

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EFFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y
ALMIDÓN COMO LIGANTE EN LA RESISTENCIA DE PANELES
AGLOMERADOS DE USO EN LA CONSTRUCCIÓN**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

ELABORADO POR:

LIZBETH CASAS SANDOVAL

ASESOR:

MSc. ANA TORRE CARRILLO

**LIMA - PERÚ
2015**

**“EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y ALMIDÓN
COMO LIGANTE EN LA RESISTENCIA DE PANELES AGLOMERADOS DE USO
EN LA CONSTRUCCIÓN”**

Ing. Lizbeth Casas Sandoval

**Presentado a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en
cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de:**

**MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

2015

Autor : Ing. Lizbeth Casas Sandoval

**Recomendado : Ing. MSc. Ana Torre Carrillo
Asesor de la Tesis**

**Aceptado por : Dr. Ing. Luis Mosquera Leiva
Jefe de la Unidad de Posgrado**



DEDICATORIA

A mis hijos Leonardo Gabriel, Frida Sophía y Rodrigo Alessandro, porque su llegada cambió mi existencia, porque en sus sonrisas encuentro paz y porque son el motor que me impulsa a ser mejor persona día a día.

A mi esposo, por su apoyo incondicional, por compartir mis sueños y ser partícipe en la consecución de mis objetivos.

A mis padres, Marisol y Luis, porque creyeron en mí y me dieron su apoyo y ejemplo en todo momento.

A mis amigos y familiares, porque con sus palabras de aliento, contribuyeron a la culminación del presente trabajo.

Lizbeth



AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por acompañarme e iluminar mi camino, por darme fortaleza, paciencia y por permitir que pueda llegar a cumplir mis metas.

Mi inmensa gratitud a mi asesora, la Ing. MSc. Ana Torre Carillo, por su incondicional apoyo durante todo el desarrollo de esta investigación.

A mi esposo y mi familia, por sus valiosos aportes e inmensurable ayuda durante este tiempo.

A mis compañeros de trabajo por interesarse en mis sueños y por su valiosas contribuciones en el desarrollo del estudio.

A mis amigos con quienes compartimos fructíferas jornadas de estudio, amistad e increíbles momentos que perdurarán por siempre.



ÍNDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice General	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Fotos	xi
Lista de Tablas	xii
Lista de Símbolos y de siglas	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	
1.1. ESTADO SITUACIONAL DE LA CASCARILLA	01
1.1.1. Cultivo de arroz en el Perú	02
1.1.2. Cultivo de arroz en la región San Martín	02
1.1.3. Volumen de producción y Rendimientos	03
1.1.4. Volúmenes de cascarilla de arroz	03
1.1.5. Problemática ambiental	04
1.2. FABRICACIÓN DE PANELES AGLOMERADOS	04
1.2.1. Reseña histórica sobre los paneles aglomerados	04
1.2.2. Tipos de paneles aglomerados	05
1.2.3. Aplicaciones y usos en la construcción	08
1.2.4. Requisitos generales para la fabricación de paneles	09
1.2.5. Valores Requeridos	09
1.3. MERCADO DE PANELES AGLOMERADOS EN EL PERÚ	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. MARCO TEÓRICO	14
2.1.1. Resistencia a la flexión	14
2.1.2. Módulo de elasticidad en flexión	18
2.1.3. Cohesión interna o tracción perpendicular a las caras	20
2.1.4. Resistencia al arranque de superficie	21
2.1.5. Densidad de la muestra	21
2.1.6. Contenido de Humedad	22
2.1.7. Absorción y cambios dimensionales	22



CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL ESTUDIO

3.1.	MATERIALES	23
3.1.1.	Cascarilla de arroz	23
3.1.2.	Almidón	28
3.1.3.	Agua	28
3.2.	FABRICACIÓN DE LOS PANELES	29
3.2.1.	Metodología de Trabajo	29
3.2.2.	Selección de la cascarilla	33
3.2.3.	Secado	33
3.2.4.	Encolado	34
3.2.5.	Prensado	36
3.3.	MÉTODOS DE ENSAYO	37
3.3.1.	Dimensiones de los tableros	37
3.3.2.	Obtención de probetas	38
3.3.3.	Determinación de propiedades físicas	40
3.3.3.1.	Densidad normal del tablero	40
3.3.3.2.	Perfil de densidad	41
3.3.3.3.	Determinación del contenido de Humedad en equilibrio	42
3.3.3.4.	Absorción	43
3.3.3.5.	Cambios dimensionales	44
3.3.4.	Determinación de propiedades mecánicas	44
3.3.4.1.	Determinación de la Resistencia a la Flexión y del Módulo de Elasticidad en Flexión (UNE – EN 310, 1993)	44
3.3.4.2.	Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero (UNE – EN 310, 1993)	52
3.3.4.3.	Determinación de la resistencia al arranque de la superficie de los tableros (UNE – EN 311, 2002)	57

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1.	Dimensiones de los tableros	63
4.2.	Propiedades físicas	64
4.2.1.	Densidad normal	64
4.2.2.	Perfil de densidad	66
4.2.3.	Contenido de humedad	68
4.2.4.	Absorción de humedad	69
4.2.5.	Hinchamiento en espesor	70
4.3.	Propiedades físicas	71
4.3.1.	Flexión estática	71
4.3.2.	Tracción perpendicular a las caras	80
4.3.3.	Resistencia al arranque de la superficie	86



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

▪ Conclusiones	88
▪ Recomendaciones	89

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

▪ Referencias Bibliográficas	90
------------------------------	----

ANEXOS

Anexo N° 01	: Resultados del Ensayo de Flexión – Universidad Nacional de Ingeniería	93
Anexo N° 02	: Resultados del Ensayo de Flexión (Carga – Deformación) – Universidad Nacional de Ingeniería	94
Anexo N° 03	: Resultados del Ensayo de Tracción Perpendicular a las Caras – Universidad Nacional de Ingeniería	95
Anexo N° 04	: Resultados del Ensayo de Resistencia al Arranque de la Superficie – Universidad Nacional de Ingeniería	96
Anexo N° 05	: Ensayos en Laboratorio de Suelos – Universidad Nacional de San Martín, M01-E01-01	97
Anexo N° 06	: Ensayos en Laboratorio de Suelos – Universidad Nacional de San Martín, M01-E01-02	98
Anexo N° 07	: Ensayos en Laboratorio de Suelos – Universidad Nacional de San Martín, M01-E01-03	99
Anexo N° 08	: Ensayos en Laboratorio de Suelos – Universidad Nacional de San Martín, M01-E02-01	100
Anexo N° 09	: Ensayos en Laboratorio de Suelos – Universidad Nacional de San Martín, M01-E02-02	101
Anexo N° 10	: Ensayos en Laboratorio de Suelos – Universidad Nacional de San Martín, M01-E02-03	102
Anexo N° 11	: Resultados – Medición de Espesor en Probetas – Universidad Nacional de San Martín	103
Anexo N° 12	: Norma ASTM D 1037- 91 Methods of test for building fiberboards evaluating properties. Philadelphia, EE.UU. (6):81-100	104
Anexo N° 13	: Norma Europea UNE - EN 309. Tableros de Partículas, Definición y clasificación	114
Anexo N° 14	: Norma Europea UNE - EN 310. Determinación de Módulo de Elasticidad en Flexión y de Resistencia a la Flexión	122
Anexo N° 15	: Norma Europea UNE - EN 311. Arranque de la superficie de los tableros	132
Anexo N° 16	: Norma Europea UNE - EN 312. Tableros de partículas, Especificaciones	142
Anexo N° 17	: Norma Europea UNE - EN 317. Determinación de la Hinchazón en Espesor después de Inmersión en Agua	163
Anexo N° 18	: Norma Europea UNE - EN 319. Determinación de la Resistencia a la Tracción Perpendicular a	



Anexo N° 19	las Caras del Tablero	171
	: Norma Europea UNE - EN 322. Determinación del Contenido de Humedad	180
Anexo N° 20	: Matriz de Consistencia	187



LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Pág.
CAPÍTULO I	
1.1. Producción de cascarilla de arroz en la región San Martín	04
CAPÍTULO II	
2.1. Probeta solicitada con una fuerza central, con los diagramas de fuerza cortante y momento flector respectivos	14
2.2. Elemento de sección rectangular sometido a flexión	15
2.3. Plano neutro y distribución de esfuerzos	15
2.4. Modelo matemático del ensayo a flexión como viga biapoyada	16
2.5. Curva de carga – deformación en la zona de deformación elástica	19
2.6. Diagrama del Ensayo de Tracción	20
CAPÍTULO III	
3.1. Diseño de la muestra	29
3.2. Dimensiones para la fabricación del molde de acero	32
3.3. Diagrama de procesos de fabricación de paneles	32
3.4. Ingredientes para la fabricación del aglomerante	35
3.5. Dimensiones del panel fabricado	37
3.6. Esquema de corte de las muestras – Espesor 01	38
3.7. Esquema de corte de las muestras – Espesor 02	39
3.8. Punto de medida – Ensayo de Densidad Normal	41
3.9. Esquema de ensayo de flexión estática	45
3.10. Dimensiones de la probeta – Ensayo de Flexión	48
3.11. Ejemplos de dispositivos para la determinación de la resistencia a la tracción perpendicular	54
3.12. Hongo de acero – Dispositivo para el ensayo de resistencia al arranque de la superficie	58
3.13. Cuadro de centrado - Dispositivo para el ensayo de resistencia al arranque de la superficie	58
3.14. Dispositivo Cardan - Ensayo de resistencia al arranque de la superficie	59
CAPÍTULO IV	
4.1. Espesores promedio de las muestras o tableros	63
4.2. Densidad Normal de los tableros E-01 (12.5mm)	64
4.3. Densidad Normal de los tableros E-02 (19mm)	65
4.4. Perfil de Densidad de las muestras, E-01	66
4.5. Perfil de Densidad de las muestras, E-02	67
4.6. Contenido de humedad (%) en las muestras	68



4.7	Absorción de humedad de los tableros	69
4.8	Tendencia de la resistencia a la flexión estática (MOR – E-01)	73
4.9	Tendencia de la resistencia a la flexión estática (MOR – E-02)	76
4.10	Curvas de Carga – Deformación a partir de las mediciones obtenidas durante el ensayo.	79
4.11	Resultados de la Elasticidad promedio en flexión estática – M01	79
4.12	Tendencia de la tracción perpendicular al plano para los tableros tipo E-01	81
4.13	Tendencia de la tracción perpendicular al plano para los tableros tipo E-01	84



LISTA DE FOTOS

Foto N°	Pág.	
CAPÍTULO III		
3.1	Cascarilla de arroz	24
3.2	Instrumentos utilizados para la fabricación de los paneles	31
3.3	Molde de acero para fabricación de las probetas	31
3.4	Secado de la cascarilla de arroz	33
3.5	Encolado manual de la mezcla	35
3.6	Conformación del colchón en el molde	36
3.7	Prensado de la muestra en el molde	36
3.8	Grupo de paneles	37
3.9	Corte de muestras	40
3.10	Determinación del contenido de humedad	43
3.11	Ensayo de absorción	43
3.12	Hinchamiento a las 24 horas	44
3.13	Equipos utilizados para la realización del Ensayo de Flexión	46
3.14	Grupo de Probetas Tipo E-01	47
3.15	Grupo de Probetas Tipo E-02	47
3.16	Distancia entre apoyos para probetas E-01	49
3.17	Distancia entre apoyos para probetas E-02	49
3.18	Cabeza de carga cilíndrica en el centro de la probeta	50
3.19	Aplicación de la carga	50
3.20	Registro de la carga máxima	51
3.21	Vista de la falla en la probeta M1, E02, 02	51
3.22	Máquina de Ensayo Universal	53
3.23	Bloques de madera	54
3.24	Vista del Grupo de Probetas para el Ensayo de Tracción Perpendicular a las caras	54
3.25	Grupo de Probetas Encoladas	55
3.26	Aplicación de la carga	56
3.27	Medición de la carga	57
3.28	Probeta habilitada – Ensayo de resistencia al arranque de la Superficie	60
3.29	Probetas habilitadas y adheridas al hongo metálico para el ensayo de resistencia al arranque	60
3.30	Colocación del Extractómetro	61
3.31	Ensayo de resistencia al arranque de la superficie – Falla en la Probeta	61



LISTA DE TABLAS

Tabla N°		Pág.
CAPÍTULO I		
1.1	Clasificación de los diferentes tipos de tableros y sus valores correspondientes	06
1.2	Clasificación de los tableros de acuerdo a su uso	08
1.3	Especificaciones generales a la salida de fábrica	10
1.4	Tableros de uso general para utilización en ambiente seco (Tipo P1) Requisitos para las propiedades mecánicas especificadas	11
1.5	Tableros para aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco (Tipo P2) Requisitos para las propiedades mecánicas especificadas	11
1.6	Tableros no estructurales utilizados en ambiente húmedo (Tipo P3) Requisitos para las propiedades mecánicas y de hinchazón especificadas	12
1.7	Tableros no estructurales utilizados en ambiente húmedo (Tipo P3) Requisitos para la resistencia a la humedad	12
CAPÍTULO III		
3.1	Composición química de la cascarilla de arroz a diferentes porcentajes de humedad	25
3.2	Poder calórico inferior de cascarilla de arroz a diferentes porcentajes de humedad	26
3.3	Composición mineral de ceniza en la cascarilla de arroz	26
3.4	Análisis fisicoquímico de la composición de la cascarilla de arroz	27
3.5	Composición Química del Almidón de Yuca	28
3.6	Materiales para la fabricación de los paneles	30
3.7	Masa de componentes del aglomerante	34
3.8	Número de probetas según ensayos de propiedades físicas y mecánicas	40
CAPÍTULO IV		
4.1	Espesores de los tableros o muestras en mm	63
4.2	Densidad Normal Muestras de Espesor tipo E-01 (12.5mm)	64
4.3	Densidad Normal Muestras de Espesor tipo E-02 (19mm)	65
4.4	Resultados Perfil de Densidad – Espesor Tipo E-01	66
4.5	Resultados Perfil de Densidad – Espesor Tipo E-02	67
4.6	Contenido de Humedad en los tableros (12.5mm)	68
4.7	Absorción de Humedad a 2h	69
4.8	Absorción de Humedad a 24h	69
4.9	Análisis de Varianza para la Absorción de humedad de los tableros (24 horas)	70



4.10	Hinchamiento en espesor en % a 2 horas	71
4.11	Hinchamiento en espesor en % a 24 horas	71
4.12	Módulo de ruptura en flexión estática (MOR), E-01	72
4.13	Pruebas de normalidad	73
4.14	Análisis de Varianza para la prueba de resistencia de flexión estática de los tableros tipo E-01	74
4.15	Prueba de hipótesis	74
4.16	Módulo de ruptura en flexión estática (MOR), E-02	75
4.17	Pruebas de normalidad	76
4.18	Análisis de Varianza para la prueba de resistencia de flexión estática de los tableros tipo E-02	77
4.19	Prueba de hipótesis	77
4.20	Resumen - Módulo de ruptura en flexión estática (MOR)	77
4.21	Módulo de elasticidad en flexión estática (MOE)	78
4.22	Prueba de hipótesis	80
4.23	Valores representativos del MOR en Tracción Perpendicular al plano – Tablero Espesor Tipo E-01	80
4.24	Pruebas de normalidad	81
4.25	Análisis de Varianza para la prueba de tracción perpendicular al plano de los tableros tipo E-01	82
4.26	Prueba de hipótesis	82
4.27	Valores representativos del MOR en Tracción Perpendicular al plano – Tablero Espesor Tipo E-02	83
4.28	Pruebas de normalidad	84
4.29	Análisis de Varianza para la prueba de tracción perpendicular al plano de los tableros tipo E-01	85
4.30	Prueba de hipótesis	85
4.31	Resumen – Valores representativos del MOR en Tracción perpendicular al plano	86
4.32	Resultados del Ensayo de Resistencia al Arranque de Superficie- SS	86
4.33	Prueba de hipótesis	87



LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
CEE	: Comisión de las Naciones Unidas para la Economía de Europa
UNE - EN 309	: Norma Europea - Tableros de Partículas, Definición y clasificación
UNE - EN 310	: Norma Europea - Determinación de Módulo de Elasticidad en Flexión y de Resistencia a la Flexión
UNE - EN 311	: Norma Europea - Arranque de la superficie de los tableros
UNE - EN 312	: Norma Europea - Tableros de partículas, Especificaciones
UNE - EN 317	: Norma Europea - Determinación de la Hinchazón en Espesor después de Inmersión en Agua
UNE - EN 319	: Norma Europea - Determinación de la Resistencia a la Tracción Perpendicular a las Caras del Tablero
UNE - EN 322	: Norma Europea - Determinación del Contenido de Humedad



RESUMEN

En la actualidad las líneas de investigación se enfocan en la creación de tableros o paneles con aprovechamiento de residuos agrícolas, residuos de madera, fibras recicladas, cáscara de arroz o aprovechando todo tipo de residuos sobre todo de la agricultura.

Se ha fabricado tableros a partir de la cáscara de arroz, utilizando el almidón de yuca como material ligante, teniendo en cuenta que la cáscara de arroz es el mayor residuo resultante de la producción agrícola de granos, convirtiéndose esto en un problema de contaminación ya que en la mayoría de los casos se procede a incinerarlos, generando polución de micro partículas minerales que generan enfermedades respiratorias y la liberación al ambiente de gases producto de la combustión.

En el presente trabajo de investigación se fabricaron 03 tipos de muestras de análisis con diferentes proporciones de almidón, las cuales se sometieron a los ensayos respectivos que demanda la metodología propuesta por La Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM D1037-12) y las Normas Europeas UNE – EN. Estos ensayos de propiedades físicas y mecánicas se realizaron con la finalidad de ubicar el tablero en las categorías y clasificaciones establecidas en los documentos de referencia, según los resultados obtenidos.

El resultado final del presente trabajo concluye en que los tableros analizados se clasifican como tableros de densidad media y cumplen los requisitos para las propiedades físicas y mecánicas especificados para los Tableros de uso general para utilización en ambiente seco (Tipo P1), según los parámetros de valores que exige la Norma Europea UNE – EN – 312:2010 - Especificaciones para Tableros de Partículas.



ABSTRACT

Present lines of investigation focus on creating boards or panels with use of agricultural waste, wood waste, recycled fibers, rice husk or advantage of all kinds of waste especially from agriculture.

The boards have been manufactured from rice husk, using cassava starch as binder material, given that rice husk is the largest agricultural residue from grain production, turning this into a pollution problem because in most cases one proceeds to incinerate these rice husk, creating mineral pollution of microparticles generating respiratory diseases and environmental release of gases produced by combustion.

In the present research 03 types of test samples with different proportions of starch were produced, which were submitted to the respective tests demanded by the methodology proposed by the American Society for Testing and Materials (ASTM D1037-12) and Rules European UNE - EN. These tests of physical and mechanical properties were performed in order to place the board in the categories and classifications set out in the reference documents based on the results obtained.

The end result of this study concludes that the analyzed boards are classified as MDF and meet the requirements for physical and mechanical properties specified for general purpose boards for use in dry conditions (type P1) as parameters values required by the European UNE - EN - 312: 2010 - Specification for chipboard.



INTRODUCCIÓN

En el Perú, la cáscara de arroz es el mayor residuo resultante de la producción agrícola de granos. Del volumen total producido en el año 2012, que es 2 999 141 tn, (MINAG-DGCA), de las cuales 599 828.20 tn es cascarilla, es decir 20% de lo producido. De cada cinco toneladas de arroz producidas, una tonelada es cáscara y el destino final de tales cantidades de cáscara es el desecho siendo esto un foco de contaminación y un problema tangible al cual las autoridades responsables hasta ahora no han podido encontrarle solución.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Comisión de las Naciones Unidas para la Economía de Europa (CEE), celebraron una consulta internacional sobre tableros de fibra y tableros de madera aglomerada en Ginebra, Suiza del 21 de enero al 4 de febrero de 1957 (FAO, 1968), en la cual se adoptaron los siguientes acuerdos y conclusiones internacionales publicadas en su informe definitivo: método de ensayo; diferencias del material; producción, consumo y comercio mundiales; materias primas; proceso y equipo; aspectos económicos de la producción y comercialización; propiedades, aplicaciones y usos; así como la necesidad y urgencia de realizar investigación en todos los países, pugnando por conseguir resultados de sus productos. Manzano, A. (2000).

Becerra (1976), determinó y evaluó las características físicas y mecánicas: usando dos muestras de tableros aglomerados de madera de 50x50 cm con un espesor aproximado de 1.79 cm y un contenido de humedad de 10 %. El método de ensayo que utilizó es el que se especifican en las normas ASTM D 1037 - 91, (1991), los resultados que se obtuvieron superaron los mínimos establecidos para un tablero de densidad media.

Poblete (1979), determinó en tableros de partículas de distintos espesores y densidades, de qué manera se ven afectadas las propiedades físico- mecánicas al incluir aserrín de desecho industrial de aserraderos alternativos de Pinus radiata en la capa media. Los resultados indican que es posible incluir aserrín en la capa media hasta ciertas proporciones sin mermas importantes de estas propiedades, aunque la resistencia a la flexión se disminuye. En cuanto al hinchamiento, se aprecia poca variación comparándose los resultados obtenidos con los valores exigidos por la Norma DIN para estas propiedades. La resistencia a flexión resultó ser limitante para los tableros con alto contenido de aserrín.

La Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM), se preocupó por incluir en sus Normas, los lineamientos adoptados internacionalmente para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de fibra y madera aglomerada y una norma general para interpretar con precisión los resultados obtenidos (ASTM, 1991).

El Comité Europeo de Normalización (CEN), aprobó el 08 de diciembre del 2004, la Norma Europea EN 309, donde se refiere a los tableros de partículas, su definición y



clasificación; y el 23 de julio del 2010 aprobó la Norma Europea EN 312, en donde se refiere a las especificaciones de los tableros de partículas.

Siendo la actividad arrocerera del país, una industria que se encuentra en gran expansión, con un incremento promedio de 5.6% anual (Superficie sembrada nacional en ha, 2011-2012 – MINAG - DGCA), la disposición final de la cáscara de arroz es un problema sumamente importante, cuando no existe un estudio concreto, sobre que se puede hacer con ella. Este problema social se repite en varias zonas del país. Agregándosele a esto el hecho que en la mayoría de los casos se procede a incinerar estos desechos, con lo que se genera polución de micro partículas minerales que generan enfermedades respiratorias y la liberación al ambiente de gases producto de la combustión. Por ello, es conveniente identificar las diferentes aplicaciones y usos de la cascarilla de arroz.

Con el presente estudio de investigación se contribuirá a solucionar un problema ambiental que genera la inadecuada disposición final de los residuos de la industria molinera del arroz.

El presente trabajo de investigación se estructura en cuatro (04) capítulos.

En el **Capítulo I**, se presentan las generalidades con los alcances de contenidos asociados al tema principal de estudio, desde el estado situacional hasta las especificaciones, clasificación y requerimientos mínimos que deben cumplir los paneles aglomerados según la clasificación a la que aspiran.

En el **Capítulo II**, se desarrolla el sustento conceptual relacionado con el tema estudiado, bases teóricas y principios matemáticos utilizados en la solución del problema mediante el desarrollo del marco teórico.

El **Capítulo III** consiste en el desarrollo del estudio de investigación, comprende la descripción de los materiales utilizados en la etapa de experimentación, así como también el proceso de fabricación de los paneles y los métodos de ensayo establecidos para cada una de las pruebas de determinación de propiedades físicas y mecánicas.

En el **Capítulo IV** se presentan y analizan los resultados de todos los ensayos realizados, se presenta los resultados tabulados con su análisis e interpretación, así como también sus respectivas pruebas de hipótesis que permiten establecer las conclusiones correspondientes.

Finalmente, se expresan las conclusiones relativas al cumplimiento de los objetivos propuestos y de aquellos aspectos considerados de interés, así como las recomendaciones o sugerencias que se podrían implementar.



CAPITULO I GENERALIDADES

1.1. ESTADO SITUACIONAL DE LA CASCARILLA

Experimentalmente la cascarilla de arroz se ha utilizado en procesos industriales, como combustible o relleno para materiales, cabe aclarar que se aprovecha en su estado natural, es decir como biomasa. Sin embargo también se han realizado estudios acerca de la utilización de la ceniza, como resultado de su combustión, gracias a sus propiedades, siendo utilizada en distintos productos como cemento, caucho o plástico, ya sea como relleno o en su conformación, mejorando las propiedades mecánicas o simplemente para reducir costos.

Como combustibles

Sierra, J. (2009). Indicó que el poder calorífico de la cascarilla de arroz es similar al de la madera y al de otros residuos agrícolas. Sin embargo, su densidad es de aproximadamente 110 kg/m^3 y este pequeño valor produce dificultades en su almacenamiento e incrementa el costo de su transporte. En todo caso, anualmente se generan 380,000 TM de cascarilla de arroz y esta cantidad equivale a 120000 TEP (Tonelada equivalente de petróleo) por año de energía que está disponible y es desperdiciada.

Teniendo en cuenta estas potencialidades y la facilidad del acceso de la materia prima es conveniente explorar nuevas tecnologías que hagan posible su aprovechamiento como combustible y fuente de generación termo eléctrica.

Como aislante térmico

Las características aislante térmicas de la cascarilla de arroz puede aprovecharse de distintas maneras, además de representar un material de bajo costo y de fácil acceso por ser la región San Martín el mayor productor de este cereal en el país.

Es por ello que Cadena, C. & Bula, A. (2002) Pusieron énfasis en la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que permitan la utilización de elementos desechados en procesos productivos para aprovechar su potencial y contribuir a la disminución del impacto ambiental que puedan generar por una inadecuada disposición, surge la oportunidad de aprovechar productos vegetales de desecho que permitan innovar en el área de los materiales de ingeniería, campo en el cual la cascarilla de arroz se perfila como un aislante térmico de alta efectividad, competitividad y de fácil obtención, lo cual contribuye al reemplazo de productos derivados del petróleo.



Como adición para el concreto

Villegas, C (2012) Tesis para optar el título de Maestro en Tecnología de la Construcción: “Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo costo”, busca una alternativa tecnológica que utiliza puzolanas naturales, especialmente la cascarilla de arroz, muy abundante en el país, para producir morteros y concretos, reduciendo el volumen del cemento, cumpliendo con los parámetros físicos y mecánicos que indican las normas vigentes.

Como panel aglomerado

Con los estudios realizados por Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A. & Leao, A. (2008). Diseñaron un procedimiento que consiste en elaborar un tablero constituido por tres capas con la diferencia de que las partículas de las capas exteriores son más pequeñas que la interior, además esta última tiene un espesor más grande. El agente inorgánico que se usa como aglutinante depende de la utilización final del tablero; por ejemplo, si es para interiores se utiliza urea-formaldehído, mientras que resinas fenol-formaldehído son usadas cuando la humedad es un factor determinante.

1.1.1. Cultivo de arroz en el Perú

Según el Ministerio de agricultura (2013). El arroz *Oryza Sativa*, es una planta gramínea que pertenece a la familia poaceae, es considerado uno de los principales cultivos de importancia nacional que más aporta al PBI agropecuario y agrícola, generando la mayor cantidad de empleos en el sector. Aportó el 2012 con el 4.85% del PBI agropecuario y con el 8.23% del PBI agrícola del país. Generó alrededor de 44.7 millones de jornales que equivalen a 161,300 empleos anuales permanentes, representando en el ámbito rural una fuerte influencia económica y social. Se estima que la inversión en mano de obra es de 30% de la producción bruta arrocería nacional. La producción de arroz viene creciendo a una tasa promedio de 3.6% en los últimos once años, sustentado por la mayor área cosechada el año 2009 con 404.6 miles de hectáreas. Sin embargo se aprecia una reducción en los años 2010 y 2011, recuperándose a partir del 2012.

1.1.2. Cultivo de arroz en la región San Martín

Según la Dirección Regional de Agricultura San Martín, (2013). La mayor superficie sembrada de arroz en la campaña agrícola 2012-2013, presentan las provincias de Rioja, Moyobamba y Bellavista; que en conjunto significa el 72 % del total de la superficie sembrada a nivel regional, 22 % lo comparten las provincias de Picota, Tocache y San Martín; mientras que el 6% restante de la superficie sembrada, lo comparten las provincias de El Huallaga, Mariscal Cáceres, El Dorado y Lamas, respectivamente. En lo que se refiere a



variedades predomina a nivel regional la esperanza, en seguida están las variedades Línea mejorada, Conquista, Selva Alta, etc.

La Dirección Regional de Agricultura San Martín, (2013), indica que durante la campaña agrícola 2012-2013, llegó a sembrar 81,653 hectáreas a nivel de la región San Martín; disminuyendo en 5.67 % respecto a la campaña 2011-2012, la misma que representa la mayor superficie sembrada en las nueve últimas campañas. En la campaña que finalizó se observa que las mayores siembras se registraron entre los meses de enero y febrero, con una incidencia del 10.22 y 10.76 % del total de la superficie sembrada. Se debe fundamentalmente a la mayor disponibilidad del recurso hídrico.

Francisco Tello Perú SAC, (2009). Indicó que en la región San Martín pueden realizarse dos campañas arroceras por año, cosechándose al sexto mes de la siembra, representando una ventaja comparativa frente a otras regiones del Perú; los rendimientos por campaña son inferiores a los logrados en la costa norte y el sur del país, siendo su promedio de 6 TM/Ha – Campaña medido en arroz cáscara, pudiendo obtenerse un total al año de 12 TM/ha-año; en los campos preparados para el cultivo,

1.1.3. Volumen de producción y rendimientos

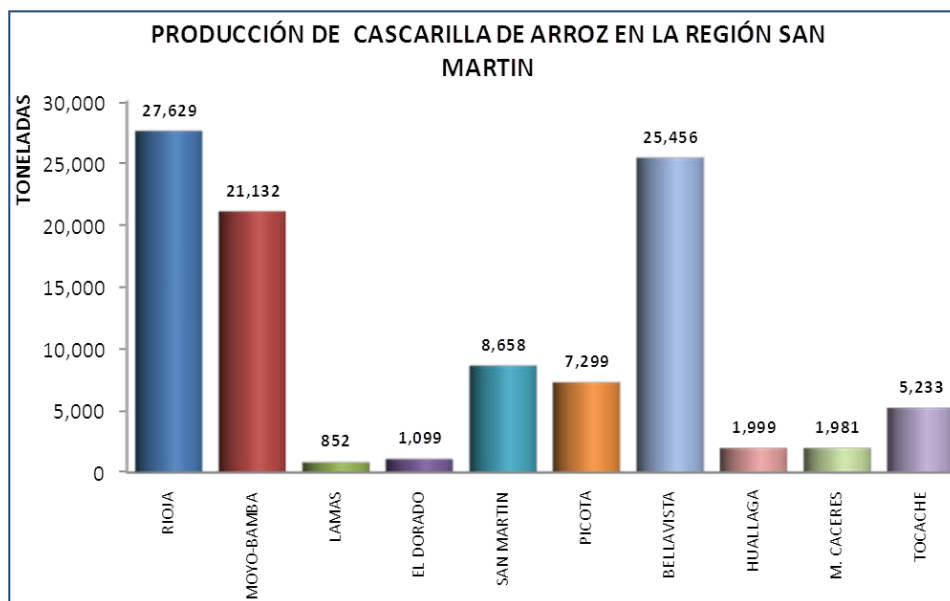
La Dirección Regional de Agricultura San Martín, (2013). Indicó que la producción de arroz cáscara en el 2013, alcanzó a 563,990 TM, que comparado al año anterior registró una disminución de 2.0%; igualmente, en el año 2012 se registró la mayor producción de arroz cáscara respecto a los últimos nueve años. En los meses de mayo y junio del 2013 se registró mayor producción con una incidencia de 9.86 % y 10.59 %; a consecuencia de las mayores superficies cosechadas en similares meses, y mayor demanda en mercados.

1.1.4. Volúmenes de cascarilla de arroz

Según Francisco Tello Perú SAC, (2009). La oferta de cascarilla de arroz que se produce en la provincia de San Martín, se calculó a partir de la data estructura con la visita a los molinos reportados, a partir de la información secundaria proporcionada por el Ministerio de Agricultura.

En el siguiente gráfico se muestra los volúmenes generados por la actividad molinera en la región San Martín.

Figura N° 1.1
Producción de cascarilla de arroz en la región San Martín



FUENTE: MINISTERIO DE AGRICULTURA DÍA SAN MARTIN - FRANCISCO TELLO PERÚ SAC (2009)

1.1.5. Problemática ambiental

Según Francisco Tello Perú SAC, (2009). La industria molinera además de obtener arroz pilado, también produce otros subproductos como la cascarilla de arroz, que en la actualidad representa un desecho, que viene originando problemas ambientales y conflictos sociales con la población perjudicada por la quema o depósito inapropiado., además que viene contaminando nuestro medio ambiente y contribuyendo al calentamiento global del planeta. Similar situación ocurre con la pajilla de arroz producida en los campos arroceros donde al final de cada campaña, al productor arrocerero no le queda más remedio que incinerarla a cielo abierto

Es por ello que la disposición final de estos desechos viene siendo un problema ambiental grave que aún no se ha podido resolver en la región.

1.2. FABRICACIÓN DE PANELES AGLOMERADOS

1.2.1. Reseña histórica sobre los paneles aglomerados

La primera referencia bibliográfica de la industria de tableros de partículas (como uso de residuos de madera), data del año 1887, siendo su autor el técnico alemán Erns Hubaart. Sin embargo hasta 1910 no se fabricó viruta de las características adecuadas además de aplicar prensas de platos calientes en una planta piloto. En noviembre de 1936, Pñhol registró la primera patente que conseguiría fabricar tableros de partículas aglomerados mediante adhesivos sintéticos utilizando prensa de platos. Cinco años más tarde, la



firma Torfit – Werke A.G. de Haseke, en la ciudad alemana de Bremen, puso en marcha la primera línea de fabricación de tablero aglomerado, con una producción diaria de 10t, utilizando una prensa de 3x2m, en la que se podía fabricar gruesos de 4 a 25mm con una densidad de 800 a 1000 kg/m³. También en 1941, el Instituto Fred Falirni de Zurich, patentó el proceso de tres capas con distinto contenido de humedad en las capas interna y externa, poniendo en marcha la innovación tecnológica patentada en Suiza en 1943.

El punto de inflexión en el desarrollo de los tableros o paneles, data de 1930; en el que Portland Manufacturing Company de EEUU empleó el uso de adhesivos de urea formaldehído y fenol formaldehído en sus líneas de producción de Giordano. (Flores, 2005).

La utilización inicial de los tableros de partículas se hizo con un criterio de sustitución de los tableros contrachapados, dado que resultaban mucho más económicos, y en algunas aplicaciones en interior pueden sustituirlos. El desarrollo de esta industria se produjo cuando se aprovecharon las propiedades específicas de estos tableros de partículas para fabricar productos con características propias, como muros cortina, muebles de oficina o de cocina, mobiliario de uso general, etc. La última etapa en su utilización ha sido el recubrimiento con chapas decorativas de madera o con laminados y recubrimientos de productos plásticos como la melanina.

