capas externas de las placas. Las virutas son clasificadas en equipamientos con telas metálicas siendo que las virutas

menores son destinadas para las capas externas y las mayores para las capas internas de la placa. Las partículas de madera, cemento, aditivos y agua, son mezcladas en proporciones pre-establecidas para la formación de las placas, según el proceso “Bisón” la formulación para la producción de 1 m³ de placas equivalente:

<i>madera</i>	<i>cemento</i>	<i>aditivos químicos</i>	<i>agua</i>
<i>280 kg</i>	<i>770 kg</i>	<i>50 kg</i>	<i>400 kg o lts</i>

La formación de colchón a través de la estación formadora permite la distribución del material relativamente pesado y húmedo, el método de formación es continuo y esta dotado de un sistema de encuadramiento y pesaje del material para controlar la masa específica. Para el prensado las placas son grampeadas a una presión encima de 25 kg/cm², pasan a la cámara de endurecimiento a temperatura de 60 °C por un periodo de 6 a 7 horas, después este período en el cual ocurre una cura primaria las placas ya están endurecidas con la posibilidad de transportar y manejarlas. Para la cura final se retiran las grampas, las placas son apiladas y sometidas al secado de maduración por un periodo de 18 días antes de obtener las propiedades finales. Para la aclimatación de las placas estas son sometidas a las cámaras de climatización antes obtener la humedad de equilibrio final. Las terminaciones comprenden hasta operaciones de escuadramiento y lijado para ajustes de anchos, largos y espesores dentro de los parámetros comerciales. Las terminaciones de los bordes (encastres) de las placas son realizadas para facilitar el montaje de los paneles de acuerdo con los sistemas constructivos.

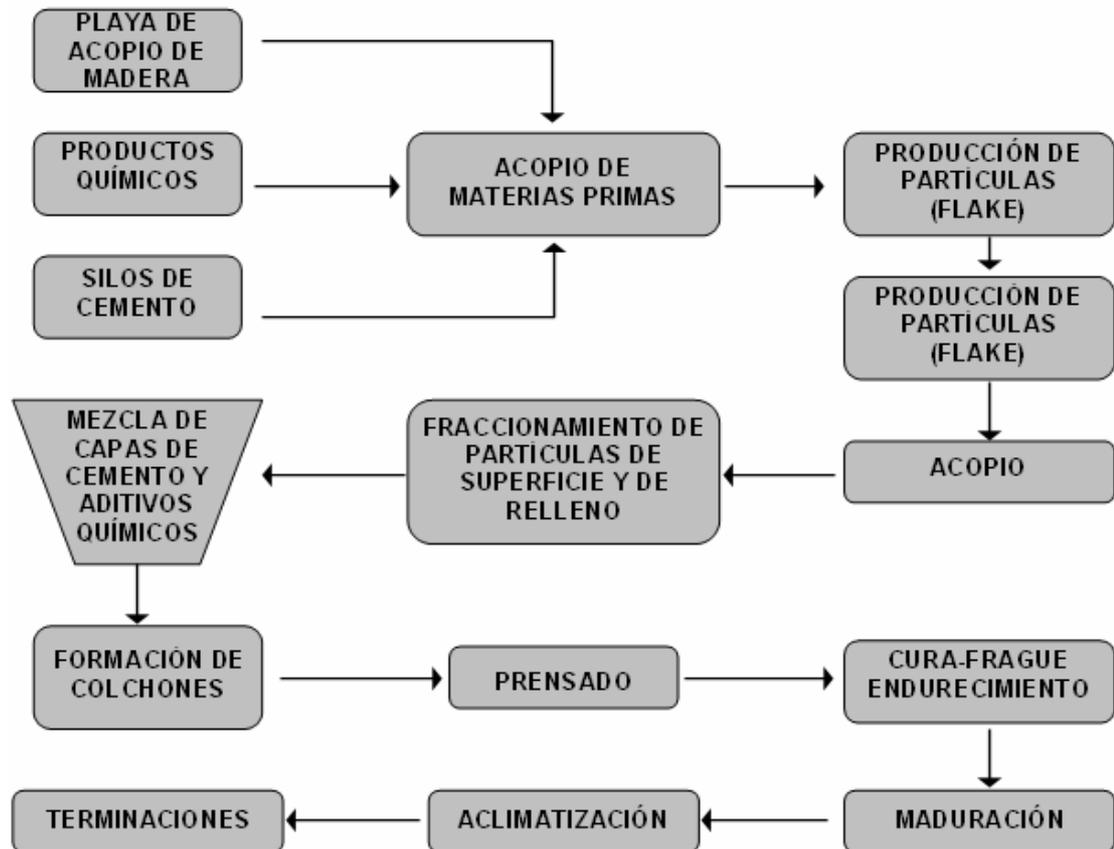


Grafico 25 Flujograma de producción de palcas "FLAKE" proceso "VISON". (25) (IWAKIRI 2004)

2.5.7 Tableros rígidos aislantes de Virutas de madera

Las virutas son aglutinadas con aglomerantes del tipo del cemento, yeso, magnesia o cal, mezclando en un empaste para luego ser prensados. Pueden impregnarse con cloruro de calcio para corregir la putrefacción. Las virutas se fabrican usando maderas livianas, de baja calidad, que se empastan con el aglomerante prensado ligeramente para dar la forma deseada.

El coeficiente de conductividad es más elevado que el de las fibras afieltradas, por lo que se requieren espesores mayores. Por ser sensible a la humedad, el recubrimiento del aglomerante le da cierta protección pero no suficiente para una acción prolongada. Tiene mejor comportamiento mecánico para hacer paredes o placas para techos. De estructura cavernosa de grandes poros, puede revocarse directamente. En espesores gruesos resulta peligrosa la retracción; tiene un fuerte índice de retracción (se fabrica

saturado en agua que al secar se reduce pero es necesario humedecer en la colocación, para revocar, etc.) por desecado si se coloca húmedo, rayándose en las juntas al secarse, lo que puede ser un inconveniente cuando se usa como elemento integral de paredes. Básico para construcciones económicas, aunque su uso ha ido decayendo en los últimos años. Para aumentar la resistencia a la flexión suelen incorporársele cuñas. La facilidad de moldeo permite producirlos en tamaños y formas especiales sin encarecimiento sensible.

Tableros de aserrín con cemento

Son placas tipo sándwich donde la capa de cemento queda en la superficie confiriendo cualidades de dureza y las virutas de madera se acomodan en el interior de la placa aportando cualidades aislantes. Existen dos fábricas que elaboran paneles por moldeado en frío, utilizando virutas, cemento y resinas. Estos paneles son utilizados principalmente en la construcción de viviendas unifamiliares, y el incremento de su producción no presenta mayores problemas por la simplicidad del proceso, la relativa baja inversión para los equipos, la rapidez de la instalación fabril y la existencia abundante de materia prima forestal adecuada. (31) (ETERNIT 2005).

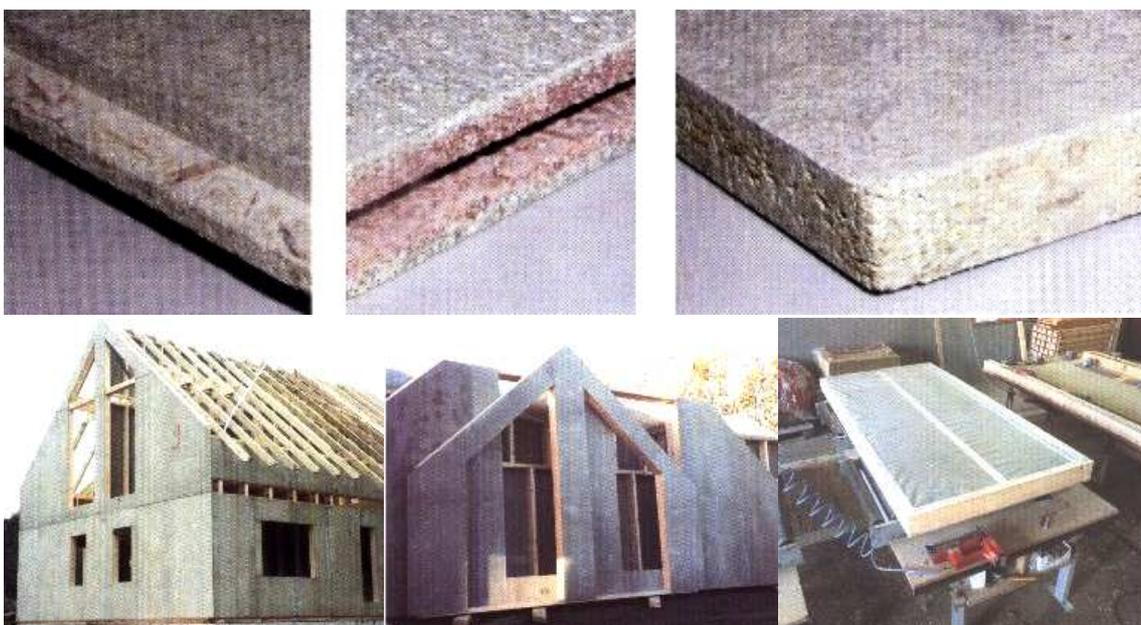


Foto 6 Tableros de aserrín-cemento prensado. (31) (ETERNIT 2005)

Tableros de polvo de madera (Fine Board) Esta nueva generación de tableros o paneles no necesita completarse con la operación de pulido ni la realización del calibrado como es tradicional con los tableros comunes. El polvo de madera proviene de la recuperación del polvo originado en los distintos tipos de elaboración de la madera, incluso el cepillado. Este polvo es mezclado con resinas fenólicas también en polvo, en diferentes dosificaciones para así producir paneles adaptados a las diferentes exigencias del cliente. Existe la posibilidad de conseguir una gran variedad de superficie de calidad: hasta es posible lograr paneles con los bordes y los ángulos redondeados. Posee una tendencia bajísima a la hinchazón después de la inmersión en agua. No posee resistencia estructural por carecer de fibras. El grano pulverizado a utilizar es clasificado en calidad y granulometría. (25) (IWAKIRI 2004)

Tableros de partículas: Aspectos técnicos, económicos y ambientales

Las placas minerales presentan innumerables ventajas en relación a otros tipos de paneles de madera sobre el punto de vista técnico, económico y ambiental.

En cuanto al proceso de producción son:

- *Las partículas no precisan ser secadas a bajos tenores de humedad.*
- *Procesos de endurecimiento (cura o fragüe) es exotérmico por lo que el prensado es en frío.*
- *Consumo total de energía para la producción de placas minerales es de +- 400.000 kcal/m³, cuando para el aglomerado es de +-720.000 kcal/m³.*
- *La relación horas / hombre para la producción de 1 m³ de placas minerales es equivalente a la del aglomerado.*
- *Menor pérdida de material en las operaciones de encuadramiento y lijado de las placas.*

En cuanto al punto de vista ambiental

- *Materiales utilizados en la producción de placas minerales son atóxicos, no inflamables y sin peligro de explosión.*

- *No produce formación de gases tóxicos durante el proceso.*
- *Es un proceso a baja temperatura restringido a un máximo de 80 °C a través de las relaciones exotérmicas.*
- *No tiene problemas de efluentes líquidos por ser un proceso semi-seco.*

En cuanto a punto de vista técnico, se presentan como referencia valores medios de las principales propiedades de las placas de madera-cemento.

- *Modulo de elasticidad:* 30.000 kg/cm²
- *Modulo de rotura* 90 kg/cm²
- *Masa o peso especifico:* 1,0 a 1,35 kg/cm³
- *Hinchamiento perpendicular:* 0,8% (2 horas) 1,8% (24 horas).
- *Compresión perpendicular:* 150 kg/cm²
- *Ligazón interna:* 4 kg/cm²

2.5.8 Los bloques para construcción:

Es un producto muy utilizado en los países escandinavos para construcciones de complejos habitacionales. Los bloques son producidos con una mezcla de partículas de madera con cemento; los materiales ingresan a mezcladora junto con aditivos químicos, pasan a través a una máquina prensadora, se le adiciona poliestireno expandido y por extrusión salen los bloques que luego cortados con dimensiones de 121 cm de largo y sección transversal de 20,3 x 30,5 cm con 20 kg. de peso. (4) JACOBO 2003). Los bloques de cemento-madera presentan algunas ventajas como:

Es un producto virtualmente incombustible F 90.

Presenta excelentes propiedades aislante acústico R 51,4 dB térmico: 0,27 W/m².°C 30cm espesor.

Es de fácil manejo y transporte en relación al concreto debido al menor peso 20kg/unidad.

Posibilidades de usos en superficies y bordes para formación de molduras y encajes o encastres.

Mayor rendimiento en construcción en función de las dimensiones mayores que los "entramados" convencionales.

Ladrillos huecos de fibras de madera blanda con cemento como fijador y rellenos en la parte media de los huecos con poliestireno expandido, comercialmente bajo la denominación de Oko-Domo®.
 Propiedades física-construccionales:
 $K = 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ con 30 cm de espesor de pared con revocos completos.
 Peso: 20 kg/unidad
 No impermeable al Vapor de agua.
 Aislante Acústico



Capacidad de Transportar cargas, pues trabaja de encofrado perdido.



Vivienda unifamiliar de 117,00 m². Ejecutable en 33 semanas de tareas continuas con tres operarios.

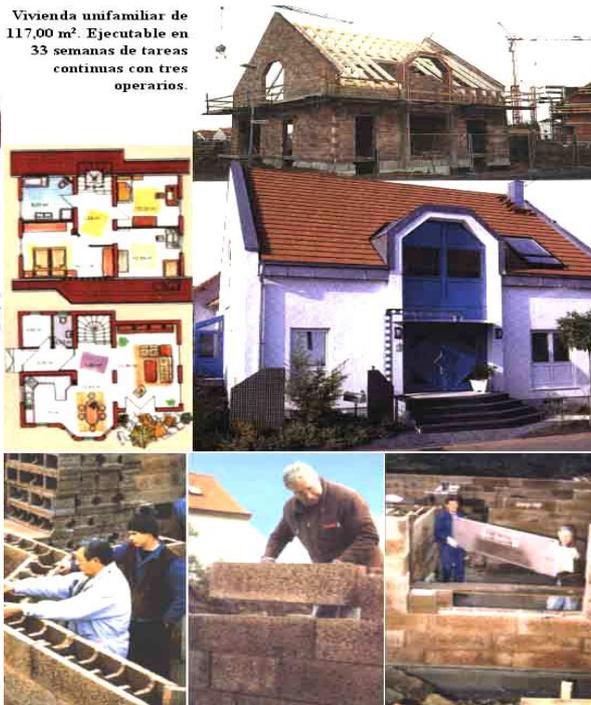


Foto 7 Bloques de construcción madera cemento OKO-DOMO. (30) Holzbau 2004

2.5.9 Tableros rígidos aislantes de fibras de caña o madera afieltrada

La capacidad aislante está dada por los huecos contenidos en la fibra y los que quedan entre fibras. Tienen la ventaja de que pueden disponerse en tamaños considerables: 8 y 12 mm de espesor; 1,22 m de ancho y 2,44 m de largo, pudiendo llegar hasta 19 mm; 1,52 m. y 3,05 m. respectivamente. Presentan los inconvenientes de los materiales orgánicos: putrefacción, ataque de roedores, insectos; algunos tipos tienen las fibras tratadas para salvar esos inconvenientes. Su conductividad es algo mayor que la del corcho. Tienen rigidez propia y se conforma solamente por compresión y el fieltro mantiene a las fibras en posición por las rugosidades (32)(ALIAJ 1997)

2.5.10 Material de relleno de partículas con adhesivo mineral



Foto 8 Relleno partículas madera- aditivos orgánicos. (33) (SHWARZ-RITIM 2004)

La “Casas *Rosenheim*” tuvo como concepción la construcción de un edificio a base de **materiales ecológicos**, en el cual se ahorrara energía y causando, en todo su ciclo de vida útil una baja carga para el medio ambiente. Por ello, para la elección de los materiales y para la construcción, el criterio decisivo fue el **balance ecológico**. Se descartaron los productos contaminantes del medio ambiente y difícilmente desechables, se han preferido materiales de recursos renovables con bajo consumo energético. Se han utilizado las preservantes naturales de la madera y los materiales adhesivos en su mayoría han podido ser reemplazados por productos no problemáticos, (33) (SHWARZ-RITIM 2004).

Tabla 16 Balance ecológico de materiales casa “*Rosenheim*”, (33) (SHWARZ 2004)

Material	Volumen	% del volumen	CO ₂
Madera maciza	38 m ³	25,5 %	30400 kg
Madera en tablas	5 m ³	3,2%	4000 kg
Virutas para el aislamiento	94 m ³	63,0 %	11280 kg
Materiales de madera	7 m ³	4,5 %	5600 kg
Planchas de yeso	5 m ³	3,2 %	
Materiales adicionales	1 m ³	0,7 %	
Total	150 m³	100,0 %	51280 kg

La “**Casa *Rosenheim***” contiene en su volumen en un 95% de materiales de madera o celulosa, lo que es posible reciclar fácilmente y con una baja carga al medio ambiente. Durante el período de vida útil de la casa, se encuentra almacenada una gran cantidad de CO₂ casi 50 tn de dióxido de carbono de la atmósfera, un promedio de contenido de 800 kg CO₂ / m³ de madera.

El material aislante de las paredes exteriores y los elementos del techo prefabricados como también la cubierta intermedia y entrepisos, poseen una capa aislante de virutas de madera preparadas y aisladas. En la construcción estándar se ha puesto como meta que los espesores de las capas aislantes de 225 mm tuvieran un coeficiente de transmitancia térmica de $k = 0,22 \text{ W/m}^2\text{C}$. Las construcciones de paredes y techos altamente aisladas con capas aislantes de 320 mm alcanzan con un valor $k = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ un estándar de casa pasiva. En las piezas de construcción altamente aisladas el material aislante de relleno tiene la ventaja de que puede rellenar todos los espacios huecos y en los complicados cortes transversales en “T” en un solo proceso de trabajo.

Las virutas de madera se producen como productos secundarios en las industrias madereras o en las empresas de casas prefabricadas en el cepillado de vigas o tirantes. Las virutas de madera se clasifican en finas y gruesas, se pulverizan con una mezcla de carbonato sódico, el cual eleva el valor de pH a 9 de las virutas, e impide el crecimiento del moho si eventualmente aparecieran mayores cargas de humedad; el suero de leche (residuo en las empresas lácteas) varía la actitud ignífuga de las virutas, clasificándolas como materiales de construcción B2 “normalmente inflamables” según DIN 4102, parte 3, y a continuación se vuelven a secar a valores de 12 %.



Foto 9 Componentes de relleno aislante, Rosenheim

El **gasto energético** para la preparación de la viruta que se produce en el lugar de construcción es bajo, con un valor de 50 kWh/m³. La utilización de energía se limita al tamizado, impregnación, secado de las virutas y al transporte interno.

Tabla 17 Valores de virutas aislantes de relleno. (33) (SHWARZ-RITIM 2004)

Densidad de relleno	30 kg/m ³
Densidad de embutido de masas	60.90 kg/m ³
Contenido de humedad de las virutas en la instalación	12 %
Conductibilidad térmica según DIN 52612	0.040 W/m°C
Valor de cálculo de la conductibilidad térmica ΣR	0.045 W/m°C
Valor de la resistencia de difusión de vapor Φ DIN 52615	1/2
Comportamiento frente a incendios según DIN 4102	B2
Valor pH	9
Peligro de ataque de hongos de moho según DIN 40046	Casi cero

Tal como otros aislantes de fibras de madera o celulosa, las virutas de madera son higroscópicas y en paquetes compactos poseen una capacidad

de absorción fuerte y capilar. La figura nos muestra las isotermas de sorción de virutas de madera tratada y sin tratar en comparación a la lana mineral. Las virutas de madera tratadas presentan mayor actitud higroscópica, con el contenido de humedad de 3 % por sobre los valores de las virutas no tratadas mientras que la lana mineral casi no posee absorción de vapor de agua.

Referido a la absorción capilar de agua “ A_a ” para las virutas en paquetes compactos (coeficientes de densidad de 70 kg/m^3) los coeficientes de absorción de agua de $A_a = 7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$, es decir que: con una irrupción de agua, las virutas absorben dentro de la primera hora 7 kg de agua por metro cuadrado de superficie y las derivan hacia el interior de la capa aislante por vías capilares, luego de 48 hs el transporte capilar de agua en la capa aislante se encuentra casi detenido y forma el perfil de humedad con un contenido (crítico) de humedad de 200% de la masa. Posteriormente esta humedad solamente puede eliminarse lentamente a través de procedimientos de difusión, de modo que las zonas húmedas permanecen por mucho tiempo con un alto contenido de humedad.

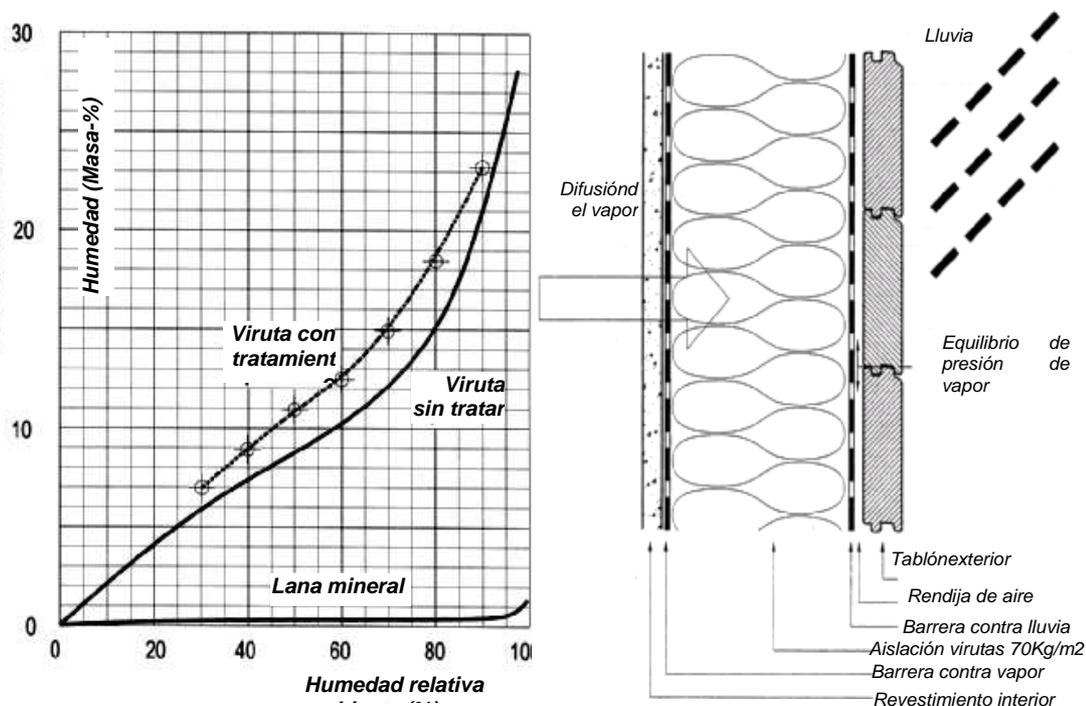


Gráfico 26 Panel con relleno aislante, comportamiento a la humedad. (33) (SHWARZ-RITIM 2004)

Las **paredes externas** de la casa poseen una estructura básica compuesta de machimbres de abeto rojo de 50 mm de espesor forman la capa maciza externa luego una barrera contra agua de lluvia ($s_d < 0,2$ m) extremadamente abierto a la difusión, entre ellas se ha dejado una fina capa de aire con gránulos de un diámetro de unos 4 mm para ventilación y evacuación de filtraciones de agua. La estructura portante del panel consiste de tirantes de madera de abeto de 50 x 225 mm o alternativamente de portantes con 320 mm de altura. Del lado de los ambientes, la pared puede estar cubierta por un revestimiento de madera de 25 mm de espesor o alternativamente con planchas de yeso de 25 mm de espesor. En los huecos de la pared se encuentran virutas compactadas mecánicamente con una densidad bruta de unos 70 kg/m³.

El relleno de viruta posee una compactación de factor 1,2 hasta 1,4 para evitar problemas de contra el asentamiento, la densidad aparente de la viruta a granel 30 kg/m³ da una densidad aparente estando embutido de 40 kg/m³ y evita asentamiento, la casa Rosenheim posee una densidad media de relleno de virutas embutidas en el panel de 60 a 70 kg/m³. Referidos a problemas de asentamientos se verificaron asentamientos en el transporte y el montaje, en el transcurso de los años no se han observado otro hundimiento.

CAPITULO 3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Recolección y caracterización de la materia prima

Se recolectaron los residuos o subproductos (aserrín y virutas) de diferentes industrias de la madera, de diferentes escalas de producción y de diferentes máquinas, con el fin de identificar su procedencia y clasificarlos según sus características morfológicas, propiedades físicas, además de cuantificar la generación anual de estos residuos.

3.1.1 Recolección de MPF

Las industrias relevadas de donde se extrajeron las muestras son las representativas del sector, fueron aserraderos de madera de pino implantado, de capacidad de producción mediano a grande con un grado tecnológico mediano y avanzado, los cuales poseen: aserradero (1), secadero (2), impregadoras (3) y remanufactura (4); ubicados sobre la ruta Nacional 12, eje principal de conectividad y de mayor implantación de industrias madereras de procesamiento de pino (madera de reforestación).

Tabla 18 Recolección de materia prima según industrias y ubicación. (42) (CELANO 2004)

Industria	Localización	Capacidad	Tecnología	Residuos
INTERCON S.A.	Garupa	1.000 (m ³ /mes)	(1) (2) (3)	Viruta CCA
EL PINO S.A.	Candelaria	2.500 (m ³ /mes)	(1) (2)	Aserrín verde
FIJOINT	Garuape	10.000 (m ³ /mes)	(1) (2) (4)	Polvo seco
LARRAGUE	Montecarlo	12.000 (m ³ /mes)	(1) (2) (4)	Aserrín verde
TOLL MADERAS S.A.	Eldorado	9.000 (m ³ /mes)	(1) (2) (4)	Polvo seco
DON GUILLERMO SRL	Stgo. Liniers	15.000 (m ³ /mes)	(1)(2)(3) (4)	Viruta seca
FAMALPA S.A.	Pto Libertad	1.500 (m ³ /mes)	(1) (2) (4)	Aserrín seco



Foto 10 Residuos según industrias (Don Guillermo y Toll). (42) (CELANO 2004)



Aserrín seco sierra circular Aserrín verde Sierra Sinfín Viruta seca Moldurera Viruta seca Garlopa

Foto 11 Residuos generados según maquinaria utilizada. (42) (CELANO 2004)

Se identificaron 7 tipos de residuos a los que se les realizó un muestreo de 3 repeticiones de 200 gr. cada una y se resguardaron en bolsitas. A fin de evaluar este material de aporte y su capacidad de aislación en los paneles, se determinaron las siguientes propiedades físicas; para lo que se adoptaron las siguientes normas como base de los procedimientos descriptos:

3.1.2 Contenido de humedad

(En base a norma IRAM 9532, Método del peso constante) Se determino el peso estacionado de la probeta en la balanza, se llevó a estufa a 105 °C por 24 hs, se retiro y enfrió en vaso precipitado por 5 minutos para evitar absorción de humedad, se peso la probeta seca y se realizo el cálculo por el método de peso húmedo.



Medición peso húmedo Estufa a 105°C por 24hs Vaso para enfriado seco Medición peso seco

Foto 12 Proceso de determinación de humedad en paneles. (CELANO 2007)

$$H\% = ((Ph - Ps) / Ps) \cdot 100$$

H% = Humedad de la madera, en %

Ph = Peso de la muestra húmeda, en gr.

Po = Peso de la muestra seca, en gr.

3.1.3 Valor de pH

(En base a norma TAPPI T252), Se realizó una extracción acuosa del material, en una suspensión de sólidos al 1%, por calentamiento a reflujo durante 10 minutos; el pH se midió sobre el extracto acuoso a temperatura ambiente.



Extracción acuosa en condensador a reflujo

Determinación pH en probeta (7)

Calibración de peachimetro

Foto 13 Proceso de determinación de pH en MPF y paneles. (CELANO 2007)

3.1.4 Composición granulométrica

Se obtuvo a través del paso por 4 tamices 15x21, 8x15, 2x2, 1x1mm; y el porcentaje de composición se determinó por volumen total de partículas.

3.1.5 Composición morfológica

(En base a normas ASTM 1554). En el material fibroso se midió: largo, ancho, espesor, con máximos y mínimos por medio de una tabla milimetrada. Se obtuvieron medias y desvíos. Ambas determinaciones se registraron metódicamente para su posterior repetición.



Foto 14 Granulometría por tamices y Morfología tabla milimetrada. (CELANO 2005)

3.1.6 Densidad aparente y asentamiento

Se determinó en dos variantes: volumen material suelto, referido a la cantidad de material cuando se carga en camión, y volumen de material asentado, cuando se lo utiliza después del manipuleo. El ensayo consistió en cargar un vaso precipitado de 2000 cm³ con material suelto, colocar en mesa vibratoria durante 1 minuto y medir el asentamiento; las mediciones se realizaron por volumen y la determinación de las densidades se llevó a cabo antes y después del asentamiento.



Tipos de MPF estado original

Densidad según volumen suelto

Densidad según volumen asentado

Foto 15 Proceso de determinación de Asentamiento y Densidad. (CELANO 2005)

$$De = Pe / Ve$$

De = Densidad de la MPF, en gr/cm³

Pe = Peso de muestra estacionada, en gr.

Ve = Volumen estacionado, en cm³.

3.2 Diseño experimental

Para los ensayos experimentales se realizaron probetas en base a un Diseño de Mezclas Binario, que se ejecutaron y ensayaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera FCF-UNaM. Las probetas fueron compuestas con el material fibroso “aserrín, viruta” en tres concentraciones diferentes 100% - 0%, 50% - 50% y 0% - 100%; y con tres adhesivos seleccionados: “cemento pórtland”, “vinílico monocomponente D3”, “resina urea-formaldehído”, que se mezclaron en concentraciones alta y baja, y se obtuvieron 5 repeticiones por cada combinación con un total de 90 probetas. (ANEXO A: Diseño experimental)

3.2 Elaboración de probetas

La dosificación y mediciones de todos los elementos se unificaron por peso; para todas las probetas el material fibroso fue de 340 gr.; la presión de encofrado o armado fue con el peso de una persona ($80\text{kg}/900\text{cm}^2 = 88\text{gr}/\text{cm}^2$) y el prensado fue realizado a temperatura ambiente ($25\text{ }^\circ\text{C}$). La cantidad de adhesivo estuvo en relación a la capacidad aditiva según datos conocidos (capítulo 2), a la capacidad de formación del empaste (según elaboración previa de probetas), al costo y su incidencia en el precio final del producto. En la siguiente tabla se expresa la relación del costo de adhesivo para la dosificación de las probetas. (ANEXO B: Elaboración de probetas)

Tabla 19 Dosificación de probetas y relación con costo-adhesivo. (CELANO 2005)

		CEMENTO		VINÍLICO D3		UREICA 65%	
Parámetros	Un.	BAJO	ALTO	BAJO	ALTO	BAJO	ALTO
MPF	Gr.	340	340	340	340	340	340
ADHESIVO	Gr.	680	1020	100	200	100	200
PRECIO	\$	0,43	0,55	0,45	0,9	0,21	0,42
AGUA	Gr.	500	500	300	200	300	200
TEMP.	$^\circ\text{C}$	25	25	25	25	25	25
PRESIÓN	gr/cm^2	90	90	90	90	90	90



Dosificación de materiales por peso.

Vertido de mezcla en molde 30x30x5cm

Presión de armado.

Foto 16 Proceso y materiales para elaboración de probetas. (CELANO 2005)

3.3 Ensayos físicos, mecánicos y tecnológicos

Una vez obtenidas las probetas se realizaron los ensayos sobre las propiedades físicas como principales, mecánicas como secundarias, y algunas propiedades tecnológicas, identificado aquellos paneles que reunieron las características necesarias de aislantes térmicos y acústicos.

3.3.1 Densidad

Se realizó sobre las probetas de paneles el ensayo de densidad (en base a norma IRAM 9704,9705), que consistió en pesar las probetas estacionadas, y dividir ese peso por el volumen correspondiente. El volumen se determinó tomando el promedio de espesor de sus cuatro caras, y multiplicando por el área determinada por la medición de sus lados. Las mediciones se realizaron sobre las 5 repeticiones de cada tipo de probeta, se obtuvieron la media y el coeficiente de variación.



Foto 17 Determinación de densidad de probetas. (CELANO 2006)

$$De = Pe / Ve$$

De = Densidad del panel, en gr/cm^3
 Pe = Peso de panel estacionado, en gr.
 Ve = Volumen estacionado, en cm^3 .

3.3.2 Macro-porosidad

Representa el volumen de aire en la probeta respecto al volumen total del conjunto de todos los componentes, madera, adhesivo, agua (humedad), vacío de material (aire). Esta propiedad es significativa respecto a la aislación térmica y acústica.

$$Ip = Va / Vt$$

Ip = Índice de porosidad, en %
 Va = Volumen de aire, en cm^3 .
 Vt = Volumen total, en cm^3 .

3.3.3 Contenido de humedad

(En base a normas IRAM 9704), El ensayo consistió en determinar el contenido de humedad en equilibrio higroscópico de las probetas, estacionadas por dos años en ambiente normal. De cada probeta se obtuvieron muestras, las que se pesaron en la balanza de precisión de 0,001gr, y se obtuvo el peso húmedo, luego se llevaron a estufa a 105° C

por 24 hs, se retiraron de la estufa y se volvieron a pesar, determinándose el peso seco. El porcentaje de diferencia entre peso húmedo y peso seco es el contenido de humedad. Para realizar las comparaciones con los otros parámetros físicos se utilizó la humedad base húmeda $H_{bh} = (P_h - P_s) / P_s \cdot 100$.

3.3.4 Comportamiento Térmico:

(En base a normas IRAM 11559), Para la evaluación del comportamiento térmico del panel para su uso en edificaciones, se realizaron ensayos del tipo de aislación térmica referida a la capacidad de retardar el paso del calor desde el exterior al interior del edificio; y de inercia térmica a la capacidad de la pérdida del calor acumulado en el panel hacia el interior. Dado que para realizar este ensayo la norma IRAM 11559 utiliza “placa caliente-fría”, el que la UNaM y el CEDITeC no cuentan con dicho equipamiento, se elaboro el método de ensayo que se describe a continuación.

3.3.5 Aislacion térmica:

Las probetas se colocaron en la boca de la estufa con el interior a $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ y cara al exterior a temperatura ambiente sin movimiento de aire a $24 \text{ }^\circ\text{C}$, ($\Delta t = 80 \text{ }^\circ\text{C}$); se registraron lecturas cada 5 minutos en la cara exterior del panel por un periodo de 45 minutos; se tomaron 3 lecturas instantáneas en el punto central y perpendicular al panel a 15 cm de separación; también se registraron valores sobre las condiciones de borde, con 9 mediciones y 3 repeticiones cada 5 minutos. En este ensayo se mide la transferencia de calor generada en la estufa por radiación y la conveccion hacia la cara interna del panel y el efecto por conducción hacia la cara externa.



Termómetro láser digital Medición en panel viruta Medición en placa lana vidrio Distancia y posición para medición

Foto 18 Método de determinación de aislación térmica “R” y “λ”. (CELANO 2006)

Para cuantificar la capacidad térmica de los paneles (material compuesto) y poder comparar con otros materiales comerciales, se determinó el coeficiente de conductividad térmica “ λ ” para lo cual se desarrolló un método analítico en base a la Ley de Mezclas, que consiste en: calcular la Resistencia térmica “ R_i ” de cada uno de los componentes del panel (madera, adhesivo, aire, agua) cuantificar según las proporciones de composición, determinar los espesores teóricos, obtener la Resistencia térmica total “ R_t ” y calcular el coeficiente de conductividad térmica del panel “ λ_t ”. Los datos obtenidos fueron correlacionados con la medición térmica y verificada con la base de datos de materiales de las normas IRAM 11601. (ANEXO L: Determinación analítica de coeficiente de conductividad térmica de paneles)

$$\lambda_t = R_t / e_t$$

λ = coeficiente conductividad térmica, W/m.°C

$$R_t = \sum R_m, R_a, R_v, R_h$$

R = Resistencia térmica, m².°C/W

V_e = Volumen estacionado

e = Espesor de material, cm.

$$R = e/\lambda$$

t = Total (panel)

m = Madera

$$e = V_e/a$$

a = Adhesivo

v = Aire

$$V_e = (P_e / D_e)$$

h = Agua

3.3.6 Inercia térmica:

Se midió la caída de temperatura de la cara interna (irradiada en estufa) cada 5 segundos, inmediatamente desde que se saca de la estufa a 105 °C hasta equilibrar con la temperatura de su medio ambiente a 24 °C.

3.3.7 Comportamiento Acústico:

(En base a norma IRAM 4063) El aislamiento acústico tiene por objetivo alcanzar condiciones mínimas de protección contra la transmisión de ruidos externos o internos atenuándolos o impidiendo su propagación. El comportamiento acústico se basa en determinar el “Índice compensado de reducción sonora” R_w para ello el ensayo consistió en generar el sonido dentro de la caja acústica con el panel ubicado en la boca de la caja y medir la diferencia de sonido en dB decibeles en el exterior. Se generaron tres niveles de sonido, en distintas frecuencias y a un mismo volumen, grave

(150 Hz), medio (1000 Hz) y agudo (6000 Hz). Para medir los decibeles dB se utilizo un decibelímetro digital marca TES 1350 A, se configuro con un rango bajo (low 35-100 dB), respuesta interativa, función A, con un grado de sensibilidad de 0,1 dB. El decibelímetro se coloco perpendicular al panel a 5 cm. de separación y a su altura media. Se registraron 3 lecturas consecutivas para cada frecuencia, y en 3 sectores diferentes, al centro y en los extremos por la condición de borde. El ensayo se realizó en una sala acústica, (deposito cerrado, dentro de edificio, horario 3:00am) con un nivel de ruido ambiental de 32,4 dB.



Decibelímetro digital Caja acústica con parlantes Medición sonora con software de sonido frecuencia 1000hz

Foto 19 Método e instrumentos, determinación aislacion acústica. (CELANO 2006)

$$R = 10 \log . W_1 / W_2.$$

$R_w =$ Índice compensado de reducción sonora, dB.
 $W_1 =$ Potencia sonora emisor, en dB.
 $W_2 =$ Potencia sonora en receptor, en dB.

$$R_w = I_1(\text{dB}) - I_2(\text{dB})$$

$R_w =$ Índice compensado de reducción sonora, dB.
 $I_1 =$ Volumen de aire, en cm^3 .
 $I_2 =$ Volumen total, en cm^3 .

3.3.8 Comportamiento al Fuego:

(En base normas IRAM 11901) Se determinaron los siguientes puntos: tiempo de ignición, temperatura de ignición, deformaciones. Se colocó el panel sobre el trípode metálico, con la cara inferior sobre la flama a 5 cm del pico, se tomo el tiempo en que se produjo la ignición o el deterioro del panel (la llama atravesó el panel, y genero un agujero) sobre la cara superior, y la temperatura se midió con el termómetro digital. Además se midieron otros parámetros como generación de humo, deformaciones por calor,

desgranados o rotura por acción del fuego. El mechero de laboratorio a gas envasado, se calibrado con una flama de 40 cm, grado 4.



Mechero de laboratorio Posición de probeta a 5cm Tiempo ignición espontánea Tiempo de atravesar el panel

Foto 20 Método e instrumentos, determinación resistencia fuego. (CELANO 2006)

3.3.9 Comportamiento al Agua:

(En base a normas IRAM 9720, 9724-1). El ensayo consistió en colocar los paneles recortados en dimensiones de 10 x 30 cm colocados de canto sobre una bandeja de vidrio con agua a 5 cm de altura. Se determinó la capacidad de absorción de agua por la diferencia de peso seco (antes) y el peso hidratado (después) tomando como referencia la altura del agua por capilaridad. La capilaridad se midió a través de la ascensión de la macha de humedad, se midió el hinchamiento del extremo bajo el agua y el extremo opuesto seco, se midió el disgregado por la cantidad de elementos sueltos. Las mediciones se realizaron a los días 1º, 7º y 21º. Esta propiedad refiere a la variación de la capacidad de aislacion térmica, acústica y a la durabilidad del material en función del contenido de agua.



Probetas en bandeja c/agua 5cm Medición de capilaridad Medición de hinchamiento Determinación de absorción

Foto 21 Método e instrumentos para comportamiento al agua. (CELANO 2007)

$$A = P_o / P_s$$

A = Absorción de agua, %.
 P_o = Peso seco estacionado, en gr.
 P_s = Peso saturado, en gr.

3.3.10 Comportamiento a la Retracción:

El ensayo consistió en medir la retracción por fraguado del adhesivo, se midió solo la contracción lateral es decir la separación entre el panel y su encofrado. Las mediciones se realizaron sobre las 5 repeticiones de cada tipo de probeta, se obtuvo la media y el coeficiente de variación. El ensayo de contracción por diferencial térmico, consistió en medir la contracción-deformación del panel sufrida entre la cara interna y la cara externa al estar expuesta en la estufa a 105 °C por 30 minutos. Se midió la convexidad de la cara interna separación entre el panel y la línea recta que une los puntos diagonales o esquinas. Las mediciones se realizaron sobre cada tipo de probeta.



Retracción lateral por fragüe de adhesivo probeta D3

Contracción lateral y diagonal por diferencial térmico

Foto 22 Método instrumentos para comportamiento al agua. (CELANO 2006)

$$Cf = Cl / L$$

Cf = Contracción por fragüe, %.
 Cl = Espesor de contracción lateral panel, en cm.
 L = Longitud inicial de panel, en cm.

$$Ct = Cl / L$$

Ct = Contracción por diferencial térmico, %.
 Cl = Espesor de deformación superficial, en cm.
 L = Longitud diagonal inicial de panel, en cm.

3.3.11 Comportamiento a la Manipulación:

El objetivo del ensayo consistió en medir los parámetros de la manipulación para su uso en obra. Se evaluó la facilidad de desmolde, deformación o rotura por peso propio, desgranado de material; al realizar la extracción de las probetas 30 x 30 cm de sus moldes, y su manejo durante los procesos de ensayos. Se realizó una ponderación de las variables de malo a muy bueno.



Manipulación probeta D3

Rotura por peso propio CEM

Desgranado de material UF

Foto 23 Método para determinar comportamiento al manipuleo. (CELANO 2005)

3.3.12 Comportamiento al Aserrado:

El objetivo del ensayo consistió en medir parámetros del aserrado para su uso en obra. Se evaluó la facilidad del corte, homogeneidad del corte, desgranado de material, descascarado de superficie. Se colocaron los paneles de 30 x 30 cm sobre la mesa y se realizaron cortes con una sierra dentada zig-zag de 6 mm de corte manual en ambos sentidos, se traza a velocidad y presión constantes. Se realizó una ponderación de las variables de malo a muy bueno.



Hoja de sierra utilizada corte manual

Desgranado por corte

Canto de panel luego de cortar

Probetas cortadas

Foto 24 Método para determinar comportamiento al aserrado. (CELANO 2005)

3.4 Instrumentos y materiales de laboratorio:

Se trabajo en el laboratorio del PROCyP, FCEQyN-UNaM, (Posadas) para la determinación de humedad y pH en el material fibroso, los instrumentos utilizados fueron: balanza electrónica de precisión 0,001 gr. condensador a reflujo, estufa con termostato a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, peachimetro digital, bandejas de aluminio, bolsitas de plástico.

Se trabajo en el laboratorio de Tecnología de la Madera, FCF-UNaM, (Eldorado) para la determinación de: composición y granulometría, densidad aparente, asentamiento en el material fibroso; se utilizaron tamices y tabla milimétrica. Respecto a los paneles: la elaboración, comportamiento térmico, acústico, al fuego, al agua, contracción, manipuleo y aserrado; los instrumentos utilizados fueron: balde 20lts y cucharas para mezclas, moldes de madera 30 x 30 x 5 cm, balanza electrónica de precisión 0,01 gr. vaso precipitado 100 ml y 2500 ml, mesa vibratoria, calibre mecánico "Meyer" con presión de 0,1 mm, bandejas de aluminio, bolsitas de plástico; bandeja de pirex 50 mm, sierra dentada zic-zac 6 mm de corte manual; mechero de laboratorio a gas envasado, trípode metálico para apoyo del panel, termómetro digital de mano ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ y sensibilidad de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) y termómetro de bulbo seco de hasta $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, estufa con termostato a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, caja acústica compuesta de paredes de madera de pino de 45 mm de 25 x 30 x 60 cm (aislación de ruido) forrado en su interior con alfombra (absorción de reverberancia), en su interior con dos parlantes de PC (emisor); con el software "Sound Forge Audio studio" en la PC, decibelímetro digital marca TES 1350 A.

CAPITULO 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la materia prima (MPF):

4.1.1 Caracterización de la materia prima (MPF):

La elaboración de la madera posee una generación de subproductos equivalente al **71%** del rollo que se procesa, de los cuales el 41,2 % tiene hoy un destino como chip (materia prima para papel) y biomasa (calderas), y un **23,9%** sin un uso definido; los cuales se proponen utilizar como nuestra fuente de MPF para la producción de paneles aislantes termo acústicos. El porcentaje de composición granulométrica y la morfología de la materia prima están directamente relacionados con el tipo de industria y su grado de desarrollo tecnológico. Del muestreo de MPF el único tipo de residuo que demostró alto contenido de humedad fue el aserrín “verde” de la sierra sin fin perteneciente a la 1º etapa de procesado de madera (representa el 11% del rollo), posee porcentajes de humedad que varían entre 70 al 80%, con una heterogeneidad en la composición de granulometrías grandes y medianas, con poca presencia de partículas pequeñas o polvo. Cabe aclarar que la adherencia entre partículas a causa de la humedad dificulta la separación a través de los tamices, proceso que se deberá prever en la etapa de producción. El resto de las muestras provienen de maquinarias de 2º y 3º etapa de procesado, con los que las maderas ya han tenido su proceso de secado, es decir con contenidos de humedad que varían desde 8 al 12% recién procesadas, hasta 12 al 17% para residuos acopiados al aire libre (este grupo representan un 12,6% del rollo). Estos residuos poseen una granulometría bastante homogénea representada por más del 70% de partículas gruesas (hojuelas) con una variedad de partículas medianas y muy pocas partículas finas. El caso representativo es de la maquina de sierra circular que procesa madera seca y que produce 100% de partículas pequeñas mezcladas con polvo de madera; en este grupo también pueden incluirse los residuos de las maquinas de remanufactura. (ANEXO D Rendimiento de la madera y ANEXO G Caracterización morfológica de residuos:)

Tabla 20 Caracterización de residuos de madera, MORFOLOGIA (CELANO 2005).

Caracterización de residuos de madera, MORFOLOGIA (Celano j. 2005 FCF UNaM)																		
Codigo	Maquina	Madera	N° Muestra	H° Humedad	Dimension	SELECCION POR TAMIZADO												
						N°1			N°2			N°3			N°4			total
						15x21			8x15			2x2			1x1			% volum
dim. min.	dim. max.	% vol.	dim. min.	dim. max.	% vol.	dim. min.	dim. max.	% vol.	dim. min.	dim. max.	% vol.	dim. min.	dim. max.	% vol.	% volum			
1 (B)	Cepilladora	Pino CCA larga	(1)	15,0%	largo	40	70		8	12		3	5					
			(2)	15,0%	ancho	15	18	70,0%	5	8	27,0%	1	2	3,0%				
			(3)	15,0%	espesor	0,8	1,5		0,6	1		0,4	0,8		0,0%	100,0%		
2 (B)	Garlopa	Pino CCA ancha	(1)	15,0%	largo	40	80		7	13		3	5					
			(2)	15,0%	ancho	14	22	80,0%	10	15	18,0%	2	4	2,0%				
			(3)	15,0%	espesor	0,3	0,5		0,7	1		0,3	0,5		0,0%	100,0%		
3 (A)	Cepilladora moldurera chinchilla	Pino	(1)	15,0%	largo	25	35		10	25		2	4		0,8	1,5		
			(2)	15,0%	ancho	5	7	80,0%	4	8	15,0%	1	2	4,5%	0,5	1		
			(3)	15,0%	espesor	0,7	0,9		0,5	0,9		0,4	0,7		0,05	0,1		
4 (A)	Machimbradora	Pino	(1)	15,0%	largo	30	50		12	18		1,5	1,7		0,4	2		
			(2)	15,0%	ancho	8	11	50,0%	4	8	42,0%	0,9	1,4	7,5%	0,7	1		
			(3)	15,0%	espesor	0,6	0,9		0,6	0,9		0,4	0,7		0,05	0,1		
5 (A)	Moldurera gruber	Pino	(1)	15,0%	largo				15	45		1,7	3		0,8	1,4		
			(2)	15,0%	ancho			0,0%	3	15	50,0%	1,5	2	35,0%	0,5	1		
			(3)	15,0%	espesor				0,3	0,4		0,7	1,4		0,04	0,08		
6 (B)	Sierra circular banco horiz kalplak	Pino CCA	(1)	15,0%	largo										100,0%			
			(2)	15,0%	ancho			0,0%			0,0%				100,0%			
			(3)	15,0%	espesor										100,0%			
7 (C)	Sierra sin fin verde	Pino verde	(1)	70,0%	largo	30	70		15	70		1,5	4		0,7	0,9		
			(2)	70,0%	ancho	3	6	45,0%	2	3	35,0%	1,2	1,8	10,0%	0,5	0,8		
			(3)	70,0%	espesor	0,7	1,1		0,5	0,9		0,3	0,8		0,05	0,1		

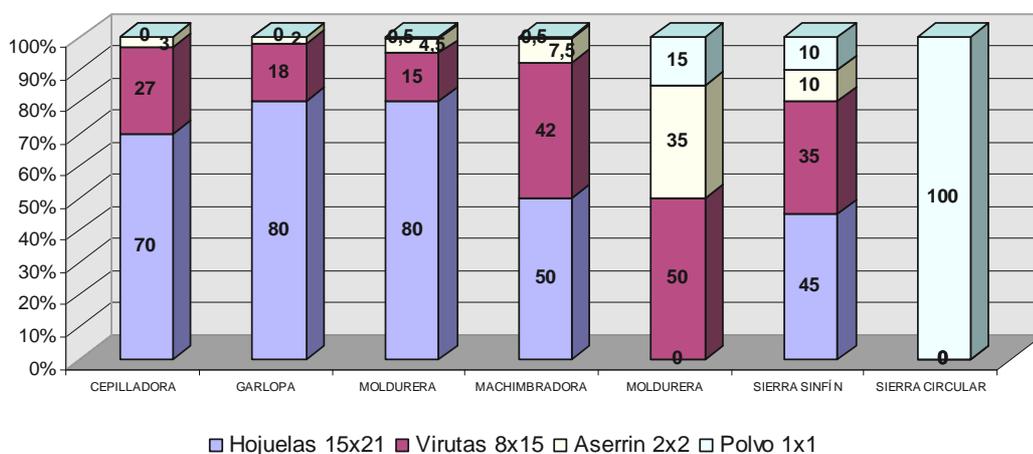


Gráfico 27 Composición granulométrica según tipo de maquina. (CELANO 2005)

4.1.2 Densidad y asentamiento

Al evaluar la **densidad** y el **asentamiento** de este material de aporte y su capacidad de aislación en los paneles, se observó que para los residuos en estado de humedad estacionada, es decir 12 al 15 %, la densidad varía entre 0,042 a 0,150 gr/cm³ con asentamientos que están en el orden del 23,7 al 26,2 % para todas las granulometrías; si presento diferencias el caso

de la machimbradora con poca densidad de $0,049 \text{ gr./cm}^3$ y asentamiento del 31,2 % presenta una densidad asentada de $0,072 \text{ gr./cm}^3$ que representa un incremento del 45,3 %. Para el caso el caso extremo del aserrín “verde” de sierra sin fin, que presenta una densidad de $0,272 \text{ gr./cm}^3$, un contenido de humedad del 70% al 80 % y un asentamiento del 32,8 %, lo que denota una densidad asentada de $0,406 \text{ gr./cm}^3$ equivalente a un incremento del 48,9 %.

Se observó que los residuos con igual contenido de humedad, presentaron mayor densidad los de granulometría fina como el aserrín, grano o polvo dada la conformación morfológica de las partículas, ya que en ellas tendieron a igualarse sus tres dimensiones: largo, ancho y espesor. Mientras que las granulometrías gruesas tipos hojuelas tuvieron forma de láminas largas y enrolladas, lo que genera espacios vacíos dentro y entre partículas, por el menor acomodamiento entre las mismas. No existió una relación directa entre granulometría y asentamiento, si se observó la relación entre el asentamiento y el contenido de humedad demostrado en el aserrín de sierra sin fin con una densidad mayor a causa del contenido de humedad.

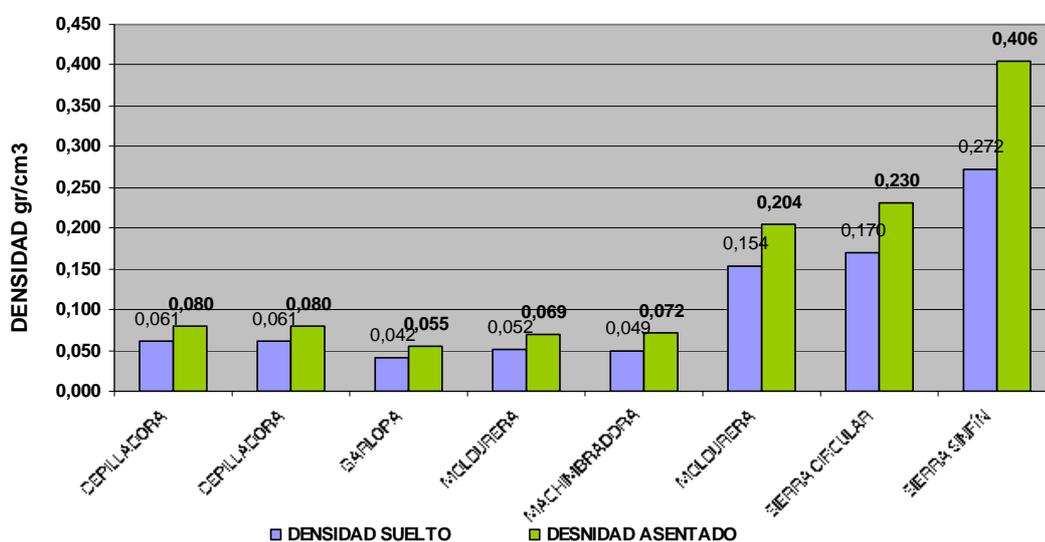


Grafico 28 Densidad y asentamiento en MPF.