Rivarola, A., Rojo, L., Gardey, M. & Arena, A. (2006). Decían que el mercado de las placas de aglomerado de madera ha registrado una tendencia creciente en cuanto a la capacidad de producción de las empresas fabricantes, y el mercado sudamericano es uno de los más dinámicos en los últimos años. Este crecimiento determina un problema de disponibilidad de materia prima, ya que el proceso clásico utiliza madera virgen en altas proporciones, lo que a su vez trae aparejado problemas de competitividad debido a su alto costo.

Esto motiva que se esté procurando encontrar soluciones sustituyendo total o parcialmente la madera virgen por materiales reciclados, que incluyen generalmente residuos de la construcción, material de embalajes, viejos muebles y otros materiales similares.

1.2.2. Tipos de paneles aglomerados

Entre las principales formas de clasificación de los tableros aglomerados de partículas con respecto a la diversidad de tipos se encuentran: el tamaño de las partículas, tamaño de las partículas en las superficies y en el centro y la densidad del tablero. Clasificado por la FAO en 1959, tal como se muestra en la Tabla N° 1.1. Manzano, A. (2000).

Tabla N°1.1
Clasificación de los diferentes tipos de tableros y sus valores correspondientes

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
TABLEROS DE MADERA (TIPO) AGLOMERADA		
TIPO AISLANTE		
Densidad	0.25-0.40	g/cm ³
Módulo de ruptura	15-55	kg/cm ²
Modulo de elasticidad en la flexión	1700-8800	kg/cm ²
Resistencia a la tracción paralela a la superficie	15-35	kg/cm ²
Absorción de agua (inmersión 24 h.)	15 - 60	% peso
Hinchamiento	5 - 15	% vol.
Expansión lineal (inmersión 24 h.)	0.50	%
TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA DE DENSIDAD MEDIA		
Densidad	0.40-0.80	g/cm ³
Módulo de ruptura	100-500	kg/cm ²
Módulo de elasticidad en la flexión	10000-50000	kg/cm ²
Resistencia a la tracción paralela a la superficie	50-250	kg/cm ²
Absorción de agua (inmersión 24 h.)	20-75	% peso
Hinchamiento	5-15	% vol..
Expansión lineal máxima	0.2-0.6	%
TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA TIPO DURO		
Densidad	0.80-1.05	g/cm ³
Módulo de ruptura	200-530	kg/cm ²
Módulo de elasticidad con flexión	28000-70000	kg/cm ²
Resistencia a la tracción paralela a la superficie	20-175	kg/cm ²
Absorción de agua (inmersión 24 h.)	15 - 40	% peso
Hinchamiento	15 - 40	% vol.
Expansión lineal máxima	0.85	%

Fuente: FAO (1959), tomado de Becerra (1976)



La Norma Europea EN 309 (Enero, 2005), que fue aprobada por el Comité Europeo de Normalización el 08 de Diciembre del 2004, clasifica los tableros de partículas de acuerdo a diferentes criterios:

- Según el proceso de fabricación:
 - ✓ De prensado plano
 - ✓ De prensado por cilindro
 - ✓ De extrusión: macizos y tubulares
- Según el acabado superficial:
 - ✓ No lijados
 - ✓ Lijados o cepillados
 - ✓ Revestidos (revestimiento líquido, por ejemplo, pintura)
 - ✓ Revestidos bajo presión con un material sólido (por ejemplo, chapas, papeles decorativos impregnados, placas de estratificados decorativos, láminas)
- Según su forma:
 - ✓ Planos
 - ✓ Con superficie moldurada
 - ✓ Con cantos mecanizados
- Según la forma y tamaño de las partículas:
 - ✓ Tableros de partículas
 - ✓ Tableros con otros tipos de partículas (por ejemplo fibras de lino)
- Según la estructura del tablero:
 - ✓ Tablero monocapa
 - ✓ Tablero multicapa
 - ✓ Tablero con distribución progresiva de capas
 - ✓ Tablero de extrusión tubular
- Según el uso:
 - ✓ Tableros de usos generales para utilización en ambiente seco
 - ✓ Tableros de interior (incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco
 - ✓ Tableros no estructurales para utilización en ambiente húmedo
 - ✓ Tableros estructurales para utilización en ambiente seco
 - ✓ Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo
 - ✓ Tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente seco
 - ✓ Tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente húmedo.

Asimismo, La Norma Europea EN 312 (Noviembre, 2010), que fue aprobada por el Comité Europeo de Normalización el 23 de Julio del 2010, clasifica los tableros de partículas por tipos de acuerdo al uso de los mismos:

Tabla N°1.2
Clasificación de los tableros de acuerdo a su uso

P1	Tableros para utilización general en ambiente seco
P2	Tableros para aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) en ambiente seco
P3	Tableros no estructurales para utilización en ambiente húmedo
P4	Tableros estructurales para utilización en ambiente seco
P5	Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo
P6	Tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente seco
P7	Tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente húmedo

Fuente: Norma Europea UNE-EN-312:2010; Elaboración: Lizbeth Casas

1.2.3. Aplicaciones y usos en la construcción

➤ Aplicaciones

Carpintería - mobiliario - decoración

- Fabricación de puertas
- Fabricación de muebles
- Muebles divisorios y mamparas

Suelos

- Rodapiés, zócalos, etc.
- Divisiones interiores, tabiques
- Doblado de paredes
- Falsos techos

Estructurales

- Base de cubiertas
- Prefabricados
- Base de suelos
- Encofrados
- Elaboración de vigas cajón o casetones



- Paneles sándwich

➤ Tipos

Acabado superficial lijado (estándar) y recubiertos (chapas de madera, papeles decorativos impregnados, laminados decorativos termoestables (de poliéster, de PVC, etc)

1.2.4. Requisitos Generales para la Fabricación de Paneles

La Norma Europea UNE-EN-312: 2010, establece que los tableros de partículas deben satisfacer a su salida de fábrica los requisitos generales establecidos en la Tabla N° 1.3. Para determinados tipos o aplicaciones de los tableros de partículas se requieren tolerancias especiales para las propiedades dimensionales relacionadas bajo el epígrafe n° 1. En el caso de los tableros cortados a medida, o de tableros con mecanizaciones adicionales (como por ejemplo machihembrado o similares), se pueden acordar tolerancias especiales para las propiedades 1, 2 y 3.

1.2.5. Valores Requeridos

La Norma Europea UNE-EN-312: 2010, establece como requisitos los valores correspondientes a los dados en las tablas N° 1.4, 1.5, 1.6 y 1.7.



Tabla N° 1.3
Especificaciones generales a la salida de fábrica

N°	Propiedad	Método de ensayo	Requisito
1 ^a	Tolerancias sobre las dimensiones nominales – Grosor (tableros lijados), en un mismo tablero y entre tableros – Grosor (tableros no lijados), en un mismo tablero y entre tableros – Longitud y anchura	EN 324-1	± 0,3 mm – 0,3 mm + 1,7 mm ± 5 mm
2 ^a	Tolerancia en rectitud de cantos	EN 324-2	1,5 mm por m
3 ^a	Tolerancia en escuadría	EN 324-2	2 mm por m
4	Contenido de humedad	EN 322	5% al 13%
5 ^a	Tolerancia sobre la densidad media dentro de un tablero	EN 323	± 10%
6 ^b	Emisión de formaldehído según la Norma EN 13986 – Clase E1 Valor del perforador Emisión de formaldehído ^c – Clase E2 Valor del perforador Emisión de formaldehído ^c	 EN 120 EN 717-1 EN 120 EN 717-1	 Contenido ≤ 8 mg/100 g de tablero seco ^d Emisión ≤ 0,124 mg/m ³ de aire Contenido > 8 mg/100 g y ≤ 20 mg/100 g de tablero seco Emisión > 0,124 mg/m ³ de aire y ≤ 0,3 mg/m ³ de aire
<p>^a Estos valores están referidos a una humedad en el material que se corresponde con una humedad relativa del 65% y una temperatura de 20 °C.</p> <p>^b Los valores del perforador se refieren a un contenido de humedad del material H del 6,5%. En el caso de tableros de partículas con contenidos de humedad diferentes (en el rango de 3% ≤ H ≤ 10%), el valor del perforador debe multiplicarse por un factor F que puede calcularse según la siguiente ecuación: F = - 0,133 H + 1,86</p> <p>^c Se requiere como ensayo inicial de tipo. Para productos establecidos, el ensayo inicial de tipo puede realizarse también sobre la base de los datos existentes partiendo de ensayos realizados según la Norma EN 120 o según la Norma EN 717-1, en el contexto del control de la producción en fábrica o de un control externo.</p> <p>^d La experiencia demuestra que para asegurar el cumplimiento con estos límites, la media móvil de los valores según la Norma EN 120 obtenidos en el control interno de la producción en fábrica sobre un periodo de medio año, no debería superar 6,5 mg HCHO/100 g de masa de tablero.</p>			
<p>NOTA En algunos países solo se admiten los productos de la clase de formaldehído E1.</p>			

Fuente: Norma Europea UNE-EN-312:2010

Tabla N° 1.4

**Tableros de uso general para utilización en ambiente seco (Tipo P1)
Requisitos para las propiedades mecánicas especificadas**

Propiedad	Método de ensayo	Unidades	Requisito							
			Rango de grosor (nominal en mm)							
			< 3	3 a 6	> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia a la flexión	EN 310	N/mm ²	11,5	11,5	10,5	10	10	8,5	7	5,5
Cohesión interna	EN 319	N/mm ²	0,31	0,31	0,28	0,24	0,20	0,17	0,14	0,14

NOTA Los valores se caracterizan por un contenido de humedad en el material correspondiente a una humedad relativa del 65% y una temperatura de 20 °C.

Fuente: Norma Europea UNE-EN-312:2010

Tabla N° 1.5

**Tableros para aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para
utilización en ambiente seco (Tipo P2)
Requisitos para las propiedades mecánicas especificadas**

Propiedad	Método de ensayo	Unidades	Requisito								
			Rango de grosor (nominal en mm)								
			< 3	3 a 4	> 4 a 6	> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia a la flexión	EN 310	N/mm ²	13	13	12	11	11	10,5	9,5	8,5	7
Módulo de elasticidad en flexión	EN 310	N/mm ²	1 800	1 800	1 950	1 800	1 600	1 500	1 350	1 200	1 050
Cohesión interna	EN 319	N/mm ²	0,45	0,45	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,20
Resistencia al arranque de superficie	EN 311	N/mm ²	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

NOTA Los valores se caracterizan por un contenido de humedad en el material correspondiente a una humedad relativa del 65% y una temperatura de 20 °C.

Fuente: Norma Europea UNE-EN-312:2010

Tabla N° 1.6
Tableros no estructurales utilizados en ambiente húmedo (Tipo P3)
Requisitos para las propiedades mecánicas y de hinchazón especificadas

Propiedad	Método de ensayo	Unidades	Requisito								
			Rango de grosor (nominal en mm)								
			< 3	3 a 4	> 4 a 6	> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia a la flexión	EN 310	N/mm ²	13	13	14	15	14	12	11	9	7,5
Módulo de elasticidad en flexión	EN 310	N/mm ²	1 800	1 800	1 950	2 050	1 950	1 850	1 700	1 550	1 350
Cohesión interna	EN 319	N/mm ²	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
Hinchazón en grosor 24 h	EN 317	%	25	23	20	17	14	13	13	12	12

NOTA Los valores para las propiedades en flexión, cohesión interna e hinchazón en grosor se caracterizan por un contenido de humedad en el material correspondiente a una humedad relativa del 65% y una temperatura de 20 °C.

Fuente: Norma Europea UNE-EN-312:2010

Tabla N° 1.7
Tableros no estructurales utilizados en ambiente húmedo (Tipo P3)
Requisitos para la resistencia a la humedad

Propiedad	Método de ensayo	Unidades	Requisito								
			Rango de grosor (nominal en mm)								
			< 3	3 a 4	> 4 a 6	> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
OPCIÓN 1											
Cohesión interna después de ensayo cíclico	EN 321	N/mm ²	0,18	0,18	0,18	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08
Hinchazón en grosor después de ensayo cíclico	EN 321	%	15	15	14	14	13	12	12	11	11
OPCIÓN 2											
Cohesión interna después de ensayo de cocción	EN 1087-1	N/mm ²	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06

NOTA Los valores de cohesión interna y de hinchazón en grosor después de tratamiento según la opción 1 se caracterizan por un contenido de humedad del material (antes del ensayo cíclico) correspondiente a una humedad relativa del 65% y una temperatura de 20 °C.
Los valores de cohesión interna y de hinchazón en grosor después de tratamiento según la opción 2 se caracterizan por un contenido de humedad del material (antes del ensayo de cocción) correspondiente a una humedad relativa del 65% y una temperatura de 20 °C.

Fuente: Norma Europea UNE-EN-312:2010



1.3. MERCADO DE PANELES AGLOMERADOS EN EL PERÚ

Tableros Peruanos S.A. (TAPESA), una empresa fundada en abril del año 1973, se inicia como parte de un proyecto elaborado y promovido por la División Técnica de la Central de Cooperativas Agrarias Azucareras del Perú (CECOAAP), con la participación de importantes cooperativas azucareras, entre ellas las empresas agroindustriales Cartavio S.A.A., Casagrande S.A.A. y Laredo S.A., iniciando sus actividades el 27 de febrero del año 1977, con la fabricación de tableros aglomerados marca "Maderba". El objeto de la sociedad es la fabricación de tableros usando bagazo, subproducto de la caña de azúcar y madera de pino; aglomerados, con resina, como materia prima. La empresa está ubicada al norte del Perú en el distrito de Laredo, departamento de La Libertad, siendo esta ubicación estratégica por su cercanía a los principales ingenios azucareros del país. El Grupo Gloria, como propietario de las empresas Cartavio y Casa Grande, es el accionista mayoritario que controla la gestión de la sociedad. TAPESA tiene una sólida posición en el mercado peruano de la construcción y fabricación de muebles, artesanías y publicidad. Según el acabado de la superficie cuentan con los tipos: Maderba SP (tableros sin lijar), Maderba Plus (tableros lijados) y Maderba Melamina (tableros con aplicación de paneles melamínicos) y tableros decorativos para cielos rasos, adaptándose a las exigencias del mercado con una amplia variedad de espesores desde 4mm hasta 45mm y contando con personal altamente calificado. TAPESA es la única empresa nacional dedicada a la fabricación de tableros aglomerados, compitiendo con productos importados principalmente procedentes de Chile y Ecuador. (Grupo Gloria).

La firma MASISA cuenta con un negocio central, que es la fabricación y comercialización de tableros de partículas y de fibra de madera para muebles y arquitectura de interiores en Latinoamérica.

Las unidades estratégicas de los negocios Forestal y Red Placacetro cumplen un rol muy relevante para garantizar el éxito de su negocio central. La compañía ve con optimismo las proyecciones asociadas a la demanda inmobiliaria en nuestro país, donde el desarrollo de proyectos de construcción e inmobiliarios viene impulsando la demanda de tableros aglomerados, o también conocidos como melamínicos, con los que compete Masisa.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

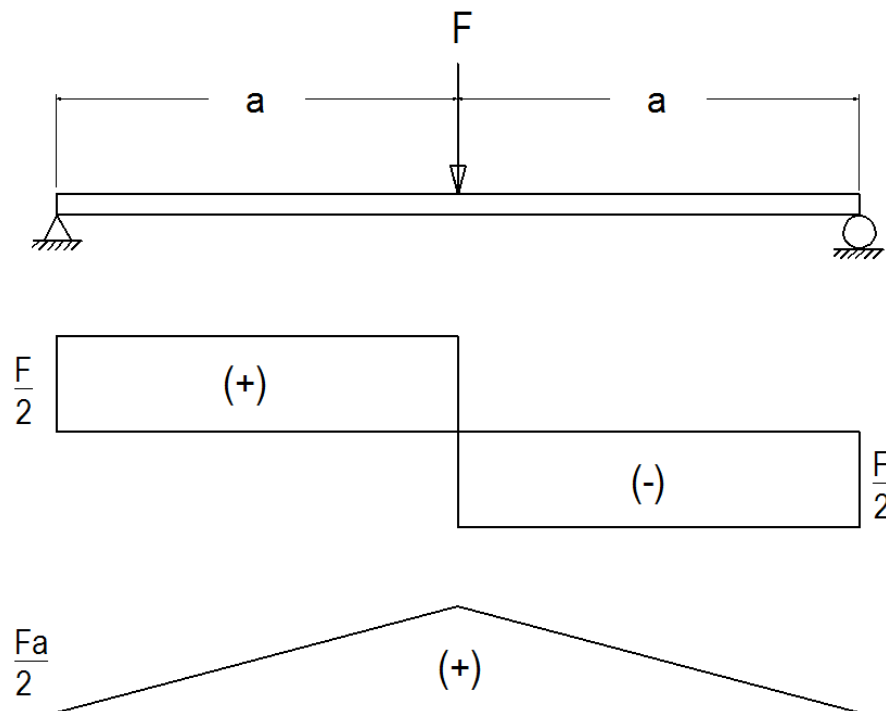
2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Resistencia a la flexión

Si las fuerzas que actúan sobre un cuerpo tienden a inducir una sollicitación de tracción en una parte de su sección transversal, y una sollicitación de compresión en la sección restante, entonces el cuerpo está sometido a flexión. (Escalona & Hernández, 2011)

El procedimiento analítico para la determinación de los valores característicos que necesitamos para clasificar e identificar las propiedades mecánicas, viene sistematizado a continuación:

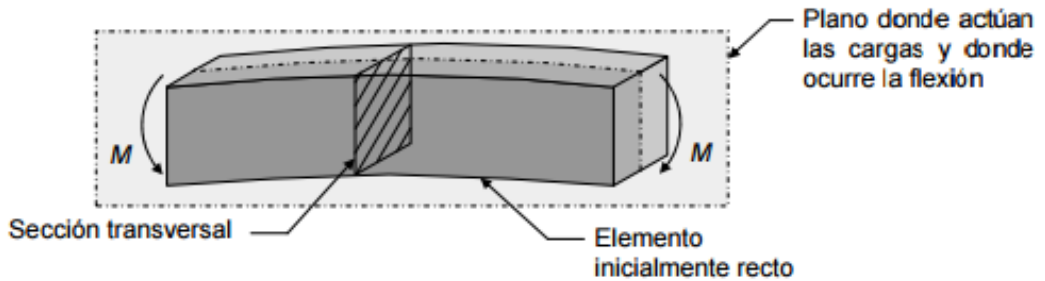
Figura N°2.1
Probeta solicitada con una fuerza central, con los diagramas de fuerza cortante y momento flector respectivos



En la figura 2.1, parte superior, se indica una probeta de sección rectangular sometida a una fuerza en el centro.

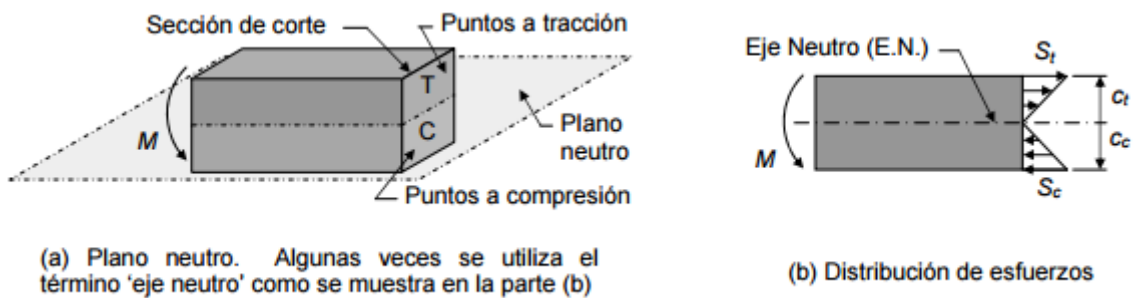
En la parte central de dicha figura, se indica el diagrama de fuerzas cortantes y, a continuación, en la parte inferior, se indica el diagrama de momento flector correspondiente.

Figura N°2.2
Elemento de sección rectangular sometido a flexión



El elemento sometido a flexión se curva, de tal manera que algunos puntos se alargan (puntos superiores de la viga de la Figura N° 2.2), quedando sometidos a esfuerzos de tracción. Algunos se acortan (puntos inferiores), quedando a compresión, y otros no se deforman ni soportan esfuerzo.

Figura N°2.3
Plano neutro y distribución de esfuerzos



(a) Plano neutro. Algunas veces se utiliza el término 'eje neutro' como se muestra en la parte (b)

(b) Distribución de esfuerzos

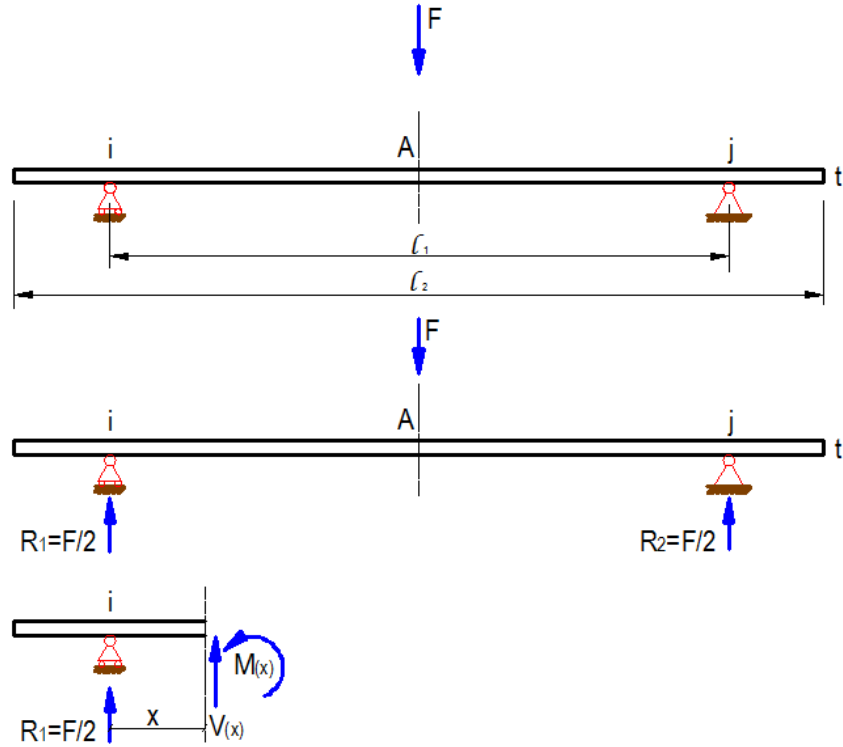
La figura N°2.3.a muestra una viga con una sección de corte; se muestra el “plano neutro” que es aquel que contiene los puntos de la viga que no sufren deformación ni esfuerzo. El plano neutro es perpendicular al plano donde ocurre la flexión, paralelo a la dirección axial de la viga, y pasa por el centroide de la sección. Para el sentido mostrado de M , los puntos por encima del plano neutro están a tracción (alargamiento) y los puntos por debajo están a compresión (acortamiento). Los estados de esfuerzo de los puntos más alejados del eje neutro son iguales a los producidos en carga axial.

Como se mencionó, en flexión se producen esfuerzos normales, de tracción y de compresión, distribuidos linealmente, tal como se muestra en la figura N° 2.3.b. Los puntos en el plano neutro no soportan esfuerzo, y el esfuerzo en un punto cualquiera es directamente proporcional a la distancia de dicho punto al plano neutro.

El valor del esfuerzo por flexión es igual a:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Figura N°2.4
Modelo matemático del ensayo a flexión como viga biapoyada



$$\sum M_i = 0$$

$$F \cdot \frac{L_1}{2} - R_2 \cdot L_1 = 0$$

$$R_1 = \frac{F}{2}; \quad R_2 = \frac{F}{2}$$

$$\text{Para } 0 \leq x \leq \frac{L_1}{2}$$

$$\sum M_{K_i} = 0$$

$$-M(x) + \frac{F}{2} \cdot x = 0$$

$$M(x) = \frac{F}{2} \cdot x; \quad \text{para } x = \frac{L_1}{2}$$

$$M (\text{máx}) = \frac{F \cdot L_1}{4}$$

Siendo M el momento flector y W el módulo resistente a la flexión. El valor máximo de M es igual a:

$$M = \frac{FL}{4}$$

Siendo P la fuerza aplicada y L la distancia entre apoyos, es decir $L = 2a$

El valor del módulo resistente a la flexión es igual a:

$$W = \frac{1}{h/2} I$$

Donde I corresponde al momento de inercia de la sección transversal de la probeta. El momento de inercia, en este caso, es igual a:

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

Siendo b el ancho de la sección transversal de la probeta y h su altura respectiva.

Por lo tanto, el esfuerzo por flexión en la fibra más alejada de la probeta es:

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2}$$

La ecuación diferencial de la elástica para una viga sometida a flexión, en general, se expresa de la siguiente manera:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = \pm M(x)$$

Donde, EI es la rigidez a la flexión, y es la deflexión, x es la variable independiente y $M(x)$ es el momento flector, el cual depende de la variable x . El signo se elige de acuerdo a la curvatura que presenta la viga en su configuración de equilibrio.

Resolviendo la ecuación diferencial de segundo orden, de acuerdo a las condiciones de borde, se obtiene la deflexión δ_{max} dada por la siguiente expresión:

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI}$$

➤ La resistencia a flexión f_m (en N/mm^2), de cada probeta, se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$f_m = \frac{3F_{m\acute{a}x}L_1}{2bt^2}$$

Donde:

$F_{m\acute{a}x}$ es la carga máxima, en Newtons

L_1 , b y t son la distancia entre los ejes de los apoyos, el ancho de la probeta y el espesor de la probeta, respectivamente. Se expresan en milímetros.

- La resistencia a flexión de cada probeta se expresará con tres cifras significativas.
- La resistencia a flexión de cada lote de probetas correspondientes a un mismo tablero se calcula como la media aritmética de las resistencias a flexión de las probetas correspondientes, y se expresará con tres cifras significativas.

El módulo de ruptura (MOR) es la propiedad más ampliamente evaluada en pruebas de flexión estática en tableros de partículas, ya que ésta determina la aplicabilidad de los tableros como componentes estructurales.

2.1.2. Módulo de elasticidad en flexión

Todos los materiales estructurales presentan en cierto grado la propiedad de elasticidad, es decir, si las fuerzas exteriores que deforman la estructura no rebasan un cierto límite, la deformación desaparece cuando se suprimen tales fuerzas. (S. Timoshenko, 1933)

La obtención del diagrama de fuerza aplicada en función de la deflexión para una probeta sometida a flexión, es fundamental para determinar la fuerza de proporcionalidad (límite de la respuesta lineal), la parte no lineal y finalmente, la fuerza de ruptura.

Robert Hooke estableció que el esfuerzo es proporcional a la deformación (σ, ε); a esto se le conoce como ley de Hooke (Pytel & Singer, 1994). Esta relación es fácilmente identificable en el diagrama esfuerzo - deformación desde el origen y hasta llegar al límite de elasticidad.

La pendiente de este segmento de la gráfica es el módulo de elasticidad del material en cuestión y se representa por la letra E .

Por consiguiente:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

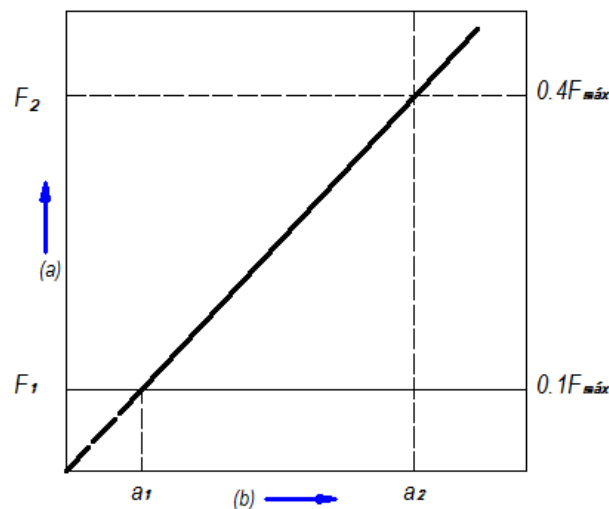
- El módulo de elasticidad E_m (en N/mm²), de cada probeta, se calculó de acuerdo con la fórmula:

$$E_m = \frac{L_1^3(F_2 - F_1)}{4bt^3(a_2 - a_1)}$$

Donde:

- L_1 es la distancia entre los ejes de los apoyos en milímetros;
 b es la anchura de la probeta, en milímetros
 t es el espesor de la probeta, en milímetros
 $F_2 - F_1$ es el incremento de la carga en el tramo lineal de la curva de cargas - deformaciones, (Figura N° 2.5) en N.

Figura N°2.5
Curva de carga - deformación en la zona de deformación elástica



Donde:

- (a) Carga F
(b) Deformación a

El valor de F_1 deberá ser aproximadamente el correspondiente a un 10% del valor de la carga máxima y el de F_2 el correspondiente a un 40%

$a_2 - a_1$ es el incremento de la deformación en la mitad de la longitud de la probeta (que se corresponde con $F_2 - F_1$)

- El módulo de elasticidad de cada lote de probetas correspondientes a un mismo tablero, se calcula como la media aritmética de los módulos de elasticidad de las probetas correspondientes, y se expresará con tres cifras significativas.

Aunque da la impresión de ser una medida de las propiedades elásticas de los materiales, E es una medida de su rigidez; entre mayor es el valor de esta constante, mayor es la rigidez del material. (Rayas, Rodríguez & Martínez, 2003).

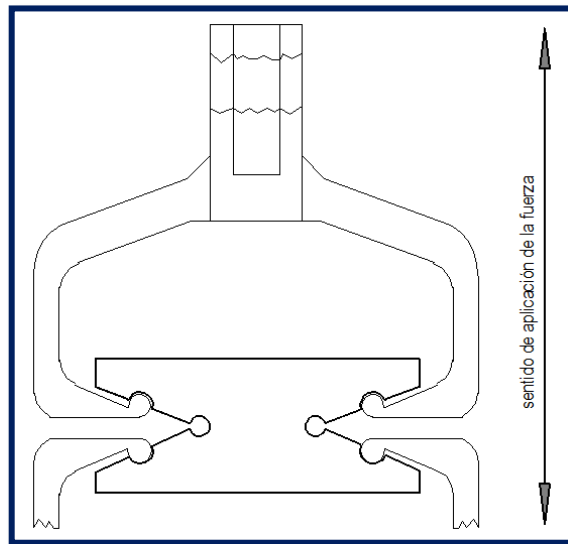
2.1.3. Cohesión interna o Tracción perpendicular a las caras

La resistencia a la tracción perpendicular a las caras es el cociente de dividir la fuerza máxima, expresada en N, que resiste un tablero perpendicularmente a sus caras, por el área sobre la que se aplica, expresada en mm². Esta resistencia determina el grado de unión o enlace entre las caras del tablero. (UNE – EN 319, 1994)

La tracción perpendicular a las caras es la resistencia provocada por la acción de dos fuerzas de signo contrario que tienden a romper la probeta.

La resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero, se determina por la carga máxima aplicada en relación con la superficie de la probeta.

*Figura N°2.6
Diagrama del Ensayo de Tracción*



Expresión de Resultados

Para cada probeta

- Calcular la resistencia a tracción perpendicular a las caras del tablero de cada probeta, $f_{T\perp}$ expresada en N/mm² con dos decimales según la fórmula:

$$f_{T\perp} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{axb}$$

Donde:

$F_{m\acute{a}x}$ es la carga de rotura, en Newton;

a, b son la longitud y ancho de la probeta en milímetros.

Esta propiedad mecánica es el parámetro que mejor representa la calidad de las uniones o adhesión entre las partículas del tablero y su aglomerante.

La resistencia a la tracción perpendicular a las caras es un indicador de la calidad del tablero ya que nos informa acerca de su capacidad para actuar como un conjunto sólido y compacto en condiciones diferentes.

2.1.4. Resistencia al arranque de superficie

Este ensayo tiene por finalidad definir la adhesión de las partículas de la probeta.

Expresión de Resultados

Para cada probeta

- Calcular el valor de la resistencia al arranque de la superficie SS de cada probeta expresado en Newtons por milímetro cuadrado (N/mm^2), según la ecuación:

$$SS = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A}$$

Donde:

$F_{m\acute{a}x}$ es la carga de rotura, en Newton;
 A es la superficie indicada en milímetros cuadrados (mm^2).

Para un tablero

- La resistencia a la tracción perpendicular de un tablero es la media aritmética del conjunto de los resultados obtenidos sobre todas las probetas tomadas de ese tablero. El resultado se expresa en N/mm^2 con dos decimales.

2.1.5. Densidad de la Muestra

La densidad normal es el coeficiente de la masa y el volumen de la probeta.

Expresión de los Resultados

- La densidad, ρ , de cada probeta (en gr/cm^3) se calcula mediante la fórmula:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \times 10^6$$

Donde:

m es la masa de la probeta en gr ;
 b_1, b_2, t en cm .

- La densidad de un tablero se obtiene calculando la media aritmética de la densidad de las probetas extraídas de dicho tablero y expresado en kg/m^3 con aproximación de tres cifras.

La densidad del tablero determina el grado de compactación de las partículas y dependiente de la densidad de la cascarilla y del proceso de prensado aplicado.

2.1.6. Contenido de Humedad

La determinación del contenido de humedad tiene como finalidad definir la cantidad de agua contenida en las probetas. La eliminación del agua ocurre por secamiento en estufa a una temperatura de $(102 \pm 2)^\circ\text{C}$, hasta alcanzar masa constante.

Expresión de los Resultados

El contenido de humedad (CH) se determinó en las mismas probetas utilizadas en la evaluación de la densidad normal, aplicando la siguiente fórmula:

$$CH = [(P_i - P_o)/P_o] * 100$$

Donde:

CH = Contenido de Humedad

P_i = Peso inicial

P_o = Peso final o anhidro

2.1.7. Absorción y Cambios dimensionales

La absorción se evaluó en períodos de 2 horas y 24 horas de inmersión. Para ello, las probetas de 76 x 152mm de área se pesaron inicialmente a las condiciones normales de equilibrio (P_i), posteriormente, se introdujeron en agua durante los dos periodos indicados, al término de cada uno se volvieron a pesar para así registrar su peso final (P_f), aplicando posteriormente la fórmula:

$$A = [(P_f - P_i)/P_i] * 100 \quad (\%)$$

Donde:

A = Absorción, en % del peso inicial

P_f = Peso final en gramos

P_i = Peso inicial en gramos

Los cambios dimensionales corresponden a la diferencia entre el espesor de la probeta húmeda (E_f) y el espesor de la probeta climatizada o inicial (E_i) en relación al espesor de la probeta climatizada. Se expresa como % del espesor inicial aplicando la fórmula:

$$\alpha = \left[\frac{(E_f - E_i)}{E_i} \right] * 100 \quad (\%)$$

Donde:

α = Cambios dimensionales, en %

E_f = Espesor final, al 0.01mm

E_i = Espesor inicial, al 0.01mm



CAPÍTULO III DESARROLLO DEL ESTUDIO

3.1. MATERIALES

3.1.1 Cascarilla de arroz

Cascarilla de Arroz

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

Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio (90 al 97% SiO). **Calero & Vásconez (2012)**

La cascarilla de arroz es difícil de manejar, ya que se dispersa fácilmente, dada su densidad (650 Kg/cm³) y tamaño, lo que le da cierta capacidad de fluir, por lo que sus aplicaciones en estas condiciones son limitadas; en tal sentido se procederá a su aglomeración.

Geometría de las Partículas

Ginzel y Peraza (1966) citados por **Poblete (1979)**, mencionan que la geometría de las partículas determina la superficie específica del material que se debe recubrir con el adhesivo. La superficie específica depende fundamentalmente de la densidad de la madera y del espesor.

Esto significa una mayor superficie de encolado al disminuir el tamaño de las partículas, obteniéndose para una misma cantidad de adhesivo un encolado defectuoso o insuficiente. Otro factor negativo es la superficie rugosa del material, disminuyéndose el área de contacto entre los gránulos.

Para **Ginzel, W. et al., (1966)** citado por **Medina & Ambrogi (1994)**, el tipo y forma de la partícula es determinante en cuanto a la calidad del panel a producir. Así la resistencia del aglomerado depende de la propia resistencia de la partícula y de su capacidad para transmitir la misma al panel. La resistencia de la partícula depende fundamentalmente de su

peso específico, y su capacidad de transmisión depende del tipo y forma de aplicación de la cola, así como de las características de las partículas.

La forma de la partícula afecta la calidad del encolado y así ambos factores afectan a la resistencia mecánica del panel (**Medina, J. C. & Ambrogi, 1994**).

*Foto N°3.1
Cascarilla de arroz*



Características de la cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Tiene propiedades altamente abrasivas, 6 en la escala Mohs en estado natural. Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión, su coeficiente de conductividad térmica permite presumir su utilidad como componente principal de sistemas de aislamiento térmico.

Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio. Carolina Giovanna Cadena & Antonio José Bula Silvera (2002).

La transformación de las propiedades físico-químicas de la cáscara comienza por encima de los 750°C, lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica, normalmente, la cascarilla se incinera para reducir su volumen generando humos contaminantes. Como combustible genera calor, debido a su valor calorífico

(aproximadamente 16720 KJ/kg), y la ceniza resultante contiene un porcentaje en sílice superior al 90%. Francisco Tello Perú SAC, (2009).

La cascarilla de arroz presenta una gran variedad de características fisicoquímicas que es preciso estudiar, según la aplicación que se desee darle. El contenido de humedad, la composición química y el poder calorífico de la cascarilla son aspectos que hay que conocer para la construcción y el funcionamiento de hornos y hogares mecánicos que son los más adecuados para la quema e incineración de este subproducto de la molinería arrocera. Francisco Tello Perú SAC, (2009).

Composición química

El contenido de humedad de la cascarilla de arroz cuando sale del descascarador varía entre 12 y 13%, luego de estar expuesta a la intemperie, en época no lluviosa, la humedad promedio de la cascarilla esta aproximadamente entre el 13 y 15%. El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%; en general los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy inferior, que obligaría a implementar operaciones de almacenamiento para evitar la rehidratación del material, antes de ingresar al proceso de producción de energía eléctrica. Valverde, A., Sarria, B. & Monteagudo, J. (2007).

Tabla N°3.1
Composición química de la cascarilla de arroz a diferentes porcentajes de humedad.

IDE	CASCARILLA DE ARROZ (% H)	COMPOSICIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ					
		C	H	O	N	S	Cenizas
01	8.6	42.5	6	36.2	0.21	0.49	14.6
02	8.9	39.1	5.2	37.2	0.27	0.43	17.8
03	9.4	33.4	4.3	38.5	0.38	0.32	23.1

Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia et Technica Año XIII, N° 37 (Diciembre, 2007)

El poder calórico de la cascarilla de arroz está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia en la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material. Valverde, A., Sarria, B. & Monteagudo, J. (2007).

Tabla N°3.2
Poder calórico inferior de cascarilla de arroz a diferentes porcentajes de humedad.

IDE	CASCARILLA DE ARROZ (% H)	PODER CALORICO INFERIOR (PCI) KJ/Kg
01	0	19880
02	10	17644
03	20	15412
04	30	13182
05	40	10947
06	50	8715
07	60	6413

Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia et Technica Año XIII, N° 37 (Diciembre, 2007)

Composición química de las cenizas de la cascarilla de arroz

Entre los porcentajes más relevantes de la composición química de la cascarilla de arroz se encuentran las cenizas, siendo la sílice el principal componente, que no sufre disociación al quemarse, esto hace que se presente una difícil combustión continua y completa. Valverde, A., Sarria, B. & Monteagudo, J. (2007).

Tabla N°3.3
Composición mineral de ceniza en la cascarilla de arroz

IDE	COMPOSICIÓN DE LAS CENIZAS DE LA CASCARILLA	%
01	(K ₂ O) Oxido de Potasio	1.10
02	(Na ₂ O) Oxido de Sodio	0.78
03	(CaO) Oxido de Calcio	0.25
04	(MgO) Oxido de Magnesio	0.23
05	(SO ₄) Sulfatos	1.13
06	(SiO ₂) Sílice	96.51
TOTAL		100.00

Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia et Technica Año XIII, N° 37 (Diciembre, 2007)

Aunque la cascarilla es muy utilizada hoy en día como fuente calorífica, requiere de mecanismos de aceleración para que se lleve a cabo una óptima combustión; las cenizas tienen aplicación en la construcción de viviendas y fabricación de aglomerados.

Propiedades físicas

El alto contenido de sílice demostrado hace que su uso alimenticio en harinas para animales sea limitado. Uno de los elementos que apropia la combustión de cascarilla de arroz es la celulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n siendo el componente principal de las fibras de este subproducto agrícola. Valverde, A., Sarria, B. & Monteagudo, J. (2007).

Tabla N°3.4
Análisis fisicoquímico de la composición de la cascarilla de arroz

ELEMENTO	PORCENTAJE (%)
Fibra (Celulosa)	39.05
Lignina	22.80
Proteínas	3.56
Extracto no Nitrogenado	6.60
Extracto con éter	0.93

Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia et Technica Año XIII, N° 37 (Diciembre, 2007)

- Hinchazón - Estabilidad dimensional: se pueden producir variaciones dimensionales principalmente en el espesor, si no se controlan las condiciones ambientales de sus aplicaciones. En algunas aplicaciones se recomienda utilizar tableros de partículas resistentes a la humedad.
- Resistencia a la humedad: Relativamente baja debido a la porosidad del tablero y a su propia constitución. Se puede mejorar con la incorporación de productos especiales durante su fabricación. La denominación comercial "hidrófugos" es incorrecta, se trata de tableros resistentes a la humedad. No son apropiados para ser expuestos a la intemperie sin protecciones adecuadas.
- Comportamiento frente a los agentes biológicos: En función de las clases de riesgo en que se encuentren pueden ser degradados por los hongos xilófagos y las termitas. Debido a su constitución no son atacados por insectos xilófagos de ciclo larvario (carcomas, polillas, etc.). Su comportamiento se puede mejorar mediante su protección superficial, media o profunda.
- Propiedades estructurales: sus valores característicos generales están recogidos en la norma UNE EN 12.369 -1. El fabricante puede suministrar los valores característicos particulares de sus tableros.

3.1.2 Almidón

El elemento aglomerante o aglutinante que debe conferirle la tensión de unión entre las partículas es la resina, para la realización del presente estudio se ha optado por el uso de un aglomerante de almidón de yuca, ya que es un adherente natural de fácil fabricación y obtención a nivel nacional y que además no representa el impacto negativo para el ecosistema propio que generan aglutinantes químicos utilizados comúnmente en la producción de aglomerados de partículas.

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum spp.*), varios tipos de arroz (*Oryza sativa*), y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de papa (*Solanum tuberosum*) y mandioca (*Manihot esculenta*).

El almidón de yuca es la sustancia amilácea obtenida de las raíces del *Manihot esculenta*, un polvo blanco fino insoluble en el agua fría. Por acción del agua fría aumenta de volumen y con el agua caliente a 75 °C da una suspensión que por enfriamiento y en concentraciones adecuadas produce engrudo. **Calero & Vásquez (2012)**

Tabla N°3.5
Composición Química del Almidón de Yuca

COMPOSICIÓN QUÍMICA ALMIDÓN NATIVO	
Humedad (%)	10.5 °C
Cenizas (%)	0.11 ^a
Proteína cruda (%)	ND
Grasa cruda (%)	0.12 ^c
Fibra Cruda (%)	0.28 ^a
Azúcares Reductores (%)	0.02 ^a
Azúcares No Reductores (%)	ND

Fuente: GONZALES PARADA, Zurima Mercedes y Pérez Sira, Elevina. *Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (Manihot esculenta) pregelatinizados y calentados con microondas.*

3.1.3 Agua

El agua no se considera en este caso un elemento que aporte ventajas a priori, en el proceso de fabricación utilizaremos pequeñas cantidades de agua obtenida directamente de la red de abastecimiento de agua potable para fluidificar la mezcla junto con el almidón y favorecer el mezclado con las partículas.

3.2. FABRICACIÓN DE LOS PANELES

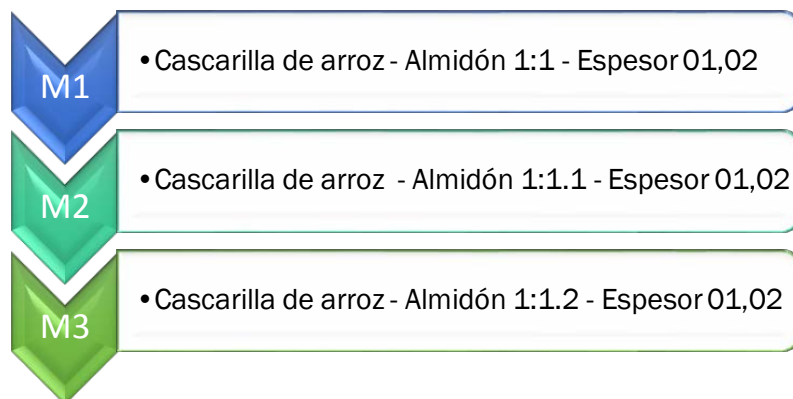
3.2.1 Metodología de Trabajo

Se realizaron tres (03) tipos de mezclas como planteamientos de fabricación, los cuales se establecieron primero, de acuerdo al estudio de referencia que realizaron Cadena & Bula (2002) “Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales”; y segundo, luego de una experimentación previa mejorando las proporciones de la referencia con lo cual se obtuvo una muestra más compacta.

Se establecieron dos (02) tipos de espesores: E-01 (12.5mm) y E-02 (19mm), se definieron estas medidas porque en planchas de similares características son las más usadas comercialmente.

Los tipos de mezcla establecidos para el estudio de investigación se muestran en la Figura N° 3.1 – Diseño de la Muestra.

*Figura N° 3.1
Diseño de la Muestra*



La adición de agua, si bien es perjudicial para el fraguado, facilita la fluidificación del almidón entre las partículas de cascarilla.

La proporción inicial de almidón de yuca que se fijó para comenzar a fabricar los tableros es más alta que las referencias para las resinas.

Esta consideración inicial atiende a los siguientes motivos:

- ✓ La superficie lisa de la cascarilla de arroz, puede ser un inconveniente para la unión.
- ✓ La incertidumbre de un material que no ha sido trabajado, en este sentido se pretendió asegurar un resultado en el proceso de fabricación, para posteriormente ajustar las dosificaciones.

La cantidad de materiales utilizados en cada uno de las muestras para los dos espesores planteados, se describen en la Tabla N° 3.6.

Tabla N° 3.6
Materiales para la fabricación de los paneles

ESPESOR	CANTIDAD DE MATERIALES		
	M01 Proporción 1:1	M02 Proporción 1:1.1	M03 Proporción 1:1.2
E-01 (12.5mm)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Kg de cascarilla • 1 Kg de almidón de yuca • 1 Litro de agua • 100ml de vinagre • 1 cucharada de sal • 1 cucharada de azúcar 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Kg de cascarilla • 1.1 Kg de almidón de yuca • 1 Litro de agua • 100ml de vinagre • 1 cucharada de sal • 1 cucharada de azúcar 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Kg de cascarilla • 1.2 Kg de almidón de yuca • 1 Litro de agua • 100ml de vinagre • 1 cucharada de sal • 1 cucharada de azúcar
E-02 (19mm)	<ul style="list-style-type: none"> • 1.5 Kg de cascarilla • 1.5 Kg de almidón de yuca • 1.5 Litro de agua • 200ml de vinagre • 1 cucharada de sal • 1 cucharada de azúcar 	<ul style="list-style-type: none"> • 1.5 Kg de cascarilla • 1.65 Kg de almidón de yuca • 1.5 Litro de agua • 200ml de vinagre • 1 cucharada de sal • 1 cucharada de azúcar 	<ul style="list-style-type: none"> • 1.5 Kg de cascarilla • 1.80 Kg de almidón de yuca • 1.5 Litro de agua • 200ml de vinagre • 1 cucharada de sal • 1 cucharada de azúcar

Para la fabricación de los paneles, se ha tratado de estandarizar el proceso para que resulte lo más económico posible.

Los elementos que se utilizaron para la fabricación de los paneles fueron:

- ✓ Balanza electrónica digital, marca MText, modelo MS-1500, sensibilidad 0.01 y capacidad de 1500 gr.
- ✓ Prensa hidráulica, marca TRUPER, capacidad 50 ton.
- ✓ Horno de secado, marca H- Ruiz Hnos. E.I.R.L., Modelo 145-A.
- ✓ Molde de acero, fabricado según dimensiones especificadas en la Figura N° 3.2.

Foto N°3.2
Instrumentos utilizados para la fabricación de los paneles



En la foto se observa: Prensa Hidráulica de 50 Ton de capacidad, utilizada exclusivamente para la fabricación de baldosas de concreto, motivo por el cual fue adaptada para la colocación del molde (izq.). Balanza electrónica digital marca MTex, modelo MS-1500, sensibilidad 0.01 (der.)

Foto N°3.3
Molde de acero para fabricación de las probetas



En la foto adjunta se observa el molde de acero, de diseño propio y cuya fabricación se ajusta a las dimensiones especificadas en la Figura N°3.2

Figura N°3.2
Dimensiones para la fabricación del molde de acero
PLANTA

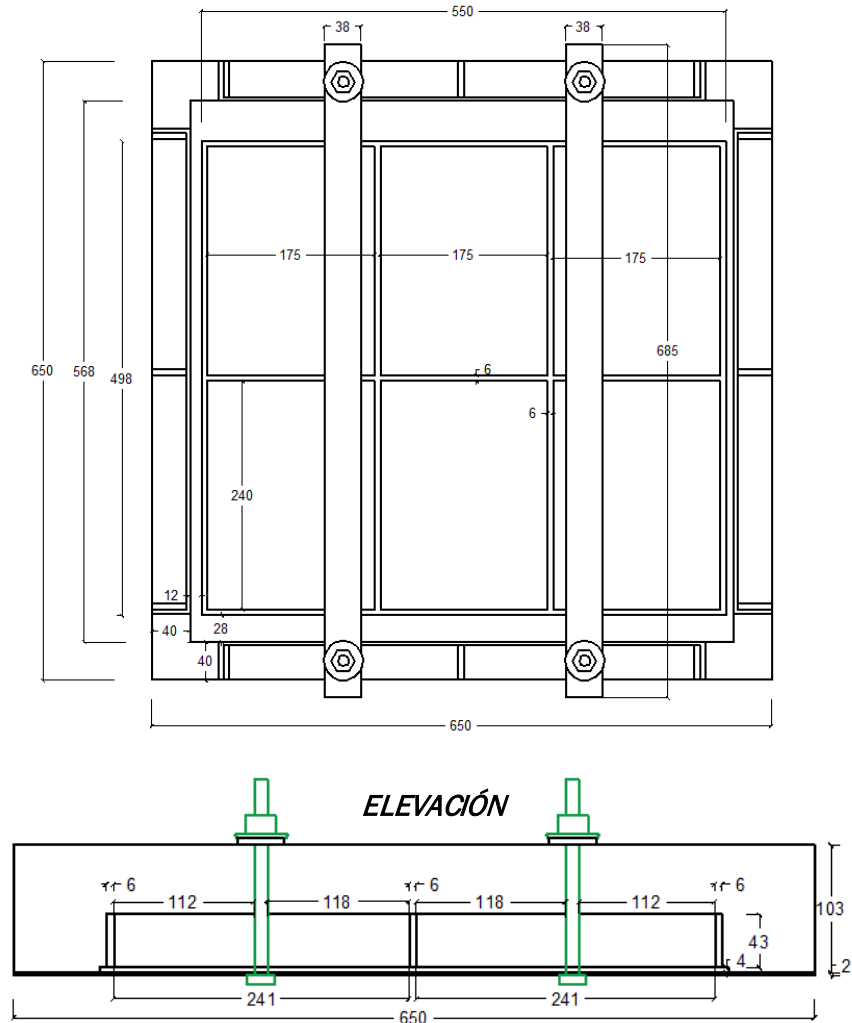


Figura N°3.3
Diagrama de Procesos de Fabricación de Paneles



En la foto se observa el diagrama de fabricación de los paneles, para lo cual se consideró cuatro etapas.

3.2.2 Selección de la cascarilla

La cascarilla utilizada en el presente trabajo de investigación es de la variedad de cultivo de arroz INIA 509 – La Esperanza, la cual se originó a partir del cruce triple (CT7948-AM-14-3-1/CT9038-5-5C-8C-3C-1C-M/Selva Alta). En la estación Experimental Agraria “El Porvenir”; sede del PNI Arroz, durante los años 2001 – 2003; fue seleccionada en las germinaciones de F4 a F6 y hasta el año 2009 fue evaluada en el Aloyo Mayo (PEAM), Bajo Mayo, Huallaga Central, Bagua y Jaén (INIA); quedando establecida la genealogía de “Arroz INIA 509 – La Esperanza” como: CT15704-9-1-2-EP2-EP1-VC51.

Según DRASAM, INIA 509 – La Esperanza; supera a la variedad Capirona en resistencia a un mayor número de razas de *Pyricularia* grisea y por su buen arquetipo de planta presenta resistencia a la tumbada.

El proceso de selección se realizó con fines de limpiar la muestra de desperdicios y cuerpos extraños ajenos al material de estudio.

3.2.3 Secado

La cascarilla de arroz pasó por procesos de secado a temperatura ambiente.

Se realizó colocando la muestra sobre una plataforma metálica plana, lisa y limpia de impurezas, se expuso al ambiente aproximadamente de 2 horas, a una temperatura promedio de 28°C.

*Foto N°3.4
Secado de la cascarilla de arroz*



El secado de la cascarilla de arroz se realizó a temperatura ambiente de la ciudad de Tarapoto (28°C), en zona protegida de humedad y aislado del suelo mediante una plancha metálica.

3.2.4 Encolado

Para el presente trabajo, el proceso de encolado se realizó manualmente, con apoyo de un recipiente de acero inoxidable de capacidad de 5litros.

Otro tipo de encolado muy eficaz es el formado por cámaras cilíndricas, en las que las partículas giran por efecto de la fuerza centrífuga y se colocan en sus paredes. La cola se pulveriza desde el centro de cada cilindro.

Preparación del Aglomerante

El aglomerante es una solución o pasta viscosa obtenida cuando una suspensión de almidón en agua es calentada a una temperatura a la cual sus gránulos absorben agua y se hinchan aumentando varias veces su tamaño original, el aumento de tamaño de las partículas está directamente asociado a la viscosidad resultante de la solución o pasta. Para el caso del almidón de yuca la temperatura de gelatinización es aproximadamente 60 °C. **Chanchí, Bonilla, Gaviria & Giraldo (2008)**

Para la elaboración del aglomerante se definió el método de preparación primero en función de las recomendaciones de Calero & Vásconez (2012) en su estudio “Desarrollo Experimental de un Aislante Térmico Utilizando Cascarilla de Arroz y Aglutinantes Naturales, en Planchas Rígidas”, y segundo; mejorando la solución de la referencia a través de la dosificación propuesta por Chanchí, Bonilla, Gaviria & Giraldo (2008) en su estudio “Ensayos de compresión y tensión diagonal sobre muretes hechos a base de papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca” con lo que se obtuvo una solución más fluida .

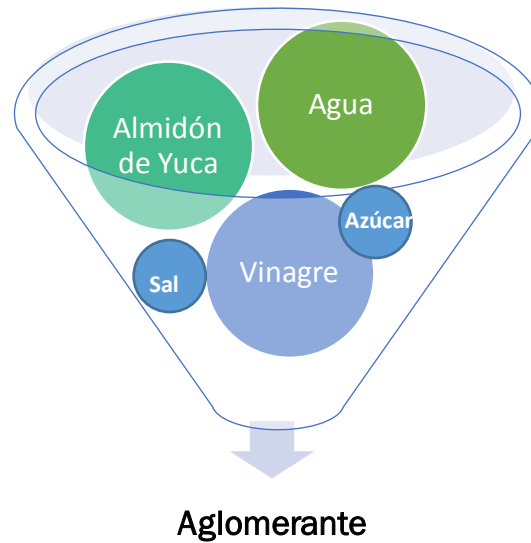
✓ **Ingredientes y dosificación**

El aglomerante está constituido por cuatro (04) componentes: agua, almidón de yuca, vinagre y una mezcla de sal y azúcar, los cuales fueron mezclados en proporción a través de la dosificación expresada en la Tabla N° 3.7

Tabla N°3.7
Masa de componentes del aglomerante

PROPORCIÓN	MATERIAL
1, 1.1, 1.2	Almidón de Yuca
1	Agua
0.1	Vinagre
1	Sal y azúcar (1 cucharada de cada uno)

Figura N°3.4
Ingredientes para la fabricación del aglomerante



✓ **Método de Preparación**

A continuación se presenta la secuencia de pasos para la elaboración del aglomerante usando la información de la tabla N° 3.6

1. Se vierte el almidón sobre el 100% del agua y se mezcla en frío
2. Cuando el almidón se encuentra totalmente disuelto en el agua, se agrega el vinagre, las cucharadas de sal y azúcar; y se mezcla uniformemente. La mezcla resultante constituye el aglomerante.

Se realizaron mezclas con tres proporciones de almidón en la preparación del aglomerante: 1:1, 1:1.1 y 1:1.2

Foto N°3.5
Encolado manual de la mezcla



La mezcla partículas/aglomerante de almidón se pesó y fue llevada para la sección formadora de colchón.

El paso de formación de colchón se realizó manualmente en un molde de metal de dimensiones de 550mm x 550mm, con fondo, sobre una lámina de aluminio con una capa de estearato de zinc, para prevenir que las partículas se peguen a la misma durante el prensado.

Foto N°3.6
Conformación del colchón en el molde



Tanto el diseño como la construcción del molde se han realizado exclusivamente para el presente estudio.

3.2.5 Prensado

El colchón conformado se confinó en una prensa hidráulica. El ciclo de prensado fue de 5 minutos con una presión de 60Kg/cm².

Foto N°3.7
Prensado de la muestra en el molde



3.3. MÉTODOS DE ENSAYO

Después de realizar la búsqueda bibliográfica en relación al tema de estudio, y al no encontrarse normatividad nacional que pueda usarse como referencia para la realización de los ensayos, se decidió utilizar la Norma Americana ASTM D 1037-12, 2012 para referencias generales y la Normas Españolas UNE relacionadas a tableros de partículas para la realización de los ensayos y clasificación de los resultados.

3.3.1. Dimensiones de los tableros

Se fabricaron tableros de 550 mm x 550 mm x $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " mm de espesor, en un solo ciclo de prensado, tal como se muestra en la Figura N° 3.5 – Dimensiones del panel fabricado.

Figura N° 3.5
Dimensiones del panel fabricado

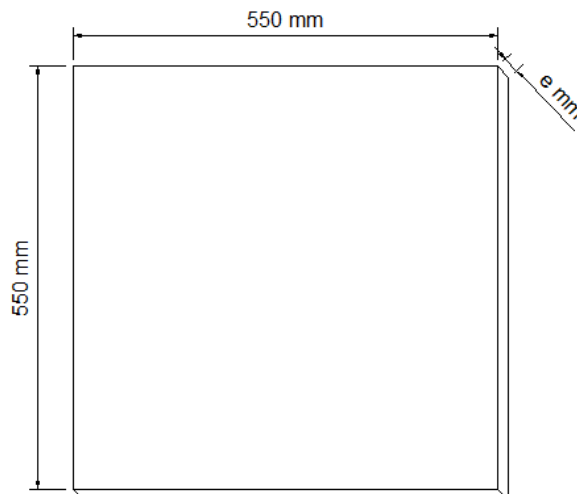


Foto N° 3.8
Grupo de paneles



En la imagen anterior, se muestra el grupo de los primeros paneles fabricados.

3.3.2. Obtención de Probetas

El número de especímenes elegido para la prueba y el método de su selección dependerá de la finalidad de las pruebas particulares objeto de estudio, por lo que no hay una regla general que se puede dar para cubrir todos los casos. Se recomienda que siempre que sea posible, se hará un número suficiente de pruebas para permitir el tratamiento estadístico de los datos de prueba. En la evaluación de un material del panel, las muestras para la prueba deben obtenerse de un número representativo de los paneles (**ASTM D 1037-12, 2012**).

Para el presente estudio se realizarán 6 paneles correspondientes a cada tipo de muestra, 3 por cada espesor considerado, sumando un total de 18 paneles.

Al realizar los cortes de acuerdo a la Figura N° 3.6 y N° 3.7 se obtienen muestras suficientes para los análisis estadísticos: 36 probetas en total para los ensayos de Flexión, 36 para los ensayos de Tracción Perpendicular a la Superficie, 36 para los ensayos de Contenido de Humedad, 72 para los ensayos de Densidad y perfil de Densidad; y 36 para los ensayos de Absorción e Hinchamiento. Dada las características del diseño experimental empleado, se tendrían tres tableros para cada mezcla Cascarilla / Almidón por espesor; por lo que obtuvimos suficientes datos para implementar un buen análisis estadístico de la media.

Figura N° 3.6
Esquema de Corte de las Muestras - Espesor 01

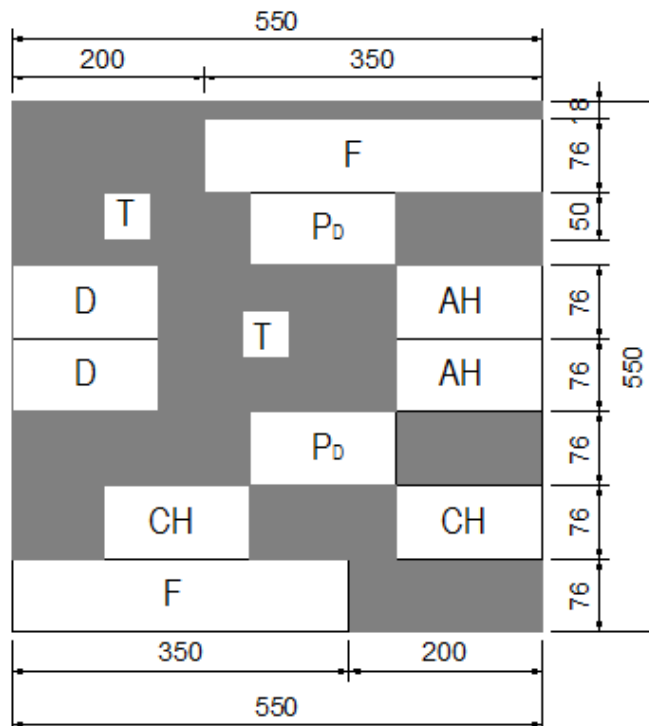
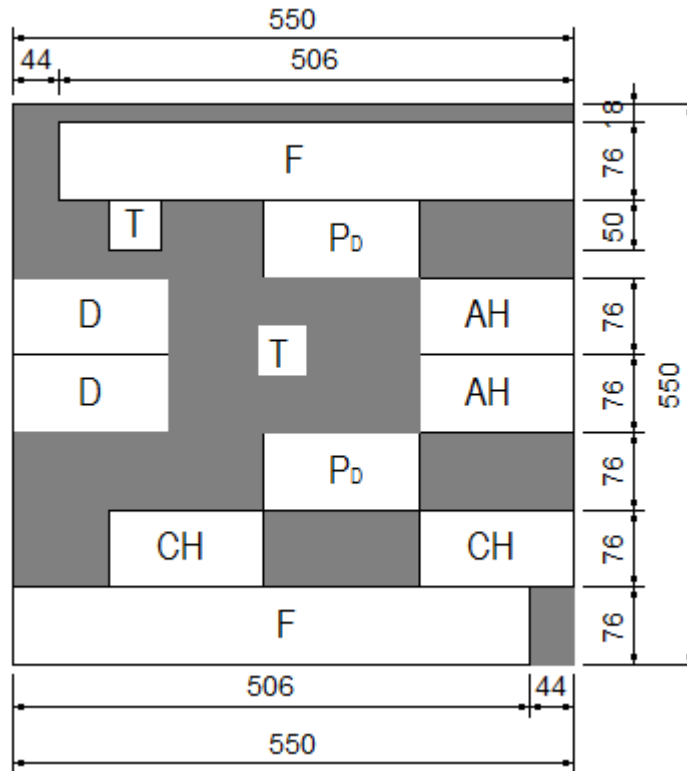



Figura N°3.7
Esquema de Corte de las Muestras - Espesor 02



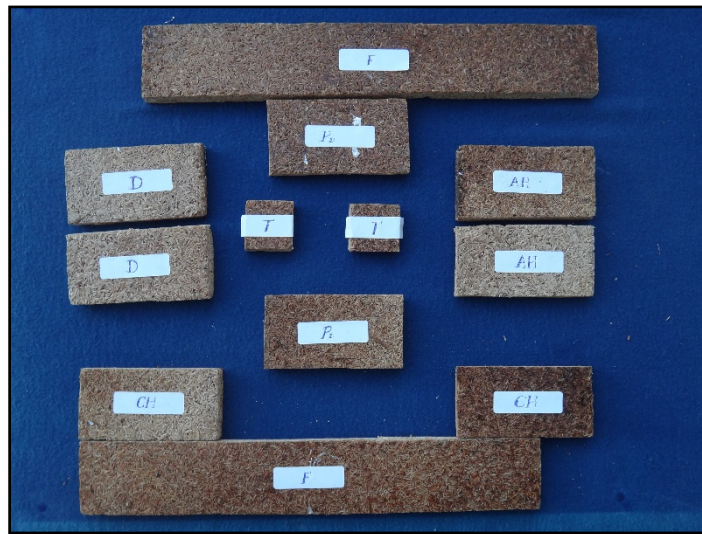
Donde:

- D = Densidad
- CH = Contenido de Humedad
- PD = Perfil de Densidad
- AH = Absorción de Humedad e Hinchamiento
- F = Flexión estática
- T = Tracción perpendicular
-  = Sobrante

El plan de despiece o esquema de corte se proyectó según recomendaciones de la Norma UNE - EN - 326-1: Muestreo, despiece e Inspección en Tableros.

El proceso de corte se realizó con un Esmeril angular marca Bosch, modelo GWS 24 - 180 LVI de 2400W de potencia y diámetros de disco de 7"; y con una varilla de acero en forma de ángulo que sirvió de guía.

Foto N°3.9
Corte de las muestras



En la imagen anterior se puede observar las probetas de acuerdo con el esquema de corte establecido para cada panel

Tabla N°3.8
Número de probetas según ensayos de propiedades físicas y mecánicas

Propiedad	Dimensiones de las probetas	Número de probeta
Densidad y contenido de humedad	76 x 152 mm x e	72
Perfil de densidad	76 x 152 mm x e	36
Absorción	76 x 152 mm x e	36
Flexión estática	76 x (24e + 50mm) x e	36
Tracción perpendicular a la superficie	50 x 50 mm x e	36

3.3.3. Determinación de propiedades físicas

3.3.3.1 Densidad Normal del tablero (Norma UNE – EN 323: 1993)

Fundamento

Determinar la densidad de cada probeta por la relación entre su masa y su volumen, midiendo ambos parámetros al mismo contenido de

humedad y utilizando estos resultados para estimar la densidad del tablero.

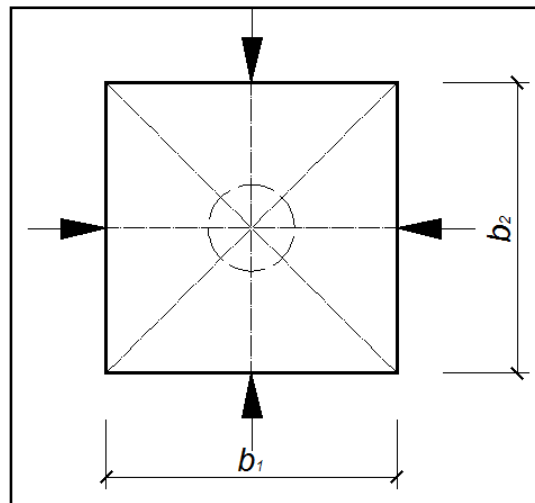
Probeta

Las probetas serán de forma rectangular de 76mm x 150mm.

Protocolo

- Pesar cada probeta con precisión de 0.01g.
- Medir el espesor, t , en el punto de intersección de las diagonales, tal como se muestra en la Figura N°3.9, con una precisión de 0.05mm
- Aplicar cuidadosamente el instrumento de medida sobre las caras de la probeta.
- Medir b_1 y b_2 en dos puntos, paralelamente a los cantos de la probeta, a lo largo de la línea que une el centro de los cantos opuestos, como se muestra en la Figura N° 3.9, con una precisión de 0.1mm.

*Figura N°3.8
Punto de medida - Ensayo de Densidad Normal*



Se inspeccionarán 6 probetas específicamente destinadas para este ensayo.

3.3.3.2 Perfil de densidad

Por las condiciones de fabricación que se aplican en la formación de los paneles aglomerados, se evaluó el perfil de densidad de cada tablero, esto respecto a su espesor. Para ello las probetas correspondientes se cortaron en capas superficiales de 2mm de espesor hasta llegar al centro. En cada corte se registró su peso y volumen para obtener las



correspondientes densidades de las probetas y así registrar el “perfil” de densidad.

Los cortes correspondientes se realizaron con el 50% de las probetas en la cara “A” y el 50% en la cara “B”.

3.3.3.3 Determinación del contenido de humedad en equilibrio (Norma UNE – EN 322: 1993)

Fundamento

Determinación por pesada, de la pérdida de masa de la probeta, entre su estado en el momento del muestreo y después de secar hasta masa constante a (102 ± 2) °C, y cálculo de la pérdida de masa referida a la masa de la probeta después de secar y expresada en tanto por ciento; se utilizan estos resultados para estimar la humedad de los tableros.