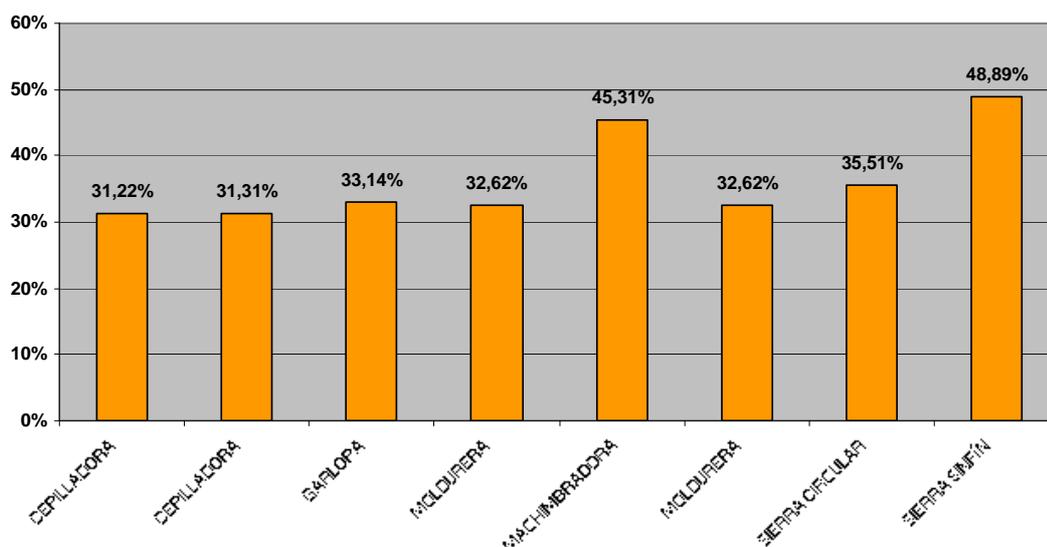


Grafico 29 Incremento de densidad por asentamiento de MPF.

4.1.3 Potencial hidrogeno pH de MPF

El valor de pH en la materia prima fibrosa posee una media de 4,9 es decir algo ácido, las maderas con sales preservantes tipo CCA poseen una media de 5,07 levemente menos ácidas. Es decir que las maderas en partículas presentan mayores posibilidades de ataque a los elementos de fijación metálicos por la condición ácida y la gran porosidad relación aire-materia que posibilita la variación de contenido de humedad. Este valor reviste de importancia debido a la relación del pH con los distintos adhesivos ha utilizar.

4.2 Comportamiento técnico de los paneles

4.2.1 Aspecto visual:

Respecto a las condiciones estéticas de los paneles se observó que las probetas ofrecieron una variedad de **texturas** y **colores** según la “MPF” y “adhesivo”, lo que posibilita su utilización como revestimientos en cielorrasos y paredes, previo tratamiento superficial de resistencia a la abrasión.



Foto 25 Variedad de texturas y colores en paneles experimentales.

4.2.2 La densidad:

El factor densidad importa dado que influye en el peso final del panel constructivo, en la facilidad de su manipulación en taller y obra, y en la capacidad de aislación térmica verificada en los ensayos. De los ensayos se observaron que existen dos variaciones debidas al tipo de adhesivo y a la granulometría utilizada. Las probetas presentaron un aumento de densidad cuando el adhesivo fue el cemento dado que posee un peso propio seco es superior a los otros adhesivos líquidos, éstos al fraguar pierden humedad y peso. Dentro de las mezclas, en todos los casos la densidad aumenta cuando el contenido de adhesivo es alto, siendo más evidente en el cemento. Lo mismo referido a la granulometría, cuando es pequeña (100% aserrín) dado que favorece a una mejor acomodación de las partículas otorgando un menor espesor final de panel. Esto se corrobora con la densidad de MPF proveniente de la sierra circular (aserrín y polvo) que posee una mayor densidad dentro del grupo de maderas secas. En todos los casos la dispersión de las mediciones aumenta desde la granulometría fina (aserrín) con poca dispersión, luego la granulometría gruesa (100% viruta), hasta el máximo de dispersión con la mezcla (50% - 50%). Referido al adhesivo y contrariamente a lo esperado, el cemento presentó la mayor dispersión, luego el adhesivo D3 y UF presentaron muy baja dispersión.

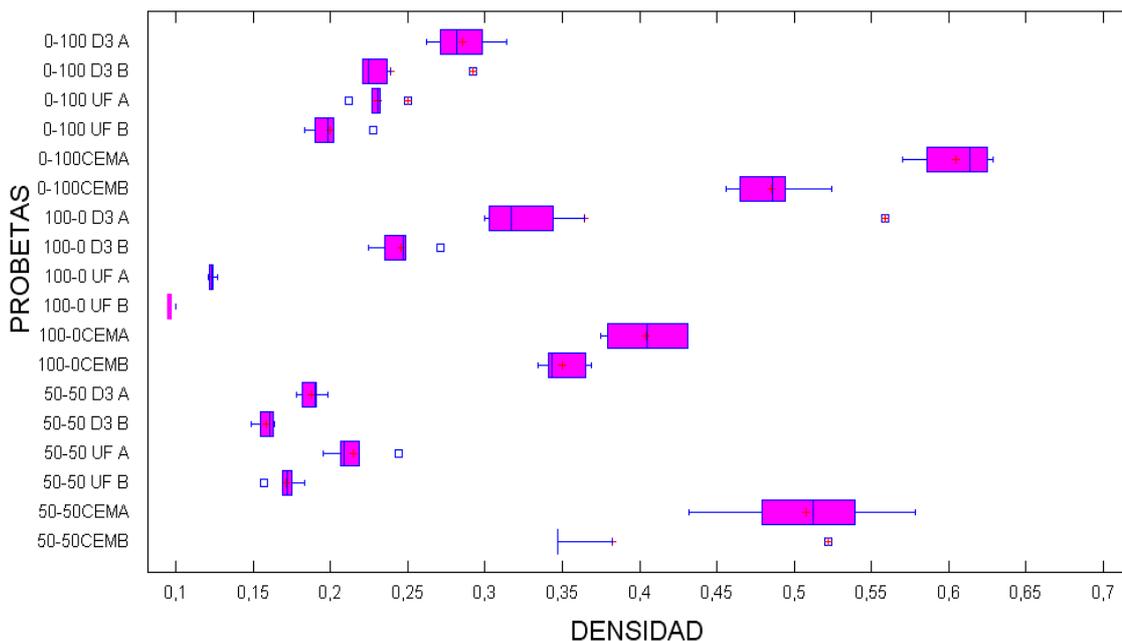


Gráfico 30 Densidad de probetas: Medias y desvíos.

4.2.3 Contenido de humedad

Este factor afecta directamente a la capacidad de aislación térmica del material por la conductividad térmica del agua, y a las condiciones favorables para la propagación de hongos disminuyendo su vida útil. Las probetas que presentaron menor contenido de humedad son a base de cemento en rangos de entre 5,5 % al 6,6 %, con la tendencia de retener mayor humedad se presentaron en las de menor contenido de cemento; mientras que en las probetas de UF y D3 se comportaron de manera similar con altos contenidos de humedad. Para las probetas de UF el contenido de humedad varía entre 11,3 % a 12,1 % con el menor valor para la mezcla de 50% - 50% UF-B, y mayores retenciones de humedad en contenidos de adhesivo altos; en cambio, para las probetas de D3 mostraron valores entre 8,6 % a 11,0 % siendo la tendencia de menor contenido de humedad las de mayor contenido de adhesivo. (ANEXO I: Contenido de humedad de probetas).

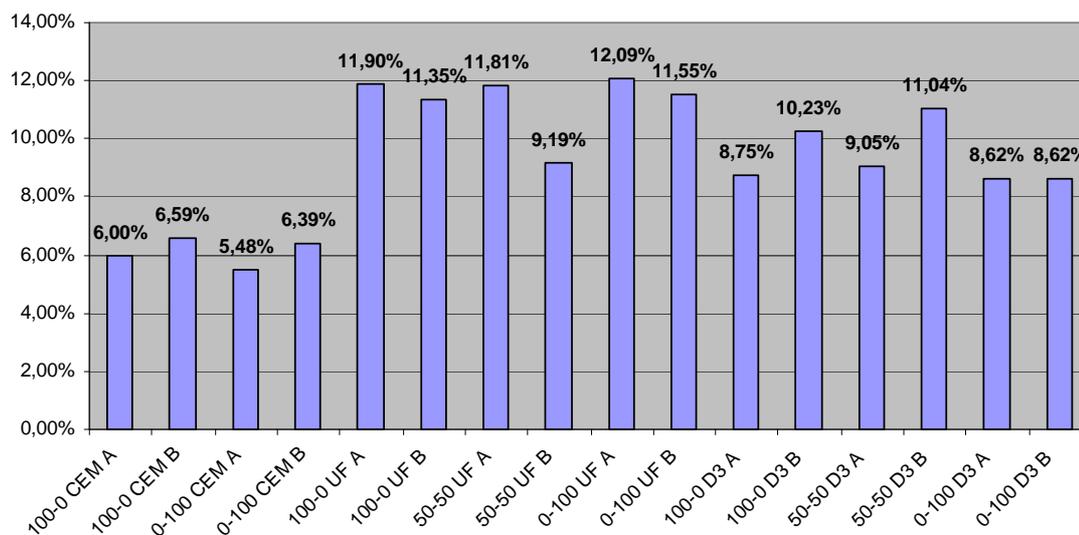


Gráfico 31 Contenido de humedad (%) en probetas (base húmeda).

En la relación entre densidad y contenido de humedad se observó que para las probetas de mayor densidad, poseen menor contenido de humedad y viceversa. Esta relación se presentó entre-grupo por tipo de adhesivo, mientras que la relación intra-grupo por tipo de granulometría es aleatoria, aumentando el contenido de humedad para densidades bajas en el cemento, y viceversa en el adhesivo UF donde disminuyó la humedad con la densidad; en el adhesivo D3 es aleatorio.

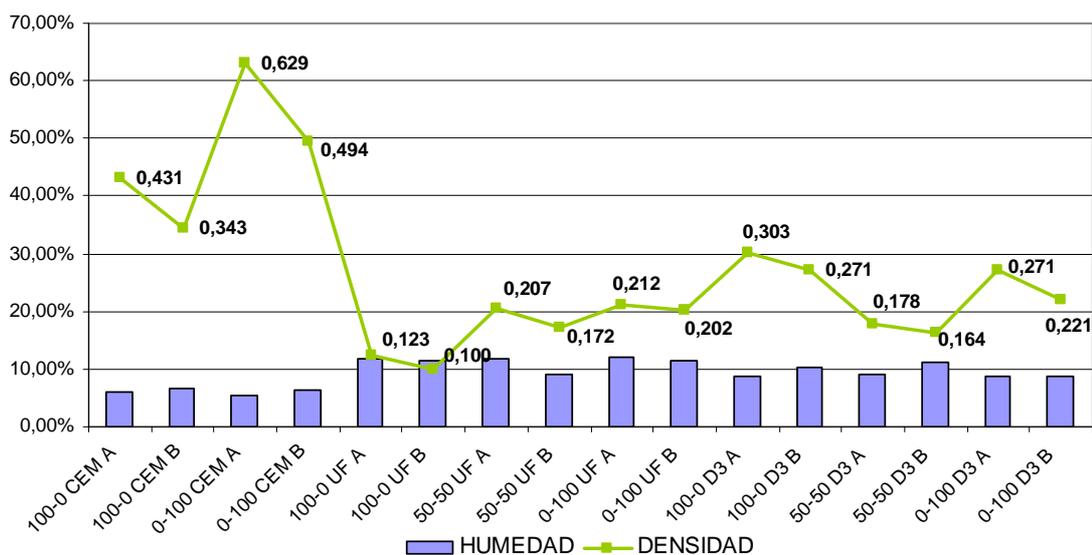


Gráfico 32 Probetas relación densidad (gr/cm^3) – humedad (%)

Se puede inferir que el contenido de humedad varía según la capacidad del adhesivo de permitir a la madera absorber humedad es decir la

impermeabilidad que le proporciona, otorgándole una propiedad hidrofóbica. Este efecto se observó al determinar el pH en el condensador, donde las partículas de madera sin adhesivo absorbían agua rápidamente y no flotaban en la superficie del agua, mientras que la madera disgregada de paneles con adhesivos presentaban cierto agrupamiento en la superficie del agua por flotación lo que denota la poca absorción de agua.



Viruta suelta sin adhesivo
absorción de agua homogénea

Panel 0-100D3A con adhesivo
poca absorción de agua flota.

Panel 0-100UFA con adhesivo
poca absorción de agua flota.

Foto 26 Hidrofobicidad de material de probetas, ensayo de pH

4.2.4 Potencial hidrógeno pH de paneles:

La madera de pino en virutas demostró un pH ácido del orden de 4,90, y no denotó una diferencia significativa al cambiar de estado madera maciza a madera en aserrín o viruta. La madera de pino al estar impregnada con CCA al $6,4 \text{ kg/m}^3$ en viruta posee un pH del orden de 5,07; es decir un 3,4 % menos ácido por lo cual confiere un menor ataque a los metales. Los adhesivos utilizados como el cemento son muy alcalinos con un pH de 12, el adhesivo Urea Formaldehído posee un pH 7,6 y el adhesivo D3 polivinilo posee un pH de 3,5 una vez catalizado. Las probetas de los paneles compuestos con madera de pino al estar combinado con distintos adhesivos varían significativamente su pH en función de estos últimos. Para el cemento da un pH alto, es muy alcalino y con una media de 10,985 y un CV muy bajo de 1,004 %, mientras que en los adhesivos UF y el D3 poseen PH ácidos, con medias del orden de 5,138 y 4,613 respectivamente; y con CV mayores, con 3,504 % para el UF y el de mayor CV de 6,435 % para el D3.

Tabla 21 Medición de pH en probetas.

PROBETA- muestra	pH	estadística
100% pino seco	4,9	
100% pino seco CCA	5,07	
Cemento adhesivo	12,0 - 12,5	
100%-0% CEM A	11,09	X = 10,985
100%-0% CEM B	11	S = 0,110
0%-100% CEM A	11,02	CV = 1,004%
0%-100% CEM B	10,83	
UF adhesivo	7,4 - 7,8	
100%-0% UF A	5,3	X = 5,138
100%-0% UF B	5,33	S = 0,180
50%-50% UF A	4,9	CV = 3,504%
0%-100% UF A	5,04	
0%-100% UF B	5,12	
D3 adhesivo	4,0 - 6,0	
100%-0% D3 A	4,11	X = 4,612
100%-0% D3 B	4,69	S = 0,297
50%-50% D3 A	4,66	CV = 6,435%
50%-50% D3 B	4,85	
0%-100% D3 A	4,8	
0%-100% D3 B	4,56	

4.2.5 Comportamiento Térmico:

La aislación térmica referida a la capacidad de retardar el paso del calor desde el exterior al interior del edificio, para el ensayo se refiere desde el interior de estufa al exterior en el ambiente. Se observó que con el paso del tiempo la probeta que mejor se comportó es la 0% -100% UF-ALTO que demostró un rápido aumento de temperatura a los 25 minutos con 32 °C pero se mantuvo estable en adelante, caso contrario la probeta 100%-0% CEM-BAJO que demostró un retardado aumento de temperatura alcanzando los 34 °C a los 40 minutos y en aumento progresivo.

Las probetas que mejor comportamiento de **aislacion térmica** (Δt) presentaron a los 40 minutos de exposición son la 100%-0% UF-ALTO con 75 °C y 0%-100% UF-ALTO con 74 °C, las peores son 100%-0% CEM-BAJO 70 °C y 0%-100% D3-ALTO con 70,5 °C. Comparando con los materiales comúnmente usados como termo-acústicos, el promedio general de las probetas alcanzaron 32,7 °C en la cara exterior muy por debajo que el resto de los materiales 37,5 °C para la lana de vidrio (Spanacustic) y 43 °C para la placa de lana mineral (Armstrong), el único similar es la madera maciza de

pino de 36 mm con 33°C, la diferencia radica que para el promedio de los paneles esta temperatura se alcanzaron a los 30 minutos y se mantuvieron estable en adelante, mientras que para la madera alcanzaron a los 35 minutos pero continuaron en ascenso. (ANEXO M: Clasificación de probetas por aislación y conductividad térmica) (ANEXO N: Clasificación de probetas por resistencia térmica)

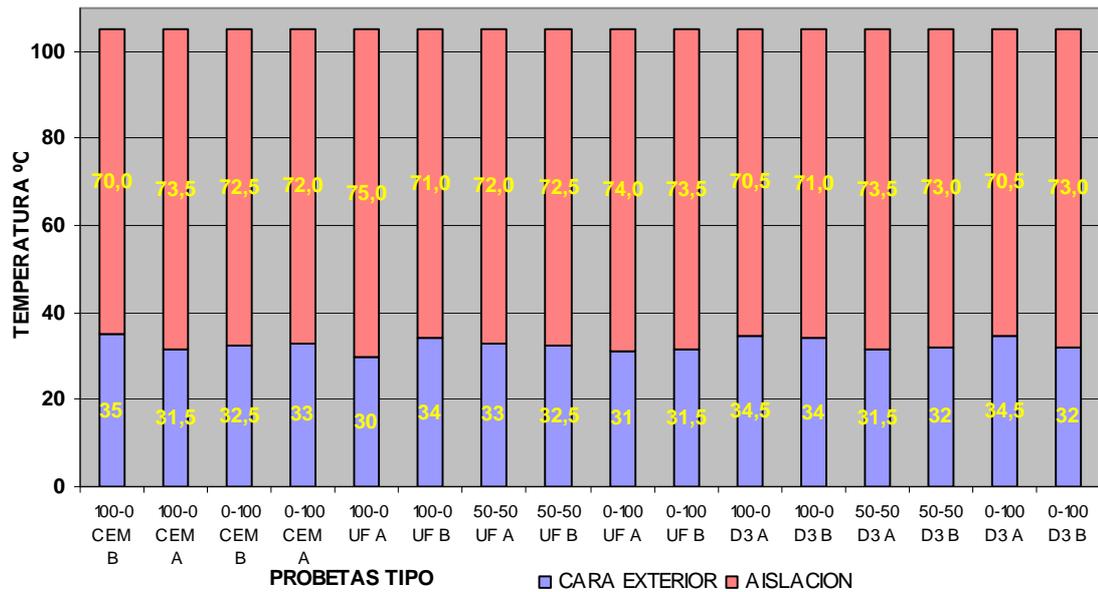


Gráfico 33 Aislación térmica entre probetas.

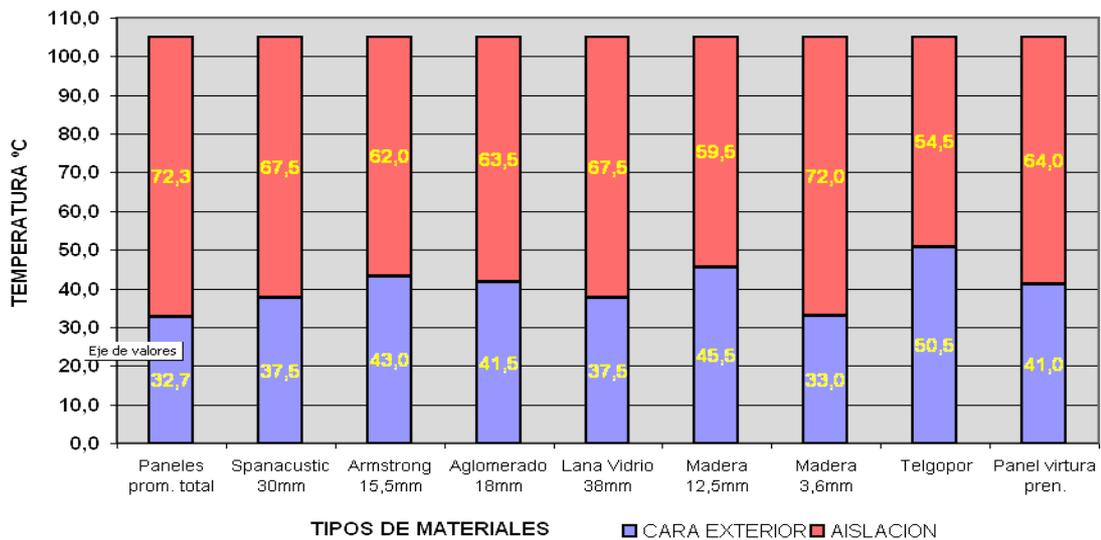


Gráfico 34 Aislación térmica final: Panel vs. Materiales tradicionales.

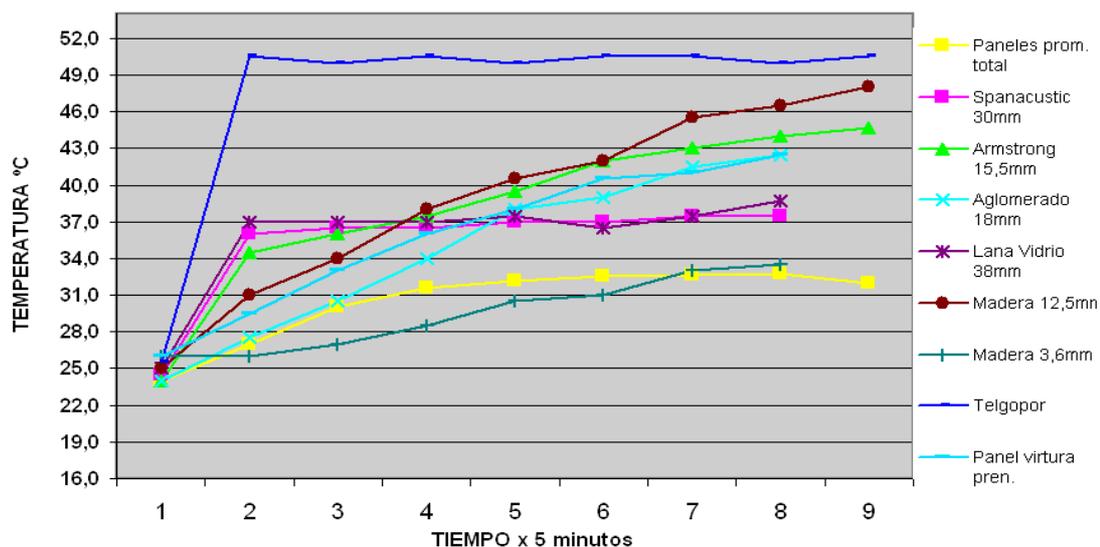


Gráfico 35 Aislación térmica evolución: Panel vs materiales tradicionales.

Las probetas que mostraron fluctuaciones térmicas, se estima fueron a causa de la sensibilidad a las variaciones de temperaturas dentro de la estufa al activarse el termostato fluctuando ± 2 °C. Las fluctuaciones térmicas fueron más significativas para las de granulometría gruesa 100%-0% (viruta) que permitieron el paso del aire por la macro-porosidad, siendo las de 0%-100% (aserrín) las más estables. Respecto a los adhesivos se observó menor fluctuación de temperatura en el cemento dado que posee mayor inercia térmica, mientras que en el UF y D3 fueron más variables por la capacidad de pérdida de temperatura rápida.

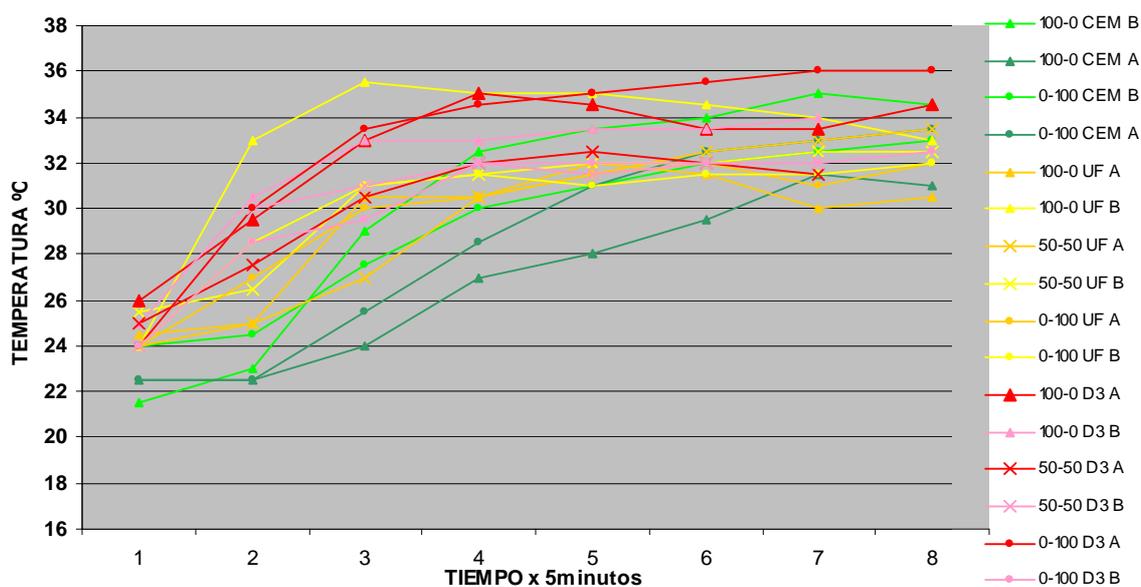


Gráfico 36 Aislacion térmica entre probetas, evolución de gradiente térmico.

En el análisis de condiciones de borde, se previó la variación de temperatura por la incidencia del contacto del panel con el metal de la estufa, posibles filtraciones de aire caliente y variación de temperatura por convección ascendente en la cara exterior superior, factores a tener en cuenta al momento de realizar un diseño constructivo. Los paneles mostraron diferencia significativa de temperatura entre el borde inferior con menores temperaturas respecto del superior a mayores temperaturas, así mismo sobre los laterales presenta mayores valores y se duplica esa diferencia hacia las esquinas de los paneles donde tenemos doble contacto con el metal. Respecto al desarrollo en el tiempo, la diferencia de temperatura en el centro del panel con el promedio total de condición de borde, se observó que el borde tiende a ser mayor al inicio y disminuir con el tiempo. Esta tendencia fue más evidente en materiales de mayor densidad.

probeta: 100-0 CEM-B												
Tiempo min.	5			20			35					
$\Delta T(\%)$	233%			156%			183%					
X	30	26	28	25,3	35	35	34	31,9	36	35	35	32,7
S	24	23	26	2,4	32	33,5	36	3,64	33	34,5	34,5	3,11
CV	24	24	23	0,09	27	28	27	0,11	29	29	28	0,1

Gráfico 37 Temperaturas por efecto de condición de borde.