Probeta

La probeta debe tener una masa inicial de 11.5gr; de dimensiones mínimas de 76mm x 152 mm.

Las probetas estarán exentas de cualquier resto de partículas.

Protocolo de Ensayo

El contenido de humedad (CH) se determinó en las mismas probetas utilizadas en la evaluación de la densidad normal, aplicando la siguiente fórmula:

$$CH = [(P_i - P_o)/P_o] * 100$$

Donde:

CH = Contenido de Humedad

P_i = Peso inicial

P_o = Peso final o anhidro

Para obtener el peso anhidro (P_o), las probetas se colocaron en un horno a 102 ± 2 °C hasta obtener peso constante.

Foto N°3.10
Determinación del Contenido de Humedad



En la imagen anterior se observa la Balanza analítica y el Horno eléctrico utilizados para la determinación del contenido de humedad

3.3.3.4 Absorción

La absorción se evaluó en períodos de 2 horas y 24 horas de inmersión. Para ello, las probetas de 76 x 152mm de área se pesaron inicialmente a las condiciones normales de equilibrio (P_i), posteriormente, se introdujeron en agua durante los dos periodos indicados, al término de cada uno se volvieron a pesar par así registrar su peso final (P_f), aplicando posteriormente la fórmula:

$$A = [(P_f - P_i)/P_i] * 100 \quad (\%)$$

Donde:

A = Absorción, en % del peso inicial

P_f = Peso final en gramos

P_i = Peso inicial en gramos

Foto N°3.11
Ensayo de Absorción



En la imagen anterior se observa la probeta en el Desecador de sílice gel, para el ensayo de absorción

3.3.3.5 Cambios Dimensionales

Los cambios dimensionales corresponden a la diferencia entre el espesor de la probeta húmeda (E_f) y el espesor de la probeta climatizada o inicial (E_i) en relación al espesor de la probeta climatizada. Se expresa como % del espesor inicial aplicando la fórmula:

$$\alpha = \left[\frac{(E_f - E_i)}{E_i} \right] * 100 \quad (\%)$$

Donde:

α = Cambios dimensionales, en %
 E_f = Espesor final, al 0.01mm
 E_i = Espesor inicial, al 0.01mm

Con un calibrador se realizaron las mediciones en espesor para evaluar el cambio dimensional después de 2 y 24 horas de inmersión.

*Foto N°3.12
Hinchamiento a las 24horas*



En la imagen anterior se puede observar la probeta a las 24 horas de inmersión.

3.3.4. Determinación de propiedades mecánicas

3.3.4.1 Determinación de la Resistencia a la Flexión y del Módulo de Elasticidad en Flexión (UNE – EN 310, 1993)

Fundamento

Se determinará la resistencia y el módulo de elasticidad en flexión aplicando una carga en el centro de la probeta, que se encuentra apoyada en dos puntos. El módulo de elasticidad se calcula utilizando la pendiente

del tramo lineal de la curva carga – deformación; el valor calculado es el módulo aparente, no el módulo real, ya que el método de ensayo incluye tanto la influencia del esfuerzo cortante como la flexión.

La resistencia a flexión de cada probeta se calcula determinando la relación entre el momento flector M correspondiente a la carga máxima $F_{\text{máx}}$ y el módulo resistente de la sección transversal.

Máquina de Ensayo

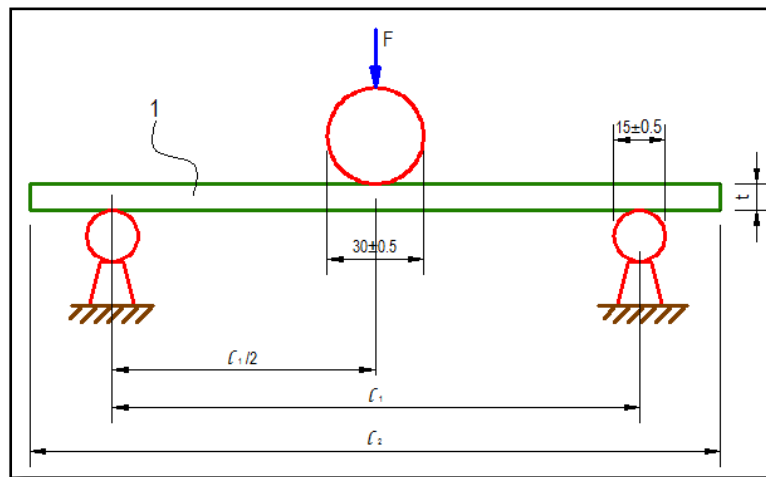
Dispositivo de ensayo, con los siguientes componentes esenciales:

- Dos rodillos paralelos, cada uno de ellos con un rodillo cilíndrico que tenga libertad de giro. La longitud de los rodillos será superior al ancho de las probetas y tendrá un diámetro $d=(15\pm 0.5\text{mm})$

La distancia entre los apoyos se podrá ajustar.

Una cabeza de carga cilíndrica, con la misma longitud que los rodillos y con un diámetro de $(30\pm 0.5)\text{mm}$, colocada paralelamente a los rodillos y equidistante entre ellos. (Figura N° 3.9)

Figura N°3.9
Esquema de Ensayo de Flexión Estática



Donde:

1 = probeta

F = carga

t = espesor de la probeta

$l_1 = 24t$

$l_2 = l_1 + 50$

- Instrumentos adecuados y capaces de medir las deformaciones que se producen en la mitad de la luz de apoyo de las probetas, con una precisión de 0.1mm
- Un sistema de carga adecuado y capaz de medir la carga aplicada en las probetas con una precisión del 1% de valor medido.

Foto N°3.13

Equipos utilizados para la realización del Ensayo de Flexión



En la imagen anterior se puede observar las Máquinas de Ensayo utilizadas. Equipo Universal de Ensayos, marca Amsler (Izq.). Máquina de compresión Electro-hidráulica, marca Alfred J. Amsler, de procedencia Suiza y capacidad de 50000Kgf (Der.)

Probetas

Cada probeta de ensayo será de 76 ± 1 mm de ancho. La longitud de cada probeta será de 50mm + 24 veces el espesor nominal ($24e + 50$) mm.

Si la deformación de la probeta es grande y no se llega a producir la rotura, la distancia entre los apoyos se reducirá en el ensayo de resistencia a flexión.

Foto N°3.14
Grupo de Probetas Tipo E-01



Como se puede observar en la imagen anterior, se dispusieron 18 probetas del espesor tipo E-01 (1/2") para el ensayo de flexión.

Foto N°3.15
Grupo de Probetas Tipo E-02



Como se puede observar en la imagen anterior, se dispusieron 18 probetas del espesor tipo E-02 (3/4") para el ensayo de flexión.

Acondicionamiento

Las probetas deberán acondicionarse hasta masa constante a una humedad relativa media de $(65 \pm 5) \%$ y a una temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ \text{C}$. Se considera que se ha alcanzado masa constante cuando dos pesadas consecutivas, realizadas en un intervalo de tiempo de 24h, no difieran en más de un 0.1% de la masa de la probeta.

Protocolo de Ensayo

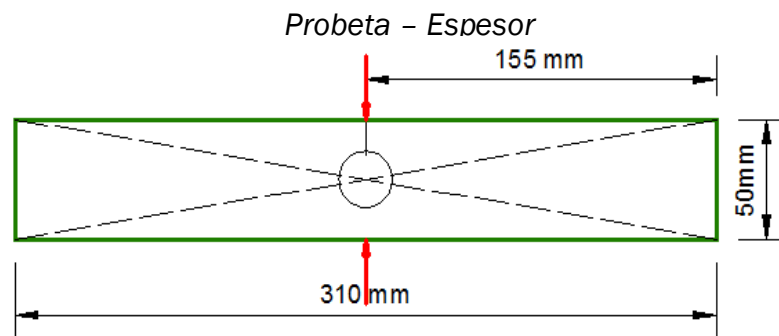
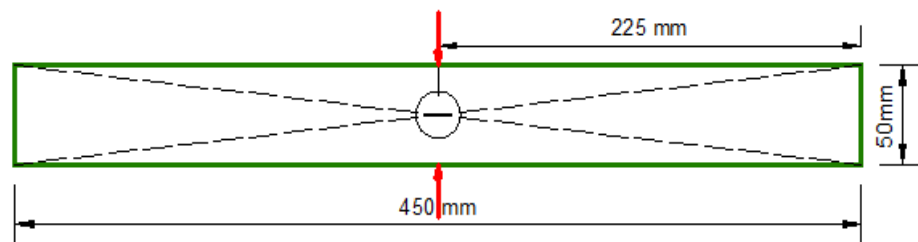
El presente ensayo se realizó en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles de la Cotera”, bajo la supervisión de la MSc. Ing. Ana Torre Carrillo.

- Se midió la anchura y el espesor de cada una de las probetas, en los siguientes puntos:

El espesor en la intersección de las diagonales (Figura N° 3.10)

La anchura en la mitad de la longitud

Figura N°3.10
Dimensiones de la Probeta - Ensayo de Flexión
Probeta - Espesor



- Se ajustó la distancia entre los ejes de los apoyos, que fue de 24 veces el espesor nominal del tablero ± 1 mm, con un máximo de 1000 mm y un mínimo de 100 mm. La distancia entre los apoyos se redondeó al 0.5 mm más próximo, como se muestra en la Foto N° 3.16 y Foto N° 3.17
La distancia para las probetas E-02 es de 45 cm, y para las probetas E-01 es de 24 cm.

Foto N°3.16
Distancia entre apoyos para probetas E-01



En la imagen se muestra la verificación de la distancia entre los rodillos paralelos, para los ensayos en las probetas tipo E-01

Foto N°3.17
Distancia entre apoyos para probetas E-02



En la imagen se muestra la verificación de la distancia entre los rodillos paralelos, para los ensayos en las probetas tipo E-02

- La probeta se colocará con la cara apoyada en los soportes y con su eje longitudinal perpendicular a los apoyos. La carga se aplicará en el centro de la probeta (Foto N°3.18)

Foto N°3.18
Cabeza de carga cilíndrica en el centro de la probeta



- La velocidad de carga durante la realización del ensayo será constante y se ajustará de tal forma que se alcance la carga máxima en (60 ± 30) s.

La deformación se medirá en el centro de la probeta (debajo de la cabeza de carga) con una precisión de 0.1mm y se registrarán en un diagrama los valores correspondientes de la deformación y de la carga aplicada, esta última con una precisión de un 1% del valor medido. Si la deformación se determina por lecturas acumuladas, se utilizarán por lo menos 3 pares de valores.

Foto N°3.19
Aplicación de la carga



En la imagen se muestra la aplicación de la carga, para los ensayos en las probetas tipo E-01

- Se registrará la carga máxima con una precisión de un 1% del valor medido.

Foto N°3.20
Registro de la carga máxima



- Los ensayos se realizarán, la mitad sobre la cara superior de las probetas y la otra mitad sobre la cara inferior.

Foto N°3.21
Vista de la falla en la probeta M1, E02, 02



3.3.4.2 Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero (UNE – EN 310, 1993)

Fundamento

Se determinará la resistencia a la tracción perpendicular a las caras de una probeta sometiéndola a un esfuerzo de tracción uniformemente repartido, hasta la rotura.

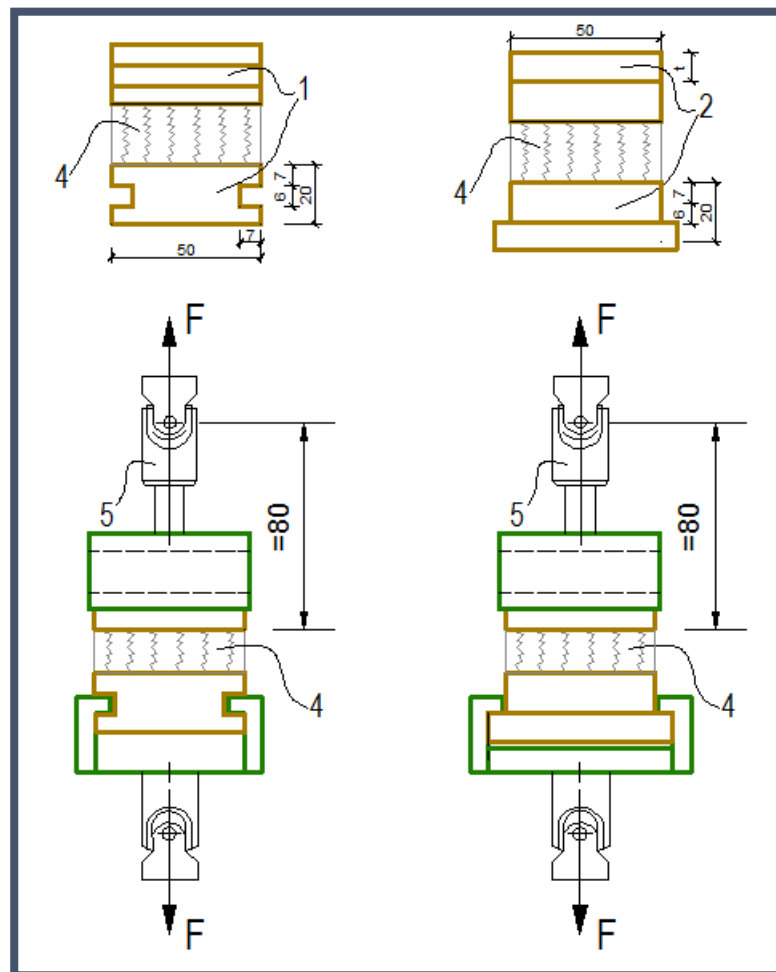
La resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero, se determina por la carga máxima aplicada en relación con la superficie de la probeta.

Máquina de Ensayo

Máquina de Ensayo, capaz de aplicar una fuerza de tracción perpendicular a las caras de la probeta, por medio de tacos de agarre, como se muestra en la Figura N°3.11; y medir esta fuerza con una precisión del 1%

Los tacos deben incluir un dispositivo de autoalineación por medio de una articulación tipo rótula en cada uno de los lados de la probeta.

*Figura N°3.11
Ejemplos de dispositivos para la determinación de la resistencia a la tracción perpendicular*



Donde:

- 1 Bloque metálico
 - 2 Bloque en forma de T (metal, madera o contrachapado)
 - 4 Probeta
 - 5 Dispositivo de autoalineación con rótula
- t = 10mm como mínimo para bloques metálicos
t = 15mm como mínimo para bloques de madera

Foto N°3.22
Máquina de Ensayo Universal



En la imagen anterior se puede observar la Máquina de Ensayo Universal utilizada.

Bloques

Los bloques podrán ser metálicos, de madera o contrachapados, compatibles con el dispositivo de fijación, sobre los que se deben encolar las probetas, como se muestra en la Foto N° 3.23

Foto N°3.23
Bloques de madera



La imagen anterior, muestra los bloques de madera que son compatibles con el dispositivo de fijación.

Probetas

Las probetas deben ser de forma cuadrada y tener (50 ± 1) mm de lado. Se deben cortar con precisión; los ángulos deben ser de 90° y los cantos deben quedar rectos y limpios.

Foto N°3.24
Vista del Grupo de Probetas para el Ensayo de Tracción Perpendicular a las caras.



Como se puede observar en la imagen anterior, se dispusieron 18 probetas del espesor tipo E-01 (1/2") y 18 probetas del espesor tipo E-02 (3/4") para el ensayo de tracción perpendicular a las caras

Acondicionamiento

Las probetas y los bloques de madera deberán acondicionarse hasta masa constante, en una atmósfera de humedad relativa media (65 ± 5)% y de temperatura de (20 ± 2) °C. Se considera que la masa es constante cuando los resultados de dos pesadas sucesivas efectuadas en un intervalo de 24h no difieren en más del 0.1% de la masa de la probeta.

Encolado

Se deberá encolar cada probeta sobre el bloque utilizando un adhesivo adecuado. Se eliminará el exceso de cola, que rebosa de la junta de encolado.

Durante el encolado se debe evitar en la medida de lo posible que se produzcan tensiones adicionales en la probeta originadas por la humedad proveniente de los adhesivos, temperaturas elevadas, etc.

El ensayo no se debe realizar hasta que el adhesivo haya tenido suficiente tiempo para fraguar, con el fin de evitar que la rotura se produzca por la junta de encolado y para que la probeta pueda homogeneizar de nuevo la distribución de humedad.

Por experiencia se sabe que son necesarias alrededor de 24h si se utilizan colas termofusibles o epoxys y alrededor de 72h para el resto de las colas. Durante este periodo mantener el conjunto (bloque - probeta) a ensayar en condiciones ambientales controladas de (65 ± 5) % de humedad relativa y (20 ± 2) °C de temperatura.

Se deberá ensayar las probetas como máximo una hora después de retirarlas del ambiente de acondicionamiento.

*Foto N°3.25
Grupo de Probetas Encoladas*



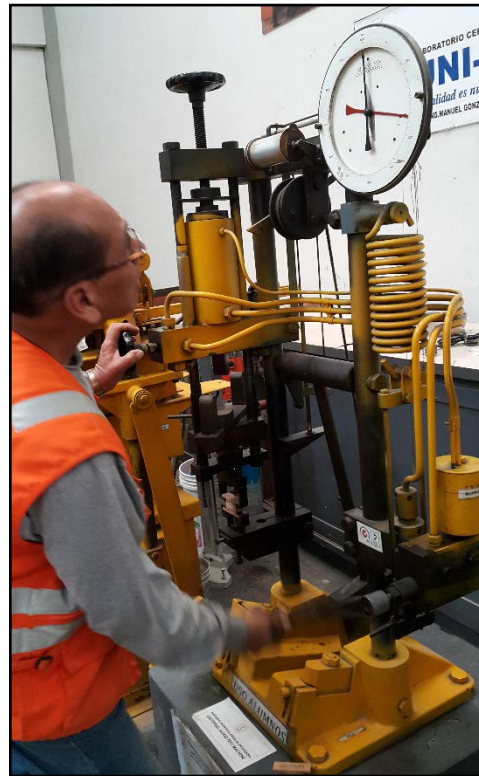
En la imagen se observa las probetas habilitadas para el ensayo de tracción perpendicular a las caras

Protocolo de Ensayo

Aplicación de la carga

Colocar el conjunto bloque-probeta en los tacos de agarre y aplicar el esfuerzo de tracción hasta rotura. Aplicar la carga a velocidad constante durante todo el ensayo. Regular la velocidad de aplicación de la carga de forma que se alcance la carga máxima en (60 ± 30) s.

*Foto N°3.26
Aplicación de la carga*

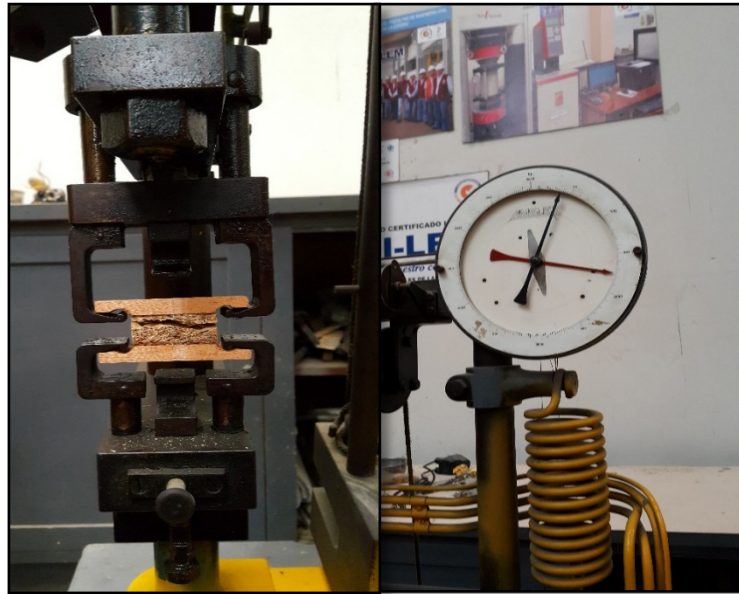


En la imagen se observa la aplicación de la carga a la probeta habilitada

Medición de la carga de rotura

Registrar la carga máxima soportada por la probeta con precisión del 1%. No se tendrán en cuenta los resultados de las probetas que presentan rotura total o parcial en el plano de encolado bloque-probeta o en el bloque. En tales casos el ensayo debe repetirse utilizando otras probetas.

*Foto N°3.27
Medición de la carga*



En la imagen se observa la medición de la carga del ensayo realizado y la falla de la probeta analizada.

3.3.4.3 Determinación de la resistencia al arranque de la superficie de los tableros (UNE – EN 311, 2002)

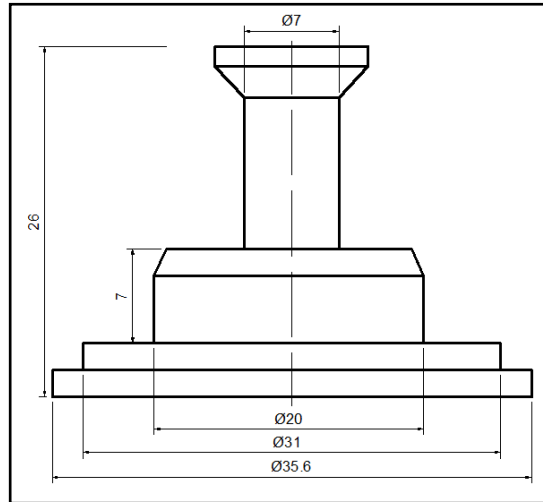
Fundamento

Se medirá la fuerza de tracción necesaria para arrancar una superficie determinada de un tablero desnudo.

Dispositivos de Ensayo

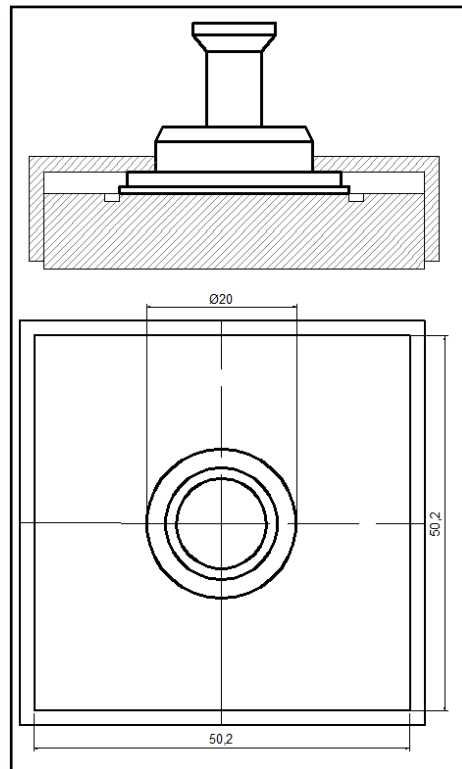
- Dispositivo de acero en forma de hongo, de $(35,6 \pm 0,1)$ mm de diámetro y lo suficientemente grueso como para impedir la flexión durante el ensayo, según se indica en la Figura N° 3.12.

Figura N°3.12
Hongo de acero – Dispositivo para el ensayo de resistencia al arranque de la superficie



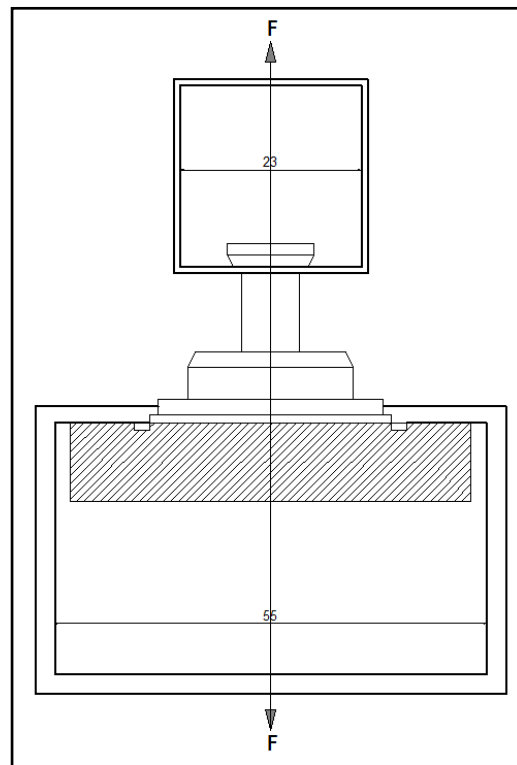
- Cuadro para el centrado de una rigidez suficiente, y concebido para ajustar el hongo de acero representado en la Figura N°3.12. En la Figura N° 3.13 se muestra un ejemplo de este cuadro.

Figura N°3.13
Cuadro de centrado - Dispositivo para el ensayo de resistencia al arranque de la superficie



- Máquina de tracción de una capacidad de carga adecuada, con una precisión del 1% de la carga aplicada y en la que se puede regular la velocidad de carga.
- Dispositivo cardan de acero tal como se indica en la Figura N° 3.14

Figura N°3.14
Dispositivo Cardan - Ensayo de resistencia al arranque de la superficie



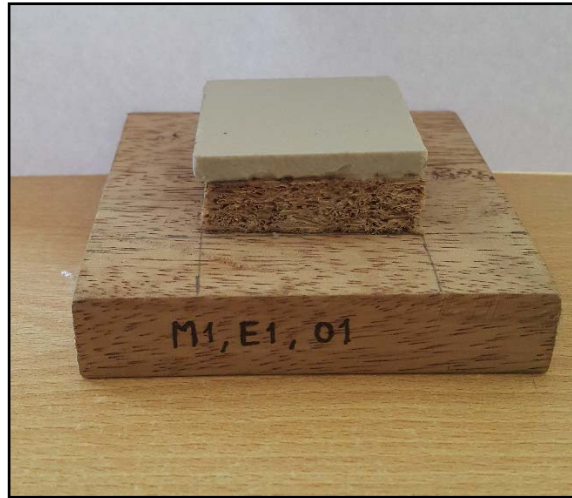
Procedimiento

Encolado

Utilizar normalmente un adhesivo termo fusible, con un punto de fusión inferior a 150 °C y repartir uniformemente sobre la cara del hongo de acero calentado. El dispositivo de centrado se utiliza para colocar exactamente el hongo de acero sobre la probeta. El cilindro de acero calentado y colocado en el dispositivo de centrado, se aplica sobre la cara de la probeta con una pequeña presión de 0,1 N/mm² a 0,2N/mm² hasta que la cola fragüe y se endurezca.

Si el arranque de la superficie se debilita debido al calentamiento producido por los adhesivos termo fusibles, deberá utilizarse un adhesivo epoxi de fraguado en frío en lugar del adhesivo termo fusible.

Foto N°3.28
Probeta habilitada – Ensayo de resistencia al arranque de la superficie



En la imagen se observa la probeta habilitada con una base de madera en la parte inferior y una pieza de cerámica en la parte superior, para poder adherir ésta al hongo de acero mediante el epoxy.

Determinación de la fuerza de ruptura

- Después del enfriamiento y fraguado del adhesivo, las probetas deben colocarse sobre el dispositivo cardan.
- Se aplica una fuerza de tracción a velocidad constante con el fin de alcanzar la rotura en un intervalo de (60 ± 30) s.
- Se anota la fuerza de rotura.

Foto N°3.29
Probetas habilitadas y adheridas al hongo metálico para el ensayo de resistencia al arranque



En la imagen anterior se observa la probeta habilitada con el hongo metálico adherido con resina epóxica de dos compuestos, en la parte superior de la cerámica.

Foto N°3.30
Colocación del Extractómetro



En la imagen anterior se observa la colocación del extractómetro y el cabezal de tracción en el hongo metálico. El equipo utilizado es de la compañía NDT Instruments INC, Marca BAND Tester, Modelo P-C 7300, Serie 4152-22138

Foto N°3.31
Ensayo de resistencia al arranque de la superficie - Falla en la Probeta



En la imagen anterior se observa la falla en la probeta después del ensayo.

CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

Después de haber recogido los datos, corresponde organizar la información y presentarlo juntamente con su análisis e interpretación; así como, su respectiva prueba de hipótesis que permita establecer las conclusiones correspondientes. En ese sentido, los parámetros que se han analizado son: la densidad, el contenido de humedad, la absorción y cambios dimensionales; igualmente, se ha determinado la resistencia de ruptura (MOR) y elasticidad (MOE); así como la tracción perpendicular a la superficie y resistencia al arranque de superficie.

Además, los resultados obtenidos en el ensayo o experimento, se han comparado con la que establece la Norma Europea EN 326 - 1 (Tableros Parte 1: Muestreo, despiece y expresión de resultados de ensayo); o sea, las propiedades específicas de cada tablero de la muestra se compararon con los valores que se especifican en la precitada norma. Para ello, se utilizó las probetas de cada una de las muestras según sus dimensiones y se realizaron los cálculos siguientes:

- **Valor medio de cada tablero individual (media del tablero).**

Para cada grupo de probetas (o de mediciones, respectivamente), se calcula el valor medio

$$\bar{x}_j = \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{m}$$

- **Varianza dentro de cada tablero.** Para cada grupo de probetas (o de mediciones, respectivamente), se calcula la varianza S_{w,j^2} dentro de cada tablero de acuerdo a:

$$S_{w,j^2} = \sum_{i=1}^m (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 / (m - 1)$$

- **Gran media (media de las medias de los tableros).** Se calcula la gran media $\bar{\bar{x}}$ de todos los valores del ensayo, o del grupo de valores de ensayo, a partir de la muestra, de acuerdo a:

$$\bar{\bar{x}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij} / (mn) = \sum_{j=1}^n \bar{x}_j / n$$

- **Varianza entre las medias de los tableros.** Se calcula la varianza $S_{\bar{x}^2}$ entre las medias de los tableros de acuerdo a:

$$S_{\bar{x}^2} = \sum_{j=1}^n (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2 / (n - 1)$$

- **Varianza media de los valores del ensayo de los tableros.** Se calcula la varianza media \bar{S}_w^2 de los valores del ensayo de los tableros de acuerdo a:

$$S_w^2 = \sum_{j=1}^n S_{w,j}^2 / n$$

4.1. Dimensiones de los tableros

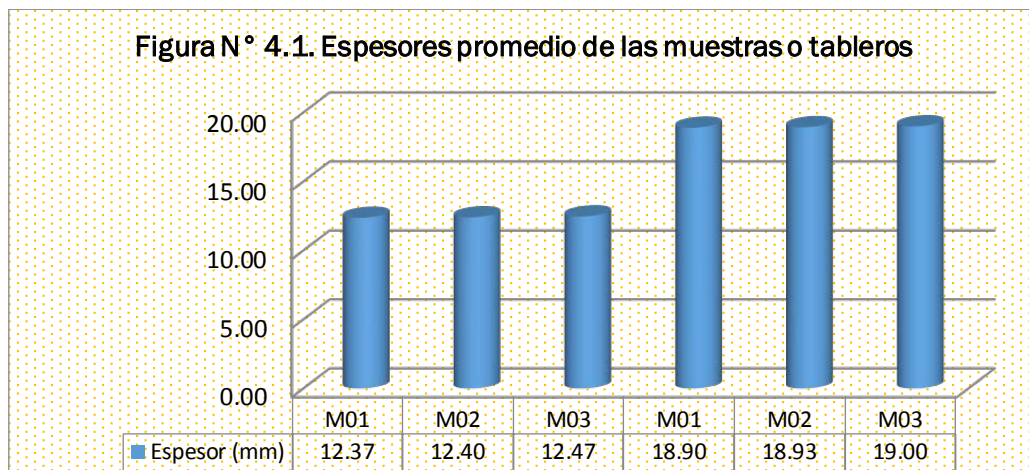
De cada tablero se determinaron mediciones en espesor y dimensiones laterales, datos que se presentan en la Tabla y Figura N° 4.1

Tabla N° 4.1
Espesores de los tableros o muestras en mm

Muestras	Tipos	Espesor (mm)	Media (mm)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01	E-01 (12.5mm)	12.367	12.4111	0.05	0.41%
M02	E-01 (12.5mm)	12.400			
M03	E-01 (12.5mm)	12.467			
M01	E-02 (19.0mm)	18.900	18.9444	0.05	0.27%
M02	E-02 (19.0mm)	18.933			
M03	E-02 (19.0mm)	19.000			

Fuente. Datos obtenidos de las mediciones de los tableros

En la tabla y figura N° 4.1, se presenta las muestras de los tableros, los tipos de espesores y las medidas estadísticas descriptivas de centralización y dispersión, notándose que el espesor promedio para las muestras cuyo espesor nominal fue de 12.5 mm (E-01) es de **12.41mm**, con una desviación estándar de **±0.05mm** desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 0.41%; es decir, los espesores son bastante homogéneos entre sí. Además, dichas variaciones se ubican dentro de lo permitido por la Norma Europea EN 312-1 referida a las especificaciones generales a la salida de fábrica; la cual indica que la variación es de **±0.3mm**, según la Tabla N° 1.3.



Fuente. Elaboración a partir de los datos de la tabla 4.1

Equivalentemente, el espesor promedio para las muestras cuyo espesor nominal fue de 19 mm (E - 02) es de **18.94 mm**, con una desviación estándar de **±0.05mm** desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 0.27%; es decir, los espesores son bastante homogéneos entre sí. Además, dichas variaciones se ubican dentro de lo permitido por la Norma Europea EN 324-1 referida a las especificaciones generales a la salida de fábrica; la cual indica que la variación es de $\pm 0.3\text{mm}$, según la Tabla N° 1.3.

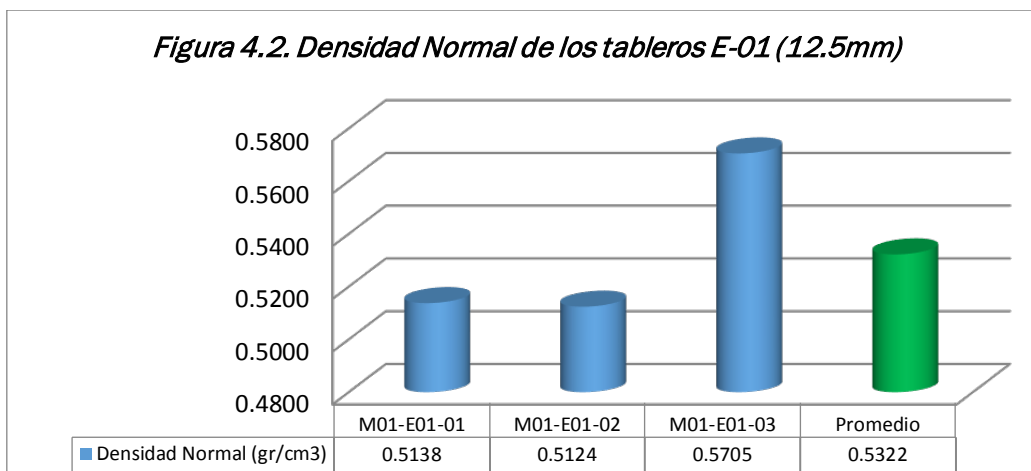
4.2. Propiedades Físicas

4.2.1. Densidad Normal

Los resultados de densidad realizados a las 6 probetas, se muestran en la Tablas y Figuras N° 4.2 y N° 4.3

Tabla N° 4.2
Densidad Normal Muestras de Espesor tipo E- 01 (12.5mm)

Muestras	Tipo	Densidad Normal (gr/cm ³)	Media (mm)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E01-01	01	0.507	0.514	0.010	1.95%
	02	0.521			
M01-E01-02	01	0.508	0.512	0.006	1.21%
	02	0.517			
M01-E01-03	01	0.566	0.571	0.006	1.07%
	02	0.575			
			0.532	0.007	1.41%



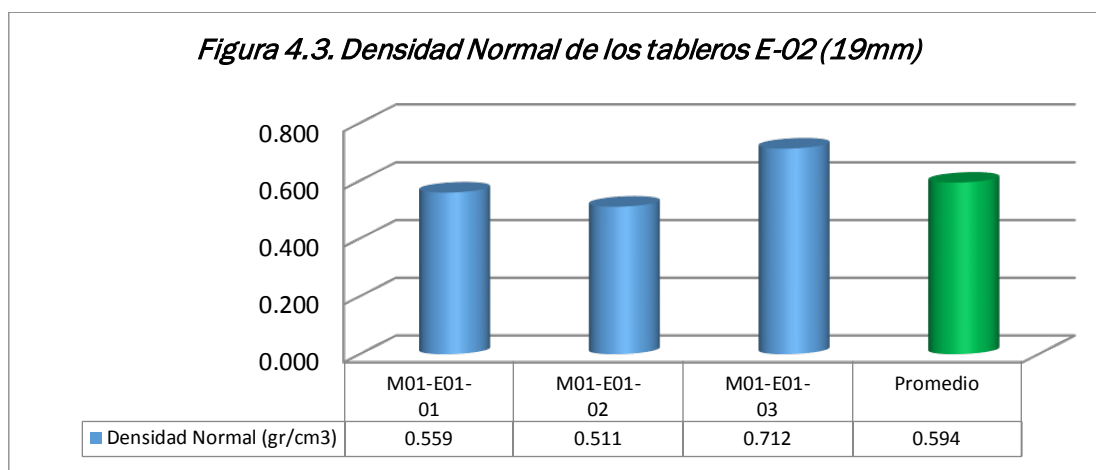
En la tabla y figura 4.2, se aprecia la densidad normal de las muestras o tableros tipo E -01 (12.5mm); así como las medidas estadísticas de centralización y dispersión; distinguiéndose, que para las probetas de la M01-E01-01 se obtuvo una densidad media de **0.514 gr/cm³**, con una desviación estándar de ± 0.010 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 1.95%; o sea, las variaciones son bastante semejantes entre sí. Igualmente, se distingue que para las probetas de la M01-E01-02 se obtuvo una densidad media de **0.512**

gr/cm³, con una desviación estándar de ± 0.006 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 1.21%; o sea, las variaciones son bastante parecidas entre sí. Equivalentemente, se observa que para las probetas de la M01-E01-03 se obtuvo una densidad media de **0.571 gr/cm³**, con una desviación estándar de ± 0.006 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 1.07%; o sea, las variaciones son bastante parecidas entre sí.

Consecuentemente, la Densidad Normal media para el tablero tipo E- 01 (12.5mm) es de **0.532 gr/cm³**, con una desviación estándar de ± 0.007 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 1.41%; o sea, las variaciones son bastante homogéneas entre sí. Además, la densidad normal promedio e individual de las seis probetas permiten clasificar como tableros de densidad media, ya que se encuentran dentro del rango especificado por FAO (1959) de 0.40 – 0.80 gr/cm³, como se muestra en la Tabla N° 1.1

Tabla N° 4.3
Densidad Normal Muestras de Espesor tipo E-02 (19mm)

Muestras	Tipo	Densidad Normal (gr/cm ³)	Media (mm)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E02-01	01	0.573	0.559	0.020	3.5%
	02	0.546			
M01-E02-02	01	0.475	0.511	0.050	9.8%
	02	0.546			
M01-E02-03	01	0.731	0.712	0.027	3.8%
	02	0.693			
			0.594	0.032	5.7%



Fuente. Elaboración a partir de los datos de la tabla 4.3

En la tabla y figura 4.3, se aprecia la densidad normal de las muestras o tableros tipo E-02 (19mm); así como las medidas estadísticas de centralización y dispersión; observándose, que para las probetas de la M01-E02- 01 se obtuvo una densidad media de **0.559 gr/cm³**, con una desviación estándar de ± 0.020 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 3.5%; o sea, las variaciones son bastante semejantes entre sí. En forma similar, se aprecia

que la densidad media para las probetas de la M01-E02- 02 se obtuvo una densidad media de **0.511 gr/cm³**, con una desviación estándar de ± 0.050 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 9.8%; o sea, las variaciones son ligeramente dispersas entre sí. Equivalentemente, se observa que la densidad media para las probetas de la M01-E02-03 se obtuvo una densidad media de **0.712 gr/cm³**, con una desviación estándar de ± 0.027 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 3.8%; o sea, las variaciones son levemente dispersas entre sí.

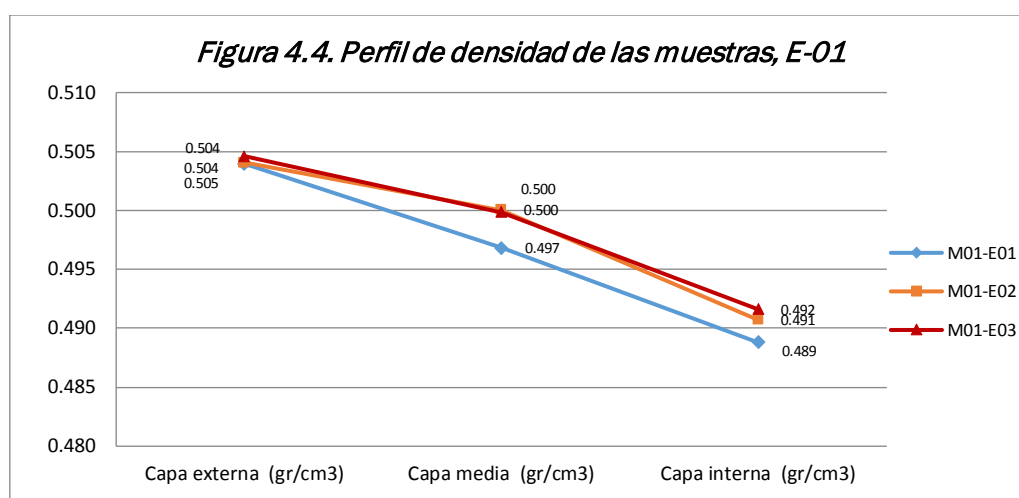
En efecto, la densidad normal media para el tablero tipo E-02 (19mm) es de **0.594 gr/cm³**, con una desviación estándar de ± 0.032 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 5.7%; O sea, las variaciones son levemente dispersas entre sí. Además, la densidad normal promedio e individual de las seis probetas permiten clasificar como tableros de densidad media, ya que se encuentran dentro del rango especificado por FAO (1959) de 0.40 – 0.80 gr/cm³, según la Tabla N° 1.1

4.2.2. Perfil de densidad

La determinación de la densidad en diferentes zonas del espesor del tablero se llevó a cabo gradualmente. Los resultados de estas determinaciones se presentan en las Tablas y Figuras N° 4.4 y N° 4.5.

Tabla N° 4.4
Resultados Perfil de Densidad – Espesor Tipo E-01

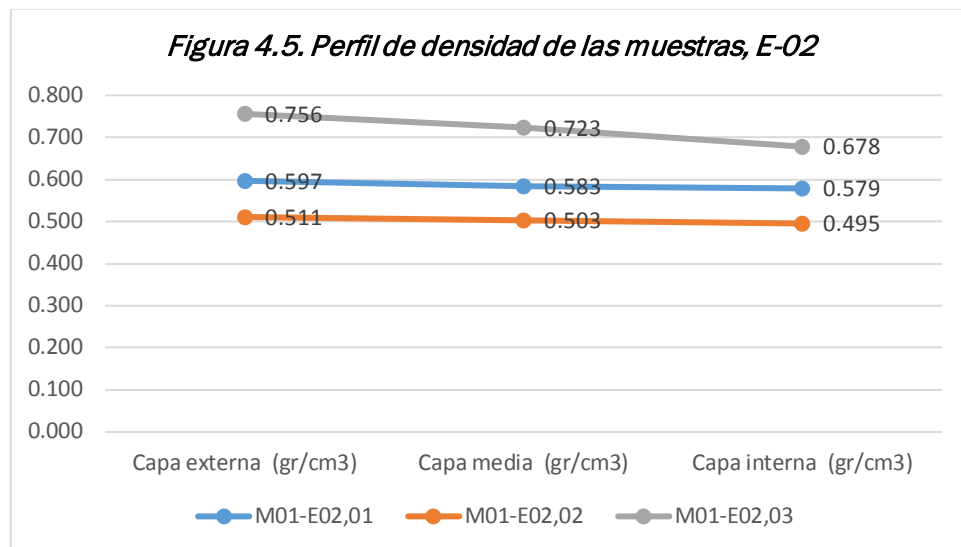
Muestras	Capa externa (gr/cm ³)	Capa media (gr/cm ³)	Capa interna (gr/cm ³)	Variación dentro del mismo tablero (%)	
M01-E01,01	0.504	0.497	0.489	1.42	3.00
M01-E01,02	0.504	0.500	0.491	0.79	2.65
M01-E01,03	0.505	0.500	0.492	0.95	2.58



En la Tabla y Figura 4.4 se aprecia el perfil de densidad, el cual ha sido determinado gradualmente en diferentes zonas del espesor del tablero. Notándose, que hay una variación de la densidad en el espesor de los tableros. Distinguiéndose, que las zonas de mayor densidad se concentran al principio en la capa externa o superficie del tablero, luego disminuye en la capa media y se concentra en la capa interna, tal como se presenta en la gráfica adjunta. Además, se deduce que la variación máxima de densidad media dentro del tablero es 3.00%, el cual está dentro de los límites permitidos en la Norma EN 323 – Tolerancia sobre la densidad media dentro de un tablero que es $\pm 10\%$ y que se muestra en la Tabla N° 1.3.

Tabla N° 4.5
Resultados Perfil de Densidad – Espesor Tipo E-02

Muestras	Capa externa (gr/cm ³)	Capa media (gr/cm ³)	Capa interna (gr/cm ³)	Variación dentro del mismo tablero (%)	
M01-E02,01	0.597	0.583	0.579	2.27	3.04
M01-E02,02	0.511	0.503	0.495	1.52	3.05
M01-E02,03	0.756	0.723	0.678	4.41	10.30



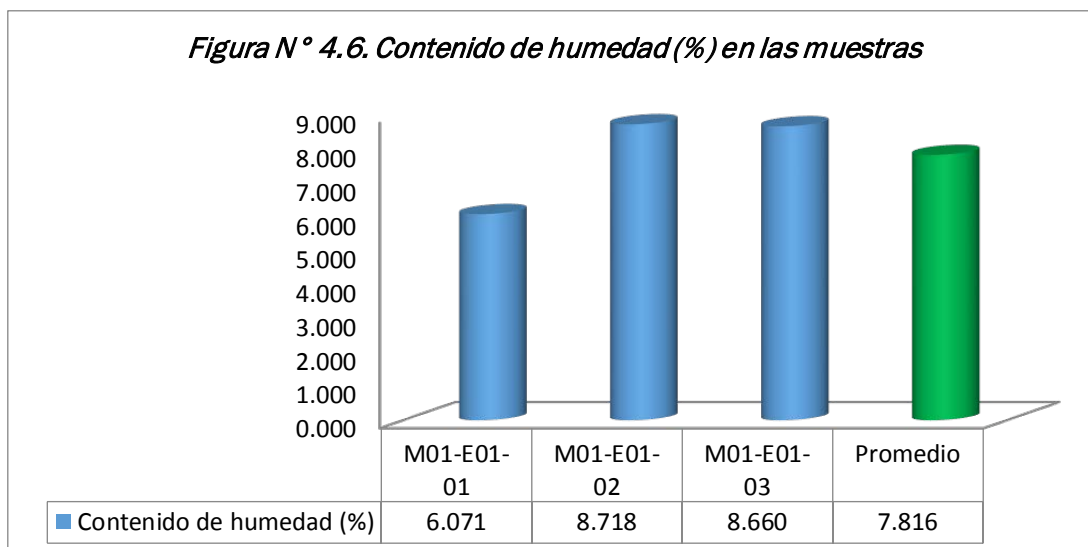
En la Tabla y Figura 4.5 se aprecia el perfil de densidad, el cual ha sido determinado gradualmente en diferentes zonas del espesor del tablero. Notándose, que hay una variación de la densidad en el espesor de los tableros. Distinguiéndose, que las zonas de mayor densidad se concentran al principio en la capa externa o superficie del tablero, luego disminuye en la capa media y se concentra en la capa interna, tal como se presenta en la gráfica adjunta. Además, se deduce que la variación máxima de densidad media dentro del tablero es 10.30%, el cual no está dentro de los límites permitidos en la Norma EN 323 – Tolerancia sobre la densidad media dentro de un tablero que es $\pm 10\%$ y que se muestra en la Tabla N° 1.3.

4.2.3. Contenido de humedad

El contenido de humedad que presentaron los tableros al momento de realizar los ensayos y evaluar sus propiedades, se presenta en la Tabla N° 4.6

Tabla N° 4.6
Contenido de humedad en los tableros (12.5 mm)

Muestras	Tipo	Contenido de Humedad (%)	Media (%)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E01-01	01	6.045	6.071	0.036	0.60%
	02	6.097			
M01-E01-02	01	8.699	8.718	0.026	0.30%
	02	8.736			
M01-E01-03	01	8.769	8.660	0.155	1.79%
	02	8.550			
			7.82	0.072	0.90%



Fuente. Elaboración a partir de los datos de la tabla 4.6

En la tabla y figura 4.6 se observa el contenido de humedad que contenía las muestras al momento de realizar los ensayos y evaluar sus propiedades; observándose, que **cantidad de humedad promedio en los tres tableros es de 7.82%**, con una desviación estándar de ± 0.072 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 0.90%; es decir, el contenido de humedad en bastante homogéneo y muestra una dispersión pequeña. Además, dichas medias se ubican entre los límites permitidos por la Norma EN 322 – Contenido de Humedad, que es del 5% al 13%, y que se muestra en la Tabla N° 1.3.

4.2.4. Absorción de humedad

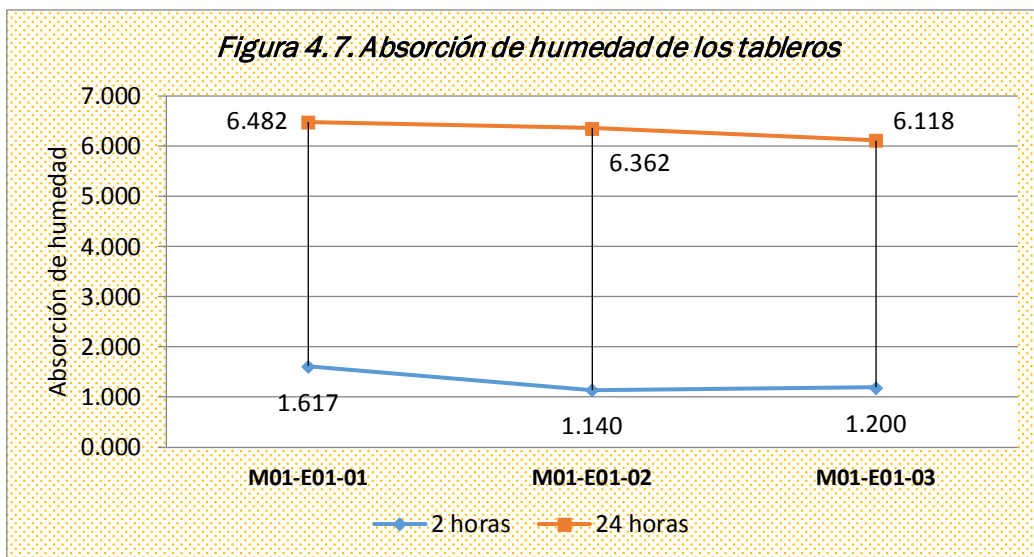
Los resultados obtenidos de absorción de agua a las 2 y 24 horas, se representan en las Tablas N° 4.7 y N° 4.8 y en la Figura N° 4.7, los valores se expresan en % del peso inicial.

Tabla N° 4.7
Absorción de humedad a 2h

Muestras	Tipo	Absorción de Humedad (%)	Media (%)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E01-01	01	1.599	1.617	0.025	1.5%
	02	1.634			
M01-E01-02	01	1.149	1.140	0.013	1.1%
	02	1.131			
M01-E01-03	01	0.286	1.200	1.292	107.7%
	02	2.114			
			1.319	0.443	37%

Tabla N° 4.8
Absorción de humedad a 24h

Muestras	Tipo	Absorción de Humedad (%)	Media (%)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E01-01	01	6.256	6.482	0.320	4.9%
	02	6.708			
M01-E01-02	01	6.493	6.362	0.185	2.9%
	02	6.231			
M01-E01-03	01	4.868	6.118	1.769	28.9%
	02	7.369			
			6.321	0.758	12%



Fuente. Elaboración a partir de los datos de las tablas 4.7 y 4.8

En la tabla 4.7 – 4.8 y figura 4.7 se presentan las medias porcentuales sobre la absorción de humedad en los tableros muestrales; notándose que la media porcentual de absorción de humedad para las seis probetas inherentes al tablero tipo E01 durante veinticuatro (24) horas es de 6.321% con una desviación estándar de ± 0.443 desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 37%; es decir, las medias son poco equivalentes y bastante dispersas. Sin embargo, la media porcentual de absorción de humedad para las seis probetas inherentes al tablero tipo E01 durante (24) horas es de 6.321% con una desviación estándar de $\pm 0,758$ desviaciones respecto a la media y un coeficiente de variación de 12%; O sea, las medias son más homogéneas y poco dispersas. En efecto, los tableros del tipo E01 durante el ensayo de 2 horas y 24 horas lograron absorber humedad. En tal sentido, como estos tableros mostraron valores diferentes en el contenido de humedad, se realizó un análisis de varianza para conocer estadísticamente las similitudes que presentan estos tableros.

Tabla N° 4.9
Análisis de Varianza para la Absorción de humedad de los tableros (24 horas)

PROMEDIOS	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,273	2	,137	,245	,797
Dentro de grupos	1,672	3	,557		
Total	1,945	5			

En efecto, según el análisis de varianza mostrado en la Tabla N° 4.9, se obtuvo una F calculada de 0,245 frente a una F tabular de 9.55 con un nivel de significación del 5% ($\alpha=0.05$); es decir, $F_{cal.}$ es menor que $F_{tab.}$ ($0.245 < 9.55$) y según la regla de decisión estadística, se rechaza la Hipótesis alterna cuando ($F_{cal.} < F_{tab.}$) a un nivel de significancia de 0,05 cuyo p-valor es mayor ($p=0.797 \geq 0.01$) Por tanto, se concluye que **no existen** diferencias estadísticamente significativas entre las medias aritméticas de las muestras o tableros tipo E-01 sometidos a la absorción de humedad de los tableros.

4.2.5. Hinchamiento en espesor

El ensayo de hinchamiento, realizando de acuerdo con ASTM D1037-91 y la Norma Europea UNE – EN 317, se llevó a cabo con las probetas utilizadas para la absorción de humedad a 2 y 24 horas. Los promedios por tablero se presentan en las Tablas N° 4.10 y N° 4.11 respectivamente. Notándose, una media de 59.8% de hinchamiento durante las 2 horas, con una desviación estándar de ± 0.170 desviaciones y 0,28% de dispersión entre los datos de la muestra o tablero M01-E01-01; en forma similar, se obtuvo una media de 60.123% de hinchamiento, con una desviación estándar de ± 0.853 desviaciones y 1.42% de dispersión entre los datos de la muestra o tablero M01-E01-02; equivalentemente, se obtuvo una media de 59.8% de hinchamiento, con una desviación estándar de ± 0.170 desviaciones y 0,28% de dispersión entre los datos de la muestra o tablero M01-

E-03. En efecto, a 2 horas de inmersión, las probetas han incrementado porcentualmente su espesor.

Tabla N°4.10
Hinchamiento en espesor en % a 2 horas

Muestras	Tipo	Hinchamiento en espesor a 2h (%)	Media (%)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E01-01	01	59.920	59.800	0.170	0.28%
	02	59.680			
M01-E01-02	01	59.520	60.123	0.853	1.42%
	02	60.726			
M01-E01-03	01	59.920	59.800	0.170	0.28%
	02	59.680			

Tabla N°4.11
Hinchamiento en espesor en % a 24 horas

Muestras	Tipo	Hinchamiento en espesor a 24h (%)	Media (%)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E01-01	01	139.840	139.800	0.057	0.04%
	02	139.760			
M01-E01-02	01	139.360	140.406	1.479	1.05%
	02	141.452			
M01-E01-03	01	139.840	139.800	0.057	0.04%
	02	139.760			

En la tabla 4.11, se observa que **después de 24 horas de inmersión**, se alcanzó una media de 139.8% de espesor para la muestra o tablero M01-E01-01, con una desviación estándar de ± 0.057 desviaciones y una variación de 0.04% según el coeficiente de variación respecto a la media; igualmente, se aprecia una media de 140.406% de hinchamiento, con una desviación estándar de ± 1.479 desviaciones y 1.05% de dispersión entre los datos de la muestra o tablero M01-E01-02; equivalentemente, se obtuvo una media de 139.8% de hinchamiento, con una desviación estándar de ± 0.057 desviaciones y 0,04% de dispersión entre los datos de la muestra o tablero M01-E01-03. Consiguientemente, a las 24 horas de inmersión dichos tableros han incrementado notablemente su espesor en relación a 2 horas.

4.3. Propiedades Físicas

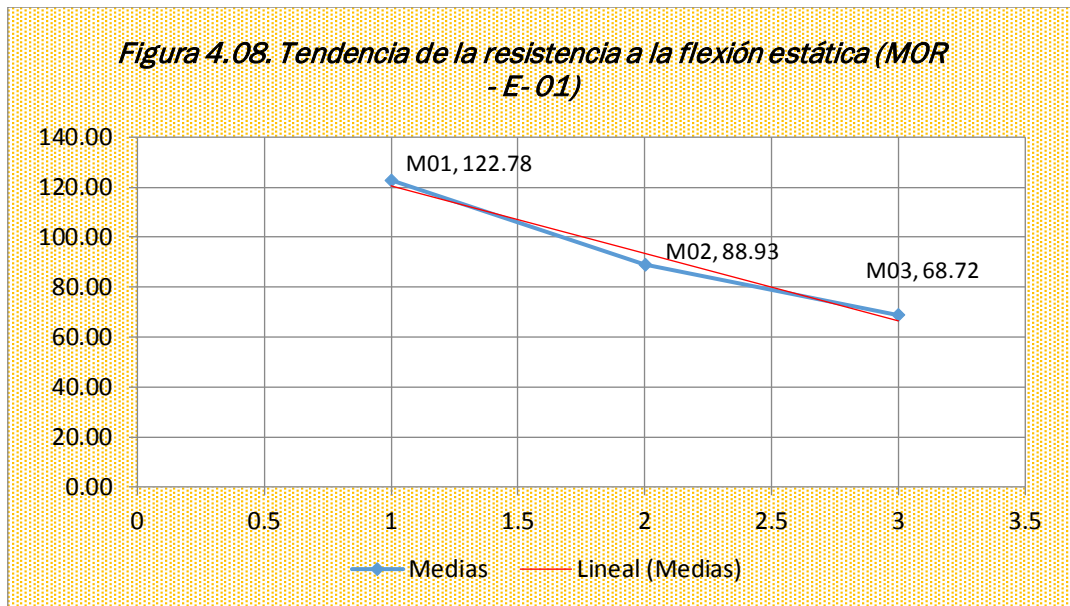
4.3.1. Flexión Estática

Los valores del módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) de los tableros evaluados, se presentan en las Tablas N° 4.12 y N° 4.13 y en las Figuras N° 4.08 y N° 4.09

Tabla N°4.12
Módulo de ruptura en flexión estática (MOR), E-01

Muestras	Tipo	MOR (Kg/cm ²)	Media (Kg/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E01-01	01	133,389	122.78	8.942	7.28%
	02	115,200			
M01-E01-02	01	124,295			
	02	115,200			
M01-E01-03	01	115,200			
	02	133,389			
M02-E01-01	01	84,884	88.93	9.128	10.27%
	02	90,947			
M02-E01-02	01	97,011			
	02	97,011			
M02-E01-03	01	90,947			
	02	72,758			
M03-E01-01	01	72,758	68.72	8.059	11.73%
	02	81,853			
M03-E01-02	01	69,726			
	02	66,695			
M03-E01-03	01	60,632			
	02	60,632			

En la tabla 4.12 se presentan los resultados referentes al módulo de ruptura (MOR) cuya propiedad es una de las más ampliamente evaluadas en pruebas de flexión estática para tableros de partículas, ya que ésta determina la aplicabilidad de los tableros como componentes estructurales (Kelly, 1977) En tal sentido, en esta tabla se observa tres muestras o tableros tipo E-01 (12.5 mm); de los cuales se han extraído dos probetas cada uno y luego se han sometido al ensayo de resistencia de flexión; distinguiéndose, una media de **122.78 Kg/cm²** para el tablero (M01), con una desviación estándar de ± 8.94 desviaciones y un coeficiente de variación de 7.28%; es decir, hay una dispersión pequeña respecto a la media. Igualmente, se observa una media de **88.93 Kg/cm²** para el tablero (M02), con una desviación estándar de ± 9.128 desviaciones y un coeficiente de variación de 10.27%; es decir, hay una dispersión moderada respecto a la media. Equivalentemente, se aprecia una media de **68.72 Kg/cm²** para el tablero (M03), con una desviación estándar de ± 8.059 desviaciones y un coeficiente de variación de 11.73%; es decir, hay una dispersión moderada respecto a la media. **En conclusión**, la resistencia a la flexión estática más alta es de 122.78 Kg/cm² y corresponde al tablero M01 E-01 (12.5mm) frente a los demás tableros M02 y M03 respectivamente.



Asimismo, para este caso utilizó el análisis de varianza (ANOVA) porque según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, los datos sobre la resistencia de flexión estática proceden de una distribución normal; por cuanto, la razón de significancia para todas las muestras supera el alfa de 0,05 ($p=000 \geq 0,05$)

Tabla N°4.13
Pruebas de normalidad

	Muestras	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia	M01	,302	6	,094	,775	6	,035
	M02	,254	6	,200*	,866	6	,212
	M03	,175	6	,200*	,923	6	,530

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En tal sentido, según el análisis de varianza mostrado en la Tabla N°4.13, se obtuvo una F calculada de 58.852 frente a una F tabular de 6.11 con un nivel de significación del 1% ($\alpha=0.01$); es decir, $F_{cal.}$ es mayor que $F_{tab.}$ ($58.85 > 6.11$) y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($F_{cal.} > F_{tab.}$) a un nivel de significancia de 0,01 cuyo p-valor es menor ($p=0.000 \leq 0.01$) Por tanto, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias aritméticas de las muestras o tableros tipo E-01 sometidos a la prueba de resistencia de flexión estática.

Tabla N°4.14
Análisis de Varianza para la prueba de resistencia de flexión estática de los tableros tipo E-01

Resistencia	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8954,479	2	4477,239	58,852	,000
Dentro de grupos	1141,137	15	76,076		
Total	10095,615	17			

Tabla N°4.15
Prueba de hipótesis

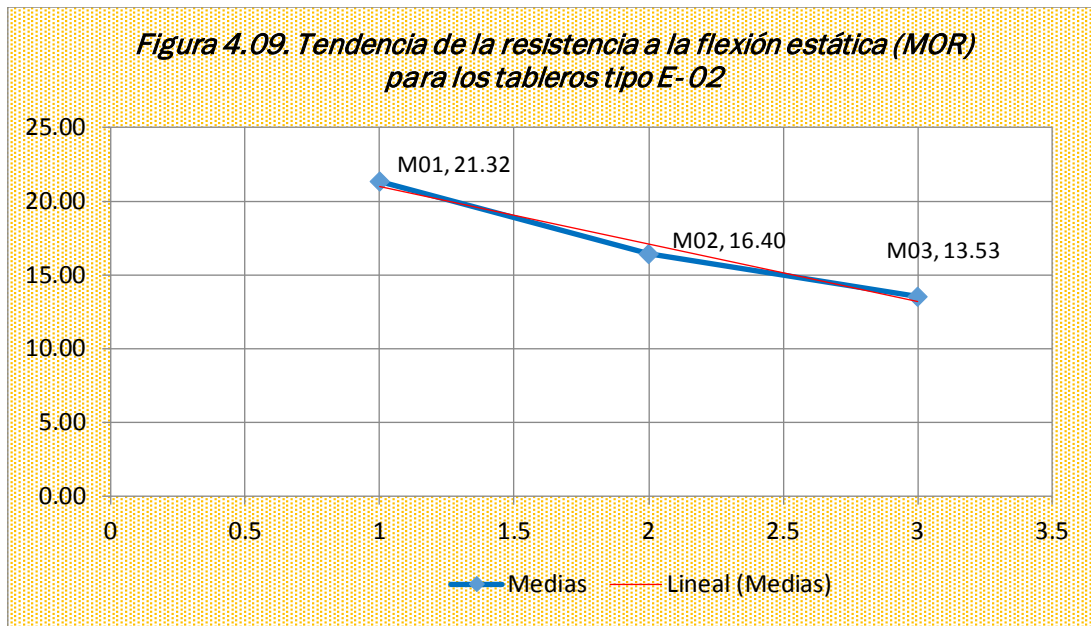
	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Resistencia	16,274	17	,000	93,47372	81,3552	105,5923

De la misma forma, según la Tabla N° 4.15, la prueba t de student; se obtuvo una t calculada de 16.274 frente a una t tabular de 1.33 con 17 grados de libertad a un nivel de significación del 1% ($\alpha=0.01$); es decir, $t_{cal.} = 16.274 > t_{tab.} = 1.33$ y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($t_{cal.} > t_{tab.}$) a un nivel de significancia de $p=0,01$ cuyo p-valor es menor ($p=0.000 \leq 0.01$); entonces, se acepta la hipótesis de investigación; concluyendo que la cascarilla de arroz y almidón como material ligante repercute significativamente en la resistencia a la flexión de los Paneles Aglomerados para la construcción en la región San Martín.

Tabla N°4.16
Módulo de ruptura en flexión estática (MOR), E-02

Muestras	Tipo	MOR (Kg/cm ²)	Media (Kg/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E02-01	01	24,603	21.32	1.85	8.69%
	02	20,912			
M01-E02-02	01	19,682			
	02	20,912			
M01-E02-03	01	22,142			
	02	19,682			
M02-E02-01	01	19,682	16.40	3.70	22.58%
	02	22,142			
M02-E02-02	01	14,762			
	02	12,301			
M02-E02-03	01	14,762			
	02	14,762			
M03-E02-01	01	12,301	13.53	3.01	22.27%
	02	12,301			
M03-E02-02	01	12,301			
	02	19,682			
M03-E02-03	01	12,301			
	02	12,301			

En la tabla 4.16 se presentan los resultados referentes al módulo de ruptura (MOR) para las probetas del espesor tipo E-02, cuya propiedad es una de las más ampliamente evaluadas en pruebas de flexión estática para tableros de partículas, ya que ésta determina la aplicabilidad de los tableros como componentes estructurales (Kelly, 1977) En tal sentido, en esta tabla se observa tres muestras o tableros tipo E-02 (19 mm); de los cuales se han extraído dos probetas cada uno y luego se han sometido al ensayo de resistencia de flexión estática; obteniéndose, una media de **21.32 Kg/cm²** para el tablero (M01), con una desviación estándar de ± 1.85 desviaciones y un coeficiente de variación de 8.69%; es decir, hay una dispersión pequeña respecto a la media. Indistintamente, se observa una media de **16.40 Kg/cm²** para el tablero (M02), con una desviación estándar de ± 3.70 desviaciones y un coeficiente de variación de 22.58%; es decir, hay una dispersión pequeña respecto a la media. Igualmente, se aprecia una media de **13.53 Kg/cm²** para el tablero (M03), con una desviación estándar de ± 3.01 desviaciones y un coeficiente de variación de 22.27%; es decir, hay una dispersión moderada respecto a la media. **En conclusión**, la resistencia a la flexión estática más alta es de **21.332 Kg/cm²** y corresponde al tablero M01 E-02 (19 mm) frente a los demás tableros M02 y M03 respectivamente.



Asimismo como se muestra en la Tabla N° 4.17, para este caso utilizó el análisis de varianza (ANOVA) porque según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, los datos sobre la resistencia de flexión estática proceden de una distribución normal; por cuanto, la razón de significancia para casi todas las muestras supera el alfa de 0,05 ($p=000 \geq 0,05$)

Tabla N° 4.17
Pruebas de normalidad

	Muestras	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia	M01	,254	6	,200*	,866	6	,212
	M02	,338	6	,031	,866	6	,212
	M03	,492	6	,000	,496	6	,000

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En tal sentido y como se presenta en la Tabla N° 4.18, según el análisis de varianza, se obtuvo una F calculada de 10.654 frente a una F tabular de 6.11 con un nivel de significación del 1% ($\alpha=0.01$); es decir, $F_{cal.}$ es mayor que $F_{tab.}$ ($58.85 > 6.11$) y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($F_{cal.} > F_{tab.}$) a un nivel de significancia de 0,01 cuyo p-valor es menor ($p=0.000 \leq 0.01$) Por tanto, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias aritméticas de las muestras o tableros tipo E-02 sometidos a la prueba de resistencia de flexión estática.

Tabla N°4.18

Análisis de Varianza para la prueba de resistencia de flexión estática de los tableros tipo E-02

Resistencia	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	186,300	2	93,150	10,654	,001
Dentro de grupos	131,145	15	8,743		
Total	317,445	17			

Tabla N°4.19
Prueba de hipótesis

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Resistencia	16,774	17	,000	17,085056	14,93615	19,23397

De la misma forma como se muestra en la Tabla N°4.19, según la prueba t de student; se obtuvo una t calculada de 16.274 frente a una t tabular de 1.33 con 17 grados de libertad a un nivel de significación del 1% ($\alpha=0.01$); es decir, $t_{cal.} = 16.774 > t_{tab.} = 1.33$ y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($t_{cal.} > t_{tab.}$) a un nivel de significancia de $p=0,01$ cuyo p-valor es menor ($p=0.000 \leq 0.01$); entonces, se acepta la hipótesis de investigación; concluyendo que la cascarilla de arroz y almidón como material ligante repercute significativamente en la resistencia a la flexión de los Paneles Aglomerados para la construcción en la región San Martín.