Al estudiar la **inercia térmica** referida a la capacidad de pérdida del calor acumulado en el panel, se observó una caída de temperatura en la cara interna del panel al sacar de la estufa en un período de 3 minutos hasta alcanzar su equilibrio con la temperatura ambiente de 25 °C. Se presenta la curva que mejor ajusta al panel 100%-0% D3-ALTO. Los paneles con mejor comportamiento referido a la rapidez de pérdida de temperatura (propicio para edificaciones en clima cálidos) son 50%-50% y 0%-100% UF, el de peor condiciones presenta a base de cemento con la MPF gruesa 100%-0%, (estos son propicios para climas fríos).

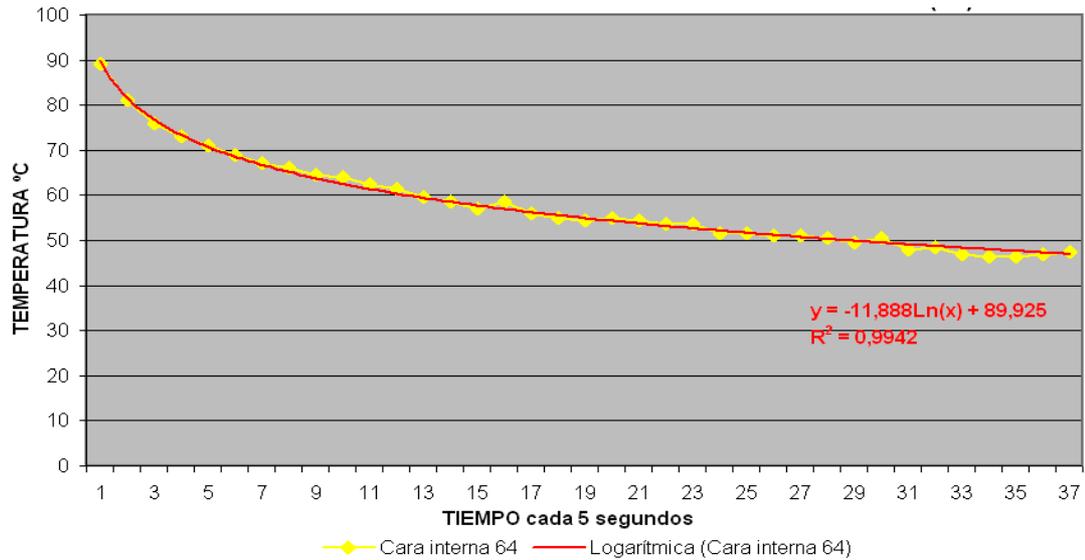


Gráfico 38 Caída de temperatura, cara interna Panel (64) 100%-0% D3-ALTO

Comparando con los materiales tradicionales, el panel 100%-0% D3-ALTO (mejor) presentó un comportamiento regular dado que tarda en perder calor, ya que los otros materiales termo-acústicos presentan una rápida pérdida de calor. Dos casos notables respecto al panel del presente estudio, son el aglomerado que presentó mayor inercia térmica y la madera maciza 36 mm que si bien posee una rápida caída de temperatura del 30 %, el resto del calor posee una gran inercia térmica. La lana de vidrio y el Spanacustic (placa de lana mineral) demostraron una rápida perdida de temperatura dado que el aire caliente atrapado entre sus fibras se escapa rápidamente (baja inercia térmica).

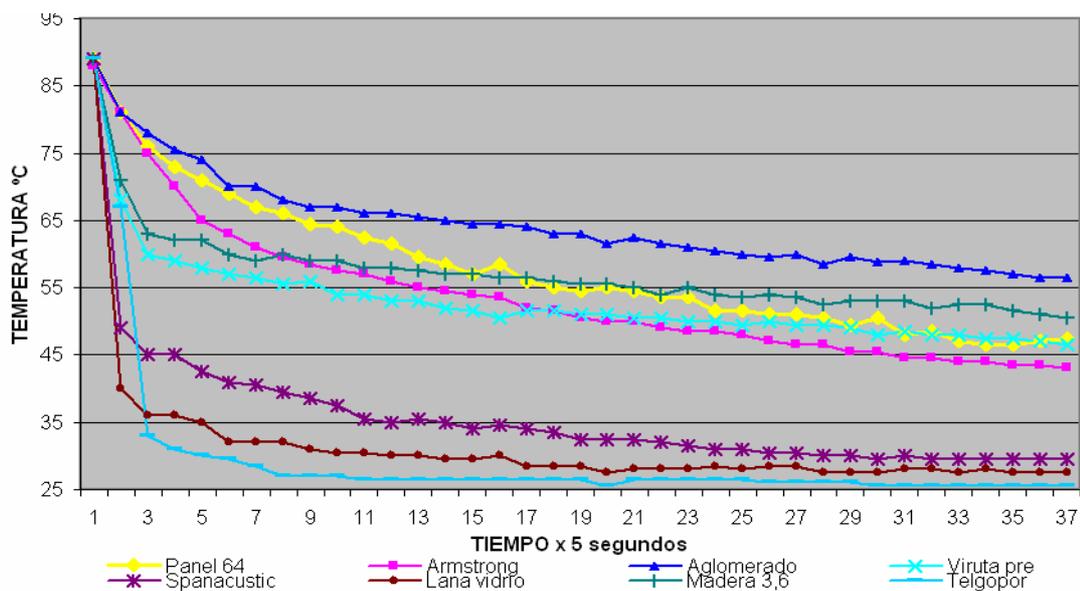


Gráfico 39 Inercia Térmica Panel vs Materiales tradicionales

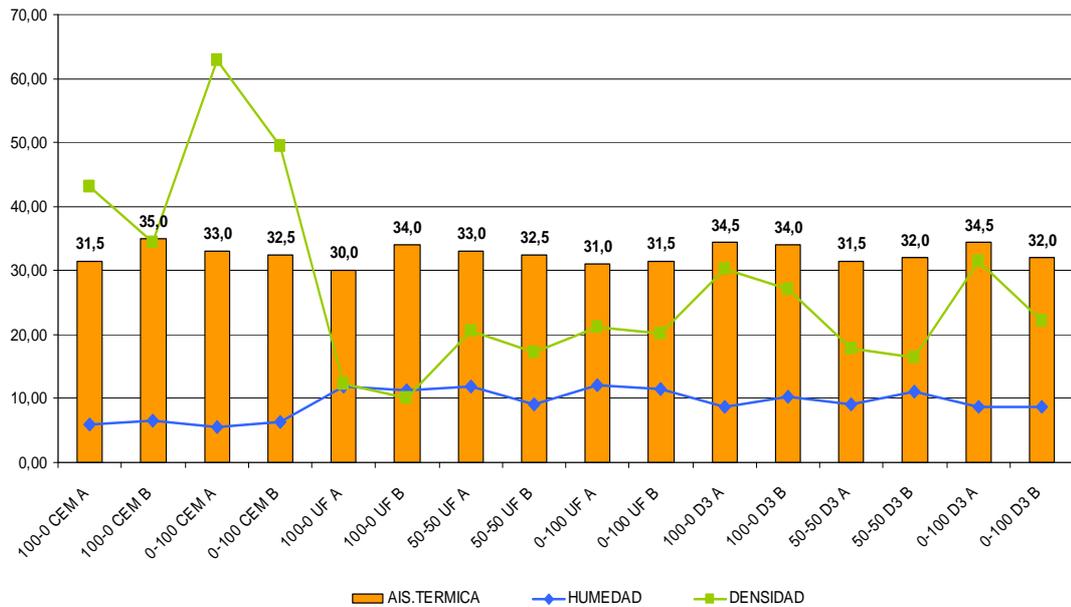


Gráfico 40 Relación Densidad – Humedad - Aislación térmica

Para cuantificar la capacidad térmica de los paneles (material compuesto) y poder comparar con otros materiales comerciales, se determinó el **coeficiente de conductividad térmica teórico** " $\lambda_{teorico}$ " para lo cual se desarrolló un método analítico en base a la Ley de Mezclas, que consiste en: calcular la Resistencia térmica "Ri" de cada uno de los componentes del panel (madera, adhesivo, aire, agua) cuantificar según las proporciones de composición, determinar los espesores teóricos, e integrar para obtener la Resistencia térmica total "Rt" con lo que se calcula el coeficiente de conductividad térmica del panel " λ_{total} ". Los datos obtenidos fueron correlacionados con la medición térmica Δt y verificada con la base de datos de materiales de las normas IRAM 11601. (ANEXO L: Determinación analítica de coeficiente de conductividad térmica de cada panel).

Tabla 22 Metodología de cálculo analítica para determinar valores de conductividad térmica en base a datos teóricos.

AISLACION TERMICA DE MATERIAL COMPUESTO														
Cuadro resumen para evaluar la aislacion termica PARCIAL de un PANEL ciego con MATERIAL COMPUESTO en regimen NO ESTACIONARIO														
Texto y numero en azul son datos cargados			λ Conductiv. Termica (e/R) (e/K)						R Resistencia Termica (e/λ) (1/K)					
Madera material leñoso (celulosa lignina) densidad: 1,5300									K Trantancia Termica (λ/e) (1/R)					
PANEL 100-0 CEMA (7)											CONDUCCION			
Componente	Material	Sentido flujo calor	Area	Espesor	Volumen	Peso dosificacion	Densidad	Humedad	% volumen material	Macro-Porosidad	Micro-Porosidad	Conductiv. Termica	Resistencia Termica	Trantancia Termica
simbolo	m	↓ →	a	e	v	p	δ	%	% v	% aire	% aire	λ	R	K
unidad			cm2	cm	cm3	gr	gr/cm3					W / m.°C	m2.°C / W	W / m2.°C
Rse (1/He)		→												
Rsi (1/Hi)		→												
1	CEMENTO (20%)	→	900	0,810	729	1020	1,4000		19,6%			1,0470	0,773	1,293
2	MADERA PINO (20% 15%N)	→	900	0,630	567	340	0,6000		15,2%		39,22%	0,1600	3,935	0,254
3	AIRE (27%)	→	900	2,691	2422	3	0,0012		65,2%		100,00%	0,0262	102,704	0,010
4	AGUA (27%-NHum)	→	900	0,110	99	99,0	0,9965		2,7%			0,6150	0,180	5,569
TOTAL	<i>calculo</i>				3816	1462	0,393				65,2%	λ = 0,038	107,592	0,009
	<i>medicion</i>		900	4,130	3717	1600	0,430	6,19%				Δt = 73,5	δ calculo = 0,393	

Tabla 23 Conductividad térmica y Aislacion térmica ordenados por capacidad aislante en Δt.

TABLA: ORDEN DE PANEL CON MEJOR AISLACION (Δt)										
ADHESIVO	identif.	Peso	Espesor	Densidad	Humedad BH (%H %)	Temp cara exterior °C	Aislacion termica °C	Conductiv. Termica	Resistencia Termica	
		gr	cm	gr / cm3	%	°C	Δt	λ	R. (e/λ)	
0-100 UF A	43	481	2,53	0,212	12,09%	31	74	0,035	72,8	
0-100 UF B	47	428	2,35	0,202	11,55%	31,5	73,5	0,035	68,0	
50-50 D3 A	75	428	2,68	0,178	9,05%	31,5	73,5	0,034	79,9	
100-0 CEM A	7	1600	4,13	0,431	6,59%	31,5	73,5	0,038	107,6	
0-100 D3 B	87	358	1,80	0,221	8,62%	32	73	0,038	47,4	
50-50 D3 B	77	377	2,55	0,164	11,04%	32	73	0,033	76,4	
50-50 UF B	56	406	2,63	0,172	9,19%	32,5	72,5	0,033	78,8	
0-100 CEM B	18	1200	2,70	0,494	6,39%	32,5	72,5	0,043	63,3	
100-0 UF A	32	485	4,38	0,123	11,90%	33	72	0,030	144,3	
50-50 UF A	52	502	2,70	0,207	11,81%	33	72	0,034	79,4	
0-100 CEM A	13	1600	2,83	0,629	5,48%	33	72	0,049	58,0	
100-0 UF B	36	404	4,48	0,100	11,35%	34	71	0,030	150,3	
100-0 D3 B	70	774	3,18	0,271	10,23%	34	71	0,032	100,8	
100-0 D3 A	64	832	3,05	0,303	8,75%	34,5	70,5	0,032	94,2	
0-100 D3 A	82	417	1,48	0,314	8,62%	34,5	70,5	0,044	33,5	
100-0 CEM B	1	1190	3,85	0,343	6,00%	35	70	0,037	105,3	

4.2.6 Comportamiento Acústico:

El aislamiento acústico referido a la capacidad de absorber el nivel de ruido en distintas frecuencias medidas en decibeles. Las probetas de mejor comportamiento demostraron en los 3 niveles de frecuencias son 0%-100% D3-ALTO y 0%-100% CEM-ALTO y BAJO estas poseen granulometría pequeña (aserrín). La frecuencia que menos aislaron son las altas frecuencias (6.000 Hz) luego las bajas frecuencias (150 Hz) y el mejor comportamiento se registró con la frecuencia media (1.000 Hz). (ANEXO J: Aislación acústica de probetas según frecuencias)

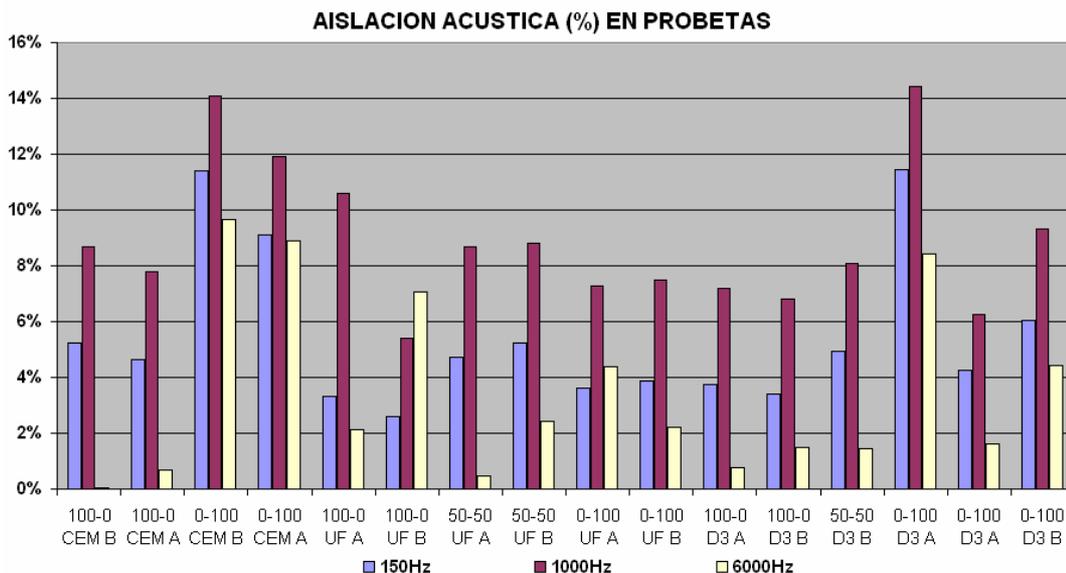


Gráfico 41 Aislación acústica (%) en probetas.

Referido a los materiales tradicionales los paneles demostraron una posición intermedia, los materiales de mayor densidad, homogeneidad y compacidad en su estructura como la madera maciza, el tablero de viruta prensada y la placa Armstrong, poseen una mayor aislación acústica, mientras que otros materiales termo-acústicos como las placas de cielorraso Spanacustic y lana de vidrio, poseen menor calidad de aislación.

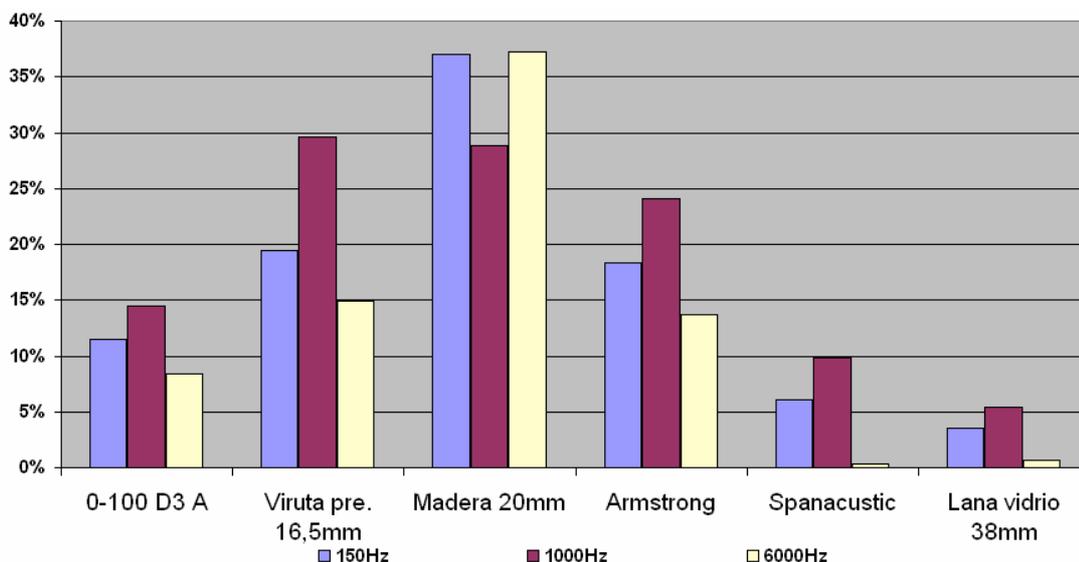


Gráfico 42 Aislación acústica (%) Probeta vs Materiales tradicionales.

4.2.7 Comportamiento al Fuego:

Los parámetros que se evaluaron fueron: tiempo de ignición, temperatura de ignición, deformaciones. Se midió el tiempo en que tarda en llegar a la temperatura máxima de 270 °C y el tiempo que tarda en producirse la ignición o el deterioro del panel (agujero) sobre la cara superior; la temperatura se midió con el termómetro digital de lectura instantánea. Además se midieron otros parámetros como generación de humo, deformaciones por calor, desgranados o rotura por acción del fuego. Se observó que los paneles con granulometría gruesa (virutas) alcanzaron rápidamente la temperatura máxima, le siguieron la mezcla (viruta aserrín) y las que más retardaron son de granulometría fina (aserrín). Respecto a los adhesivos el más rápido fue el D3 luego el UF y por último el cemento.

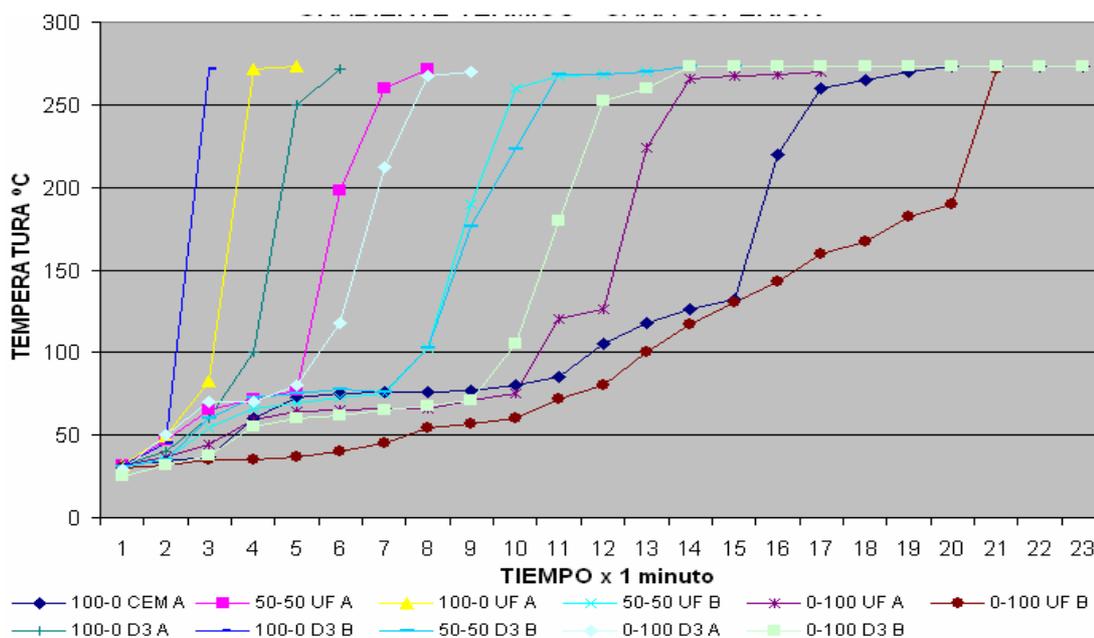


Gráfico 43 Gradiente térmico probetas – Cara superior.

En el gráfico inferior se observa el tiempo y temperatura de ignición y las probetas que alcanzaron la ignición espontánea, esto es importante en las edificaciones por el tiempo de escape de personas antes de colapso el edificio. La ignición espontánea se presentó en los tres tipos de granulometría fina, gruesa y mezcla, pero varió el tiempo, siendo mas rápida en la viruta, dado que posee mayor cantidad de oxígeno intermedio. El peor de los paneles es el 100%-0% D3-BAJO que a los 2,1 minutos produjo la

ignición espontánea. Respecto a la relación densidad- temperatura de ignición no existe una relación directa.

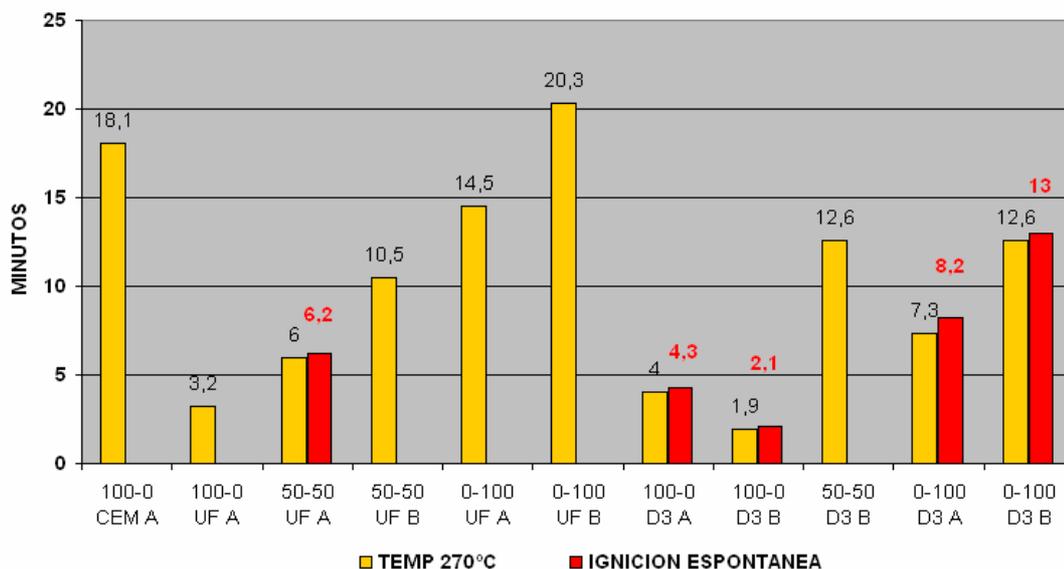


Gráfico 44 Temperatura de ignición y tiempo de ignición.

Otros parámetros que se observaron fueron la generación de humo, efecto negativo en las edificaciones por la intoxicación de las personas y la falta de visión para el escape. Las probetas de granulometría gruesa (virutas) generaron mayor cantidad y densidad de humo. Las probetas de adhesivo UF y D3 presentaron humo con coloración amarillo negrusco de alta densidad en las mezclas 50%-50%, y humo de color negro en la mezcla 0%-100% fina (aserrín). Las probetas de cemento presentaron poco humo y de poca densidad, y la probeta 100%-0% UF-ALTO no presentó humo al tiempo de deterioro. En la mayoría de los casos la generación de humo fue a partir del 70% del tiempo que tarda en alcanzar la ignición o deterioro.

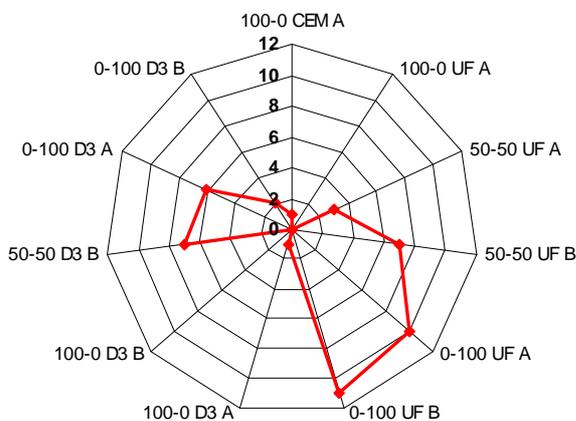


Gráfico 45 Tiempo de retardo en generar humo.

4.2.8 Comportamiento al Agua:

Se midió la capilaridad a través de la altura de ascensión de la mancha de humedad, las probetas con más ascensión fueron las de cemento primero las de granulometría fina (aserrín) y luego las gruesas (virutas) no presentaron hinchamiento, deformación, ni disgregado. Las probetas con peor comportamiento fueron con el adhesivo de D3 de granulometría gruesa y bajo adhesivo, acompañado de deformaciones y disgregado. Respecto al ataque de hongos en un periodo de 21 días las probetas que presentaron hongos fueron a base de cemento en la línea de agua, las probetas de adhesivo D3 presento algunas manchas y las probetas con adhesivos de UF no presentaron hongos o manchas. Como referencia los listones de multilaminado utilizados como separadores, presentaron una gran propagación de hongos en sus láminas a igual tiempo de exposición.

4.2.9 Comportamiento a la Retracción por fragüe:

Sirve para determinar el efecto del material aislante en estado de pastón cuando es vertido en interior de panel de vivienda. La retracción se refiere a la variación dimensional causada por la pérdida de humedad del empaste, esto fue notable en los adhesivos UF y D3 especialmente con los de granulometría fina (aserrín), el cemento presento poca retracción. La deformación se produjo por la retracción del adhesivo entre las partículas de la madera al evaporarse el agua, ya que los adhesivos demostraron diferencia significativa de retracción respecto a la madera: el UF de tipo higroscópico presentó mayor retracción; el D3 con propiedades elásticas y termino medio de retracción; mientras que el cemento demostró una retracción menor respecto a la madera, por lo que la madera es la representativa en la retracción por la absorción de humedad. Así para las probetas de partículas pequeñas presentó mayor retracción por un mayor número de interfase material-adhesivo, mientras que en las partículas grandes presentó menor interfase de material-adhesivo, Se observó que la deformación por retracción en el fragüe es permanente.

4.2.10 Contracción por diferencial térmico:

Sirve para determinar el efecto del material aislante en placas colocadas en sectores con gran diferencial térmico como ejemplo en cielorrasos calientes. Dado que el calor irradiado en la cara expuesta produce la evaporación de la humedad de la probeta, esta deformación es transitoria volviendo a su estado original aproximadamente en un 70 % al enfriarse, y una vez alcanzado el contenido de humedad de equilibrio recupera el 100 %. La contracción por deformación en la cara interna se cuantificó por el Índice de Convexidad referente a los puntos laterales (L = 30,0 cm) y diagonales (D = 42,4 cm). En el grafico se observa que es mayor la contracción en sentido diagonal que la longitudinal, estos valores están expresados en porcentaje (%) respecto de su longitud. El caso de retracción las probetas 100%-0% D3-ALTO y BAJO no se despegaron de su encofrado, y presentan valores 0,0 %. Los valores de medias, desvíos y coeficiente de variación se expresan en ANEXO K: Deformación de retracción por temperatura.