Tabla N°4.20

Resumen - Módulo de ruptura en flexión estática (MOR)

Muestras	Tipo	MOR (Kg/cm ²)	MOR (N/mm ²)
M01	E01	122.779	12.041
	E02	21.322	2.091
M02	E01	88.926	8.721
	E02	16.402	1.608
M03	E01	68.716	6.739
	E02	13.531	1.327

En la tabla 4.20 se presenta el resumen de los resultados referentes al módulo de ruptura de flexión estática (MOR) .

En tal sentido, en esta tabla se observa tres muestras o tableros M01 (E-01 y E-02), M02 (E-01 y E-02) y M03 (E-01 y E-02) con sus respectivas resistencias de flexión media; tanto en Kg/cm² como su equivalente en N/mm²; en donde se puede apreciar que **solamente** los valores resultantes del ensayo para las probetas de la muestra M01-E01 superan la exigencia de la Norma Europea UNE-EN-312:2010 Especificaciones para Tableros de Partículas para Tableros de uso general para la utilización en ambiente seco (Tipo P1), cuyos valores se muestran en la Tabla N° 1.4 y que es de 10N/mm². Del mismo modo, los resultados para esta probeta superan los valores mínimos establecidos para este ensayo en la Tabla N° 1.5 – Tableros para aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco (Tipo P2), que es de 11N/mm².

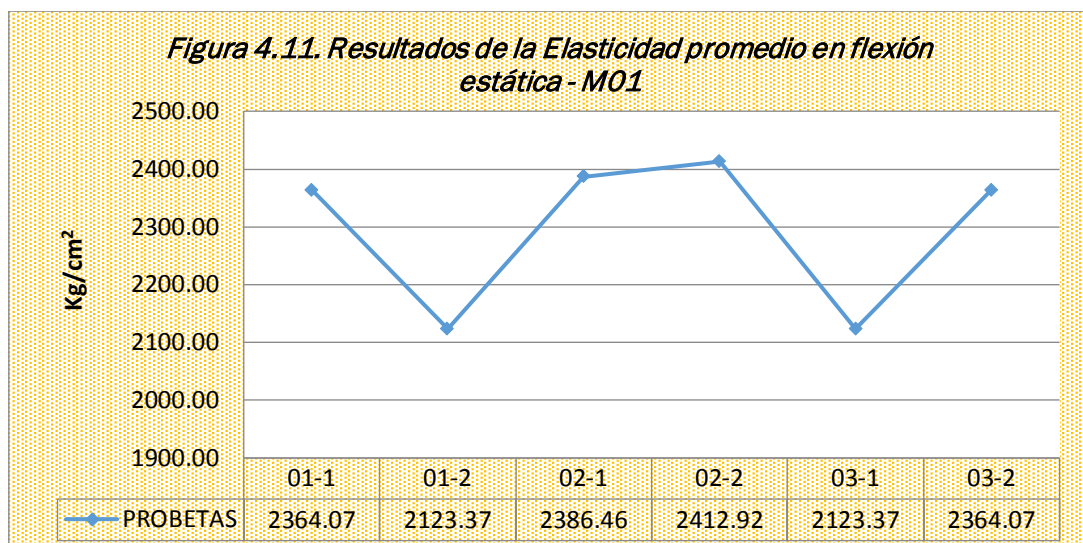
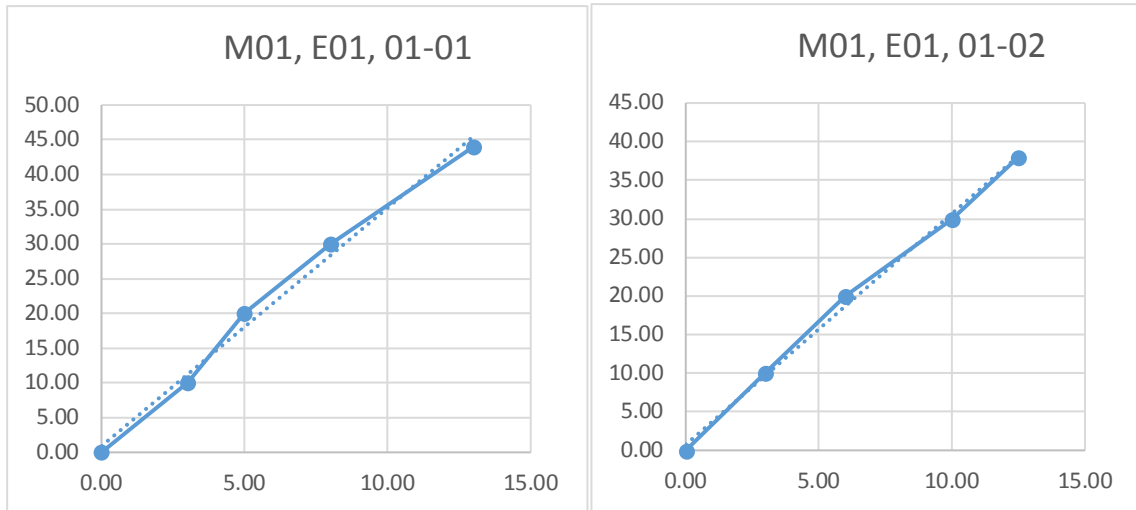
En consecuencia, para el análisis del módulo de la elasticidad en flexión estática (MOE), únicamente se ensayó con la muestra o tablero M01 por ser el que superó la exigencia de la Norma Europea UNE-EN-312:2010 Especificaciones para Tableros de Partículas para Tableros de uso general para la utilización en ambiente seco (Tipo P1)

Por eso, en la Tabla N° 4.21 y Figura 4.10 se presentan las mediciones sobre el espesor y el ancho de cada una de las probetas y sus respectivos cálculos para determinar la elasticidad en flexión estática. Notándose además, una media de 2295.71 kg/cm² de carga de rotura para la muestra o tablero M01, con una desviación estándar de ±134.7 desviaciones y un coeficiente de variación de 6% respecto a la media; esto significa que las variaciones de la carga de rotura de todos los ensayos cada uno de los ensayos es bastante dispersa y heterogénea.

Tabla N° 4.21
Módulo de elasticidad en flexión estática (MOE)

MUESTRAS	PROBETA	SECCIÓN (cm)		Y (cm)	L (cm)	P ⁻ (Kg)	MOE (Kg/cm ²)
		ESPESOR	ANCHO				
M01	01-1	1.25	7.6	13.00	24.00	44.00	2364,07
	01-2	1.25	7.6	12.50	24.00	38.00	2123,37
	02-1	1.25	7.6	12.00	24.00	41.00	2386,46
	02-2	1.25	7.6	11.00	24.00	38.00	2412,92
	03-1	1.25	7.6	12.50	24.00	38.00	2123,37
	03-2	1.25	7.6	13.00	24.00	44.00	2364,07
Medidas estadísticas	Media						2295.71
	Desviación estándar						134.7
	Coficiente de variación						6%

Figura N° 4.10
Curvas de Carga – Deformación a partir de las mediciones obtenidas durante el ensayo.



Asimismo, y de manera equivalente al MOR; el Módulo de Elasticidad en flexión estática, muestra que el tablero de 12.5 mm (E-01) se obtuvo valores más altos, pero éste valor de 2412.92 Kg/cm² (236.63N/mm²) no supera el valor mínimo establecido en la Tabla N° 1.5 – Tableros para aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco (Tipo P2), que es de 1800N/mm².

Tabla N°4.22
Prueba de hipótesis

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Elasticidad	41,747	5	,000	2295,71000	2154,3498	2437,0702

Como se muestra en la Tabla N° 4.22, en relación a la prueba de hipótesis, según la prueba t de student; se obtuvo una t calculada de 41,747 frente a una t tabular de 3.365 con 5 grados de libertad a un nivel de significación del 1% ($\alpha=0.01$); es decir, $t_{cal.} = 41,747 > t_{tab.} = 3.365$ y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($t_{cal.} > t_{tab.}$) a un nivel de significancia de $p=0,01$ cuyo p-valor es menor ($p=0.000 \leq 0.01$); entonces, se acepta la hipótesis de investigación; concluyendo que la cascarilla de arroz y almidón como material ligante repercute significativamente en la resistencia a la elasticidad de flexión estática de los Paneles Aglomerados para la construcción en la región San Martín.

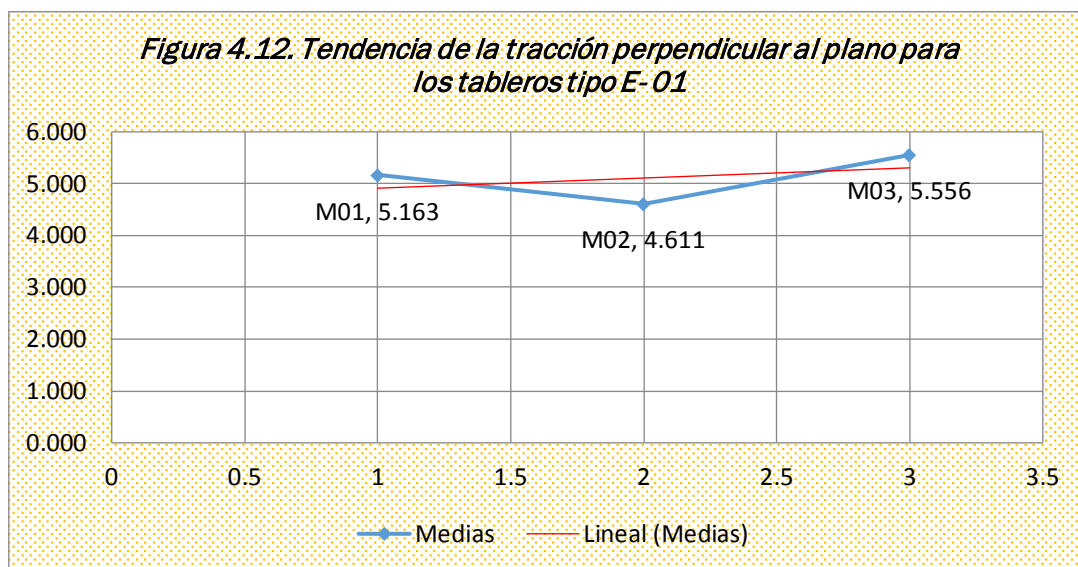
4.3.2. Tracción perpendicular a las caras

En las Tablas N° 4.23 y N° 4.27 se presentan los valores de la resistencia a la tracción perpendicular (MOR) de los tableros de espesor tipo E-01 y E-02 respectivamente

Tabla N°4.23
Valores representativos del MOR en Tracción Perpendicular al plano – Tablero Espesor Tipo E-01

Muestras	Tipo	MOR (Kg/cm ²)	Media (Kg/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E01-01	01	5.143	5.163	0.510	10%
	02	4.595			
M01-E01-02	01	4.722			
	02	5.000			
M01-E01-03	01	5.915			
	02	5.600			
M02-E01-01	01	4.333	4.611	2.059	45%
	02	4.000			
M02-E01-02	01	6.667			
	02	1.333			
M02-E01-03	01	4.333			
	02	7.000			
M03-E01-01	01	5.667	5.556	2.941	53%
	02	7.000			
M03-E01-02	01	8.667			
	02	5.667			
M03-E01-03	01	6.333			
	02	0.000			

En la Tabla N° 4.23 y Figura N° 4.12 se presentan los resultados referentes al MOR en Tracción Perpendicular al plano, correspondiente al Tablero Espesor Tipo E-01 (12.5mm); en la que se muestra las mediciones sobre los ensayos de tracción perpendicular al plano; obteniéndose, una media de **5.163 Kg/cm²** para el tablero (M01), con una desviación estándar de ± 0.510 desviaciones y un coeficiente de variación de 10%; es decir, hay una dispersión pequeña respecto a la media. Indistintamente, se observa una media de **4.611 Kg/cm²** para el tablero (M02), con una desviación estándar de ± 2.059 desviaciones y un coeficiente de variación de 45%; es decir, las mediciones están ligeramente dispersas respecto a la media. Igualmente, se aprecia una media de **5.556 Kg/cm²** para el tablero (M03), con una desviación estándar de ± 2.941 desviaciones y un coeficiente de variación de 53%; es decir, hay una dispersión moderada respecto a la media. **En conclusión**, la tracción perpendicular al plano más alta es de **5.556 Kg/cm²** y corresponde al tablero M03 E-01 (12.5 mm) frente a los demás tableros M01 y M02 respectivamente.



Asimismo como se muestra en la Tabla N° 4.24, para este caso utilizó el análisis de varianza (ANOVA) porque según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, los datos sobre la resistencia de flexión estática proceden de una distribución normal; por cuanto, la razón de significancia para todas las muestras supera el alfa de 0,05 ($p=000 \geq 0,05$)

Tabla N° 4.24
Pruebas de normalidad

	Muestras	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia	M01	,182	6	,200 [*]	,944	6	,689
	M02	,220	6	,200 [*]	,910	6	,435
	M03	,348	6	,022	,834	6	,116

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
 a. Corrección de significación de Lilliefors

En tal sentido, según el análisis de varianza mostrado en la Tabla N° 4.25, se obtuvo una F calculada de 0,308 frente a una F tabular de 6.36 con un nivel de significación del 1% ($\alpha=0.01$); es decir, $F_{cal.}$ es menor que $F_{tab.}$ ($0.308 < 6.36$) y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($F_{cal.} > F_{tab.}$) a un nivel de significancia de 0,01 cuyo p-valor es mayor ($p=0.739 \geq 0.01$) No obstante, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la H_0 ; se concluye que **no existen** diferencias estadísticamente significativas entre las medias aritméticas de las muestras o tableros tipo E-01 sometidos a la prueba de tracción perpendicular al plano.

Tabla N° 4.25
Análisis de Varianza para la prueba de tracción perpendicular al plano de los tableros tipo E-01

Resistencia	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2702254,778	2	1351127,389	,308	,739
Dentro de grupos	65769138,833	15	4384609,256		
Total	68471393,611	17			

En relación a la prueba de hipótesis mostrado en la Tabla N° 4.26, según la prueba t de student; se obtuvo una t calculada de 10.802 frente a una t tabular de 1.33 con 17 grados de libertad a un nivel de significación del 1% ($\alpha=0.01$); es decir, $t_{cal.} = 10.802 > t_{tab.} = 1.33$ y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($t_{cal.} > t_{tab.}$) a un nivel de significancia de $p=0,01$ cuyo p-valor es menor ($p=0.000 \leq 0.01$); entonces, se acepta la hipótesis de investigación; concluyendo que la cascarilla de arroz y almidón como material ligante repercute significativamente en la tracción perpendicular al plano de los Paneles Aglomerados para la construcción en la región San Martín.

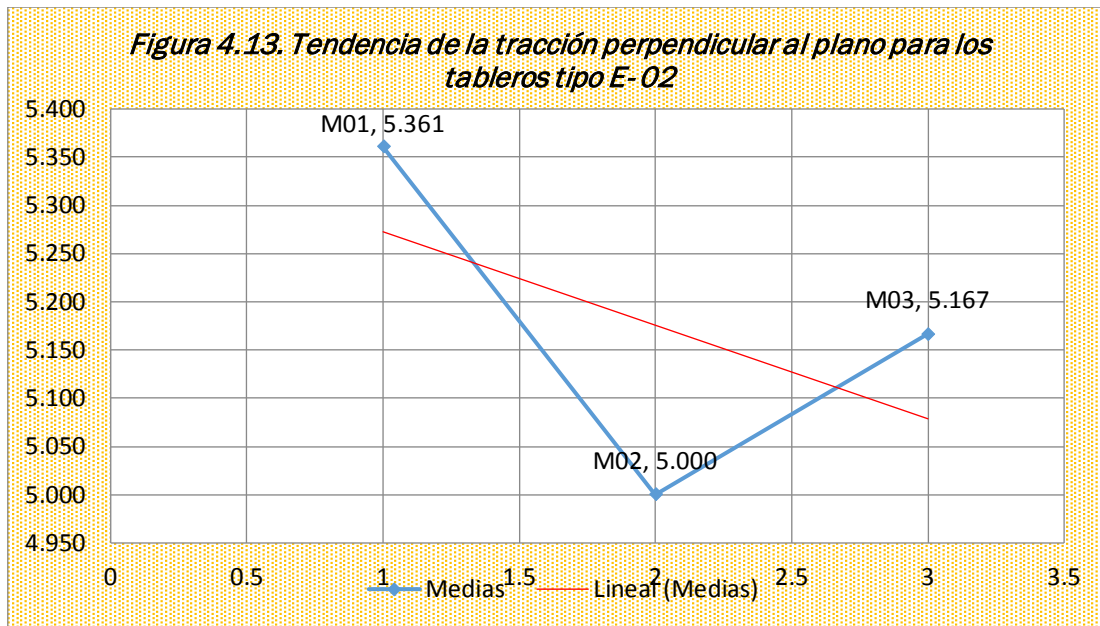
Tabla N° 4.26
Prueba de hipótesis

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Tracción Perpendicular al plano	10,802	17	,000	5.109,722	4.111,70	6.107,74

Tabla N° 4.27
Valores representativos del MOR en Tracción Perpendicular al plano – Tablero Espesor
Tipo E-02

Identificación de la Muestra	Tipo	MOR (Kg/cm ²)	Media (Kg/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
M01-E02-01	01	7.333	5.361	1.260	24%
	02	4.706			
M01-E02-02	01	6.400			
	02	4.127			
M01-E02-03	01	4.359			
	02	5.238			
M02-E02-01	01	5.000	5.000	0.667	13%
	02	3.667			
M02-E02-02	01	5.333			
	02	5.333			
M02-E02-03	01	5.333			
	02	5.333			
M03-E02-01	01	5.333	5.167	1.243	24%
	02	6.667			
M03-E02-02	01	6.333			
	02	5.000			
M03-E02-03	01	4.333			
	02	3.333			

En la Tabla N° 4.27 y Figura 4.13 se presentan los resultados referentes al MOR en Tracción Perpendicular al plano, correspondiente al Tablero Espesor Tipo E-02 (19 mm); en la que se muestra las mediciones sobre los ensayos de tracción perpendicular al plano; obteniéndose, una media de **5.361 Kg/cm²** para el tablero (M01), con una desviación estándar de ± 1.260 desviaciones y un coeficiente de variación de 24%; es decir, hay una dispersión pequeña en las mediciones respecto a la media. Asimismo, se observa una media de **5.000 Kg/cm²** para el tablero (M02), con una desviación estándar de ± 0.667 desviaciones y un coeficiente de variación de 13%; es decir, las mediciones son bastantes homogéneas y hay una pequeña variación respecto a la media. Igualmente, se aprecia una media de **5.167 Kg/cm²** para el tablero (M03), con una desviación estándar de ± 1.243 desviaciones y un coeficiente de variación de 24%; es decir, hay una dispersión pequeña respecto a la media. **En conclusión**, la tracción perpendicular al plano más alta es de **5.361 Kg/cm²** y corresponde al tablero M01 E-02 (19 mm) frente a los demás tableros M02 y M03 respectivamente.



Asimismo como se muestra en la Tabla N° 4.28, para este caso utilizó el análisis de varianza (ANOVA) porque según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, los datos sobre la tracción perpendicular al plano proceden de una distribución normal; por cuanto, la razón de significancia para casi todas las muestras supera el alfa de 0,05 ($p=000 \geq 0,05$)

Tabla N°4.28
Pruebas de normalidad

	Muestras	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tracción perpendicular al plano	M01	,205	6	,200*	,906	6	,408
	M02	,358	6	,016	,611	6	,001
	M03	,159	6	,200*	,968	6	,879

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En tal sentido, según el análisis de varianza mostrado en la Tabla N° 4.29, se obtuvo una F calculada de 0,164 frente a una F tabular de 6.36 con un nivel de significación del 1% ($\alpha=0.01$); es decir, $F_{cal.}$ es menor que $F_{tab.}$ ($0.164 < 6.36$) y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($F_{cal.} > F_{tab.}$) a un nivel de significancia de 0,01 cuyo p-valor es mayor ($p=0.850 \geq 0.01$) No obstante, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la H_0 ; concluyéndose que **no existen** diferencias estadísticamente significativas entre las medias aritméticas de las muestras o tableros tipo E-01 sometidos a la prueba de tracción perpendicular al plano.

Tabla N°4.29
Análisis de Varianza para la prueba de tracción perpendicular al plano de los tableros tipo E-01

Tracción Perpendicular al plano	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	390988,444	2	195494,222	,164	,850
Dentro de grupos	17883773,833	15	1192251,589		
Total	18274762,278	17			

Respecto a la prueba de hipótesis, mostrado en la Tabla N°4.30, en la prueba t de student; se obtuvo una t calculada de 21.179 frente a una t tabular de 1.33 con 17 grados de libertad a un nivel de significación del 1% ($\alpha=0.01$); es decir, $t_{cal.} = 21.179 > t_{tab.} = 1.33$ y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($t_{cal.} > t_{tab.}$) a un nivel de significancia de $p=0,01$ cuyo p-valor es menor ($p=0.000 \leq 0.01$); entonces, se acepta la hipótesis de investigación; concluyendo que la cascarilla de arroz y almidón como material ligante repercute significativamente en la tracción perpendicular al plano de los Paneles Aglomerados para la construcción en la región San Martín.

Cabe señalar que esta propiedad mecánica es el parámetro que mejor representa la calidad de la unión entre las partículas de la zona central del tablero. Durante este ensayo de tracción se aplican fuerzas iguales y contrarias, por las que las máximas tensiones se verifican en el centro del tablero. Dado que esta propiedad mecánica depende de la densidad del tablero, especialmente de la densidad de la zona central, al producir un panel con un gradiente de densidad menos pronunciada, se obtiene un incremento de la resistencia (Poblete, 1989)

Tabla N°4.30
Prueba de hipótesis

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Tracción Perpendicular al plano	21,179	17	,000	5.175,611	4.660,01	5.691,21

En la tabla 4.31 se presenta el resumen de los resultados referentes al módulo de tracción perpendicular al plano (MOR) cuya propiedad mecánica es el parámetro que mejor representa la calidad de la unión entre las partículas de la zona central del tablero. Además, esta propiedad depende de la densidad del tablero, especialmente de la densidad de la zona central, al producir un panel con un gradiente de densidad menos pronunciada, se obtiene un incremento de la resistencia (Poblete, 1989)

Tabla N°4.31
Resumen – Valores representativos del MOR en Tracción perpendicular al plano

Muestras	Tipo	MOR (Kg/cm ²)	MOR (N/mm ²)
M01	E01	5.163	0.506
	E02	5.361	0.526
M02	E01	4.611	0.452
	E02	5.000	0.490
M03	E01	5.556	0.545
	E02	5.167	0.507

En tal sentido, en esta tabla se observa tres muestras o tableros M01 (E-01 y E-02), M02 (E-01 y E-02) y M03 (E-01 y E-02) con sus respectivas medidas sobre la tracción perpendicular al plano; tanto en Kg/cm² como su equivalente en N/mm²; en donde se puede apreciar que tanto las probetas del tipo de espesor E-01 (12.5mm) como las del E-02 (19mm), superaron los valores mínimos de la Tabla N° 1.4 y N° 1.5 establecidos en la Norma EN 319 – Tracción perpendicular a las caras en tableros de partículas, cuyo valor es de 0.40 N/mm² para tableros de espesor entre 6 y 13mm y de 0.35N/mm² para tableros de espesor entre 13 y 20mm.

4.3.3. Resistencia al arranque de la superficie

En la Tabla N° 4.32 se presenta los resultados del ensayo de resistencia al arranque de la superficie (SS). Éste ensayo se realizó sólo a las probetas de la muestra M01, ya que éstas probetas fueron las únicas que superaron los valores mínimos establecidos para los ensayos de propiedades mecánicas descritos en la Tabla N° 1.5 – Tableros para aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para la utilización en ambiente seco.

Tabla N°4.32
Resultados del Ensayo de Resistencia al Arranque de Superficie - SS

Muestras	Carga de Rotura (Kg)	Área (cm ²)	SS (N/mm ²)	Media (N/mm ²)	Desviación Estándar	Coefficient e de variación
M01-E01-01	112.167	25.000	0.44	0.533	0.10	19%
M01-E01-02	163.152	25.000	0.64			
M01-E01-03	132.561	25.000	0.52			

En efecto, se observa la carga de rotura, el área de los tableros, la resistencia al arranque de superficie y las principales medidas estadísticas; destacando la media de 0.553 N/mm², con una desviación estándar de ±0.10 desviaciones y un coeficiente de variación del 19% de dispersión respecto a la media. Asimismo, se observa que el máximo valor obtenido es de 0.64N/mm², el cual **no supera** los valores mínimos de la Tabla N° 1.5 y que son establecidos en la Norma EN 311 –

Resistencia al arranque de superficie, que es de 0.8N/mm² para el espesor de 12.5mm.

Tabla N°4.33
Prueba de hipótesis

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Tracción perpendicular al plano	9,177	2	,012	.53333	.2833	.7834

Respecto a la prueba de hipótesis mostrado en la Tabla N° 4.33, según la prueba t de student; se obtuvo una t calculada de 9.177 frente a una t tabular de 2.919 con 2 grados de libertad a un nivel de significación del 5% ($\alpha=0.05$); es decir, $t_{cal.} = 9.177 > t_{tab.} = 2.919$ y según la regla de decisión estadística, se rechaza la H_0 cuando ($t_{cal.} > t_{tab.}$) a un nivel de significancia de $p=0,01$ cuyo p-valor es menor ($p=0.012 \leq 0.05$); entonces, se acepta la hipótesis de investigación; concluyendo que la cascarilla de arroz y almidón como material ligante repercute significativamente en la resistencia al arranque de la superficie de los Paneles Aglomerados para la construcción en la región San Martín



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ✓ En dimensión de los tableros en espesor; la variación no es muy significativa, ya que los valores obtenidos se encontraron dentro de la tolerancia aceptada por la Norma EN 324-1 – Tolerancias sobre las dimensiones nominales, que es $\pm 0.3\text{mm}$.
- ✓ Las densidades normales medias fueron de 0.532 gr/cm^3 para las muestras de espesor tipo E-01 y de 0.512 gr/cm^3 para las muestras de espesor tipo E-02, las cuales los ubican en el rango de clasificación de densidad media. Estos valores son similares debido a que los tableros se encuentran conformados por el mismo tipo de partículas y bajo las mismas condiciones de fabricación.
- ✓ Del perfil de densidad evaluado, se puede concluir que las zonas de mayor densidad corresponden a la superficie del tablero, produciéndose una disminución de densidad conforme se va llegando al centro del tablero.
- ✓ Los contenidos de humedad en equilibrio evaluados se encuentran en un rango promedio de 6.071% a 8.718%. Estos resultados están dentro de los límites permitidos por la Norma EN 322 – Contenido de Humedad, que es del 5% al 13%.
- ✓ La absorción de humedad que presentaron los tableros mostró que a mayor espesor se registra mayor porcentaje de absorción.
- ✓ En flexión estática, se obtuvo un valor más alto en el MOR en tableros de 12.5mm, en cuyo caso los valores superan las exigencias de la Norma Europea UNE-EN-312:2010 Especificaciones para Tableros de Partículas para Tableros de uso general para la utilización en ambiente seco (Tipo P1) y para Tableros para aplicaciones de interior (Incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco (Tipo P2).
- ✓ La resistencia a la tracción perpendicular a la superficie fue mayor en los tableros de 19.0mm y menor en los tableros de 12.5mm, con valores que superan en ambos casos los mínimos exigidos por la Norma EN 319 – Tracción perpendicular a las caras en tableros de partículas, cuyo valor es de 0.40 N/mm^2 para tableros de espesor entre 6 y 13mm y de 0.35 N/mm^2 para tableros de espesor entre 13 y 20mm.



- ✓ En la resistencia al arranque de la superficie, los valores obtenidos no superaron los mínimos establecidos en la Norma EN 311 – Resistencia al arranque de superficie, que es de $0.8N/mm^2$.

CONCLUSIÓN GENERAL

- ✓ Los tableros analizados cumplen los requisitos para las propiedades físicas y mecánicas especificados para los Tableros de uso general para utilización en ambiente seco (Tipo P1) y que son: Resistencia a la flexión y Cohesión interna o Tracción perpendicular a las caras.

Los tableros analizados no cumplen todos los requisitos para las propiedades mecánicas especificadas para Tableros para aplicaciones de interior (Incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco (Tipo P2), ya que el último ensayo (Resistencia al arranque de superficie) no alcanzó los valores mínimos que exige la Norma Europea UNE-EN-312:2010 – Especificaciones para Tableros de Partículas.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se ha comprobado con este trabajo de investigación que los tableros a base de partículas de cascarilla de arroz y almidón como ligante, tiene un comportamiento deficiente frente al agua. Se deja para posteriores investigaciones el ajuste de los procedimientos de fabricación usando el mismo material ligante para conseguir mejor unión entre las partículas, o el empleo de otro tipo de aglomerante que pueda adaptarse mejor a este tipo de material. Asimismo, logrando una mejor compactación entre las partículas, se podría aspirar a la clasificación Tipo P2, a través del ensayo de resistencia al arranque de la superficie.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Material (ASTM). 1991. Norma ASTM D 1037 - 91 Methods of test for building fiberboards evaluating properties. Philadelphia, EE.UU. (6):81-100
- Becerra M., J. 1976. Algunas características físicas y mecánicas de tableros de partículas producidos en México y sus posibles usos en la construcción. Ciencia Forestal. 1(2): 33 -40 México D.F.
- Cadena, C. & Bula, A. (2002). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte, 12(1), 8-9.
- Calero, F. & Vásquez, L. (2012). Desarrollo Experimental de un Aislante Térmico Utilizando Cascarilla de Arroz y Aglutinantes Naturales, en Planchas Rígidas. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí.
- Chanchí, J., Bonilla, D., Gaviria, J. & Giraldo, J. (2008). Ensayos a compresión y tensión diagonal sobre muretes hechos a base de papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Caldas, Colombia.
- Diario Gestión (2012, 13 de junio). “Multinacional de tableros Masisa planea instalar planta en Perú”. Recuperado de: <http://gestion.pe/2012/06/13/empresas/multinacional-tableros-masisa-planea-instalar-planta-peru-2005032>
- Dirección Regional de Agricultura San Martín, (2013). “Cultivo del arroz en cifras”, Tomado de <http://www.agrodrasam.gob.pe/sites/default/files/Cultivodearrozencifras-diciembre%202013.pdf>
- Francisco Tello Perú SAC, (2009). “Oferta de biomasa de arroz”. Investigación realizada en la provincia de Tarapoto, Región San Martín.
- Grupo Gloria. Recuperado de: <http://www.grupogloria.com/tapesa.html>
- Manzano, A. (2000). “Propiedades físico-mecánicas de tableros aglomerados de partículas de 12, 16 y 19 mm de una empresa del estado de Durango”. (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, México). Tomado de: <http://www.chapingo.mx/dicifo/tesislic/2000/Manzano%20Sosa%20Ade%20laida%202000.pdf>
- Medina, J. C. & Ambrogi, A. 1994. Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados. Rev. Quebracho (2), 47-53



- Ministerio de Agricultura del Perú, (2013). “El Arroz Principales Aspectos de la Cadena Agro productiva”. Tomado de http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomia_arroz_final2013.pdf
- Norma Europea UNE - EN 309. Tableros de Partículas, Definición y clasificación. Noviembre, 2006.
- Norma Europea UNE - EN 310. Determinación de Módulo de Elasticidad en Flexión y de Resistencia a la Flexión. Marzo, 1994.
- Norma Europea UNE - EN 311. Arranque de la superficie de los tableros. Setiembre, 2002.
- Norma Europea UNE - EN 312. Tableros de partículas, Especificaciones. Noviembre, 2010.
- Norma Europea UNE - EN 317. Determinación de la Hinchazón en Espesor después de Inmersión en Agua. Marzo, 1994.
- Norma Europea UNE - EN 319. Determinación de la Resistencia a la Tracción Perpendicular a las Caras del Tablero. Marzo, 1994.
- Norma Europea UNE - EN 322. Determinación del Contenido de Humedad. Marzo, 1994.
- Norma Europea UNE - EN 326-1. Muestreo, despiece e inspección. Mayo, 1995.
- Poblete, H. 1979. Inclusión de aserrín en tableros de partículas. BOSQUE 3(1): 39-46, Valdivia, Chile.
- Rivarola, A., Rojo, L., Gardey, M. & Arena, A. (2006). “Materiales alternativos para la fabricación de placas de aglomerado”. Universidad Tecnológica Nacional, San Rafael, Mendoza) Tomado de: <http://www.frlp.utn.edu.ar/lemac/Publicaciones/Del%202006/DESARROLLO%20Y%20AVANCES%20TECNOLOGICOS/30%20-%20MENDOZA%20-%20Materiales%20alternativos%20para%20placas%20de%20aglomerado.pdf>
- Sierra, J. (2009). Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia.
- Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A. & Leao, A. (2008). “Elaboración de tableros de partícula fina a partir de residuos lignocelulósicos y resinas termoestables”
- Valverde, A., Sarria, B. & Monteagudo, J. (2007). “Análisis comparativo de las características físico químicas de la cascarilla de arroz”. Universidad



Tecnológica de Pereira, *Scientia et Technica* 13 (37), 255-259. Tomado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/4055/2213>

Villegas, C. (2012). Tesis para optar el título de Maestro en Tecnología de la Construcción: “Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo costo”, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú

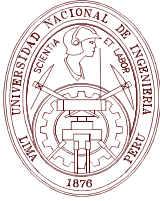


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales
"Ing. Manuel Gonzáles de la Cotera"

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN

MUESTRAS	ESPESOR	PROBETA	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	
			Carga de Rotura (Kg)	MOR (Kg/cm ²)
M01	E01 = 1/2"	01	44.00	133.39
			38.00	115.20
		02	41.00	124.29
			38.00	115.20
		03	38.00	115.20
			44.00	133.39
	E02 = 3/4"	01	10.00	24.60
			8.50	20.91
		02	8.00	19.68
			8.50	20.91
		03	9.00	22.14
			8.00	19.68
M02	E01 = 1/2"	01	28.00	84.88
			30.00	90.95
		02	32.00	97.01
			32.00	97.01
		03	30.00	90.95
			24.00	72.76
	E02 = 3/4"	01	8.00	19.68
			9.00	22.14
		02	6.00	14.76
			5.00	12.30
		03	6.00	14.76
			6.00	14.76
M03	E01 = 1/2"	01	24.00	72.76
			27.00	81.85
		02	23.00	69.73
			22.00	66.69
		03	20.00	60.63
			20.00	60.63
	E02 = 3/4"	01	5.00	12.30
			5.00	12.30
		02	5.00	12.30
			8.00	19.68
		03	5.00	12.30
			5.00	12.30



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales
 "Ing. Manuel Gonzáles de la Cotera"

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN

MUESTRAS	ESPESOR	PROBETA	REGISTRO DE DATOS	
			Carga de Rotura (Kg)	Deformación de la probeta (mm)
M01	E01 = 1/2"	01	0.00	0.00
			10.00	3.00
			20.00	5.00
			30.00	8.00
			44.00	13.00
			0.00	0.00
			10.00	3.00
			20.00	6.00
			30.00	10.00
			38.00	12.50
		02	0.00	0.00
			10.00	3.00
			20.00	6.00
			30.00	9.00
			41.00	12.00
			0.00	0.00
			10.00	2.00
			20.00	5.00
			30.00	9.00
			38.00	11.00
		03	0.00	0.00
			10.00	3.00
			20.00	8.00
			30.00	9.00
38.00	12.50			
0.00	0.00			
10.00	3.00			
20.00	5.00			
30.00	9.00			
44.00	13.00			



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales
 "Ing. Manuel Gonzáles de la Cotera"

RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR A LAS CARAS

MUESTRAS	ESPESOR	PROBETA	ENSAYOS DE TRACCIÓN PERPENDICULAR A LAS CARAS		
			Carga de Rotura (Kg)	Dimensiones de la probeta	Tracción perpendicular a la superficie
M01	E01 = 1/2"	01	36.00	7.00	5.14
			34.00	7.40	4.59
		02	34.00	7.20	4.72
			30.00	6.00	5.00
		03	42.00	7.10	5.92
			42.00	7.50	5.60
	E02 = 3/4"	01	44.00	6.00	7.33
			32.00	6.80	4.71
		02	32.00	5.00	6.40
			26.00	6.30	4.13
		03	34.00	7.80	4.36
			44.00	8.40	5.24
M02	E01 = 1/2"	01	26.00	6.00	4.33
			24.00	6.00	4.00
		02	40.00	6.00	6.67
			8.00	6.00	1.33
		03	26.00	6.00	4.33
			42.00	6.00	7.00
	E02 = 3/4"	01	30.00	6.00	5.00
			22.00	6.00	3.67
		02	32.00	6.00	5.33
			32.00	6.00	5.33
		03	32.00	6.00	5.33
			32.00	6.00	5.33
M03	E01 = 1/2"	01	34.00	6.00	5.67
			42.00	6.00	7.00
		02	52.00	6.00	8.67
			34.00	6.00	5.67
		03	38.00	6.00	6.33
			0.00	6.00	0.00
	E02 = 3/4"	01	32.00	6.00	5.33
			40.00	6.00	6.67
		02	38.00	6.00	6.33
			30.00	6.00	5.00
		03	26.00	6.00	4.33
			20.00	6.00	3.33



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CIUDAD UNIVERSITARIA - MORALES
MORALES - PERU



Proyecto: EFECTO DE LA UTILIZACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y ALMIDON COMO LIGANTE EN LA RESISTENCIA DE PANELES AGLOMERADOS DE USO EN LA CONSTRUCCIÓN

Localización del Proyecto: DISTRITO DE TARAPOTO Muestra: Paneles de cascarilla de Arroz

Descripción del Espécimen: Panel Aglomerado de Cascarilla de Arroz Espécimen N°: 1.00

Hecho Por : Tesista. Lizbeth Casas Sandoval Muestra: M1 -E1-01 Fecha: 26/09/2015

Transporte de la Muestra : Tesista : SI Fecha de Recepción: 18/09/2015 Fecha De empleo Ensayo : 20/09/2015

Fecha de Solicitud de ensayo: 19/09/2015 Fecha Termino Ensayo : 26/09/2015

Determinación del Contenido de Humedad en Equilibrio ASTM 2216 - N.T.P. 339.127 - UNE - EN 323: 1993 - Norma UNE - EN 322: 1993

Muestra N°	1	2
PESO DEL ESPÉCIMEN HUMEDO grs.	71.92	71.35
PESO DEL ESPÉCIMEN SECO grs.	67.82	67.25
PESO DEL AGUA grs	4.10	4.10
% DE HUMEDAD	6.05	6.10
PROMEDIO % DE HUMEDAD	6.07	

Densidad Normal del tablero

Muestra N°	1	2
PESO DE LA PROBETA grs.	69.45	70.71
VOLUMEN DE LA PROBETA cm ³	137.07	135.76
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.51	0.52
PROMEDIO DENSIDAD	0.51	

Perfil de Densidad del tablero

Muestra N°	1	2	Altura de la Probeta
PESO DE LA PROBETA grs.	11.600	11.650	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.952	23.104	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.505	0.504	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.580	11.560	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.952	22.952	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.505	0.504	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.300	11.250	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	23.104	22.800	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.489	0.493	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.150	11.100	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.800	22.952	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.489	0.484	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.300	11.320	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	23.104	23.104	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.489	0.490	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.580	11.590	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.952	23.104	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.505	0.502	

Absorción del tablero

Muestra N°	1	2
PESO INICIAL DE LA PROBETA grs.	64.42	64.25
PESO FINAL DE LA PROBETA (2 Horas) grs.	65.45	65.30
PESO FINAL DE LA PROBETA (24 Horas) grs.	68.45	68.56
ABSORCIÓN DE LA PROBETA % 2 HORAS	1.60	1.63
ABSORCIÓN DE LA PROBETA % 24 HORAS	6.26	6.71
PROMEDIO ABSORCIÓN %	6.48	

Cambios Dimensionales

Muestra N°	1	2
ALTURA INICIAL DE LA PROBETA mm	1.250	1.250
ALTURA FINAL DE LA PROBETA mm (2 Horas)	1.999	1.996
ALTURA FINAL DE LA PROBETA mm (24 Horas)	2.998	2.997
ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA mm (24 Horas)	3.00	

OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CIUDAD UNIVERSITARIA - MORALES
MORALES - PERU



Proyecto: EFECTO DE LA UTILIZACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y ALMIDON COMO LIGANTE EN LA RESISTENCIA DE PANELES AGLOMERADOS DE USO EN LA CONSTRUCCIÓN

Localización del Proyecto: DISTRITO DE TARAPOTO Muestra: Paneles de cascarilla de Arroz

Descripción del Espécimen: Panel Aglomerado de Cascarilla de Arroz Espécimen N°: 2.00

Hecho Por : Tesista. Lizbeth Casas Sandoval Muestra: M1 -E1-02 Fecha: 26/09/2015

Transporte de la Muestra : Tesista : SI Fecha de Recepción: 18/09/2015 Fecha De empleo Ensayo : 20/09/2015

Fecha de Solicitud de ensayo: 19/09/2015 Fecha Termino Ensayo : 26/09/2015

Determinación del Contenido de Humedad en Equilibrio ASTM 2216 - N.T.P. 339.127 - UNE - EN 323: 1993 - Norma UNE - EN 322: 1993

Muestra N°	1	2
PESO DEL ESPÉCIMEN HUMEDO grs.	73.72	73.56
PESO DEL ESPÉCIMEN SECO grs.	67.82	67.65
PESO DEL AGUA grs	5.90	5.91
% DE HUMEDAD	8.70	8.74
PROMEDIO % DE HUMEDAD	8.71782029	

Densidad Normal del tablero

Muestra N°	1	2
PESO DE LA PROBETA grs.	71.92	71.90
VOLUMEN DE LA PROBETA cm ³	141.56	139.13
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.51	0.52
PROMEDIO DENSIDAD	0.51	

Perfil de Densidad del tablero

Muestra N°	1	2	Altura de la Probeta
PESO DE LA PROBETA grs.	11.580	11.560	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	23.104	23.104	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.501	0.500	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.450	11.400	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.470	22.770	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.510	0.501	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.220	11.050	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.800	22.470	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.492	0.492	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.120	11.110	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.470	22.952	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.495	0.484	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.280	11.350	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.952	22.770	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.491	0.498	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.550	11.570	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.800	22.770	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.507	0.508	

Absorción del tablero

Muestra N°	1	2
PESO INICIAL DE LA PROBETA grs.	64.38	64.52
PESO FINAL DE LA PROBETA (2 Horas) grs.	65.12	65.25
PESO FINAL DE LA PROBETA (24 Horas) grs.	68.56	68.54
ABSORCIÓN DE LA PROBETA % 2 HORAS	1.15	1.13
ABSORCIÓN DE LA PROBETA % 24 HORAS	6.49	6.23
PROMEDIO ABSORCIÓN %	6.36	

Cambios Dimensionales

Muestra N°	1	2
ALTURA INICIAL DE LA PROBETA mm	1.250	1.240
ALTURA FINAL DE LA PROBETA mm (2 Horas)	1.994	1.993
ALTURA FINAL DE LA PROBETA mm (24 Horas)	2.992	2.994
ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA mm (24 Horas)	2.993	

OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CIUDAD UNIVERSITARIA - MORALES
MORALES - PERU



Proyecto: EFECTO DE LA UTILIZACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y ALMIDON COMO LIGANTE EN LA RESISTENCIA DE PANELES AGLOMERADOS DE USO EN LA CONSTRUCCIÓN

Localización del Proyecto: DISTRITO DE TARAPOTO

Descripción del Espécimen: Panel Aglomerado de Cascarilla de Arroz

Muestra: Paneles de cascarilla de Arroz

Hecho Por : Tesista. Lizbeth Casas Sandoval

Muestra: M1 -E1-03

Espécimen N°: 1.00

Fecha: 26/09/2015

Transporte de la Muestra : Tesista : SI

Fecha de Recepción: 18/09/2015

Fecha de Solicitud de ensayo: 19/09/2015

Fecha De empleo Ensayo : 20/09/2015

Fecha Termino Ensayo : 26/09/2015

Determinación del Contenido de Humedad en Equilibrio ASTM 2216 - N.T.P. 339.127 - UNE - EN 323: 1993 - Norma UNE - EN 322: 1993

Muestra N°	1	2
PESO DEL ESPÉCIMEN HUMEDO grs.	73.80	73.61
PESO DEL ESPÉCIMEN SECO grs.	67.85	67.12
PESO DEL AGUA grs	5.95	6.49
% DE HUMEDAD	8.77	8.55
PROMEDIO % DE HUMEDAD	8.66	

Densidad Normal del tablero

Muestra N°	1	2
PESO DE LA PROBETA grs.	77.61	78.04
VOLUMEN DE LA PROBETA cm ³	137.07	135.76
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.57	0.57
PROMEDIO DENSIDAD	0.57	

Perfil de Densidad del tablero

Muestra N°	1	2	Altura de la Probeta
PESO DE LA PROBETA grs.	11.620	11.550	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	23.104	23.104	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.503	0.500	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.380	11.450	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.650	22.800	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.502	0.502	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.120	11.120	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.770	22.620	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.488	0.492	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.100	11.080	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.500	22.470	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.493	0.493	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.450	11.230	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	22.952	22.650	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.499	0.496	
PESO DE LA PROBETA grs.	11.580	11.650	2.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	23.104	22.650	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.501	0.514	

Absorción del tablero

Muestra N°	1	2
PESO INICIAL DE LA PROBETA grs.	69.85	68.12
PESO FINAL DE LA PROBETA (2 Horas) grs.	70.05	69.56
PESO FINAL DE LA PROBETA (24 Horas) grs.	73.25	73.14
ABSORCIÓN DE LA PROBETA % 2 HORAS	0.29	2.11
ABSORCIÓN DE LA PROBETA % 24 HORAS	4.87	7.37
PROMEDIO ABSORCIÓN %	6.12	

Cambios Dimensionales

Muestra N°	1	2
ALTURA INICIAL DE LA PROBETA mm	1.250	1.250
ALTURA FINAL DE LA PROBETA mm (2 Horas)	1.999	1.996
ALTURA FINAL DE LA PROBETA mm (24 Horas)	2.998	2.997
ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA mm (24 Horas)	3.00	

OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CIUDAD UNIVERSITARIA - MORALES
MORALES - PERU



Proyecto: EFECTO DE LA UTILIZACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y ALMIDON COMO LIGANTE EN LA RESISTENCIA DE PANELES AGLOMERADOS DE USO EN LA CONSTRUCCIÓN

Localización del Proyecto: DISTRITO DE TARAPOTO

Descripción del Espécimen: Panel Aglomerado de Cascarilla de Arroz

Hecho Por : Tesista. Lizbeth Casas Sandoval

Muestra: M1 -E2 -01

Espécimen N°: 1.00

Fecha: 26/09/2015

Transporte de la Muestra : Tesista : SI

Fecha de Recepción: 18/09/2015 Fecha De empleo Ensayo : 20/09/2015

Fecha de Solicitud de ensayo: 19/09/2015 Fecha Termino Ensayo : 26/09/2015

Densidad Normal del tablero

Muestra N°M1 -E02-01	1	2
PESO DE LA PROBETA grs.	125.00	121.00
VOLUMEN DE LA PROBETA cm ³	218.04	221.80
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.57	0.55
PROMEDIO DENSIDAD	0.56	

Perfil de Densidad del tablero

Muestra N°	1	2	Altura de la Probeta
PESO DE LA PROBETA grs.	20.500	20.480	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.428	34.656	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.595	0.591	
PESO DE LA PROBETA grs.	20.100	20.050	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.428	34.428	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.584	0.582	
PESO DE LA PROBETA grs.	19.900	19.700	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.656	34.200	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.574	0.576	
PESO DE LA PROBETA grs.	19.950	19.680	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.200	34.428	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.583	0.572	
PESO DE LA PROBETA grs.	20.200	20.150	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.656	34.656	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.583	0.581	
PESO DE LA PROBETA grs.	20.600	20.450	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.428	34.656	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.598	0.590	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CIUDAD UNIVERSITARIA - MORALES
MORALES - PERU



Proyecto: EFECTO DE LA UTILIZACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y ALMIDON COMO LIGANTE EN LA RESISTENCIA DE PANELES AGLOMERADOS DE USO EN LA CONSTRUCCIÓN

Localización del Proyecto: DISTRITO DE TARAPOTO Muestra: Paneles de cascarilla de Arroz

Descripción del Espécimen: Panel Aglomerado de Cascarilla de Arroz Espécimen N°: 2.00

Hecho Por : Tesista. Lizbeth Casas Sandoval Muestra: M1 -E2-02 Fecha: 26/09/2015

Transporte de la Muestra : Tesista : SI Fecha de Recepción: 18/09/2015 Fecha De empleo Ensayo : 20/09/2015

Fecha de Solicitud de ensayo: 19/09/2015 Fecha Termino Ensayo : 26/09/2015

Densidad Normal del tablero

Muestra N°M1 -E2-02	1	2
PESO DE LA PROBETA grs.	105.00	115.00
VOLUMEN DE LA PROBETA cm ³	220.91	210.67
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.48	0.55
PROMEDIO DENSIDAD	0.51	

Perfil de Densidad del tablero

Muestra N°	1	2	Altura de la Probeta
PESO DE LA PROBETA grs.	17.500	17.490	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.200	34.200	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.512	0.511	
PESO DE LA PROBETA grs.	17.250	17.220	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.200	34.154	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.504	0.504	
PESO DE LA PROBETA grs.	17.060	17.000	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.656	34.200	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.492	0.497	
PESO DE LA PROBETA grs.	17.050	17.020	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.200	34.656	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.499	0.491	
PESO DE LA PROBETA grs.	17.280	17.380	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.428	34.154	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.502	0.509	
PESO DE LA PROBETA grs.	17.450	17.480	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.200	34.154	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.510	0.512	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CIUDAD UNIVERSITARIA - MORALES
MORALES - PERU



Proyecto: EFECTO DE LA UTILIZACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y ALMIDON COMO LIGANTE EN LA RESISTENCIA DE PANELES AGLOMERADOS DE USO EN LA CONSTRUCCIÓN

Localización del Proyecto: DISTRITO DE TARAPOTO Muestra: Paneles de cascarilla de Arroz

Descripción del Espécimen: Panel Aglomerado de Cascarilla de Arroz Espécimen N°: 1.00

Hecho Por : Tesista. Lizbeth Casas Sandoval Muestra: M1 -E2-03 Fecha: 26/09/2015

Transporte de la Muestra : Tesista : SI Fecha de Recepción: 18/09/2015 Fecha De inicio Ensayo : 20/09/2015

Fecha de Solicitud de ensayo: 19/09/2015 Fecha Termino Ensayo : 26/09/2015

Densidad Normal del tablero

Muestra N°M1 -E2-03	1	2
PESO DE LA PROBETA grs.	170.00	151.00
VOLUMEN DE LA PROBETA cm ³	232.56	218.04
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.73	0.69
PROMEDIO DENSIDAD	0.71	

Perfil de Densidad del tablero

Muestra N°	1	2	Altura de la Probeta
PESO DE LA PROBETA grs.	26.100	25.300	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.656	34.656	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.753	0.730	
PESO DE LA PROBETA grs.	24.890	24.500	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.656	34.656	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.718	0.707	
PESO DE LA PROBETA grs.	23.650	23.400	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.656	34.656	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.682	0.675	
PESO DE LA PROBETA grs.	23.350	23.450	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.656	34.656	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.674	0.677	
PESO DE LA PROBETA grs.	25.200	24.700	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.656	34.428	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.727	0.717	
PESO DE LA PROBETA grs.	26.300	25.200	3.00 mm
VOLUMEN DE LA PROBETA grs.	34.656	34.428	
DENSIDAD DE LA PROBETA gr/cm ³	0.759	0.732	



Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D1037; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

INTRODUCTION

The test methods presented herein have been developed and are presented to serve two distinct purposes. They are divided into two parts.

Part A. General Test Methods for Evaluating the Basic Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials—Part A is for use in obtaining basic properties suitable for comparison studies with other materials of construction. These refined test methods are applicable for this purpose to all materials covered by Definitions **D1554**.

Part B. Acceptance and Specification Test Methods for Hardboard—Part B is for specific use in specifications for procurement and acceptance testing of hardboard. These test methods are generally employed for those purposes in the industry. By confining their intended use as indicated, it has been possible to achieve adequate precision of results combined with economy and speed in testing, which are desirable for specification use.

The choice between a particular test method and its alternative should be made with a full understanding of the intended purpose of each, because values obtained from tests may, in some cases, differ. Of the test methods presented in both parts, some have been in generally accepted use for many years, some are modifications and refinements of previously developed test methods, and some are more recent developments. Where test methods are suitable for more than one of the purposes, they are delineated in Part A, but not repeated in Part B. It is the intent that reference to the appropriate section of the test method shall suffice in specifications developed for the different materials.

1. Scope

1.1 *Part A—General Test Methods for Evaluating the Basic Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.* These test methods cover the determination of the properties of wood-base fiber and particle panel materials that are produced as mat-formed panels such as particleboard, medium-density fiberboard, hardboard, and oriented strand board.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee **D07** on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee **D07.03** on Panel Products.

Current edition approved May 1, 2012. Published June 2012. Originally approved in 1949. Last previous edition approved in 2006 as D1037 – 06a. DOI: 10.1520/D1037-12.

	Section
Significance and Use	3
Apparatus	4
Test Specimens	5
Moisture Content and Conditioning Requirements	6
Accelerated Aging	7
Size, Physical Properties and Appearance of Panels	8
Static Bending	9
Tension Parallel to Surface	10
Tension Perpendicular to Surface	11
Compression Parallel to Surface	12
<i>Fastener Holding Tests:</i>	
Lateral Nail Resistance	13
Nail Withdrawal	14
Nail-Head Pull-Through	15
Direct Screw Withdrawal	16
Hardness	17
Hardness Modulus	18

	Section
Shear in the Plane of the Panel	19
Glue-Line Shear (Block Type)	20
Falling Ball Impact	21
Abrasion Resistance by the U.S. Navy Wear Tester	22
<i>Moisture Tests:</i>	
Water Absorption and Thickness Swelling	23
Linear Expansion with Change in Moisture Content	24
Cupping and Twisting	25
Interlaminar Shear	26
Edgewise Shear	27
Compression-Shear	28

1.2 *Part B—Acceptance and Specification Test Methods for Hardboard.* The methods for Part B provide test procedures for measuring the following properties of hardboard:

	Section
Thickness	32
Modulus of Rupture	33
Tension Strength Parallel to Surface	34
Tension Strength Perpendicular to Surface	35
Water Absorption and Thickness Swelling	36
Moisture Content and Specific Gravity	37

1.3 There are accepted basic test procedures for various fundamental properties of materials that may be used without modification for evaluating certain properties of wood-based fiber and particle panel materials. These test methods are included elsewhere in the *Annual Book of ASTM Standards*. The pertinent ones are listed in Table 1. A few of the test methods referenced are for construction where the wood-base materials often are used.

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI equivalents are approximate in many cases. 1 in. = 25.4 mm, 1 lbf = 4.45 N.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- [C273 Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials](#)
- [D143 Test Methods for Small Clear Specimens of Timber](#)
- [D905 Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading](#)
- [D1554 Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials](#)
- [D2395 Test Methods for Density and Specific Gravity \(Relative Density\) of Wood and Wood-Based Materials](#)
- [D2915 Practice for Sampling and Data-Analysis for Structural Wood and Wood-Based Products](#)
- [D3043 Test Methods for Structural Panels in Flexure](#)
- [D3501 Test Methods for Wood-Based Structural Panels in Compression](#)
- [D4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials](#)

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

TABLE 1 Basic Test Procedures for Evaluating Properties of Wood Base-Fiber and Particle Panel Materials

ASTM Designation	Test Methods for
C177	Steady-State Heat-Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus ^A
C209	Cellulosic Fiber Insulating Board ^A
C236	Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of the Guarded Hot Box ^A
C384	Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method ^A
C423	Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method ^A
D149	Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies ^B
D150	A-C Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulating Materials ^B
D257	D-C Resistance or Conductance of Insulating Materials ^B
D495	High-Voltage, Low-Current, Dry Arc Resistance of Solid Electrical Insulation ^B
D1666	Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Materials ^C
D1761	Mechanical Fasteners in Wood ^C
E72	Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction ^D
E84	Surface Burning Characteristics of Building Materials ^D
E90	Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions ^A
E96	Water Vapor Transmission of Materials ^A
E97	Directional Reflectance Factor, 45-deg 0-deg, of Opaque Specimens by Broad-Band Filter Reflectometry ^E
E119	Fire Tests of Building Construction and Materials ^D
E136	Behavior of Materials in a Vertical Tube Furnace at 750°C ^D
E152	Fire Tests of Door Assemblies ^D
E162	Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source ^D
E661	Performance of Wood and Wood-Based Floor and Roof Sheathing Under Concentrated Static and Impact Loads ^D
E662	Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials ^D
E906	Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products ^D

^A *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.06.
^B *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.
^C *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.10.
^D *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.07.
^E *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

- [E4 Practices for Force Verification of Testing Machines](#)
- [E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method](#)

PART A—GENERAL TEST METHODS FOR EVALUATING THE BASIC PROPERTIES OF WOOD-BASE FIBER AND PARTICLE PANEL MATERIALS

3. Significance and Use

3.1 These test methods cover small-specimen tests for wood-base fiber and particle panel materials that are made to provide:

3.2 Data for comparing the mechanical and physical properties of various materials,

3.3 Data for determining the influence on the basic properties of such factors as raw material and processing variables, post-treatments of panels, and environmental influences, and

3.4 Data for manufacturing control, product research and development, and specification acceptance.

3.5 Not all the tests outlined in these test methods may be necessary to evaluate any particular panel for any specified use. In each instance, therefore, it will be necessary to determine which tests shall be made.

4. Apparatus

4.1 *Testing Machine*—For strength and fastener holding tests, any standard testing machine (see **Note 1**) capable of applying and measuring the load with an error not to exceed $\pm 1.0\%$ shall be used as provided in Practices **E4**.

NOTE 1—Some testing machines operated at speeds allowed in these test procedures without proper damping devices or in need of adjustment may yield values in error because of “follow-through” due to mass inertia effects in the weighing system. Care must be exercised in the selection of testing machines so that values obtained from test are not in error more than the amount stipulated.

5. Test Specimens

5.1 The number of specimens to be chosen for test and the method of their selection depend on the purpose of the particular tests under consideration, so that no general rule can be given to cover all instances. It is recommended that whenever possible, a sufficient number of tests be made to permit statistical treatment of the test data (see **Note 2**). In the evaluation of a panel material, specimens for test should be obtained from a representative number of panels. In properties reflecting differences due to the machine direction of the panel, specimens from each panel shall be selected both with the long dimension parallel to the long dimension of the panel, and with the long dimension perpendicular to the long dimension of the panel.

NOTE 2—Guidance on statistical sampling is provided in Practice **D2915**.

6. Moisture Content and Conditioning Requirements

6.1 The physical and mechanical properties of building panels depend on the moisture content at time of test.

6.2 The moisture conditioning selection for each test procedure within this standard depends upon the purpose of the particular tests under consideration. All specimens within each test sample shall be conditioned as required to meet the specific test objectives.

6.3 The following moisture conditioning regimens are commonly employed with the test procedures of this standard:

6.3.1 *Dry “As Received”*—Specimens to be tested “as received” shall be tested without supplemental conditioning to alter the moisture content.

6.3.2 *Dry “Conditioned”*—Specimens to be tested air-dry shall be conditioned to a constant weight and moisture content in a conditioning chamber maintained at a relative humidity of $65 \pm 5\%$ and a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) (See **Note 3**).

NOTE 3—This conditioning regime represents a common standard for wood and wood-based materials.

6.3.3 *Water Soaked*—Specimens to be tested in the soaked condition shall be submerged in water at $68 \pm 2^\circ\text{F}$ ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) for 24-h (see **Note 4**) before the test and shall be tested within 30 minutes upon removal from the water.

NOTE 4—When it is desired to obtain the effect of complete saturation, the specimens shall be soaked for a longer period.

6.3.4 *Accelerated Aging*—Accelerated aging cycles shall be completed per Section **7** of this standard.

6.3.5 *Other*—Other conditioning methods that are designed to meet the test objectives may be employed provided that they are clearly described in the test report.

6.4 Specimens shall be subjected to the conditioning regimens of section **6.3** after they have been cut to the final dimensional sizes required for the test procedures within this standard.

6.5 When water soaked conditioning (section **6.3.3**), accelerated aging conditioning (section **6.3.4**) or other conditioning method is employed to simulate an application moisture exposure:

6.5.1 The sample dimensions and weights shall be recorded before and after conditioning. Any computed properties shall be reported based upon both the pre-conditioned dimensions or weight, or both, and upon the dimensions or weight, or both, after the moisture conditioning treatment.

6.5.2 If the objective is to estimate the relative change in a property due to the moisture conditioning treatment, a matched set of material shall be tested in the dry (section **6.3.1** or **6.3.2**) condition. The conditioning treatment selected for the matched set shall be based upon the test objectives.

6.6 For all testing within this standard, the moisture conditioning method selected and resulting test sample moisture contents shall be reported.

7. Accelerated Aging

7.1 Scope and Significance

7.1.1 The accelerated aging treatment is one possible conditioning treatment (see Section **6**) and is used to obtain a measure of the inherent ability of a material to withstand severe exposure conditions and maintain its mechanical and physical properties. Appropriate specimens shall be prepared and subjected to the six cycles of accelerated aging before the property is evaluated. The cycling exposure is a simulated condition developed to evaluate how a material will stand up under aging conditions.

NOTE 5—All of the tests listed in this standard may not be required for any specific investigation or specification. Static bending (Section **9**), nail-holding (Sections **13 – 15**), and water absorption and thickness swelling (Section **23**) tests are usually sufficient to evaluate the resistance of a wood-base panel material to aging. In some instances it may be desirable to evaluate the effect of accelerated aging on some other property, including properties outside the scope of this standard.

7.2 Test Specimens

7.2.1 The test specimens shall be cut to size for testing and dimensions or weight measured, or both, as specified in the pertinent sections of this standard before being subjected to the cyclic exposure listed in section **7.3**. When tests involving fasteners are made, the fasteners shall be driven prior to the aging exposure. Corrosion-resistant fasteners shall be used because extractives or other materials present will corrode ordinary steel fasteners.

7.3 Accelerated Aging Cycles

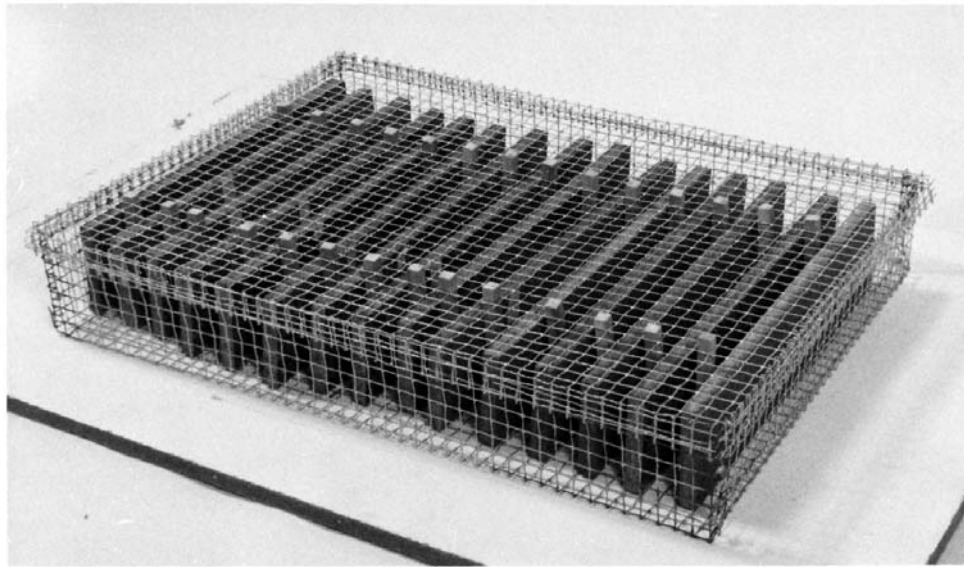


FIG. 1 Specimens Supported Vertically in Rack

7.3.1 Subject each specimen to six complete cycles of accelerated aging. If the cycle is to be broken, as for a weekend, the break shall be made during the freezing portion of the cycle. Each cycle shall consist of the following:

7.3.2 Immersion in water at $120 \pm 3^\circ\text{F}$ ($49 \pm 2^\circ\text{C}$) for 1 h,

7.3.3 Exposure to steam and water vapor at $200 \pm 5^\circ\text{F}$ ($93 \pm 3^\circ\text{C}$) for 3 h,

7.3.4 Freezing at $10 \pm 5^\circ\text{F}$ ($-12 \pm 3^\circ\text{C}$) for 20 h,

7.3.5 Heating at $210 \pm 3^\circ\text{F}$ ($99 \pm 2^\circ\text{C}$) in dry air for 3 h,

7.3.6 Exposure again to steam and water vapor at $200 \pm 5^\circ\text{F}$ ($93 \pm 3^\circ\text{C}$) for 3 h, and

7.3.7 Heating in dry air at $210 \pm 3^\circ\text{F}$ ($99 \pm 2^\circ\text{C}$) for 18 h.

7.3.8 After the completion of the six-cycle accelerated aging the specimens shall be conditioned at a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) and a relative humidity of $65 \pm 2\%$ for at least 48 h before testing.

7.4 Handling and Support of Specimens During Exposure

7.4.1 The specimens shall be supported vertically in racks during accelerated aging. One example is shown in Fig. 1. Specimens shall fit in the racks loosely with at least 1-in. (25 mm) separation between specimens so as to freely permit swelling both parallel and perpendicular to the plane of the panel of the specimen. Racks shall not appreciably shield specimens nor prevent draining after soaking. Further, when in the tank during the exposure to steam and water vapor, specimens shall be placed so that jets of steam and vapor will not erode the specimens.

7.5 Apparatus

7.5.1 Tank and Controls for Soaking and Steaming:

7.5.1.1 *Tank or Vat*—A tank or vat, such as shown in Fig. 2, shall be used to conduct the exposures listed in 7.3.2, 7.3.3, and 7.3.6 of the accelerated aging test. A unit of the size shown is adequate for specimens of the size required in this standard. For tests of larger components, units as long as 9 ft (2.7 m) have proven to be satisfactory. The essential features of the tank are as follows:

7.5.1.2 Corrosion-resistant container, because of extractives developed during these cycles and present in wood-base materials,

7.5.1.3 A pipe to the bottom with a diffuser (perforated T-pipe),

7.5.1.4 A drain, although for larger tanks a pump has proven to be advantageous, and

7.5.1.5 A loose-fitting cover that will permit some steam to escape during steam and water vapor phase.

7.5.1.6 Supports shall be provided in the bottom of the tank to keep the specimens from direct contact with the water.

7.5.1.7 The tank may be insulated or uninsulated; but if insulated, the cover is to be left open during the steaming portion of the cycle. Heat loss during the soaking exposure (7.3.2) requires addition of heat by steam or the equivalent. This provides for circulation around the specimens being soaked and aids in maintaining the desired temperature with greater uniformity. Heat loss during the exposure to steam and water vapor (7.3.3 and 7.3.6) along with the escaping steam aids in providing a dynamic condition. During those steps the drain should be open to permit condensate to drain; or as an alternative method, the water level in the tank should be about 2 in. (51 mm) above the perforated pipes so that the steam percolates through it.

7.5.2 *Controls and Source for Soaking and Steaming*—A suitable unit for providing heat for soaking and exposure to steam and water vapor is shown diagrammatically in Fig. 3. In this instance, an air-operated dry kiln controller provides the temperature control required for either the soaking exposure (7.3.2) or the exposure to steam and water vapor (7.3.3 and 7.3.6). In operation for the soaking exposure (7.3.2) the tank is filled to the desired level by opening valves 1 and 3, after which valve 3 is closed. The controller is set at 120°F (49°C) and the sensor is placed in the water at mid-depth. Valve 2 is opened and steam flows into the water until desired temperature is attained and air-operated valve closes. Temperature is

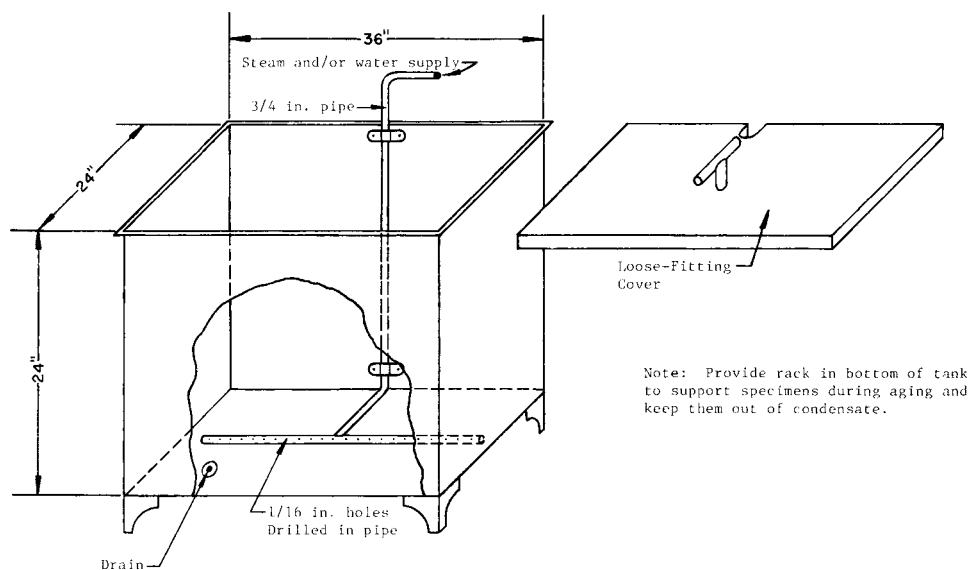


FIG. 2 Sketch of Stainless Steel Tank for Accelerated Aging Small Specimens

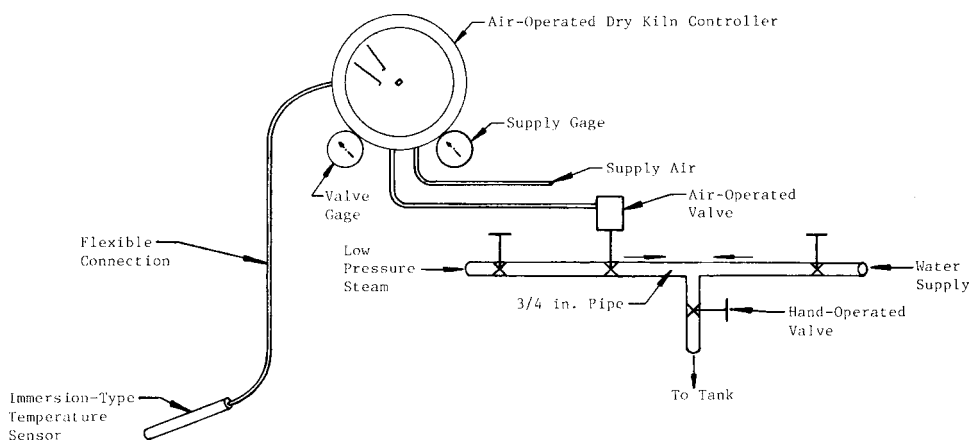


FIG. 3 Diagram of Air-Operated Controller for 120°F (49°C) Soaking and 200°F (93°C) Spraying

maintained automatically by addition of steam as required. For the exposures of 7.3.3 and 7.3.6, the controller is set for 200°F (93°C) so steam is automatically metered to maintain that temperature. Valve 2 is adjusted so that cycles of steam “on” are long with respect to steam “off.” This system requires a supply of compressed air.