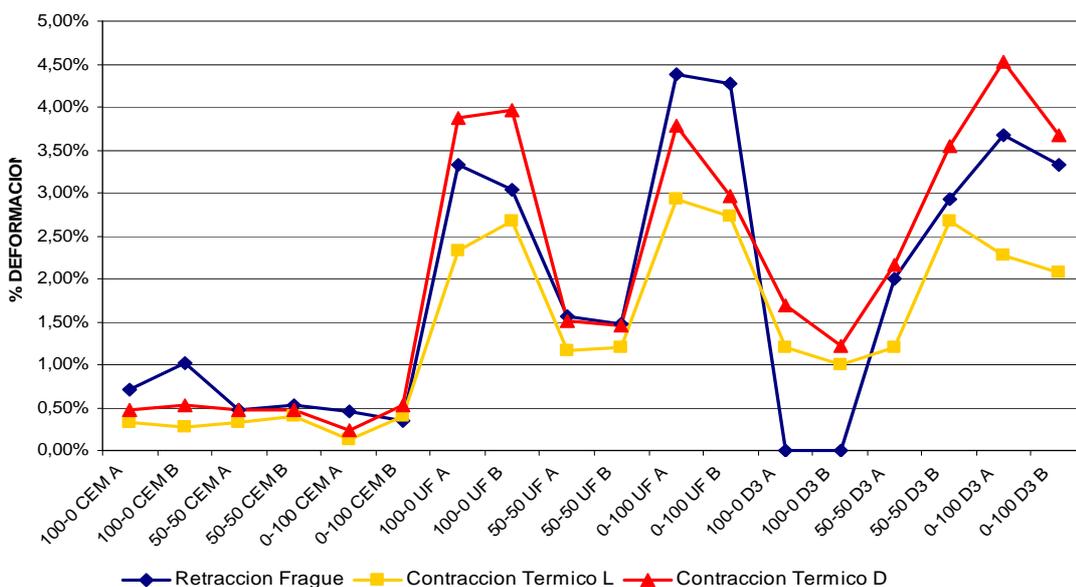


Gráfico 46 Retracción y contracción en probetas.

4.2.11 Comportamiento a la Manipulación:

Se evaluó la facilidad de desmolde (fragilidad), deformación o rotura por peso propio (flexión estática), desgranado del material (abrasión); al realizar la extracción de las probetas 30 x 30 cm de sus moldes, y su manejo durante los procesos de ensayos. Se realizó una ponderación de las variables de

malo a muy bueno. En el desmolde, las probetas de “cemento” con mezclas 100%-0% ALTO y 50%-50% ALTO, fueron las que manifestaron el mejor comportamiento frente a las propiedades flexión estática y dureza, además presentaron alta densidad. La mezcla 0%-100% BAJO demostró problemas de desgranamiento y falta de cohesión, desgranándose al desmoldar. Las probetas de resina de “urea formaldehído” en mezclas de 100%-0% ALTO, presentaron mayor contracción de fraguado y fácil desmolde, buena manipulación con cierta elasticidad, tuvieron un considerable asentamiento y compactación con densidad media. Las probetas de resina de “urea formaldehído” 0%-100% BAJO, el desmolde se dificultó por la poca adhesión y compactación, desgranándose en la mano. Las probetas de “adhesivo vinílico mono-componente D3” en mezclas de 0%-100% ALTO, tuvieron una contracción de fraguado media y fácil desmolde, buena manipulación y cierta rigidez; tuvieron poco asentamiento y compactación con densidad media baja, (ver foto 9); las probetas con mezclas 50%-50% y 100%-0% BAJO no resultaron deseables por desgranarse al manipular.

4.2.12 Comportamiento al Aserrado:

Se midieron los parámetros del aserrado para su uso en obra. Se evaluaron la facilidad del corte, homogeneidad del corte, desgranado de material, descascarado de superficie. Se realizó una ponderación de las variables de malo a muy bueno.

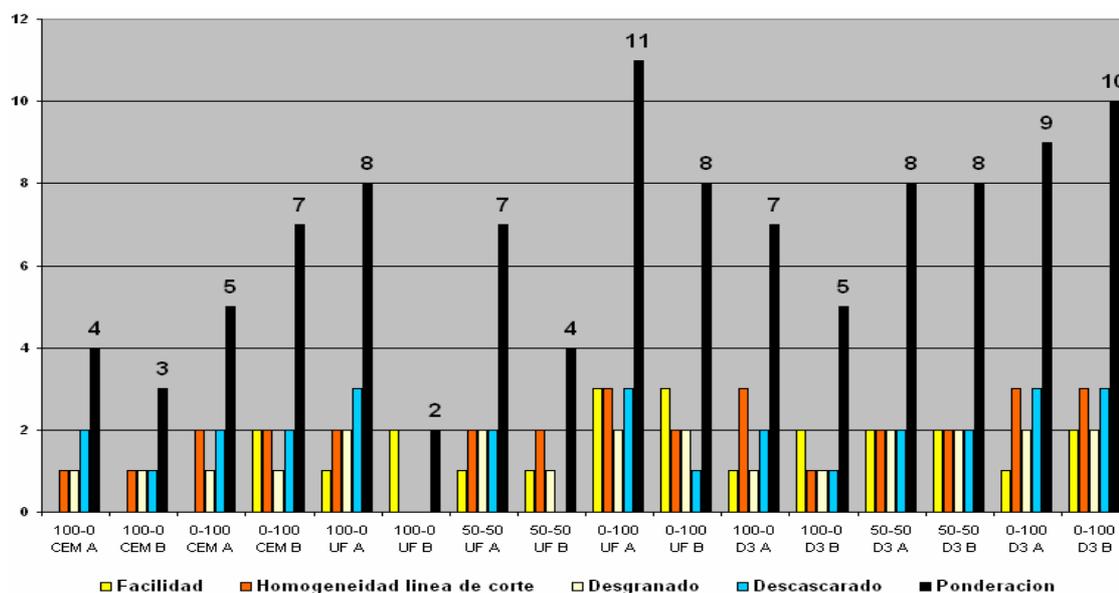


Gráfico 47 Aserrado en probetas, ponderación de factores.

4.3 Costo de producción de los paneles

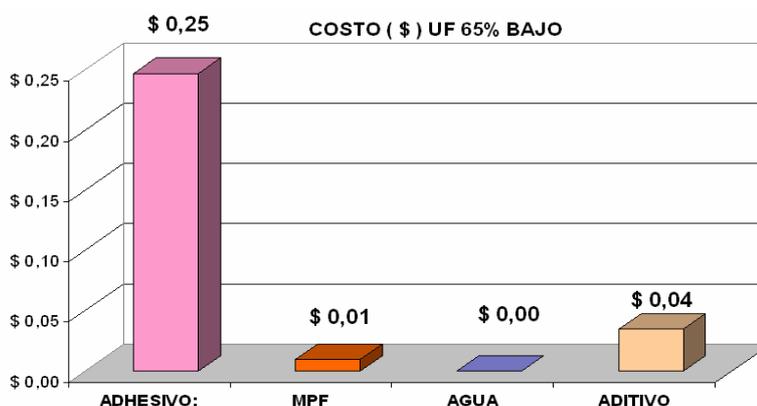
El análisis de costos se refiere a la producción de paneles en laboratorio e incluye los costos exclusivamente de los materiales componentes, dado que realizar una estructura de costos de producción en el mercado incluye diversos factores: maquinaria, mano obra, transporte, energía, factores de producción a escala, etc.; que superan a los alcances del presente trabajo.

4.3.1 Costo de residuos de madera (MPF):

En la región se tiene un precio promedio de residuos de madera seca en aserrín y virutas en el orden de los 8 u\$/tn. = 28,5 \$/tn., el cual presenta una densidad suelta de virutas de 0,27 tn/m³ y aserrín de 0,061 tn/m³, promediando ambos en 0,165 tn/m³, lo que equivale a 1,32 u\$/m³ = 5 \$/m³. (Factor de conversión peso a dólar de 3,78).

4.3.2 Costo de materiales para paneles aislantes:

Para la elaboración de los paneles aislantes, los materiales considerados fueron residuos de MPF valuados en 28,5 \$/tn., los adhesivos, catalizadores y el agua. El costo varía significativamente con el tipo de adhesivo, catalizador o aditivo utilizado, representando en más del 85 % para el adhesivo UF y 94 % para el D3, mientras que los aditivos o catalizadores representan el 12 % para UF y 5 % para D3; respecto a la MPF (residuos secos de aserrín viruta) si bien en los últimos años a aumentado su valor, no incide en el costo final de los paneles, representando menos del 3 %; el costo del agua no llega al 1 %. (ANEXO C Costos de producción de paneles)



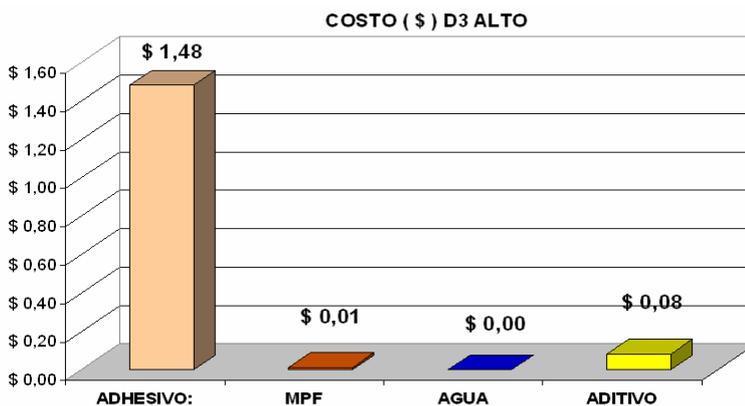


Gráfico 48 Estructura de costo de materiales para paneles (CELANO 2009).

Dado que los paneles se elaboraron con dosificaciones por peso, los mismos variaron significativamente en espesor y volumen, por lo que se elaboró la siguiente tabla de costos por m³ a fin de poder comparar entre distintos paneles y materiales aislantes, además de determinar el costo según los espesores requeridos por aislación térmica.

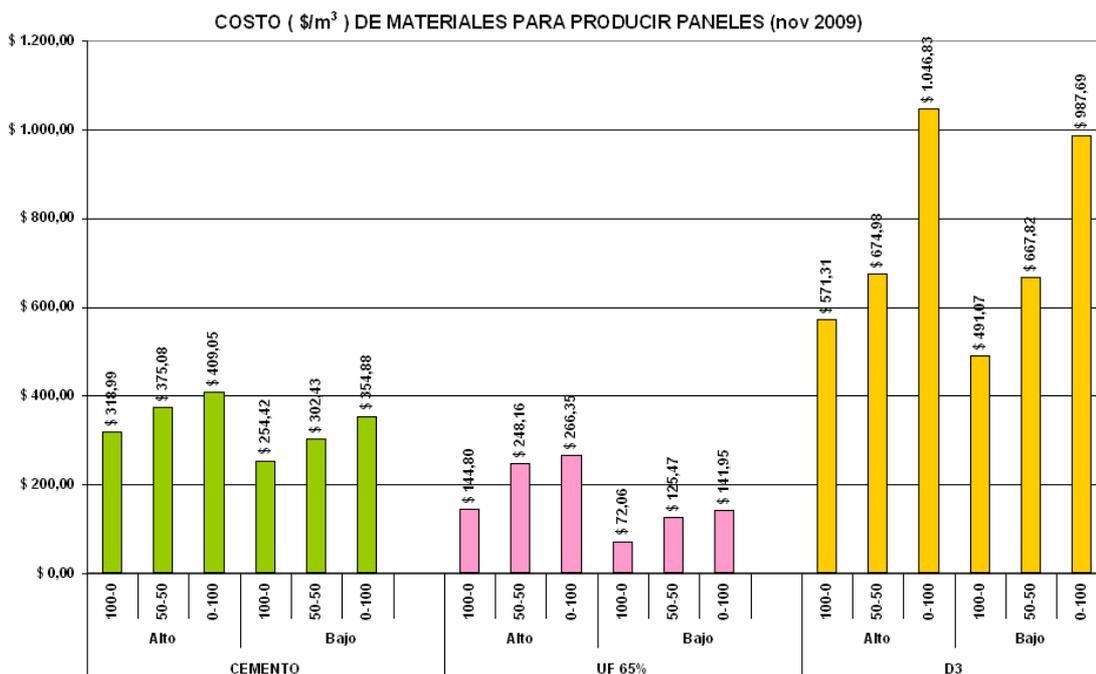


Gráfico 49 Costo de materiales para producir 1 m³ de panel (CELANO 2009).

CAPITULO 5.- CONCLUSIONES

A. Del análisis de los resultados del presente trabajo, en el que se estudiaron las características de los residuos de madera (viruta, aserrín), considerándose como MPF (materia prima fibrosa) para la elaboración de paneles termo-acústicos, se concluye:

- Respecto a la MPF, el porcentaje de composición granulométrica y la morfología de la materia prima esta directamente relacionada con el tipo de industria y su grado de desarrollo tecnológico. Así en la situación actual del NEA donde predominan las PYMES se obtendrá un mayor volumen pero de manera dispersa de MPF del tipo aserrín (madera verde), con densidad elevada de $0,272 \text{ gr/cm}^3$, contenido de humedad entre 70 y 80% y heterogeneidad morfológica; en menor proporción pero más concentrado se obtendrá MPF del tipo viruta, astillas o polvo a base de madera seca, con densidades que varían entre $0,042$ a $0,150 \text{ gr./cm}^3$ las que provienen de una segunda etapa de desarrollo, posterior al secado a la que pertenecen las medianas y grandes empresas.
- La situación de dispersión de las industrias requiere de un planteo de *base de acopio* integrado de MPF según sus dos ejes principales las rutas N° 12 y N° 14; o bien plantear un sistema integrado de producción dentro de una industria de gran capacidad, instalando una planta de aprovechamiento y elaboración de paneles, paralela a la industria base.
- Respecto al **costo** de la MPF, en la actualidad (2009) es una fuente de materia prima con un valor agregado considerable para diferentes usos: como biomasa para generación de energía eléctrica (10,56 u\$/tn) V.E.R.; “cama de animales” (100 u\$/tn.), pellets de astillas (160 u\$/tn.), y residuos viruta aserrín seco (28,5 \$/tn.).

- Sobre el costo de los paneles aislantes, se verificó la incidencia significativa del costo de los adhesivos entre un 85% y 93% respecto al resto de los componentes, la MPF influyó solo entre 5% a 3%.
- Respecto a las condiciones visuales de los paneles se observó que las probetas ofrecen una variedad de **texturas** y **colores** según la “MPF” y “adhesivo”, lo que posibilita la utilización como revestimientos en cielorrasos y paredes, previo tratamiento superficial de resistencia a la abrasión.
- Los ensayos físicos y tecnológicos de laboratorio, han demostrado las cualidades positivas de estos paneles alternativos para el uso en edificaciones, respetando sus características para potenciar sus cualidades.
- El comportamiento **térmico** de aislación fue superior a los materiales tradicionales denominados termo-acústicos, especialmente eficientes para clima cálidos.
- En cuanto al comportamiento **acústico** el panel fue deficiente debido a la poca masa (paramento exterior interior), pero muy bueno como material fonoabsorbente por su porosidad, pudiéndose utilizar como revestimiento interior de ambientes.
- El comportamiento al **agua** y la **manipulación** fueron considerados como muy buenos ya que estos paneles no están elaborados con altas presiones, su uso se limita al interior de paramentos (capas aislantes dentro de estructura portante y estancos a la humedad).
- El comportamiento al **aserrado** tuvo un buen comportamiento ya que no son paneles prensados, presentaron en la mayoría de los casos superficies homogéneas y baja disgregación, lo que facilita su dimensionado en obra.
- Los paneles con mejor comportamiento al **fuego**, (no ignífugo y alto de tiempo de inicio de ignición) fueron los de cemento, los cuales son

económicos, de alta densidad, pero propicios para climas fríos dada su inercia térmica; sin embargo el segundo panel de mejor comportamiento térmico, posee un alto tiempo de inicio de ignición y no propaga la llama.

B. Por las observaciones realizadas, se desprende que es factible el desarrollo de productos alternativos a base de residuos de madera que al ser utilizados como componentes en la construcción, se obtendrán rendimientos técnicos aceptables en aislaciones termo-acústicas.

Estos materiales serán económicamente rentables en el mercado regional, ya que denotan una reducción de costos de producción por ser estos componentes producidos con maquinaria regional, materia prima orgánica de costo “negativo” como el “aserrín” y “virutas” (los cuales actualmente son desperdiciados y quemados en gran parte), y con mano de obra de la región.

Además se obtendría un beneficio ambiental al utilizar un recurso natural renovable (madera de origen en bosques implantados regionales, abundante y de buena calidad) posibilitando la generación de un mercado regional de la construcción que propicie la radicación regional de inversiones productivas.

Como ejemplo de lo expuesto se presentan los lineamientos para la instalación de una industria integrada: Aserradero con línea de producción de viviendas de madera a base del aprovechamiento de residuos.

- La producción de estos “nuevos materiales” dentro de nuestro entorno tecnológico en la región NEA, es viable con la infraestructura existente en general.
- Se debería realizar una moderada inversión en maquinaria de baja amortización para armar el circuito productivo de elaboración de estos paneles, requiriéndose mezcladoras de materia prima y adhesivos.
- Siendo los adhesivos a utilizar aquellos que no necesiten usar prensado de alta presión y que trabajen sin temperatura, adhesivos vinílicos y UF urea formaldehído, como también el caso del cemento,

carbonato de magnesio y silicato de potasio, con la salvedad de que requieren un tiempo de fragüe considerable, etc.

- Respecto a la materia prima, consideramos utilizar los residuos de los aserraderos como la viruta, aserrín, fibrillas y polvo de madera, que se encuentran en todas las industrias y que son de costo negativo ya que en la mayoría de los aserraderos no se utilizan.
- Este circuito productivo de elaboración de paneles de fibras, se puede incorporar al círculo de producción de cualquier taller de fabricación de viviendas de madera, de baja o mediana capacidad, 30 a 200 viviendas/año, es decir a las PyMES.
- Como la elaboración de estos componentes de paneles de virutas y los cerramientos convencionales es de baja automatización favorecen a la incorporación de la mano de obra local, con una instrucción adecuada.

CAPITULO 6.- PLANTEO DE FUTURA INVESTIGACION

Siguiendo el esquema de trabajo se plantean como líneas de acción para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos las siguientes:

Desarrollo de un **prototipo** de vivienda de madera con paneles aislantes termo-acústicos a base de residuos de madera, que abarca tres etapas: proyecto, ejecución y uso.

- Proyecto: adaptación del prototipo MD-05 para la ejecución con aislantes a base de residuos de madera; determinación del destino y la ubicación del componente según el tipo de panel, método de colocación y fijación,
- Ejecución a escala real 1:1
- Mediciones de parámetros tecnológicos (proceso ejecución): trabajabilidad, manipulación, fijación, asentamientos.
- Mediciones de parámetros físicos (proceso de uso): temperatura, acústica, humedad;
- Mediciones de parámetros durabilidad (proceso de uso): ataque hongos; insectos;
- Realizar comparaciones de parámetros físicos con viviendas ejecutadas en sistemas constructivos de madera maciza, sistema de hormigón, y sistema de construcción tradicional de mampostería.
- Los resultados serán expuestos a la entidad oficial del estado con el fin de promover el uso de estos materiales alternativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. SAGPYA, Dirección de Forestación, “La industria en cifras”, Argentina, 2007.
2. IPRODHA, Balance construcciones de viviendas periodo 2004-2008, Posadas 2009.
3. CIATEA 2007 “Construcción pasiva ciclo de vida” Cataluña España.
4. JACOBO, G. Nuevos Materiales para la concreción del Hábitat Humano Proyecto PI-747-SGCyT-UNNE, ITDAHu-FAU-UNNE, Resistencia, Chaco, Argentina. 2003
5. GWT-TUD: Dammstoffplatten aus nachwachsenden rohstoffen, <http://www.gwt-tud.de>, Alemania, 2002
6. VOLKART, C; SPOHN. A; DIAZ, A. “Aprovechamiento de los rezagos de las industrias de transformación mecánica de la madera de Misiones”. C.F.I., Argentina, 1995
7. MASLATON, C.: Revista “Saber Como” Nº 59 del INTI; 2007.
8. CELANO, J. “Calculo de consumo de madera y aislacion en vivienda industrializada de madera prototipo MD/05 Iprodha. Argentina, 2009.
9. EVANS, J. M. Transmitancia Térmica de Paredes y Techos. Actualización de la Norma IRAM 11.605. Actas de la XIX reunión de trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES). Tomo I, 1996.
10. DIAMANT, R. M. Aislamiento térmico y acústico en edificios. Editorial Blume. Madrid 1985.
11. CORONEL, O. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. ITM-FCF-UNSE, Argentina, 1994.
12. NOACK, D. (1964) Holzphysik – Vorlesung. Univesitat Hamburg.
13. KOLLMANN, F. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo I Instituto forestal e experiencias en madera. Madrid, 1959.
14. IRAM 4064 Acústica, magnitudes físicas y subjetivas del sonido o ruido en el aire. Relación entre sonoridad y nivel de sonoridad.

15. IRAM 4074 Medidor del nivel sonoro, especificaciones generales
16. IRAM 4063, Cálculo de aislación acústica. Índice de Reducción Sonora R, Índice Compensado de Reducción Sonora Rw.
17. IRAM 4044, Protección contra ruidos en edificios. Aislamiento acústico mínimo de muros y tabiques.
18. Godshall W. y Davis J. Propiedades de absorción acústica de paneles a base de madera. AITIM Año XIII N° 45 Madrid, 1970.
19. PUR-PIR, Espuma poliuretano, Manual técnico y resultados de ensayos normalizados INTI, 2008.
20. TELGOPOR, Poliestireno expandido, Manual técnico y resultados de ensayos normalizados INTI, 2005.
21. ALUMAIR, Polietileno expandido, Manual técnico y resultados de ensayos normalizados INTI, 2007.
22. ISOVER, Lana de vidrio, Manual técnico y resultados de ensayos normalizados INTI, 2008.
23. ISOVER, Lana mineral, Manual técnico y resultados de ensayos normalizados INTI, 2008.
24. PIÑA, J. A. Temas de la Construcción. Tomo II. Serie Ediciones Previas. Eudeba, 1992.
25. IWAKIRI, S.: "Paneis de madeira".; Fupef, Curitiba, Brasil 2004.
26. GUTEX, Gutex Dammplatten Aus Holz, Alemania, 2008.
27. PASCUTTI, R., PEREYRA, O.: Tableros, FCF-UNaM, Eldorado, Misiones. 2001
28. MOSLESMI, A. Particleboard vol 2, Technology, Southern Illinois University Press, 1974
29. MALONEY, T.M Modern particleboard Dry-process fiber board manufacturing. San Francisco, M.Freeman 1977

30. SIEMPELKAMP, G.; the history of wood-based materials, Siempelkamp GmbH & Co. Maschinen- und Anlagenbau, e-mail: info@siempelkamp.com (www.siempelkamp.com), consulta 11-2004
31. ETERNIT AKTIENGESELLSCHAFT, Eternit Holzzementplatten, (www.eternit.de), consulta 10-2004.
32. ALÍAS, Herminia M. & JACOBO, Guillermo J., "Estudio del Comportamiento de los Materiales de la Construcción en Muros de Cerramiento, Condiciones Ambientales y su Adecuación en la Región NEA", (SGCyT-UNNE, 1996-97-ItdaHu-FAU-UNNE).
33. SCHWARZ, B. Casas ROSENHEIM Centro de Construcción con Madera de la Escuela Técnica Superior de ROSENHEIM, Alemania, 2004.
34. CELANO J. & JACOBO, G., "Maderas Forestales de la Región NEA. Desarrollo de Sistemas Constructivos Industrializados y Prefabricados con Aplicaciones en Equipamientos Habitacionales de Interés Social". (Beca de PreGrado de la SGCyT-UNNE), 1996-97-ItdaHu-FAU-UNNE.
35. CELANO J. & JACOBO, G., Desarrollo de sistemas industriales de producción de sistemas constructivos prefabricados en madera para viviendas de interés social en la región NEA. (Beca de PosGrado de la SGCyT-UNNE), 2002-2004 ItdaHu-FAU-UNNE.
36. KOLLMANN, F. Poren und Porigkeit in Holzern. Holz als Roh- und Werkstoff 45. Munchen. 1987
37. HUTTE, I. Manual del ingeniero. Tomo I. Editorial GG SA Barcelona, 1985.
38. PUPPO, E. Sol y Diseño: Índice Térmico Relativo. Marcombo, S.A. Boixareu Editores. Barcelona. 1976.
39. MAC. DONNELL, H. "Manual de construcción de viviendas industrializadas" Revista Vivienda N°404, Argentina, 1996.
40. CICER, Cámara industrial de cerámica roja. "Ficha Técnica N° 5, Argentina 2005.

41. CELANO, J. Relevamiento del sector maderero industrial en Misiones. Argentina 2004.
42. GAUTO, J. Primer compendio cuatrienal estadístico sobre el sector foresto industrial en Misiones. Ministerio Ecología y RNR, Gob. Prov. Misiones. Argentina 2004.

Bibliografía adicional consultada

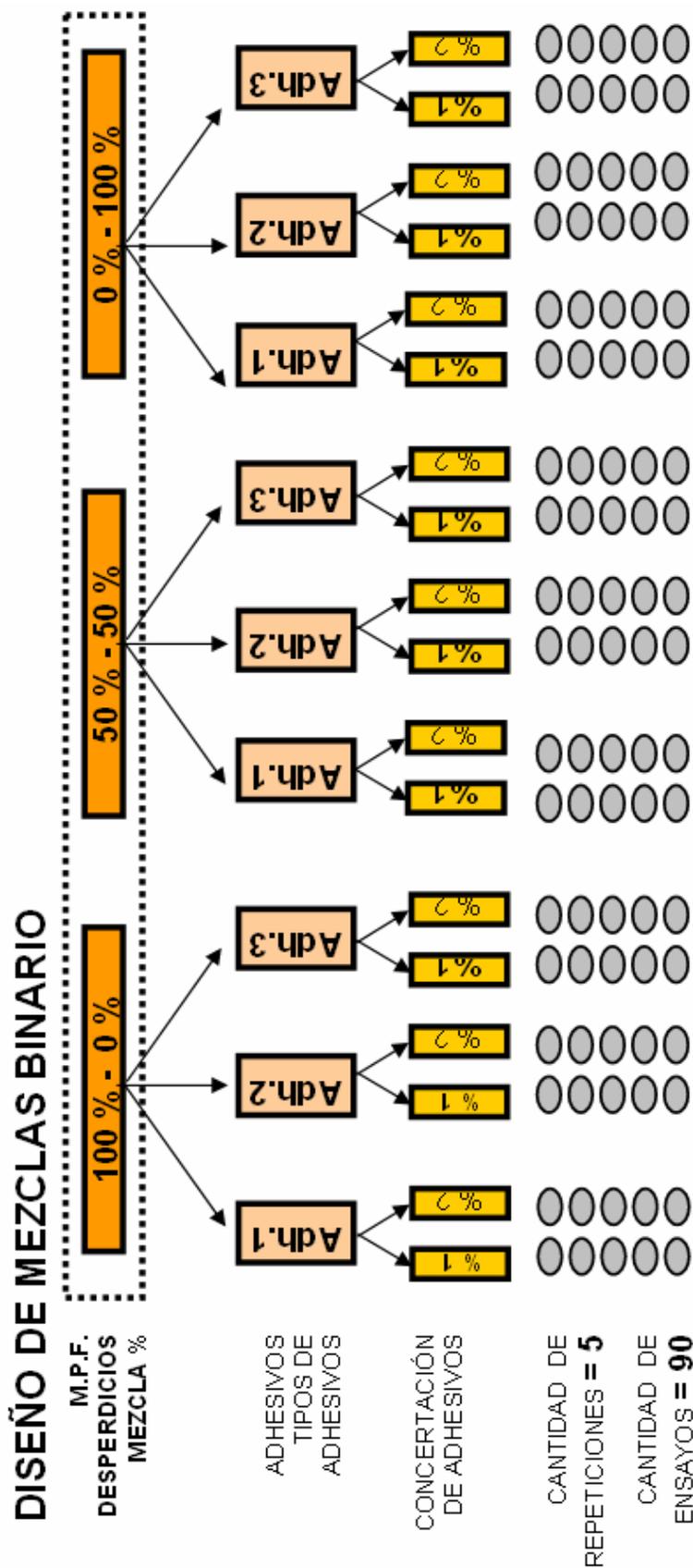
- ACOSTA, G. SUIREZS, T.: Tableros de partículas (aglomerado-particleboard), FCF-UNaM, Eldorado Mnes. 2002
- MARCOS, T Congalues; procesamiento de la madera. Drament Center, Xeros, USC: Bauru, SP 2002
- MINISTERIO DE BIENESTAR SOCIAL DE LA NACIÓN: Reglamento del uso de la madera en la construcción”, Argentina, 1979.
- IBDF, Instituto brasileiro de desenvolvimento florestal. Normas de controle de qualidade e classificacao de aglomerados, Brasilia 1985
- MALASTON, C; GONZALEZ, A. “Pellets de madera para uso energético”, INTI, Argentina, 2007
- SALAS SERRANO, JULIAN. CONTRA EL HAMBRE DE VIVIENDA, Soluciones Tecnológicas Latinoamericanas. CYTED-D, España, 1991
- SWST, Society of wood science and technology, Forest products journal vol 28 n°2 febrero 1978.
- CELANO J., "HABITAT IN CRISI, Un Contributo alla Soluzione Integrale dell Problema. Il Legno un materiale appropriato per la regione NEA Argentina". Facolta de Architettura di Firenze della Università degli studi de Firenze, Italia. Director Giancarlo CATALDI, Co-Director Guillermo JACOBO. Julio 2000.
- JACOBO, G. Criterios Teóricos para la Determinación de los Parámetros de Confort en los Espacios Arquitectónicos y su Aplicación en el Diseño

Tecnológico de los Elementos Constructivos. Publicación Didáctica de la Cátedra Construcciones II, FAU-UNNE, 2000

- CZAJKOWSKI, J. Desarrollo de un Modelo de Ahorro de Energía en Edificios de Vivienda y Determinación de Valores Límite de Calidad Térmica para la República Argentina. XXIII Congreso de la Asociación de Energías Renovables y Ambiente, ASADES, 2000.
- GWT-TUD: Dammstoffplatten aus nachwachsenden rohstoffen, <http://www.gwt-tud.de>, consulta 10-2004
- Cotopaxi aglomerado; catalogo comercial, Buenos Aires, Argentina (WWW.cotopaxi.com) consulta 11-2004.
- Masisa: Masisa argentina SA. Catálogos comerciales Buenos Aires Argentina e-mail: masisa@masisa.com.ar, (www.masisa.com)- consulta 11-2004 .
- IRAM 1739, Materiales aislantes térmicos.
- IRAM 11559- ISO 8302, Determinación de Conductividad térmica en materiales, método placa caliente.
- IRAM 11601, Acondicionamiento térmico de edificios. métodos de cálculo. 1997.
- IRAM 11605, Acondicionamiento térmico de edificios. Valores máximos admisibles de transmitancia térmica. 1997.
- IRAM 9700, Tableros derivados de la madera. Definiciones y clasificación.
- IRAM 9703-1 Tableros derivados de la madera. Muestreo e inspección. Parte 1: Muestreo, obtención de probetas y expresión de los resultados de ensayo.
- IRAM 9704 Tableros derivados de la madera. Determinación del contenido de humedad.
- TAPPI T252 Determinación de Ph en base acuosa.

- IRAM 9705 Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad.
- IRAM 9706 Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión.
- IRAM 9721 Tableros de fibras y partículas. Definiciones generales

ANEXO A: Diseño experimental



ANEXO B: (probetas) Elaboración según diseño.

CEMENTO 14-08-2006											
Viruta-Acetin 50 - 60						Acetin 0-100					
N°	MPF 340gr	UREA Alfa cm3	AGUA cm3	MPF 340gr	UREA Alfa cm3	AGUA cm3	N°	MPF 340gr	UREA Alfa cm3	AGUA cm3	N°
1	28+18	680	500	28+18	680	500	16	5A*	680	500	11
2	28+18	680	500	28+18	680	500	17	5A*	680	500	12
3	28+18	680	500	28+18	680	500	18	5A*	680	500	13
4	28+18	680	500	28+18	680	500	19	5A*	680	500	14
5	28+18	680	500	28+18	680	500	20	5A*	680	500	15
6S*: nativo fino						6A*: zaranda fina					
UREA-FORMALDEHIDO 66 % 17-08-2006											
Viruta-Acetin 60 - 60						Acetin 0-100					
N°	MPF 340gr	UREA Alfa cm3	AGUA cm3	MPF 340gr	UREA Alfa cm3	AGUA cm3	N°	MPF 340gr	UREA Alfa cm3	AGUA cm3	N°
(1) 31	28+18	300	300	68+1A	100	300	(21) 41	5A*	300	200	(26) 46
(2) 32	28+18	300	300	170+170	100	300	(22) 42	5A*	300	200	(27) 47
(3) 33	28+18	300	300	170+170	100	300	(23) 43	6B	300	200	(28) 48
(4) 34	28+18	300	300	170+170	100	300	(24) 44	6B	300	200	(29) 49
(5) 35	28+18	300	300	170+170	100	300	(25) 45	6B	300	200	(30) 50
6S*: nativo fino						6A*: zaranda fina					
"03" NOR LOR 355 VITILEO NO MO COMPONENTE BASE ACUGA 22-08-2006											
Viruta-Acetin 60 - 60						Acetin 0-100					
N°	MPF 340gr	D3 Alfa cm3	AGUA cm3	MPF 340gr	D3 Alfa cm3	AGUA cm3	N°	MPF 340gr	D3 Alfa cm3	AGUA cm3	N°
61	28+18	300	300	4A+8A*	100	300	76	4A+8A*	100	300	86
62	28+18	300	300	170+170	100	300	77	4A+8A*	100	300	87
63	28+18	300	300	170+170	100	300	78	1A+8A*	100	300	88
64	28+18	300	300	170+170	100	300	79	1A+6B	100	300	89
65	28+18	300	300	170+170	100	300	80	4A+6B	100	300	90
6S*: nativo fino						6A*: zaranda fina					
6S*: nativo fino						6S*: nativo fino					
6A*: Acetin seco TOLL						6A*: Acetin seco TOLL					

ANEXO C: (probetas) Costo de elaboración

PROBETAS DE RESIDUOS DE MADERA - ANALISIS DE COSTO DE ELABORACION

Fecha: **26/11/2009**
 Lugar: Laboratorio Tecnología de Madera FCF-UNAM
 Realizo: Arq° Jorge Celano
 Controla: Ing° Obdulio Pereyra
 Colabora: Lic° Adolfo Acosta

Dato de accesorios peso gr. **Instrumental**
 Bolsitas de muestras 1,5 Balanza de precision electro
 Tara vaso 2000cm2 485 Vaso precipitado 2000ml
 Tara vaso 250cm3 87 Hidrometro de contacto

	peso (gr)	%	proporcion	costo (\$/kg)	\$/prob alta	\$/prob baja
CEMENTO PORTLAND						
ADHESIVO:				\$ 0,64		
ADHESIVO	1020	300%	1/3		\$ 0,65	
ADHESIVO	680	200%	1/2			\$ 0,44
MPF	340	100%	1	\$ 0,03	\$ 0,01	\$ 0,01
AGUA	500	88%	1/0,7	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
ADITIVO	25	5%	1/20	\$ 16,50	\$ 0,41	\$ 0,41
					\$ 1,07	\$ 0,86

	peso (gr)	%	proporcion	costo (\$/kg)	\$/prob alta	\$/prob baja
UREA-FORMALDEHIDO 65%						
ADHESIVO:				\$ 2,47		
ADHESIVO:	200	59%	1/0,7		\$ 0,49	
ADHESIVO:	100	29%	1/0,3			\$ 0,25
MPF	340	100%	1	\$ 0,03	\$ 0,01	\$ 0,01
AGUA	200	88%	1/0,7	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
AGUA	300	88%			\$ 0,00	\$ 0,00
ADITIVO	3,4	1,0%	1/20	\$ 7,03	\$ 0,07	\$ 0,04
ADITIVO	1,7	0,5%	1/20	\$ 7,03		\$ 0,04
					\$ 0,57	\$ 0,29

	peso (gr)	%	proporcion	costo (\$/kg)	\$/prob alta	\$/prob baja
"D3" KOR LOK 255 Vinilico monocomponente base acuosa						
ADHESIVO:				\$ 7,41		
ADHESIVO:	200	59%	1/0,7		\$ 1,48	
ADHESIVO:	100	29%	1/0,3			\$ 0,74
MPF	340	100%	1	\$ 0,03	\$ 0,01	\$ 0,01
AGUA	200	88%	1/0,7	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
AGUA	300	88%			\$ 0,00	\$ 0,00
ADITIVO	3,4	1,0%	1/20	\$ 8,17	\$ 0,08	\$ 0,04
ADITIVO	1,7	0,5%	1/20	\$ 8,17		\$ 0,04
					\$ 1,57	\$ 0,79

ANEXO E: (MPF) Espacio vacío para la aislación

DETERMINACION DE CONSUMO DE "MPF" PARA AISLACION EN VIVIENDAS SOCIALES

PROTOTIPO DE VIVIENDA MD/05 IPRODHA

Elaboración: Arqº Jorge Celano

	Longitud m	Altura m	Superficie pared m ²	Aberturas m ²	Superficie aislación m ²	Espesor m	Volumen aislación m ³
PAREDES	42,72	2,60	111,07	13,17	97,90	0,10	9,79
TECHO			61,00		61,00	0,10	6,10
TOTAL							15,89

The architectural drawings include:

- Floor Plan (Planta):** Shows the layout of the unit with rooms: Dormitorio (3,20 x 3,95), Dormitorio (3,29 x 3,95), Baño (1,40 x 2,40), Esta Comedor (4,00 x 4,05), and Galería (3,18 x 2,60). It also indicates 'Mód. Variables' and 'Mód. Fijos'.
- Elevations:** Includes 'CORTINA', 'VISTA INTERIOR', 'VISTA EXTERIOR', and 'BASTIDOR' views, showing wall thicknesses and window placements.
- Material Specifications (Detalle Muro y Cant):** A table listing materials like 'Módulo Exterior', 'Módulo Interior', 'Módulo', 'Cant', and 'Módulo Cant' with their respective quantities.
- Sectional Views:** 'FACILIDAD PRINCIPAL' and 'FACILIDAD POSTERIOR' showing the vertical assembly of the wall and insulation.
- Summary Table (BILLETE DE SUPERFICIES):**

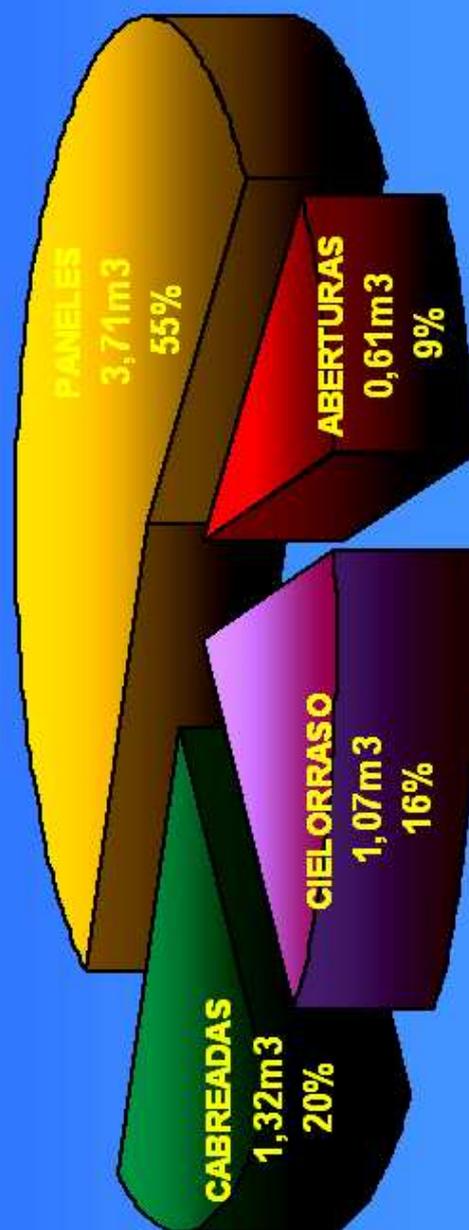
Nº	SUPERFICIES	TRIPULACION
1	CLIMATIZACION	10,00 m ²
2	ABERTURAS	13,17 m ²
3	TECHO	61,00 m ²
4	PAREDES	111,07 m ²
5	TOTAL	195,24 m ²

INSTITUTO PROVINCIAL DE DESARROLLO HABITACIONAL
 PROTOTIPO "MD. 05" - VIVIENDA DE MANEJO DE 2 DORMITORIOS
 PLANO
PANEL 2d EXTERIOR

ANEXO F: (MPF) Aprovechamiento de la madera

MD-05		Cielorraso		Cabreada		Aprovechamiento	
m3	6,70	63,94 m2 1,07 m3	1,32 m3	m2		1 m3	
rollo m3	16,02	machimbre clava 1"x3"	clava 2"x2"	diag 1"x3"	vigas 3x6"	0,418 m3	
m3		m2	ml	ml	ml	0,412 m3	
ml o m2	seccion	0,64 63,94 0,0100	0,43 230,00 0,0019	0,94 376,29 0,0025	0,24 97,5 0,0025	2,39	

MD-05		Paneles		Aberturas	
m3	6,70	23,62 ml perimetro 67,50 m2 3,71 m3		15,79 m2 0,61 m3	
rollo m3	16,02	Bast1 1/5"x3"	mont 3x3"	Mach ext.	Mach int.
m3		ml	ml	m2	m2
ml o m2	seccion	0,88 357,43 0,0025	0,44 78 0,005625	1,35 67,50 0,0200	1,05 104,54 0,01



ANEXO G: (MPF) Morfología y granulometría

Tabla 3.3.1: Caracterización de residuos de madera, MORFOLOGIA

Codigo	Maquina	Madera	H° Muestra	H° Humedad	Dimension Caracteristica	SELECCION POR TAMIZADO											
						H°1		H°2		H°3		H°4		total			
						15x21	8x15	8x15	2x2	2x2	1x1	1x1	total	total			
dim.min.	dim.max.	dim.min.	dim.max.	dim.min.	dim.max.	dim.min.	dim.max.	dim.min.	dim.max.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.				
1 (B)	Cepilladora	Pino CCA larga	(1) (2) (3)	15,0% 15,0% 15,0%	largo ancho espesor	40	70	8	12	3	5	3	5	0,4	0,8	0,0%	100,0%
						15	18	5	8	1	2	1	2	27,0%	3,0%		
						0,8	1,5	0,6	1	0,4	0,8						
2 (B)	Garlopa	Pino CCA ancha	(1) (2) (3)	15,0% 15,0% 15,0%	largo ancho espesor	40	80	7	13	3	5	3	5	0,3	0,5	0,0%	100,0%
						14	22	10	15	2	4	2	4	18,0%	2,0%		
						0,3	0,5	0,7	1	0,3	0,5						
3 (A)	Cepilladora moldeadora chinchilla	Pino	(1) (2) (3)	15,0% 15,0% 15,0%	largo ancho espesor	25	35	10	25	2	4	2	4	0,4	0,7	4,5%	100,0%
						5	7	4	8	1	2	1	2	15,0%	4,5%		
						0,7	0,9	0,5	0,9	0,4	0,7						
4 (A)	Machimbadora	Pino	(1) (2) (3)	15,0% 15,0% 15,0%	largo ancho espesor	30	50	12	18	1,5	1,7	1,5	1,7	0,4	2	7,5%	100,0%
						8	11	4	8	0,9	1,4	0,9	1,4	42,0%	7,5%		
						0,6	0,9	0,6	0,9	0,4	0,7						
5 (A)	Moltrera gruber	Pino	(1) (2) (3)	15,0% 15,0% 15,0%	largo ancho espesor	15	45	3	15	1,7	3	1,7	3	0,8	1,4	35,0%	100,0%
						3	6	2	3	1,5	2	1,5	2	50,0%	35,0%		
						0,7	1,1	0,3	0,4	0,7	1,4						
6 (B)	Sierra circular banco horiz kalplak	Pino CCA	(1) (2) (3)	15,0% 15,0% 15,0%	largo ancho espesor	30	70	15	70	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
						3	6	2	3	45,0%	35,0%	10,0%	10,0%				
						0,7	1,1	0,5	0,9	0,3	0,8						
7 (C)	Sierra sin fin	Pino verde	(1) (2) (3)	70,0% 70,0% 70,0%	largo ancho espesor	30	70	15	70	1,5	4	1,5	4	0,7	0,9	10,0%	100,0%
						3	6	2	3	1,2	1,8	1,2	1,8	35,0%	10,0%		
						0,7	1,1	0,5	0,9	0,3	0,8						

MATERIA PRIMA			
ASTM 1554	dimensiones	forma	herramienta
Corteza	variables	astillas	chipeadora
Astillas	pedazos pequeños	chip	cuchilla o martillo
Risos	planas y largas	helicoides	cuchilla
Hojuelas	fibra orientada en el plano		equipos especiales
Virutas	espesor variable fina a gruesa	rizada	cuchilla giratoria cepillo o garlopa
Sliver	espesor homog. largo=4espesores	rectangular	chipera
Cordones	virutas largas superf. paralelas	largas	
Lana de madera	largos y finos	rizados	

ANEXO H: (MPF) Asentamiento volumétrico

Tabla 3.3.2: Caracterización de residuos de madera, VOLUMEN DE ASENTAMIENTO

Codigo	Maquina	Madera	H° Humed	Volumen Asentamiento (2000					Peso		Densidad			media				
				Suelto	Vibrado	Asentam.	desvío	CV	2000	cm ³	2000	cm ³	Densidad	sueldo	Densidad	vibrado	Aumento	desvío
				2000	2000	cm ³	cm ³	%			gr/cm ³	%	CV					
1 (A)	Cepilladora	Pino	(1)	15,0%	2000	1600	400	20,0%	23,7%	104,3	130,4	0,052	0,082	0,046	0,080	0,029	56,3%	72,5%
			(2)	15,0%	2000	1530	470	23,5%	3,8%	83,7	109,4	0,042	0,072	0,005	0,007	0,030	70,9%	17,1%
			(3)	15,0%	2000	1450	550	27,5%	15,9%	90,3	124,6	0,045	0,086	0,035	0,041	0,041	90,2%	23,5%
1 (B)	Cepilladora	Pino	(1)	15,0%	2000	1550	450	22,5%	23,8%	101,1	130,4	0,051	0,084	0,046	0,080	0,034	66,5%	72,5%
			(2)	15,0%	2000	1500	500	25,0%	1,3%	82,1	109,4	0,041	0,073	0,005	0,006	0,032	77,8%	5,7%
			(3)	15,0%	2000	1520	480	24,0%	5,3%	94,7	124,6	0,047	0,082	0,035	0,035	0,035	73,1%	7,8%
2 (B)	Garlopa	Pino	(1)	15,0%	2000	1450	550	27,5%	24,8%	53,5	73,8	0,027	0,051	0,031	0,055	0,024	90,2%	77,4%
			(2)	15,0%	2000	1510	490	24,5%	2,5%	57,8	76,6	0,029	0,051	0,006	0,007	0,022	75,4%	12,0%
			(3)	15,0%	2000	1550	450	22,5%	10,1%	76,4	98,6	0,038	0,064	0,038	0,048	0,025	66,5%	15,5%
3 (A)	Cepilladora moladora chinchilla	Pino	(1)	15,0%	2000	1450	550	27,5%	24,5%	75,1	103,6	0,038	0,071	0,039	0,069	0,034	90,2%	76,1%
			(2)	15,0%	2000	1500	500	25,0%	3,3%	75,0	100	0,038	0,067	0,003	0,002	0,029	77,8%	15,1%
			(3)	15,0%	2000	1580	420	21,0%	13,4%	85,2	107,8	0,043	0,068	0,038	0,035	0,026	60,2%	19,8%
4 (A)	Machitrador	Pino	(1)	15,0%	2000	1400	600	30,0%	31,2%	69,2	98,8	0,035	0,071	0,034	0,072	0,036	104,1%	111,2%
			(2)	15,0%	2000	1380	620	31,0%	1,3%	65,3	94,6	0,033	0,069	0,001	0,004	0,036	110,0%	7,8%
			(3)	15,0%	2000	1350	650	32,5%	4,0%	68,7	101,8	0,034	0,075	0,031	0,048	0,041	119,5%	7,0%
5 (A)	Moladora gruber	Pino	(1)	15,0%	2000	1580	420	21,0%	24,5%	219,0	277,2	0,109	0,175	0,116	0,204	0,066	60,2%	76,1%
			(2)	15,0%	2000	1500	500	25,0%	3,3%	238,4	317,8	0,119	0,212	0,005	0,026	0,093	77,8%	15,1%
			(3)	15,0%	2000	1450	550	27,5%	13,4%	236,6	326,4	0,118	0,225	0,038	0,048	0,107	90,2%	19,8%
6 (B)	Sierra circular blanco horiz kalpak	Pino	(1)	15,0%	2000	1430	570	28,5%	26,2%	243,4	340,4	0,122	0,238	0,126	0,230	0,116	95,6%	83,7%
			(2)	15,0%	2000	1500	500	25,0%	2,0%	252,2	336,2	0,126	0,224	0,004	0,007	0,098	77,8%	10,3%
			(3)	15,0%	2000	1500	500	25,0%	7,7%	257,7	343,6	0,129	0,229	0,029	0,031	0,100	77,8%	12,3%
7 (C)	Sierra sin fin	Pino verde	(1)	70,0%	2000	1350	650	32,5%	32,8%	368,3	545,6	0,184	0,404	0,183	0,406	0,220	119,5%	121,7%
			(2)	70,0%	2000	1350	650	32,5%	0,6%	364,9	540,6	0,182	0,400	0,001	0,006	0,218	119,5%	3,8%
			(3)	70,0%	2000	1330	670	33,5%	1,8%	364,4	548	0,182	0,412	0,038	0,058	0,230	126,1%	3,2%

ANEXO I: (Probetas) Contenido de humedad

Fecha: 26/03/2008 al 27/03/2008
 Lugar: Laboratorio PROCYP, FCEQYN -UNAM Posadas
 Realizo: Arq° Jorge Celano
 Controla: Ing Qco° Fernando Felissia

PROBETA	N°	Bandeja	Peso Humedo + bandeja		Peso Seco + bandeja	Peso Humedo	Peso Seco	Peso agua	HUMEDAD (Ph-Ps)/Ph %	HUMEDAD (Ph-Ps)/Ps %	estadística		DENSIDAD gr/cm ³
			Media	Desvio C.V.									
100-0 CEM A	1	4,958	130,001	122,925	117,967	7,076	5,66%	6,00%	6,115%	0,431			
100-0 CEM B	2	4,933	93,710	88,218	83,777	5,492	6,19%	6,59%	0,491%	0,343			
0-100 CEM A	5	4,917	127,857	121,472	116,555	6,385	5,19%	5,48%	8,035%	0,629			
0-100 CEM B	6	4,964	104,487	98,510	93,546	5,977	6,01%	6,39%		0,494			
100-0 UF A	8	4,959	52,596	47,530	42,571	5,066	10,63%	11,90%	11,314%	0,123			
100-0 UF B	14	4,968	24,026	22,083	19,058	1,943	10,20%	11,35%	1,073%	0,100			
50-50 UF A	9	4,913	65,816	59,384	60,903	6,432	10,56%	11,81%	9,483%	0,207			
50-50 UF B	15	4,888	57,001	52,615	47,727	4,386	8,42%	9,19%		0,172			
0-100 UF A	18	4,906	63,273	56,978	52,072	6,295	10,79%	12,09%	12,09%	0,212			
0-100 UF B	12	4,94	45,610	41,400	36,46	4,21	10,35%	11,55%		0,202			
100-0 D3 A	7	4,915	60,360	55,900	50,985	4,46	8,04%	8,75%	9,384%	0,303			
100-0 D3 B	13	4,915	48,437	44,397	39,482	4,04	9,28%	10,23%	1,014%	0,271			
50-50 D3 A	16	4,909	52,319	48,384	43,475	3,935	8,30%	9,05%	10,802%	0,178			
50-50 D3 B	10	4,858	38,471	35,130	30,272	3,341	9,94%	11,04%		0,164			
0-100 D3 A	11	4,894	59,917	55,550	50,656	4,367	7,94%	8,62%		0,271			
0-100 D3 B	17	4,917	52,262	48,506	43,589	3,756	7,93%	8,62%		0,221			

ANEXO J: (Probetas) Aislación acústica

Fecha: 01/11/2006
 Lugar: Laboratorio Tecnología de la madera FCF-UNAM Edoxado
 Realizo: Ing° Jorge Celano
 Controló: Ing° Obdulio Pereyra
 Controló: Ing° Constantino Zaderenko
 Colabora: Ing° Rodolfo Jurgensmeyer (afer de inspección técnica vehicular Edoxado 03751-424917)

ASILACION ACUSTICA ENTRE PROBETAS TIPO													
peso	espesor	densidad	150 hz			1 Mhz			6 Mhz				
			caja db	panel db	aislac. db	caja db	panel db	aislac. db	caja db	panel db	aislac. db		
1190	3,85	0,34	73,7	69,83	3,87	88,9	76,63	7,27	8,66%	78,9	78,87	0,03	0,04%
1800	4,13	0,43	73,1	69,70	3,40	88,2	76,73	6,47	7,77%	79,4	78,87	0,53	0,67%
1200	2,70	0,48	73,1	64,77	8,33	88,2	71,47	11,73	14,10%	78,4	70,83	7,57	9,65%
1800	2,83	0,63	73,7	67,00	6,70	88,9	73,90	10,00	11,92%	78,9	71,87	7,03	8,91%
485	4,38	0,12	73,2	70,77	2,43	82,7	73,93	8,77	10,60%	79,4	77,70	1,70	2,14%
404	4,48	0,10	72,5	70,63	1,87	82,4	77,93	4,47	5,42%	78,4	72,87	5,53	7,06%
502	2,70	0,21	73,8	70,30	3,50	88,8	76,53	7,27	8,67%	77,7	77,33	0,37	0,47%
406	2,63	0,17	73,6	69,73	3,87	88,6	76,23	7,37	8,81%	79,4	77,47	1,93	2,43%
481	2,53	0,21	73,6	70,93	2,67	88,6	77,53	6,07	7,26%	79,4	75,93	3,47	4,37%
428	2,35	0,20	73,7	70,83	2,87	88,9	77,63	6,27	7,47%	78,9	77,17	1,73	2,20%
832	3,05	0,30	73,7	70,93	2,77	88,9	77,87	6,03	7,19%	78,9	78,30	0,60	0,76%
774	3,18	0,27	73,7	71,20	2,50	88,9	78,20	5,70	6,79%	78,9	77,73	1,17	1,48%
428	2,68	0,18	73,1	69,50	3,60	88,4	76,67	6,73	8,07%	78,1	76,97	1,13	1,45%
377	2,55	0,16	73,1	64,73	8,37	88,4	71,37	12,03	14,43%	78,1	71,53	6,57	8,41%
417	1,48	0,31	73,1	70,00	3,10	88,4	78,17	5,23	6,27%	78,1	76,83	1,27	1,62%
368	1,80	0,22	73,6	69,17	4,43	88,6	75,80	7,80	9,33%	79,4	75,90	3,50	4,41%
ASILACION ACUSTICA PROBETAS vs. MATERIALES													
peso	espesor	densidad	150 hz			1 Mhz			6 Mhz				
			caja db	panel db	aislac. db	caja db	panel db	aislac. db	caja db	panel db	aislac. db		
377	2,55	0,16	73,1	64,73	8,37	88,4	71,37	12,03	14,43%	78,1	71,53	6,57	8,41%
734	1,65	0,572	73,4	59,10	14,30	88,1	58,47	24,63	29,64%	78,7	66,97	11,73	14,91%
325,4	1,55	0,233	73,1	46,03	27,07	88,2	59,20	24,00	28,85%	78,2	49,10	29,10	37,21%
179,2	3,00	0,032	73,1	59,70	13,40	88,2	63,20	20,00	24,04%	78,4	67,70	10,70	13,65%
177,6	3,80	0,010	73,5	69,00	4,50	88,6	75,40	8,20	9,61%	78,1	77,87	0,23	0,30%
			73,7	71,10	2,60	88,8	79,23	4,57	5,45%	79,8	79,27	0,53	0,67%

ANEXO K: (Probetas) Deformación térmica

Fecha: 27/09/2006
 Lugar: Laboratorio Tecnología de Madera FCF-UNAM
 Realizo: Ing° Jorge Celano
 Controló: Ing° Obdulio Pereyra
 Colaboró: Lic° Adolfo Acosta

PROBETAS	Retracción Frágil			Contracción Térmica (longitudinal)			Contracción Térmica (Diagonal)			I.D.C. Índice Deformación Convexidad	DENSIDAD gr/cm ³
	media (mm)	media (%)	desvío cv.	media (mm)	media (%)	desvío cv.	media (mm)	media (%)	desvío cv.		
100-0 CEM A	2,1	0,71%	0,0009	1,0	0,33%	0,0033	2,0	0,47%	0,0037	1,4	0,404
100-0 CEM B	3,1	1,03%	0,0024	0,8	0,27%	0,0028	2,2	0,52%	0,0045	1,9	0,350
50-50 CEM A	1,4	0,48%	0,0006	1,0	0,33%	0,0024	2,0	0,47%	0,0024	1,4	0,508
50-50 CEM B	1,6	0,52%	0,0009	1,2	0,40%	0,0028	2,0	0,47%	0,0024	1,2	0,382
0-100 CEM A	1,3	0,45%	0,0008	0,4	0,13%	0,0018	1,0	0,24%	0,0033	1,8	0,605
0-100 CEM B	1,1	0,35%	0,0003	1,2	0,40%	0,0043	2,2	0,52%	0,0051	1,3	0,485
100-0 UF A	10,0	3,33%	0,0022	7,0	2,33%	0,0053	16,4	3,87%	0,0074	1,7	0,124
100-0 UF B	9,1	3,04%	0,0032	8,0	2,67%	0,0053	16,8	3,96%	0,0077	1,5	0,097
50-50 UF A	4,7	1,56%	0,0012	3,6	1,17%	0,0033	6,4	1,51%	0,0021	1,3	0,215
50-50 UF B	4,4	1,47%	0,0026	3,6	1,20%	0,0018	6,2	1,46%	0,0020	1,2	0,171
0-100 UF A	13,2	4,39%	0,0075	8,8	2,93%	0,0028	16,0	3,77%	0,0047	1,3	0,230
0-100 UF B	12,8	4,28%	0,0039	8,2	2,73%	0,0037	12,6	2,97%	0,0036	1,1	0,200
100-0 D3 A	0,0	0,00%	0,0000	3,6	1,20%	0,0030	7,2	1,70%	0,0031	1,4	0,365
100-0 D3 B	0,0	0,00%	0,0000	3,0	1,00%	0,0024	5,2	1,23%	0,0020	1,2	0,245
50-50 D3 A	6,0	1,99%	0,0031	3,6	1,20%	0,0030	9,2	2,17%	0,0031	1,8	0,188
50-50 D3 B	8,8	2,93%	0,0028	8,0	2,67%	0,0041	15,0	3,54%	0,0024	1,3	0,158
0-100 D3 A	11,0	3,67%	0,0073	6,8	2,27%	0,0043	19,2	4,53%	0,0031	2,0	0,285
0-100 D3 B	10,0	3,33%	0,0071	6,2	2,07%	0,0037	15,6	3,68%	0,0049	1,8	0,239

ANEXO L: (Probetas) Determinación analítica de coeficiente de conductividad térmica

AISLACION TERMICA DE MATERIAL COMPUESTO															
Cuadro resumen para evaluar la aplicación térmica PARCIAL de un PANEL ciego con MATERIAL COMPUESTO en régimen NO ESTACIONARIO															
Texto y número en azul son datos cargados															
Madera material e Yeso celtosa inicial															
Panel 100-0 CEM A (7)															
Componente	Material	Señal tipo calor	Área	Espesor	Volumen	Peso distribuido	Densidad	Humedad % (materia)	% V	Macio- Porosidad % aire	Macio- Porosidad % aire	λ	R	Temperatura	K
Subbloques	It	↓	a	e	V	p	δ	%	% V	% aire	% aire	W / m.°C	m.2.°C / W	m.2.°C	W / m.2.°C
Blad			cm2	cm	cm3	gr	gr/cm3								
1	CEMENTO (ZMC)		500	0,810	729	1020	1,4000		19,6%			1,0470	0,773		1,293
2	MADERA PINO (ZMC BSH)		500	0,630	567	340	0,6000		15,2%		39,22%	0,1600	3,936		0,254
3	AIRE (ZMC)		500	2,691	2422	3	0,0012		65,2%		100,00%	0,0262	100,704		0,010
4	AGUA (ZMC-SHU)		500	0,110	99	99,0	0,9965		2,7%		65,2%	0,6150	0,180		5,569
TOTAL	calcarb medición		500	4,130	3717	1800	0,430	6,19%				λ = 0,37	105,278		0,009
												Δt = 70	6,312		0,312
Panel 100-0 CEM B(1)															
Componente	Material	Señal tipo calor	Área	Espesor	Volumen	Peso distribuido	Densidad	Humedad % (materia)	% V	Macio- Porosidad % aire	Macio- Porosidad % aire	λ	R	Temperatura	K
Subbloques	It	↓	a	e	V	p	δ	%	% V	% aire	% aire	W / m.°C	m.2.°C / W	m.2.°C	W / m.2.°C
Blad			cm2	cm	cm3	gr	gr/cm3								
1	CEMENTO (ZMC)		500	0,540	486	680	1,4000		14,0%			1,0470	0,515		1,940
2	MADERA PINO (ZMC BSH)		500	0,630	567	340	0,6000		16,4%		39,22%	0,1600	3,936		0,254
3	AIRE (ZMC)		500	2,638	2375	3	0,0012		68,5%		100,00%	0,0262	100,705		0,010
4	AGUA (ZMC-SHU)		500	0,075	68	67,4	0,9965		2,0%			0,6150	0,122		8,189
5															
TOTAL	calcarb medición		500	3,850	3465	1780	0,343	5,56%				λ = 0,37	105,278		0,009
												Δt = 70	6,312		0,312
Panel 0-100 CEM A (13)															
Componente	Material	Señal tipo calor	Área	Espesor	Volumen	Peso distribuido	Densidad	Humedad % (materia)	% V	Macio- Porosidad % aire	Macio- Porosidad % aire	λ	R	Temperatura	K
Subbloques	It	↓	a	e	V	p	δ	%	% V	% aire	% aire	W / m.°C	m.2.°C / W	m.2.°C	W / m.2.°C
Blad			cm2	cm	cm3	gr	gr/cm3								
1	CEMENTO (ZMC)		500	0,810	729	1020	1,4000		28,6%			1,7000	0,476		2,100
2	MADERA PINO (ZMC BSH)		500	0,630	567	340	0,6000		22,2%		39,22%	0,1700	3,704		0,270
3	AIRE (ZMC)		500	1,391	1252	1	0,0012		49,1%		100,00%	0,0259	53,701		0,019
4	AGUA (ZMC-SHU)		500	0,098	88	87,7	0,9965		3,5%			0,6030	0,162		6,168
5															
TOTAL	calcarb medición		500	2,830	2547	1800	0,628	5,48%				λ = 0,49	58,043		0,017
												Δt = 72	6,312		0,569

AISLACION TERMICA DE MATERIAL COMPUESTO

Cuadro resumen para evaluar la aislacion termica PARCIAL de un PANEL de un MATERIAL COMPUESTO en regimen NO ESTACIONARIO

Texto y numero en azul son datos cargados
 Materiales y pesos de la tabla desklad: 1,5300

R Resistencia Termica (R) (l/R)
 K Transmision Termica (k) (l/R)

A Conductiv. Termica (k/R) (l/R)

PANEL 0-100 GEM B (18)

Componente	Materia	Material	Señalo calor	Ate a	Esesor	Volime	Peso	Desklad	Hmedad	%	% v	Macroporosklad	% aire
klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad
Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)
Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)
1	CEMENTO (ZINC)	900	0,540	680	1,4000	20,0%							
2	MADERA PINO (ZINC-150H)	900	0,630	567	0,6000	33,3%						39,22%	
3	AIRE (ZINC)	900	1,531	1378	2	56,7%						100,00%	
4	AGUA (ZINC-150H)	900	0,080	72	0,9965	3,0%							
5													
TOTAL	calculo	900	2,700	2490	1,200	4,450	56,7%	0,494	6,01%				

PANEL 100-0 UFA (32)

Componente	Materia	Material	Señalo calor	Ate a	Esesor	Volime	Peso	Desklad	Hmedad	%	% v	Macroporosklad	% aire
klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad
Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)
Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)
1	UF (vacuado 67% vidrio)	900	0,116	104	1,2500	2,6%							
2	MADERA PINO (ZINC-150H)	900	0,630	567	0,6000	14,4%						39,22%	
3	AIRE (ZINC)	900	3,635	3271	4	83,0%						100,00%	
4	AGUA (ZINC-150H)	900	0,057	52	0,9965	1,3%							
5													
TOTAL	calculo	900	4,380	3942	485	0,133	83,0%	0,723	10,63%				

PANEL 100-0 UFB (36)

Componente	Materia	Material	Señalo calor	Ate a	Esesor	Volime	Peso	Desklad	Hmedad	%	% v	Macroporosklad	% aire
klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad	klad
Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)	Rise (l/le)
Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)	Rsl (l/kl)
1	UF (vacuado 67% vidrio)	900	0,058	52	1,2500	1,3%							
2	MADERA PINO (ZINC-150H)	900	0,630	567	0,6000	14,1%						39,22%	
3	AIRE (ZINC)	900	3,793	3413	4	84,7%						100,00%	
4	AGUA (ZINC-150H)	900	0,046	41	0,9965	1,0%							
5													
TOTAL	calculo	900	4,480	4073	450	0,112	84,7%	0,700	10,20%				

CONDUCCION	
Conductiv. Termica	Transmision Termica
W / m.°C	m2.°C / W
1,70000	0,317
0,17000	3,704
0,0259	39,100
0,6030	0,133
$\lambda = 0,43$	$63,254$
$\frac{\lambda}{\delta} = 72,3$	$\frac{6}{0,083} = 0,450$

CONDUCCION	
Conductiv. Termica	Transmision Termica
W / m.°C	m2.°C / W
1,0000	0,116
0,1700	3,704
0,0259	140,340
0,6030	0,095
$\lambda = 0,30$	$144,255$
$\frac{\lambda}{\delta} = 75$	$\frac{6}{0,080} = 0,133$

CONDUCCION	
Conductiv. Termica	Transmision Termica
W / m.°C	m2.°C / W
1,0000	0,058
0,1700	3,704
0,0259	146,432
0,6030	0,076
$\lambda = 0,30$	$150,270$
$\frac{\lambda}{\delta} = 71$	$\frac{6}{0,085} = 0,112$

AISLACION TERMICA DE MATERIAL COMPUESTO

Cuadro resumen para evaluar la aislacion termica PARCIAL de un PANEL de ligo con MATERIAL COMPUESTO en regimen NO ESTACIONARIO

Texto y numero en azul son datos cargados
 Madera material e Yeso e el resto de la tabla densidad: 1,3300

R Resistencia Termica (R) (R) (R)
 K Transmision Termica (K) (K) (K)

λ Conductiv. Termica (e/R) (e-R)

PANEL 50-50 UFA (52)

Componente	Material	Señal tipo calor	Area	Espesor	Volúmenes	Peso distribuido	Densidad	Humedad % (volumen material)	% v	Macroporosidad % aire	Micro-Porosidad % aire
Simbolo	It	↓ →	a	e	V	P	δ	%	% v	% aire	% aire
Unidad			cm2	cm	cm3	gr	gr/cm3				
1	UF (calorizante 60% anhidro)	---	900	0,116	104	130	1,2500		4,3%		
2	MADERA PINO (25% anhidro)	---	900	0,630	567	340	0,6000		23,3%	39,22%	
3	AIRE (27%)	---	900	1,965	1759	2	0,0012		72,4%	100,00%	
4	AGUA (27%-30%)	---	900	0,069	53	53,0	0,9965		2,2%		
5											
TOTAL	calculo		900	2,700	2483	525	0,216			72,4%	
	medicion				2430	502	0,207	10,36%			

λ = 0,034 79,393 0,013
 R = 72 6 = 0,216

PANEL 50-50 UFB (56)

Componente	Material	Señal tipo calor	Area	Espesor	Volúmenes	Peso distribuido	Densidad	Humedad % (volumen material)	% v	Macroporosidad % aire	Micro-Porosidad % aire
Simbolo	It	↓ →	a	e	V	P	δ	%	% v	% aire	% aire
Unidad			cm2	cm	cm3	gr	gr/cm3				
1	UF (calorizante 60% anhidro)	---	900	0,068	62	65	1,2500		2,2%		
2	MADERA PINO (25% anhidro)	---	900	0,630	567	340	0,6000		23,3%	39,22%	
3	AIRE (27%)	---	900	1,943	1748	2	0,0012		73,3%	100,00%	
4	AGUA (27%-30%)	---	900	0,038	34	34,2	0,9965		1,4%		
5											
TOTAL	calculo		900	2,630	2401	441	0,186			73,3%	
	medicion				2367	406	0,172	8,42%			

λ = 0,033 78,828 0,013
 R = 72,5 6 = 0,186

PANEL 0-100 UFA (43)

Componente	Material	Señal tipo calor	Area	Espesor	Volúmenes	Peso distribuido	Densidad	Humedad % (volumen material)	% v	Macroporosidad % aire	Micro-Porosidad % aire
Simbolo	It	↓ →	a	e	V	P	δ	%	% v	% aire	% aire
Unidad			cm2	cm	cm3	gr	gr/cm3				
1	UF (calorizante 60% anhidro)	---	900	0,116	104	130	1,2500		4,6%		
2	MADERA PINO (25% anhidro)	---	900	0,630	567	340	0,6000		24,9%	39,22%	
3	AIRE (27%)	---	900	1,765	1606	2	0,0012		70,5%	100,00%	
4	AGUA (27%-30%)	---	900	0,068	52	51,9	0,9965		2,3%		
5											
TOTAL	calculo		900	2,530	2329	524	0,230			70,5%	
	medicion				2277	481	0,217	10,79%			

λ = 0,035 72,827 0,014
 R = 74 6 = 0,230

λ = 0,033 78,828 0,013
 R = 72,5 6 = 0,186

λ = 0,035 72,827 0,014
 R = 74 6 = 0,230

AISLACION TERMICA DE MATERIAL COMPUESTO

Cuadro resumen para evaluar la aislacion termica PARCIAL de un PANEL elegido con MATERIAL COMPUESTO en regimen NO ESTACIONARIO

[Texto y numero en azul son datos cargados](#)Materiales: **UF** (60% urea) **MA** (60% urea) **AG** (60% urea) **AGUA** (60% urea) **AGUA** (60% urea)Resistencia Termica (R) (m²·K/W)

Conductiv. Termica (K) (W/m·°C)

PANEL 0-100 UF B (47)

Componente	Materiales	Señalo calor	Area	Espesor	Volumen	Peso	Desf. Mat.	Humedad	% vol. material	Macroporosidad	% aire	Microporosidad	% aire
Material	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	AGUA (60% urea)
Material	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	AGUA (60% urea)
1	UF (60% urea)	↓	900	0,058	52	65	1,2500	2,5%	2,5%	0,058	0,058	17,308	0,058
2	MA (60% urea)	↓	900	0,630	567	340	0,6000	26,8%	39,22%	0,1700	3,704	0,270	0,1700
3	AIRE (27°C)	↓	900	1,663	1496	2	0,0012	70,7%	100,00%	0,0259	64,193	0,016	0,0259
4	AGUA (27°C-30°C)	↓	900	0,049	44	44,3	0,9965	2,1%		0,6030	0,082	12,208	0,6030
5	AGUA (27°C-30°C)	↓	900	0,049	44	44,3	0,9965	2,1%		0,6030	0,082	12,208	0,6030
TOTAL	Calculo medicion		900	2,350	2115	451	0,218	10,35%		0,095	68,096	0,015	0,095
						428	0,202	10,35%					0,213

PANEL 100-0 DS A (64)

Componente	Materiales	Señalo calor	Area	Espesor	Volumen	Peso	Desf. Mat.	Humedad	% vol. material	Macroporosidad	% aire	Microporosidad	% aire
Material	D3 (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	D3 (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	D3 (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	AGUA (60% urea)
Material	D3 (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	D3 (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	D3 (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	AGUA (60% urea)
1	D3 (60% urea)	↓	900	0,083	75	90	1,2000	2,7%	2,7%	0,083	0,083	12,000	0,083
2	MA (60% urea)	↓	900	0,630	567	340	0,6000	20,6%	39,22%	0,1700	3,704	0,270	0,1700
3	AIRE (27°C)	↓	900	2,337	2103	2	0,0012	76,6%	100,00%	0,0259	90,233	0,011	0,0259
4	AGUA (27°C-30°C)	↓	900	0,075	67	66,9	0,9965	2,4%		0,6030	0,124	8,085	0,6030
5	AGUA (27°C-30°C)	↓	900	0,075	67	66,9	0,9965	2,4%		0,6030	0,124	8,085	0,6030
TOTAL	Calculo medicion		900	3,050	2745	499	0,182	7,6%		0,092	94,144	0,011	0,092
						632	0,303	8,04%					0,182

PANEL 100-0 DS B (70)

Componente	Materiales	Señalo calor	Area	Espesor	Volumen	Peso	Desf. Mat.	Humedad	% vol. material	Macroporosidad	% aire	Microporosidad	% aire
Material	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	AGUA (60% urea)
Material	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	UF (60% urea)	MA (60% urea)	AG (60% urea)	AGUA (60% urea)	AGUA (60% urea)
1	UF (60% urea)	↓	900	0,040	36	45	1,2500	1,3%	1,3%	0,040	0,040	25,000	0,040
2	MA (60% urea)	↓	900	0,630	567	340	0,6000	19,8%	39,22%	0,1700	3,704	0,270	0,1700
3	AIRE (27°C)	↓	900	2,510	2259	3	0,0012	78,9%	100,00%	0,0259	96,925	0,010	0,0259
4	AGUA (27°C-30°C)	↓	900	0,080	72	71,8	0,9965	2,5%		0,6030	0,133	7,529	0,6030
5	AGUA (27°C-30°C)	↓	900	0,080	72	71,8	0,9965	2,5%		0,6030	0,133	7,529	0,6030
TOTAL	Calculo medicion		900	3,180	2862	459	0,161	7,8%		0,092	100,802	0,010	0,092
						774	0,270	9,28%					0,161

AISLACION TERMICA DE MATERIAL COMPUESTO

Cuadro resumen para evaluar la aislacion termica PARCIAL de un PANEL ciego con MATERIAL COMPUESTO en regimen NO ESTACIONARIO

Texto y numero en azul son datos cargadosMadera material e Yeso. δ en la tabla densidad: 1,5300 λ Conductiv. Termica (e/R) (e-1)

R Resistencia Termica (e/A) (e-1)

K Transmision Termica (A/e) (e-1/R)

PANEL 50-50 DS A (75)

Componente	Material	Señal mejor calor	Area	Espesor	Volumen	Peso	Densidad	Humedad	% volumen material	Macio- Porosidad	% aire	Macio- Porosidad	% aire
Simbolo	It	\downarrow	a	e	V	P	δ	%	% V	%	%	%	%
Unidad			cm ²	cm	cm ³	gr	gr/cm ³						
1	UF (calculada 65% agua)	--	900	0,080	72	90	1,2500		3,0%				
2	MADERA PINO (20% agua)	--	900	0,630	567	340	0,6000		23,5%				39,22%
3	AIRE (2%)	--	900	1,970	1773	2	0,0012		73,5%				100,00%
4	AGUA (2%)	--	900	0,040	36	35,5	0,9965		1,5%				
5	TOTAL	calculo	900	2,680	2448	468	0,194	8,30%					73,5%
		medicion			2412	428	0,1777						

$$\lambda = 0,034 \quad 79,925 = 0,013$$

$$R = 73,5 \quad 6,925 = 0,194$$

PANEL 50-50 DS B (77)

Componente	Material	Señal mejor calor	Area	Espesor	Volumen	Peso	Densidad	Humedad	% volumen material	Macio- Porosidad	% aire	Macio- Porosidad	% aire
Simbolo	It	\downarrow	a	e	V	P	δ	%	% V	%	%	%	%
Unidad			cm ²	cm	cm ³	gr	gr/cm ³						
1	UF (calculada 65% agua)	--	900	0,040	36	45	1,2500		1,6%				
2	MADERA PINO (20% agua)	--	900	0,630	567	340	0,6000		24,7%				39,22%
3	AIRE (2%)	--	900	1,880	1692	2	0,0012		73,7%				100,00%
4	AGUA (2%)	--	900	0,042	38	37,5	0,9965		1,6%				
5	TOTAL	calculo	900	2,590	2333	424	0,185	9,34%					73,7%
		medicion			2295	377	0,164						

$$\lambda = 0,033 \quad 76,414 = 0,013$$

$$R = 73 \quad 6,414 = 0,185$$

PANEL 0-100 DS A (82)

Componente	Material	Señal mejor calor	Area	Espesor	Volumen	Peso	Densidad	Humedad	% volumen material	Macio- Porosidad	% aire	Macio- Porosidad	% aire
Simbolo	It	\downarrow	a	e	V	P	δ	%	% V	%	%	%	%
Unidad			cm ²	cm	cm ³	gr	gr/cm ³						
1	D3 (calculada 65% agua)	--	900	0,083	75	90	1,2000		5,6%				
2	MADERA PINO (20% agua)	--	900	0,630	567	340	0,6000		42,5%				39,22%
3	AIRE (2%)	--	900	0,767	690	1	0,0012		51,8%				100,00%
4	AGUA (2%)	--	900	0,037	33	33,1	0,9965		2,5%				
5	TOTAL	calculo	900	1,480	1365	464	0,348	7,94%					51,8%
		medicion			1332	417	0,313						

$$\lambda = 0,044 \quad 33,464 = 0,030$$

$$R = 70,5 \quad 6,464 = 0,348$$

ANEXO M:(Probetas) Clasificación según aislación térmica (ΔT°) y conductividad térmica (λ)

TABLA: ORDEN DE PANELES SEGUN ENSAYO - CON RESISTENCIA TERMICA R = (e/λ) (para e=probeta)

ADHESIVO	identif.	Peso gr	Espesor cm	Densidad gr / cm ³	Humedad BH (°H %)	Temp cara exterior °C	Aislacion termica °C	Conductiv. Termica λ	Resistencia Termica R (e/λ)
100-0 CEM A	7	1600	4,13	0,431	6,59%	31,5	73,5	0,038	107,6
100-0 CEM B	1	1190	3,85	0,343	6,00%	35	70	0,037	105,3
0-100 CEM A	13	1600	2,83	0,629	5,48%	33	72	0,049	58,0
0-100 CEM B	18	1200	2,70	0,494	6,39%	32,5	72,5	0,043	63,3
100-0 UF A	32	485	4,38	0,123	11,90%	33	72	0,030	144,3
100-0 UF B	36	404	4,48	0,100	11,35%	34	71	0,030	150,3
50-50 UF A	52	502	2,70	0,207	11,81%	33	72	0,034	79,4
50-50 UF B	56	406	2,63	0,172	9,19%	32,5	72,5	0,033	78,8
0-100 UF A	43	481	2,53	0,212	12,09%	31	74	0,035	72,8
0-100 UF B	47	428	2,35	0,202	11,55%	31,5	73,5	0,035	68,0
100-0 D3 A	64	832	3,05	0,303	8,75%	34,5	70,5	0,032	94,1
100-0 D3 B	70	774	3,18	0,271	10,23%	34	71	0,032	100,8
50-50 D3 A	75	428	2,68	0,178	9,05%	31,5	73,5	0,034	79,9
50-50 D3 B	77	377	2,55	0,164	11,04%	32	73	0,033	76,4
0-100 D3 A	82	417	1,48	0,314	8,62%	34,5	70,5	0,044	33,5
0-100 D3 B	87	358	1,80	0,221	8,62%	32	73	0,038	47,4

TABLA: ORDEN DE PANEL CON MEJOR AISLACION (ΔT)

ADHESIVO	identif.	Peso gr	Espesor cm	Densidad gr / cm ³	Humedad BH (°H %)	Temp cara exterior °C	Aislacion termica °C	Conductiv. Termica λ	Resistencia Termica R (e/λ)
0-100 UF A	43	481	2,53	0,212	12,09%	31	74	0,035	72,8
0-100 UF B	47	428	2,35	0,202	11,55%	31,5	73,5	0,035	68,0
50-50 D3 A	75	428	2,68	0,178	9,05%	31,5	73,5	0,034	79,9
100-0 CEM A	7	1600	4,13	0,431	6,59%	31,5	73,5	0,038	107,6
0-100 D3 B	87	358	1,80	0,221	8,62%	32	73	0,038	47,4
50-50 D3 B	77	377	2,55	0,164	11,04%	32	73	0,033	76,4
50-50 UF B	56	406	2,63	0,172	9,19%	32,5	72,5	0,033	78,8
0-100 CEM B	18	1200	2,70	0,494	6,39%	32,5	72,5	0,043	63,3
100-0 UF A	32	485	4,38	0,123	11,90%	33	72	0,030	144,3
50-50 UF A	52	502	2,70	0,207	11,81%	33	72	0,034	79,4
0-100 CEM A	13	1600	2,83	0,629	5,48%	33	72	0,049	58,0
100-0 UF B	36	404	4,48	0,100	11,35%	34	71	0,030	150,3
100-0 D3 B	70	774	3,18	0,271	10,23%	34	71	0,032	100,8
100-0 D3 A	64	832	3,05	0,303	8,75%	34,5	70,5	0,032	94,2
0-100 D3 A	82	417	1,48	0,314	8,62%	34,5	70,5	0,044	33,5
100-0 CEM B	1	1190	3,85	0,343	6,00%	35	70	0,037	105,3

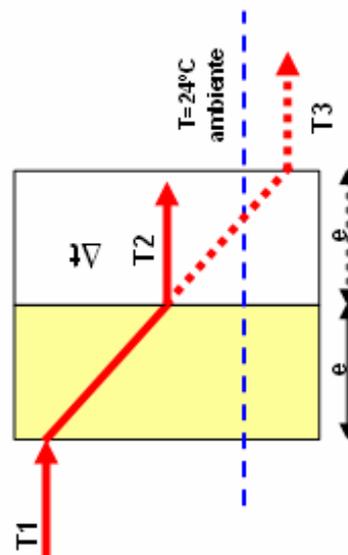
ANEXO N:(Probetas) Clasificación y orden por resistencia térmica (k)

TABLA: ORDEN DE PANELES CON MEJOR RESISTENCIA TERMICA $R = (e/\lambda)$ (para $e=2,5$) y AISLACION TERMICA (Δt)

ADHESIVO	identif.	Peso	Espesor	Densidad	Humedad BH (%H %)	Temp cara exterior °C	Aislacion termica °C	Conductiv. Termica	Resistencia Termica
		gr	cm	gr / cm3	%	°C	Δt	λ	$R_{(para e=2,5)}$
100-0 UF B	36	226	2,50	0,100	11,35%	--	--	0,030	83,86
100-0 UF A	32	277	2,50	0,123	11,90%	--	--	0,030	82,34
100-0 D3 B	70	609	2,50	0,271	10,23%	--	--	0,032	79,26
100-0 D3 A	64	682	2,50	0,303	8,75%	--	--	0,032	77,18
50-50 UF B	56	387	2,50	0,172	9,19%	--	--	0,033	74,94
50-50 D3 B	77	370	2,50	0,164	11,04%	--	--	0,033	74,92
50-50 D3 A	75	400	2,50	0,178	9,05%	--	--	0,034	74,56
50-50 UF A	52	465	2,50	0,207	11,81%	--	--	0,034	73,52
0-100 UF B	47	455	2,50	0,202	11,55%	--	--	0,035	72,39
0-100 UF A	43	476	2,50	0,212	12,09%	--	--	0,035	71,97
100-0 CEM B	1	773	2,50	0,343	6,00%	--	--	0,037	68,36
0-100 D3 B	87	497	2,50	0,221	8,62%	--	--	0,038	65,89
100-0 CEM A	7	970	2,50	0,431	6,59%	--	--	0,038	65,13
0-100 CEM B	18	1111	2,50	0,494	6,39%	--	--	0,043	58,58
0-100 D3 A	82	707	2,50	0,314	8,62%	--	--	0,044	56,53
0-100 CEM A	13	1416	2,50	0,629	5,48%	--	--	0,049	51,27

Nota: (1) La determinación de la resistencia térmica se obtiene de la relación de conductividad térmica y el espesor de panel adoptado $e=2,5\text{cm}$

Nota: (2) La determinación de la Aislación térmica (Δt) no se puede obtener de la relación directa proporcional de la caída de temperatura en relación al espesor del panel adoptado $e=2,5\text{cm}$ por más que sea un material homogéneo (la ecuación de conducción de calor $Q = \frac{\Delta t \cdot A \cdot k}{e}$ no es válida para este caso). Se debe obtener la curva de caída de temperatura dentro del panel que no es una relación lineal sino una relación curva. (ver gráfico)



ANEXO O:(Materiales aislantes alternativos)

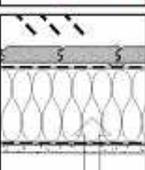
Propiedades térmicas

MATERIALES AISLANTES TERMO - ACUSTICOS		MATERIALES AISLANTES ALTERNATIVOS						
Identificación	Nombre	GUTEX E estándar-n Alemania	GUTEX Thermoflex Alemania	GUTEX Thermowall Alemania	GUTEX Thermosafe Alemania	GUTEX Thermofloor Alemania	GUTEX Ultratherm Alemania	GUTEX Multiplex-b Alemania
Origen		Alemania	Alemania	Alemania	Alemania	Alemania	Alemania	Alemania
Imagen								
Producto		Panel aislante pared interior	Panel termico pared exterior	Panel termico pared exterior	Panel termico techo exterior	Panel termico piso interior	Panel termico techo exterior	Panel termico pared exterior
Uso		pared interior	pared exterior	pared exterior	techo exterior	piso interior	techo exterior	pared exterior
Materia		Madera	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera
Especie		Abeto	Abeto	Abeto	Abeto	Abeto	Abeto	Abeto
Morfología (norma 664)		lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa
Configuración		lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa
Capas		lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa	lana madera orientada monocapa
Agua	Lts							
Adhesivos		poliuretano 4% latex 5%	poliuretano 4% parafina 2%	poliuretano 4% parafina 1,5%	poliuretano 4% parafina 2%	poliuretano 4% parafina 2%	poliuretano 4% parafina 2%	poliuretano 4% latex 5%
Aditivos		parafina 2%	parafina 2%	parafina 1,5%	parafina 2%	parafina 2%	parafina 2%	parafina 2%
Preñado		plano	estrucción	estrucción	estrucción	estrucción	estrucción	plano
Temperatura	T °C							
Terminación		calandrado	libre	libre	libre	calandrado	calandrado	calandrado
Función		acustico	termico	termico	termico	termico	termico	acustico
Largo	f m	1,00	1,22	1,25	1,20	1,20	1,78	2,50
Ancho	a m	2,50	0,57	0,60	0,65	0,60	0,60	0,75
Espesor	e mm	6 a 18	40 a 200	20 a 100	20 a 100	20 a 30	50 a 120	18 a 35
Densidad	δ Kg / m ³	250	45	160	150	150	190	200
Conductividad térmica	Δ W / mK	0,036	0,038	0,035	0,036	0,036	0,036	0,037
Resistencia térmica (eΔ)	R m ² K / W	0,1 a 0,8	1,0 a 5,1	0,55 a 4,1	0,55 a 2,75	0,5 a 0,8	1,2 a 2,8	0,4 a 0,8
Capacidad calorífica específica	c p J / KgK	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
Índice comp. reducción sonora	RS db	-	-	57	-	-	-	-
Índice de absorción sonora	α _s (0=1, 100% absorc.)							
Humedad equilibrio	HP %	10	11	10	10	10	10	10
Coef. Difusión de vapor	γ	5	0,5	3	5	5	3	3
Absorción capilar	w kg / m ² h	2	2,2	2,2	-	-	0,9 a 1	0,9 a 1
Índice resistencia al fuego	F Fminutos	E (intandable)	E (intandable)	E (intandable)	E (intandable)	E (intandable)	E (intandable)	E (intandable)
Norma para fuego	F normas	EN 13501-H-BioKlima	EN 13501-H-BioKlima	EN 13501-H-BioKlima	EN 13501-H-BioKlima	EN 13501-H-BioKlima	EN 13501-H-BioKlima	EN 13501-H-BioKlima



MATERIALES AISLANTES TERMO - ACUSTICOS

MATERIALES AISLANTES ALTERNATIVOS

Nombre	Oko-domo Alemania	Eternit Duripanel S3 B1 Alemania	Eternit Duripanel S3 A2 Alemania	LenoTec® LenoTec® Alemania	Rosenheim Rosenheim Alemania	HERAKLITH Heraklith-C Austria	HERAKLITH Heraklith-M Austria
Origen							
Imagen							
Producto	Bloque de virutas pared exterior	Placa rigida tablero interior	Placa rigida tablero exterior	montero adhesion pared exterior	Relleno aislante pared/techo piso	Placa de virutas pared/cieloraso	Placa de virutas pared/cieloraso
Uso							
Material	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera
Especie	Abeto	-	-	Abeto	Abeto	pino	pino
Morfología (norma ISO)	silver	astillas polvo 52%	astillas polvo 27%	astilla	viruta	condomos	condomos
Configuración	aleatorio	aleatorio	aleatorio	aleatoria	aleatorio	entrelazado	entrelazado
Capas	monocapa-mixto	monocapa	mono-tricapa	multicapa	monocapa	monocapa	monocapa
Agua	Lis						
Adhesivos	cemento	cemento 38%	cemento 36%	cera (parafina)	carbonato sodico	cemento	magnesita
Aditivos	isopor 50mm	hidrof 9% min.1%	hidrof 9% min.1%	aceite girasol	suero de leche		
Prezado	molde	molde	molde	spray	relleno	estructura	estructura
Temperatura	25	60	60	25	25	25	25
Terminación	estructura	calandrado	encastre	-	libre	libre	libre
Función	termico	acustico-fuego	acustico-hidrofono	adhesion	termico	termico acustico	termico acustico
Largo	1,20	2,6 - 3,1	2,6 - 3,2	-	-	2,00	2,00
Ancho	0,20	1,25	2,25	-	-	0,60	0,60
Espesor	2x50mm (30 bloques)	8 a 40	9 a 40	1 a 3 (30 panel)	22 a 32	25 a 100	15 a 50
Densidad	444 kg/m³ (277 bloques)	1250	1350	250	70	360 (25)	240 (25)
Conductividad térmica	0,27	0,45	0,4	0,445	0,045	0,450	0,149
Resistencia térmica (e/b)	0,27	0,022 - 0,11	0,022 - 0,10	0,15	0,045	0,280	0,250
Capacidad calorífica específica	-	-	-	2300	-	-	-
Indice comp. reducción sonora	51,4	55	55	60	-	-	-
Indice de absorción sonora	-	-	-	-	-	0,32 (0xW)	0,30 (0xW)
Humedad equilibrio	12	9	12	9	12	12	12
Coef. Difusión de vapor	-	0,40	0,33	2	0,5	6	6
Absorción capilar	10	-	-	-	7	-	-
Indice resistencia al fuego	F30	F90	F90	E (insalable)	B2 (insalable)	F30	F30
Norma para fuego	F normas						



MATERIALES AISLAN TES TERMO - ACUSTICOS			MATERIALES AISLAN TES ALTERNATIVOS			MATERIALES AISLAN TES TRADICIONALES		
Nombre	HERAKLITH Herakustik Fine Austria	HERAKLITH Herakustik Micro Austria	GWT-TUD Iadrillo Austria	Eucatex Eucatex Brasil	Pur-Pir (PUR) Esp. poliuretano Alemania	Telopor (EPS) Poliestireno Exp. Argentina	Isover Lana de roca Argentina	
Origen								
Imagen								
Producto	Placa de virutas pared-cieloraso	Placa de virutas pared-cieloraso	Ladrillo de viruta pared-cieloraso	Placa acustica	Espuma aislante pared techo piso	Placa aislante pared techo piso	Manto y Panel pared techo	
Uso								
Material	Madera	Madera	Madera	Madera	-	Plastico	Mineral	
Especie	pino	pino	Abeto	Eucalipto	-	-	basalto (98%)	
Morfología (norma ISO)	cordones 1-2mm entrelazado monocapa	astillas aleatorio monocapa	cordones entrelazado monocapa	lana de madera aleatorio monocapa	espuma alveolar monocapa	espuma alveolar monocapa	lana mineral fibrosa orientada monocapa	
Configuración								
Capas								
Agua	Lts							
Adhesivos	magnesita	magnesita	silicato potasio	urea formaldheido	izo cianato poliol	poliestireno	organico (2%)	
Aditivos	estruccion	estruccion	estruccion	molde	monofluorclorometano(F	butano	plano	
Temperatura	T °C	25	25	80	(-180 a +130)	(-180 a +130)	1600	
Terminación	libre	libre	libre	vinilico	-	-	film papel	
Funcion	termico acustico	termico acustico	termico	acustico	termico	termico	termico acustico	
Largo	l m	2,50	0,3 a 0,6	0,30	-	2,00	1,20	
Ancho	a m	0,65	0,30	0,30	-	1,00	25,00	
Espesor	e mm	13 a 35	25 a 50	12,7 a 19	20 a 100	10 a 50	30 a 100	
Densidad	δ Kg / m³	480 (ca)	420	268	30	10 a 30	100 a 160	
Coeficiente de transmisión térmica (k)	k W / mK	0,035	0,040	0,013	0,010	0,045 a 0,01	0,02 a 0,011	
Resistencia térmica (eR)	R m² K / W	0,300	0,320	0,44	1,31	0,55 a 2,00	1 a 0,73	
Capacidad calorífica específica (c)	c J / KgK	-	-	2200	11,1 a 1,666 J/g	10,0 a 1,666 J/g	-	
Índice comp. reducción sonora	R_s db	-	-	0,58	-	-	-	
Índice de absorción sonora	α (0=1, 100%)	0,35 (cov)	0,40 (cov)	-	-	-	-	
Humedad equilibrio	HP %	12	13	12	3%	3%	3%	
Coef. Difusión de vapor	γ	5	6	4	0,013	0,5	0,5	
Absorción capilar	w kg / m²h	-	-	-	(-5% peso)	0,2	0,2	
Índice resistencia al fuego	F minutos	F30	F90	F60	B2 (insalvate)	insalvate	RE1 (insalvate fire)	
Norma para fuego	F normas	F30	F90	F60	B2 (insalvate)	insalvate	RE1 (insalvate fire)	



MATERIALES AISLANTES TERMO - ACUSTICOS		MATERIALES AISLANTES TRADICIONALES				TABLEROS DE MADERA	
Nombre	Isover Filtro Polac Argentina	Isover Aislina PVC Argentina	Armstrong Minaboard fire-G USA	Mexpol FTR Argentina	Masisa Aglomerado Argentina	COTOPAXI Aglom Acoplac® Argentina	Madera Madera Argentina
Origen							
Imagen							
Producto	Manto termo-acust. pared techo	Panel termo-acust. cielorraso	Placa acustica cielorrasos	Membrana termica techo	Placa acustica pared	Placa acustica pared	Placa acustica pared
Uso							
Material	Silice	Silice	Fibra mineral basalto	plastico	madera eucalipto	madera pino	madera pino
Especie							
Morfologia (ASTM 664)	lana vidrio orientada	lana vidrio orientada	lana mineral orientada	membrana alveolar	astillas ahartada	virutas-aserrin	..
Configuracion	monocapa+papel	monocapa+PVC	monocapa	monocapa	tricapa 25%	aleatorio monocapa	orientado monocapa
Capas			25%			15	15%
Agua	Lts						
Adhesivos	epoxi	epoxi	-	polietileno	Ureico	Urea Formol	-
Aditivos			antimicrobial	butano	antimicrobial		-
Presado			plano	plano	plano	plano	-
Temperatura	T °C						
Terminacion							
Funcion	laminado papel termico acustico	laminado PVC termico acustico	laminado vinilico acustico	laminado aluminio termico	laminado vinilico acustico	laminado aluminio termico	cepillado estructural
Largo	l m	1,20	1,22	25,00	1,22	25,00	-
Ancho	a m	25,00	0,61	1,20	0,61	1,20	-
Espesor	e mm	38 a 200	20 - 40	2 a 10	18,00	16,50	36,00
Densidad	d Kg / m³	10,2	35	228 a 342	10	6-40	722
Conductividad termica	λ W / mK	0,042	0,033	0,040	0,040	0,130	0,170
Resistencia termica (e/A)	R m² K/W	0,9 a 4,8	0,6 - 1,2	0,26	0,55 a 10	0,13 a 15	0,21 a 36
Capacidad volumetrica especifica	c J / Kg K					351 a 360	384 a 390
Indice comp. reduccion sonora	Rs db	44 (e=50)	44 (e=20)	8,20 (e=9,8%)		24,6 (e=29,6%)	24,6 (e=28,8%)
Indice de absorcion sonora	α (e=1 - 100%)	0,71 (e=50)	0,65 (e=20) 0,78 (e=40)	0,55		0,04 (e=10)	0,08 - 0,10 (e=10)
Humedad equilibrio	HP %		15	0	6	9	15
Coef. Difusion de vapor	μ		6	0			
Absorcion capilar	w kg / m².h	0,61	0,32	0	0	2	
Indice resistencia al fuego	F F minutos	RE1 (no combust.)	RE2 (poco combust.)	incombustible	RE 3 (combust.)	RE 3 (combust.)	RE 3 (combust.)
Norma para fuego	F Normas	(IF-40) (1510)	(IF-40) (1510)	(E-30) (E 130)	(IF-40) (1510)	(IF-40) (1510)	(IF-40) (1510)

ANEXO P: IRAM 11601 Materiales aislantes

Norma: **IRAM 11.601 / 89**

Acondicionamiento térmico de edificios. **Propiedades térmicas de los materiales para la construcción.**

Establece los valores de las propiedades térmicas de los materiales para la construcción y los métodos de cálculo de la resistencia total de los componentes constructivos que intervienen en los cerramientos de los locales de edificios.

El alcance está limitado a los valores de las propiedades térmicas de los materiales indicados, obtenidos de valores promedios, en condiciones de ensayo dadas en atmósfera de temperatura media de 20°C +/- 1°C y humedad relativa media de 60% +/- 10%

Todas las unidades se establecen en el Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)

Propiedades térmicas	Símbolo	Equival.	Unidades		Equivalencia
			Sistema Tradicional	SIMELA	
Conductividad térmica	λ	$(Q/h.s)/(\Delta t/D)$	kcal/m.h.°C	W/m. ² .k	1,163 W = 1 kcal/h 0°K = -273°C = aire con 0% H ₂ O
Resistencia térmica	R	e/λ	m ² .h.°C / Kcal	m ² .°K / W	kcal/m.h.°C W/m.°C Btu/ft.h.°F 1,000 1,163 8,064
Transmitancia térmica	K	λ/e	Kcal / m ² .h.°C	W/m ² .°k	0,860 1,000 6,949 0,124 0,144 1,000
Permeabilidad al vapor de agua (Difusividad)	δ		g.cm / mmHg.m ² .d	g.m / MN.s	1g.cm / mmHg.m ² .d = 0,000868.(g.m/MN.s) 0,003125 g/m.h.kPa
Permanencia	μ	δ/e	g / mmHg.m ² .d	MN.s / g	
Resistencia al vapor de agua	R _v	1/δ	mmHg.m ² .d / g	g / MN.s	1g.cm / mmHg.m ² .d = 0,00868.(g.m/MN.s) 0,3125 g/m ² .h.kPa

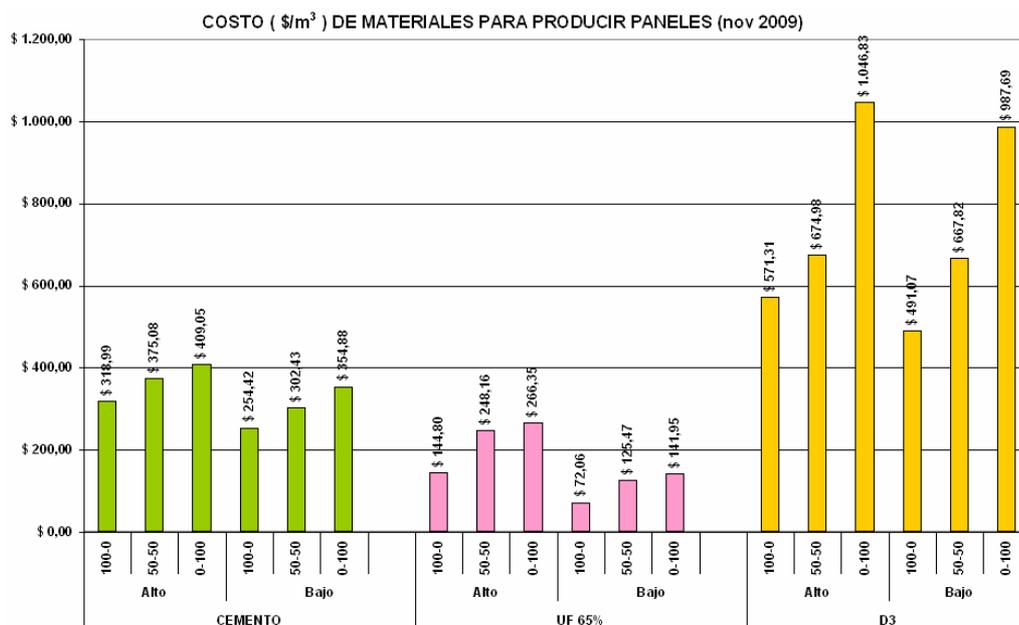
norma IRAM 1737

IRAM 11559

	Masa o Peso específico	espesor	Coeficiente Conductividad Térmica		Resistencia térmica	Resistencia térmica	Calor específico	
<i>símbolo</i>	δ	<i>e</i>	λ	λ	R	R	<i>c</i>	<i>c</i>
<i>fórmula</i>	(ρV)				(e/λ)	(e/λ)		
<i>unidades</i>	kg o kg/m ³	mm	W / m.°C	kcal / h.m.°C	m ² .°C / W	m ² .h.°C/kcal	W.h / kg.°C	kcal / kg.°C
Aire								
reposo (0°C)	1,2950	10	0,0243	0,0209	0,412	0,3538		0,000
reposo (20°C)	1,2104	10	0,0259	0,0223	0,386	0,3320	0,28	0,241
reposo (35°C)	1,1480	10	0,0268	0,0230	0,373	0,3208		0,000
reposo (50°C)	1,0870	10	0,0279	0,0240	0,358	0,3082		0,000
reposo (100°C)	0,9900	10	0,0302	0,0260	0,331	0,2847		0,000
Agua								
solida (0°C)	1000	10	0,5690	0,4893	0,018	0,0151	0,578	0,497
líquida (20°C)	999	10	0,6030	0,5185	0,017	0,0143	1,16	0,999
vapor (100°C)	958	10	0,6810	0,5856	0,015	0,0126	0,587	0,505
Materiales								
Poliestireno	20	10	0,026	0,022	0,385	0,3307	0,235	0,202
Corcho	300	10	0,043	0,037	0,233	0,2000	0,478	0,411
Lana mineral	200	10	0,039	0,034	0,256	0,2205	0,287	0,247
Vermiculita suelta	100	10	0,043	0,037	0,233	0,2000	0,182	0,156
Mortero de vermiculita	600	10	0,129	0,111	0,078	0,0667	0,285	0,245
Placas fibras aglomeradas blandas	400	10	0,052	0,045	0,192	0,1654	0,210	0,181
Placas fibras aglomeradas duras	500	10	0,069	0,059	0,145	0,1246	0,269	0,231
Madera liviana (pino)	600	10	0,172	0,148	0,058	0,0500	0,175	0,150
Madera pesada (algarrobo)	1000	10	0,302	0,260	0,033	0,0285	0,280	0,241
Fibrocemento	1500	10	0,603	0,518	0,017	0,0143	0,120	0,103
Vidrio	2700	10	0,603	0,518	0,017	0,0143	0,290	0,249
Hormigón celular	300	10	0,052	0,045	0,192	0,1654	0,160	0,138
Hormigón sin armadura	1800	10	0,862	0,741	0,012	0,0100	0,250	0,215
Hormigón armado	2400	10	1,121	0,964	0,009	0,0077	0,305	0,262
Mampostería ladrillo macizo	1800	10	0,646	0,555	0,015	0,0133	0,209	0,180
Mampostería ladrillo hueco	1400	10	0,327	0,281	0,031	0,0263		0,000
Mampostería piedra	2800	10	1,724	1,482	0,006	0,0050	0,380	0,327
Mortero común	2000	10	0,948	0,815	0,011	0,0091	0,349	0,300

ANEXO Q: Costo de producción de 1 m³ de panel

COSTOS (\$) DE PRODUCCION DE 1 m ³ DE PANEL							
Adhesivo	Concent.	Mezcla	Densidad gr/cm ³	volumen unid. 30x30	Cantidad un./m ³	sept. 2005 \$/m ³	nov. 2009 \$/m ³
CEMENTO	Alto	100-0	0,35	3370	296,7	\$ 164,60	\$ 318,99
		50-50	0,51	2866	348,9	\$ 193,55	\$ 375,08
		0-100	0,61	2628	380,5	\$ 211,07	\$ 409,05
	Bajo	100-0	0,35	3370	296,7	\$ 128,28	\$ 254,42
		50-50	0,38	2835	352,7	\$ 152,49	\$ 302,43
		0-100	0,49	2416	413,9	\$ 178,93	\$ 354,88
UF 65%	Alto	100-0	0,12	3964	252,3	\$ 89,81	\$ 144,80
		50-50	0,22	2313	432,3	\$ 153,91	\$ 248,16
		0-100	0,23	2155	464,0	\$ 165,20	\$ 266,35
	Bajo	100-0	0,10	4050	246,9	\$ 43,95	\$ 72,06
		50-50	0,17	2326	429,9	\$ 76,53	\$ 125,47
		0-100	0,20	2056	486,4	\$ 86,58	\$ 141,95
D3	Alto	100-0	0,30	2754	363,1	\$ 344,23	\$ 571,31
		50-50	0,19	2331	429,0	\$ 406,69	\$ 674,98
		0-100	0,29	1503	665,3	\$ 630,74	\$ 1.046,83
	Bajo	100-0	0,25	3204	312,1	\$ 147,94	\$ 491,97
		50-50	0,16	2356	424,4	\$ 201,19	\$ 667,82
		0-100	0,24	1593	627,7	\$ 297,55	\$ 987,69



PRECIOS	unid. venta	unid. Kg	sept. 2005		nov. 2009		
			(peso) kg	unid. venta	(peso) kg	unid. venta	
Cemento	Kg	50	50	\$ 0,36	\$ 18,00	\$ 0,64	\$ 32,00
Aditivo acelerante	Lts	1	1	\$ 7,50	\$ 7,50	\$ 16,50	\$ 16,50
UF 65%	Tn	1	1000	\$ 1,57	\$ 1.570,00	\$ 2,47	\$ 2.470,00
Catalizador	Lts	1	1	\$ 4,20	\$ 4,20	\$ 7,03	\$ 7,03
D3 Kor lok 255	Tn	1	1000	\$ 4,50	\$ 4.500,00	\$ 7,41	\$ 7.410,00
Catalizador	Lts	1	1	\$ 4,80	\$ 4,80	\$ 8,17	\$ 8,17
Viruta As erin seco	Tn	1	1000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,03	\$ 28,50