7.5.2.1 An electrically controlled valve using thermistor-actuated relays will function as well. When steam is not readily available, a small boiler can be used as a source. This positive system of operation and control has proven to be satisfactory and requires a minimum of manpower time.

7.5.3 *Oven*—The oven for heating the specimens at 210°F (99°C) shall be of the positive ventilating type of sufficient capacity to maintain the desired temperature and remove moisture as fast as it is evaporated.

7.6 Inspection of Material During Cyclic Exposure

7.6.1 The test specimens shall be frequently inspected during the accelerated aging exposure for any signs of delamination or other disintegration. If there is any apparent damage to the material, it shall be described in the report, as well as the cycle exposure in which the damage became apparent.

7.7 Testing and Reporting

7.7.1 Tests for the appropriate properties shall be conducted after the final conditioning period (7.3.8). Calculations and reported results shall be based on both the original dimensions or weight, or both, and the dimensions or weight, or both, after the accelerated aging treatment.

8. Size, Physical Properties and Appearance of Panels

8.1 Size of Finished Panels

8.1.1 When measurements of finished panels are required, the width and length of each finished panel shall be obtained by measuring the width and length at each end and at mid-length to an accuracy of ±0.3 % or 1/16 in. (2 mm), whichever is smaller.

8.2 Variation in Thickness

8.2.1 For the determination of variations in thickness, specimens at least 6-in. (152-mm) square shall be used. The thickness of each specimen shall be measured at five points, near each corner and near the center, and the average thickness and the variation in thickness noted. These measurements shall be made to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

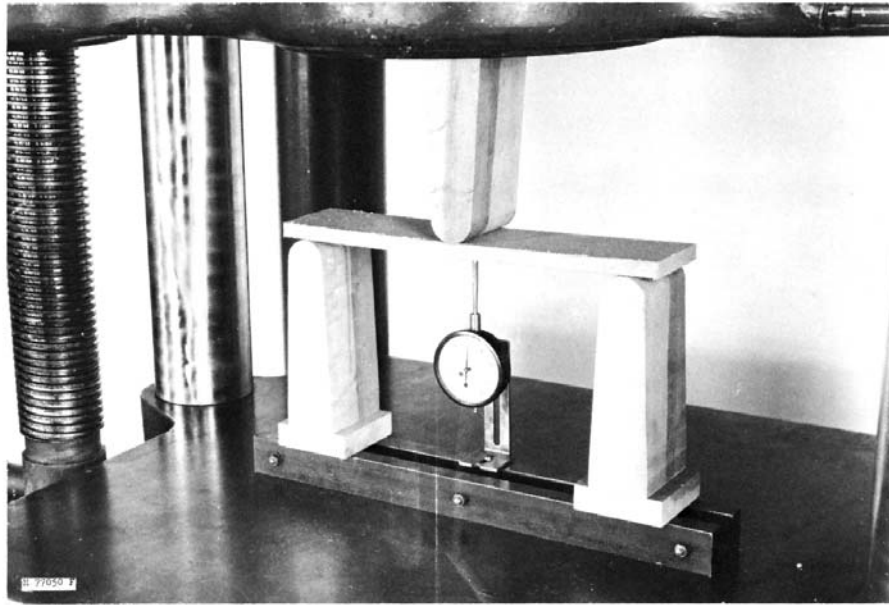


FIG. 4 Static Bending Test Assembly

8.3 Specific Gravity

8.3.1 When specific gravity of the finished panel is required, specific gravity shall be tested in accordance with Test Methods [D2395](#) Method A from a panel specimen with a minimum surface area of 9 in.² (58 cm²).

8.4 Moisture Content

8.4.1 The moisture content shall be measured in accordance with Test Methods [D4442](#) Method B from a panel specimen with a minimum surface area of 9 in.² (58 cm²). See [Note 6](#).

NOTE 6—The moisture content may be determined based upon the “as-tested” and “oven-dry” mass of specimens tested using one of the test procedures listed within this standard.

8.5 Surface Finish

8.5.1 The finish of both surfaces shall be described. A photograph of each surface may be taken to show the texture of the panel. This photograph shall show suitable numbering so that the building panel may be properly identified.

9. Static Bending

9.1 Scope

9.1.1 Static bending tests shall be made to determine the flexural properties, such as modulus of rupture and apparent modulus of elasticity. When required, the stress at proportional limit and work-to-maximum load can be determined. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

9.2 Test Specimen

9.2.1 Each test specimen shall be $3 \pm \frac{1}{32}$ in. (76 ± 1 mm) in width if the nominal thickness is greater than $\frac{1}{4}$ in. (6 mm), and $2 \pm \frac{1}{32}$ in. (51 ± 1 mm) in width if the nominal thickness is $\frac{1}{4}$ in. or less (see [Note 7](#)). The length of each specimen shall be 2 in. (51 mm) plus 24 times the nominal thickness (see [Notes 8 and 9](#)). The width and length, of each specimen shall

be measured to an accuracy of $\pm 0.3\%$. The thickness of each specimen shall be measured to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

NOTE 7—Based on industry practice, OSB is typically tested with a width of 4.5 in. (114 mm) in accordance with Test Methods [D3043](#) Method D.

NOTE 8—In cutting specimens to meet the length requirements of 2 in. (51 mm) plus 24 times the nominal thickness, it is not intended that the length be changed for small variations in thickness. Rather it is the thought that the nominal thickness of the panel under test should be used for determining the specimen length.

NOTE 9—Long-span specimens are desired for tests in bending so that the effects of deflections due to shear deformations will be minimized and the values of moduli of elasticity obtained from the bending tests will approximate the true moduli of the materials.

9.3 Span and Supports

9.3.1 The span for each test shall be 24 times the nominal thickness (depth) of the specimen (see [Note 10](#)), measured to an accuracy of $\pm \frac{1}{16}$ in. (2 mm). The supports shall be such that no appreciable crushing of the specimen will occur at these points during the test. The supports either shall be rounded or shall be bearing plates that are permitted to tilt and roll as the specimen deflects. When rounded supports, such as those shown in [Fig. 4](#), are used, the radius of the rounded portion shall be at least $\frac{1}{2}$ times the thickness of the material being tested. If the material under test deviates from a plane, laterally adjustable supports shall be provided (see [Note 11](#)).

NOTE 10—Establishment of a span-depth ratio is required to allow an accurate comparison of test values for materials of different thicknesses. It should be noted that the span is based on the nominal thickness of the material and it is not intended that the spans be changed for small variations in thickness.

NOTE 11—Laterally adjustable supports may be necessary for the specimens tested in the soaked condition because of warping or twisting that may occur due to soaking. Details of laterally adjustable supports may be found in [Fig. 1](#) of Test Methods [D3043](#).

9.4 Procedure

9.4.1 The specimens shall be loaded at the center of span with the load applied to the top surface of the specimen, as the product will be installed. If the product can be installed in either direction then equal number of specimens shall be tested face-up and face-down. Testing shall maintain a uniform loading rate through a rounded loading block as shown in Fig. 4. The bearing blocks shall be at least 3 in. (76 mm) in width. The radius of the rounded portion of the loading block shall be approximately equal to 1½ times the thickness of the specimen.

9.4.2 For each specimen, the character and the sequence of the failure shall be noted, whether or not the initial failure was in compression or tension. See Note 12.

NOTE 12—Photographs of typical failures will be helpful.

9.5 Speed of Testing

9.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine to achieve an outer fiber strain rate of 0.005 in./in./min (0.005 mm/mm/min) calculated in accordance with Eq 1. See Notes 13-15. The crosshead speed, adjusted for thickness, shall not vary by more than ±50 % from that specified for a given test. The speed of testing shall be recorded on the data sheet.

$$N = \frac{zL^2}{6d} \tag{1}$$

where:

- N = rate of motion of moving head, in./min (mm/min),
- z = outer fiber strain rate, in./in./min (mm/mm/min),
- L = span, in. (mm), and
- d = depth (thickness) of specimen, in. (mm).

NOTE 13—The crosshead speed shall mean the free-running, or no-load, crosshead speed for testing machines of the mechanical-drive type, and the loaded crosshead speed for testing machines of the hydraulic-loading type.

NOTE 14—Based on Eq 1, the calculated rate of head descent is:

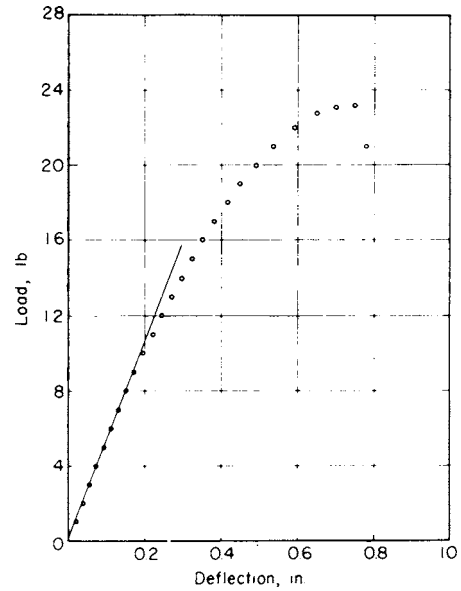
- 0.12 in./min (3 mm/min) for ¼ in. (6 mm) thickness,
- 0.24 in./min (6 mm/min) for ½ in. (12 mm) thickness,
- 0.36 in./min (9 mm/min) for ¾ in. (19 mm) thickness,
- 0.48 in./min (12 mm/min) for 1 in. (25 mm) thickness.

NOTE 15—If a faster test speed is desired for Quality Assurance purposes, the principles of section 8.5 of Test Methods D3043 should be followed.

9.6 Load-Deflection Measurements

9.6.1 The load-deflection data shall be obtained until the maximum load is achieved. The deflection of the specimen shall be measured at the mid-span point by means of an indicating dial gage or linear voltage differential transducer (LVDT) or linear potentiometer (see Note 16) attached to the base of the testing jig, with the dial plunger in contact with the bottom of the specimen at the center. This arrangement is shown in Fig. 4. Note the load and deflection at first failure and at maximum load. Take readings of deflection at least to the nearest 0.005 in. (0.10 mm). Fig. 5 shows a typical load-deflection curve.

NOTE 16—The range of standard 0.001-in. (0.02-mm) indicating dial is 1 in. (25 mm). The total deflection of some thicknesses of panels may exceed 1 in. at failure. When this happens, either a 2-in. (50-mm) total-travel indicating dial or a suitable 2:1 reducing lever in conjunction



Metric Equivalents					
in.	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
mm	5	10	15	20	25
lb	4	8	12	20	28
kg	1.8	3.6	5.4	9	12.6

FIG. 5 Typical Load-Deflection Curve for Static Bending Test

with a 1-in. travel dial should be used so that maximum deflections can be obtained.

9.7 Calculation and Report

9.7.1 The modulus of rupture, apparent modulus of elasticity, and when required, stress at proportional limit and work-to-maximum load shall be calculated for each specimen in accordance with the following equations:

$$R_b = \frac{3P_{max}L}{2bd^2} \tag{2}$$

$$E = \frac{L^3}{4bd^3} \frac{\Delta P}{\Delta y} \tag{3}$$

$$S_{pl} = \frac{3P_{pl}L}{2bd^2} \tag{4}$$

$$W_{ml} = \frac{a}{bdL} \tag{5}$$

where:

- a = area under load-deflection curve to maximum load, lbf-in. (N·m),
- b = width of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- d = thickness (depth) of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- E = apparent modulus of elasticity, psi (kPa),
- L = length of span, in. (mm),
- $\frac{\Delta P}{\Delta y}$ = slope of the straight line portion of the load-deflection curve (see Note 17), lbf/in. (N/mm),
- P_{max} = maximum load, lbf (N),
- P_{pl} = load at proportional limit (see Note 18), lbf (N),
- R_b = modulus of rupture, psi (kPa),

S_{pl} = stress at proportional limit, psi (kPa), and
 W_{ml} = work to maximum load, lbf-in./in.³ (N-mm/mm³).

NOTE 17—A linear regression of the load-deflection curve between 10 % and 40 % of P_{max} generally produces satisfactory results for ($\Delta P/\Delta y$).

NOTE 18— P_{pl} can be determined at the point on the load-deflection curve where the slope of the tangent deviates from the slope of the straight line ($\Delta P/\Delta y$) more than a given threshold value. The threshold value can be established based on statistical and graphical methods and experience. The value of 10 % normally gives a good estimate but it depends on the calculation procedure, the type and condition of product.

9.7.2 The report shall include the orientation of the face of the panel during the test (face-up or face down), the description of failure, and the calculated properties for each specimen. For modulus of elasticity and stress at proportional limit the parameters used in calculations shall be reported.

10. Tension Parallel to Surface

10.1 Scope

10.1.1 The tension test parallel to the surface shall be made to determine the tensile strength in the plane of the panel. When required, the axial stiffness or modulus of elasticity can be determined. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel. See Note 19.

NOTE 19—When the materials exceed 1 in. in thickness, crushing at the grips during test is likely to adversely affect the test values obtained. It is recommended that for material greater than 1 inch in thickness, the material be sawn to 1/2 in. (12 mm) thickness. Test values obtained from resawn specimens may be only approximate, because strengths of material near the surface may vary from the remainder.

10.2 Test Specimen

10.2.1 Each test specimen shall be prepared as shown in Fig. 6. The reduced section shall be cut to the size shown with a band saw. The minimum width of each specimen at the reduced section shall be measured to an accuracy of ± 0.3 %. The corresponding thickness shall be measured to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

10.3 Procedure

10.3.1 The specimen shall be loaded using self-aligning, self-tightening grips that distribute the force evenly over the grip surface and do not allow slipping, with gripping surfaces at least 2-in. (50-mm) square, to transmit the load from the testing machine to the specimen. Fig. 7 shows a typical assembly for the tension test of building panels.

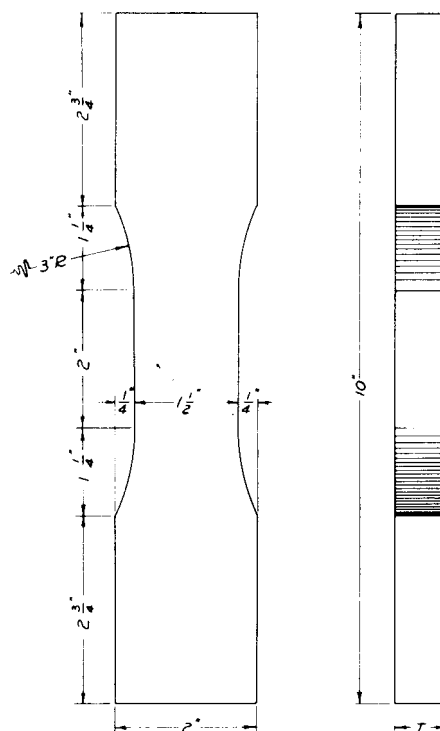
10.3.2 For each specimen, the character and location of the failure shall be noted.

10.4 Speed of Testing

10.4.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.15 in./min (4 mm/min) ± 50 %. See Note 13.

10.5 Load-Deformation Measurements

10.5.1 When required, obtain load-deformation curves. To measure the deformation, attach an extensometer or other suitable device over the central portion of the specimen. Points of attachment (gage points) shall be within the reduced section of the specimen. Read the deformation to the nearest 0.0001 in.



T = THICKNESS OF MATERIAL, BUT NOT TO EXCEED 1 INCH

Metric Equivalents								
in.	1/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 3/4	3	10
mm	6	25.4	32	38	51	70	76	254

FIG. 6 Detail of Specimen for Tension Test Parallel to Surface

(0.0025 mm). Choose increments of loading so that not less than 12 readings are obtained before proportional limit.

10.6 Calculation and Report

10.6.1 The maximum tensile stress and, when required, modulus of elasticity shall be calculated for each specimen in accordance with the following equations:

$$R_t = \frac{P_{max}}{bd} \quad (6)$$

$$E_t = \frac{l_g \Delta P}{bd \Delta y} \quad (7)$$

where:

- b = width of the reduced cross-section of the specimen measured in dry condition, in. (mm),
- d = thickness of the specimen measured in dry condition, in. (mm),
- E_t = modulus of elasticity in tension parallel to the surface of the panel, psi (MPa),
- l_g = gage length or distance between the gage points of extensometer, in. (mm),
- $\Delta P/\Delta y$ = slope of the straight line portion of the load-deformation curve (see Note 17), lbf/in. (N/mm),
- P_{max} = maximum load, lbf (N), and
- R_t = maximum tensile stress, psi (MPa).

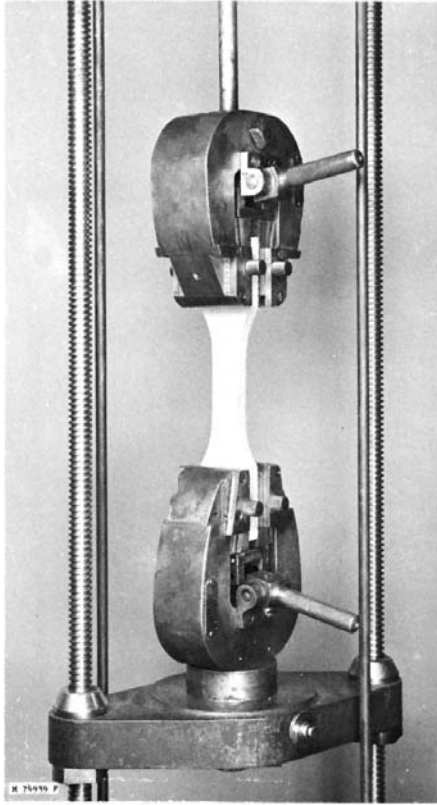


FIG. 7 Assembly for Tension Test Parallel to Surface

10.6.2 The report shall include the calculated properties and the description of failure for each specimen. If the failure is within ½ in. (12 mm) of either grip, the test value shall be discarded.

11. Tension Perpendicular to Surface (Internal Bond)

11.1 Scope

11.1.1 The tension test perpendicular to the surface shall be made to determine cohesion of the panel in the direction perpendicular to the plane of the panel.

11.2 Test Specimen

11.2.1 The test specimen shall be 2-in. (50-mm) square and the thickness shall be that of the finished panel. The dimensions of the specimen shall be measured to an accuracy of ±0.3 %.

11.3 Procedure

11.3.1 Loading blocks of steel or aluminum alloy 2-in. (50-mm) square and 1 in. (25 mm) in thickness shall be effectively bonded with a suitable adhesive (see Note 20) to the square faces of the specimen. The resulting bond shall exceed the cohesive strength of the material perpendicular to the plane of the panel. Fig. 8 shows details of the specimen and loading fixtures. The maximum distance from the center of the universal joint or self-aligning head to the glued surface of the specimen shall be 3 in. (76 mm).

NOTE 20—Any suitable adhesive that provides an adequate bond may be used for bonding the specimen to the loading blocks. Epoxy resins are recommended as a satisfactory bonding agent. Other resins such as hot

melt cements or water based adhesives may be used provided the conditions of gluing do not significantly alter the moisture condition of the specimen. The pressure required to bond the blocks to the specimen will depend on the density of the panel and the adhesive used, and should not damage the specimen.

11.3.2 Engage the loading fixtures, such as are shown in Fig. 8, attached to the heads of the testing machine, with the blocks attached to the specimen. Stress the specimen by separation of the heads of the testing machine until failure occurs. The direction of loading shall be as nearly perpendicular to the faces of the specimen as possible, and the center of load shall pass through the center of the specimen.

11.4 Speed of Testing

11.4.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine 0.08 in./in. (cm/cm) of thickness per min. It is not intended that the testing machine speed shall be varied for small differences in panel thickness such as an embossed surface, but rather that it shall not vary more than ±50 % from that specified herein. See Note 13.

11.5 Calculation and Report

11.5.1 The internal bond of each specimen shall be calculated in accordance with the following equation:

$$IB = \frac{P_{max}}{ab} \quad (8)$$

where:

- a = width of the specimen measured in dry condition, in. (mm),
- b = length of the specimen measured in dry condition, in. (mm),
- P_{max} = maximum load, lbf (N), and
- IB = internal bond strength, psi (MPa).

11.5.2 The report shall include the location of the plane of failure such as the face/layer or the upper, middle or lower third. If any of the specimens fails due to failure of the adhesive bond to the loading block, the test result of that specimen shall be discarded.

12. Compression Parallel to Surface

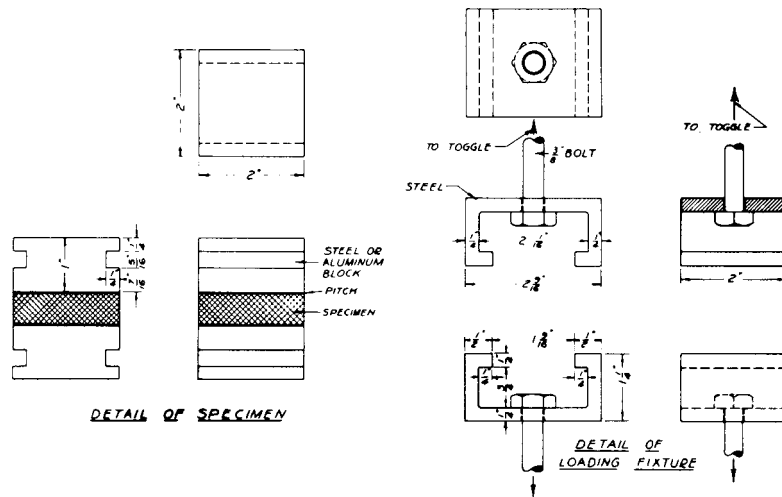
12.1 Scope

12.1.1 The compression test parallel to the surface shall be made to determine the compressive strength in the plane of the panel. When required, the axial stiffness or modulus of elasticity and stress at proportional limit can be determined. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

12.2 Test Methods

12.2.1 Because of the large variation in character of wood-base fiber and particle panel materials and the differences in manufactured thicknesses, one method is not applicable for all materials. One of the three methods detailed as follows shall be used depending on the character and thickness of the panel being evaluated:

12.2.2 *Method A (Laminated Specimen)*, shall be used for materials ¾ in. (10 mm) or more but less than 1 in. (25 mm) in nominal thickness, particularly when modulus of elasticity



Metric Equivalents

in.	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	3/4	1 1/4	1 9/16	2	2 1/16	2 9/16
mm	6	7.5	9	10.5	12.7	19	31.7	39	51	52	64.3

FIG. 8 Detail of Specimen and Loading Fixture for Tension Test Perpendicular to Surface

and stress at proportional limit are required. Laminate two thicknesses when the material is 1/2 in. (13 mm) or greater thickness. Use three thicknesses for materials with thickness less than 1/2 in. (13 mm). The nominal size of the specimen shall be 1 by 4 in. (25 by 102 mm) by the thickness as laminated. The 4-in. (102-mm) long dimension shall be parallel to the applied force.

12.2.3 *Method B (Lateral Support)*, shall be used for materials less than 3/8 in. (10 mm) in thickness, particularly when modulus of elasticity and stress at proportional limit are required. Specimens shall be 1 by 4 in. (25 by 102 mm) by the thickness as manufactured and evaluations made in a suitable lateral support device. The 4-in. (102-mm) long dimension shall be parallel to the applied force.

12.2.4 *Method C (Short Column)*, shall be used when maximum crushing strength only is required or where the thickness of the panel material is 1 in. (25 mm) or more and either maximum crushing strength, modulus of elasticity, and stress at proportional limit or only maximum crushing strength is required. When the material being evaluated is 1 in. or less in thickness, the width of the specimen shall be 1 in. (25 mm), the thickness shall be as manufactured, and the length (height as tested) shall be four times the thickness. When the material being evaluated is more than 1 in. (25 mm) in thickness, the width shall be equal to the nominal thickness and the length (height as loaded) shall be four times the nominal thickness.

12.3 Test Specimen

12.3.1 The test specimens shall be carefully sawn with surfaces smooth and planes at right angles to the faces of the panels as manufactured. For the laminated specimens (Method A), pieces of panel at least 1 in. (25 mm) larger in length and width than the finished size of specimen shall be laminated using thin spreads of epoxy resin or other adhesive that does not contain water or other swelling agent (see Note 21). Bonding pressures shall not exceed 50 psi (345 kPa). Test

specimens shall be sawn from the laminated pieces after at least 8 h of curing of the resin at room temperature. The thickness shall be measured to at least the nearest 0.001 in. (0.025 mm). The width shall be measured to an accuracy of ±0.3 %.

NOTE 21—An adhesive that contains water or other swelling agent might produce internal stresses adjacent to the glue lines.

12.4 Method of Loading

12.4.1 The specimen shall be loaded through a spherical loading block, preferably of the suspended self-aligning type. The specimen shall be centered carefully in the testing machine in a vertical plane as shown in Fig. 9 for unsupported 4-in. (102-mm) specimen and in Fig. 10 for laterally supported pack device. See Note 22.

NOTE 22—The lateral support device is detailed in Fig. 2 of Test Methods D3501.

12.5 Speed of Testing

12.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.005 in./in. (mm/mm) of length per min. Speed of test therefore for the 4-in. specimen of Methods A and B shall be 0.02 in./min (0.5 mm/min.). See Note 13. The crosshead speed shall not vary by more than ±50 % from that specified for a given test.

12.6 Load-Deformation Measurements

12.6.1 When required, obtain load-deformation curves for the full duration of each test. Fig. 9 shows a Lamb's Roller Compressometer on an unsupported specimen. Fig. 10 shows a Marten's Mirror Compressometer on a laterally supported specimen. Use these or equally accurate instruments for measuring deformation. Attach compressometer over the central portion of the length; points of attachment (gage points) shall be at least 1 in. (25 mm) from the ends of specimen.

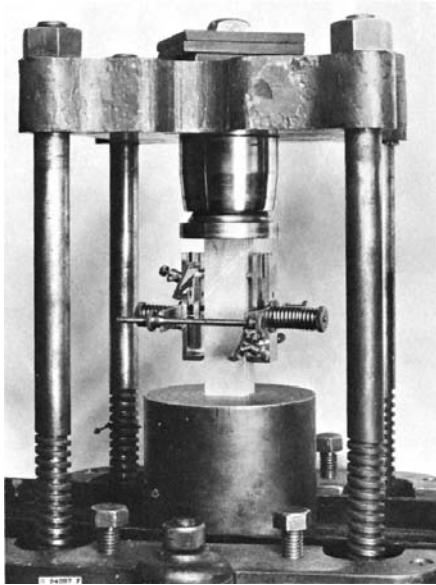


FIG. 9 Assembly for Compression Parallel to Surface Test of Un-supported Specimen

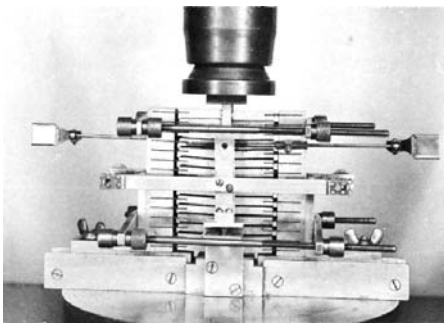


FIG. 10 Assembly for Compression Parallel to Surface Test of a Laterally Supported Specimen

Choose increments in loading so that not less than 12 readings are obtained before proportional limit. Read deformation to the nearest 0.0001 in. (0.0025 mm).

12.7 Calculation and Report

12.7.1 The compressive strength and, when required, modulus of elasticity and stress at proportional limit shall be calculated in accordance with the following equations:

$$R_c = \frac{P_{max}}{bd} \quad (9)$$

$$E = \frac{l_g \Delta P}{bd \Delta y} \quad (10)$$

$$S_{pl} = \frac{P_{pl}}{bd} \quad (11)$$

where:

- b = width of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- d = thickness of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- E_t = modulus of elasticity in tension parallel to the surface of the panel, psi (MPa),

- l_g = distance between the gage points of compressometer, in. (mm),
- $\Delta P/\Delta y$ = slope of the straight line portion of the load-deformation curve (see Note 17), lbf/in. (N/mm),
- P_{max} = maximum load, lbf (N),
- P_{pl} = load at proportional limit (see Note 18), lbf (N),
- R_c = compressive strength, psi (MPa), and
- S_{pl} = stress at proportional limit, psi (MPa).

12.7.2 The report shall indicate which method (laminated specimen, lateral support, or short column) was used and the calculated properties for each specimen. The type of failure of each specimen shall be determined and included in the report.

13. Lateral Nail Resistance

13.1 Scope

13.1.1 Nail-holding tests shall be made to measure the panel's resistance to lateral movement of a nail through a panel (Note 23). To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with the movement of the nail parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

NOTE 23—If this test is performed on some panels, the nail may bend and pull out of the stirrup. If this happens, the maximum load does not characterize the true resistance of the panel and this result should be noted. In these situations, the nail may be replaced with a hardened steel dowel of an equivalent diameter to avoid nail bending and determine the true resistance of the panel.

NOTE 24—Values obtained from this test are dependent on the thickness of the specimen. Values, however, are not directly proportional to the thickness. For this reason values obtained from tests of different panels can only be compared exactly if the thicknesses are equal.

13.2 Test Specimen

13.2.1 The test specimen shall be 3 in. (76 mm) in width and of convenient length with the thickness of the panel as manufactured. The test fastener (see Note 25) shall be driven at the right angle to the face of the panel so that about an equal length of nail projects from each face. The fastener shall be centered on the width and located 1/4, 3/8, 1/2, or 3/4 in. (6, 10, 13, or 19 mm) from one end (see Note 26). Tests shall be made for all four edge distances for each material tested. The thickness of each specimen shall be measured to an accuracy of ±0.3 %.

NOTE 25—A smooth shank six penny (6d) common wire nail with a 0.113 in. (2.90 mm) diameter shank is commonly used for this test. Other fasteners, including hardened steel dowels of equivalent diameter may be selected to meet the test objectives. It is advisable to measure the variation in diameter of the fastener.

NOTE 26—The edge distance is the distance from the center of the fastener to the edge of the panel.

13.3 Specimens Tested in the Dry Condition

13.3.1 When the tests are conducted with dry “as received” (section 6.3.1) or dry “conditioned” (section 6.3.2) materials, the tests shall be made immediately after the fasteners have been driven.

13.4 Specimens Moisture Cycled Before Test

13.4.1 When a water soaked (section 6.3.3), accelerated aging (section 6.3.4) or other conditioning method is employed to simulate an application moisture exposure with this test method, the fastener shall be driven prior to the moisture cycle.

13.5 Method of Loading

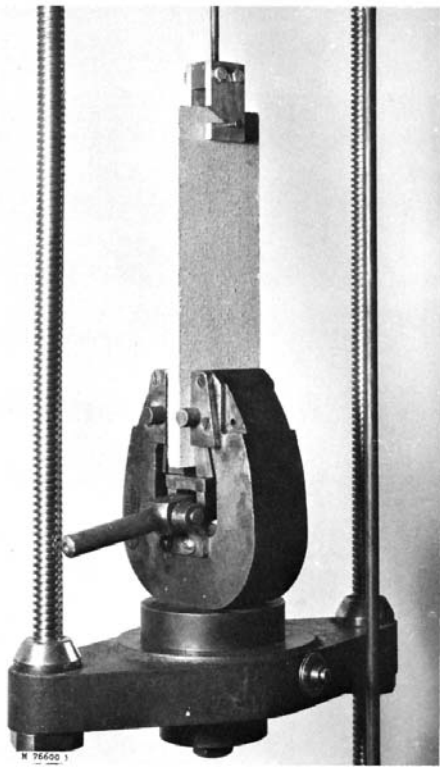


FIG. 11 Test Assembly for Measuring the Resistance of Nails to Lateral Movement

13.5.1 Clamp the end of the specimen opposite to the end with the test fastener in a position parallel to the movement of the testing machine. A grip such as the type used for tension tests parallel to the plane of the panel is suitable. Engage the fastener by the stirrup, and connect in turn to one platen of the testing machine by a rod. A typical test assembly for measuring the resistance of a nail in the lateral direction is shown in Fig. 11. The stirrup and connections are detailed in Fig. 12. See Note 27.

NOTE 27—For other types of fasteners, such as staples, modification of the stirrup may be necessary.

13.6 Speed of Testing

13.6.1 The specimen shall be loaded continuously throughout the test by separation of the heads of the testing machine at a uniform rate of crosshead speed of 0.25 in./min (6 mm/min) $\pm 50\%$. See Note 13.

13.7 Test Data and Report

13.7.1 The load required to move the fastener to the edge of the specimen shall be the measure of the lateral resistance. The maximum load and the nature of failure shall be included in the report. See Note 28. The type and diameter of fastener used shall be described in the report.

NOTE 28—In some cases it is useful to report the resistance in lbf/in. (N/mm) dividing the maximum load by the depth of fastener penetration; for example, when different panel thicknesses are compared.

14. Nail Withdrawal

14.1 Scope

14.1.1 Nail-holding tests shall be made on nails driven through the specimen from face to face to measure the resistance to the nail withdrawal in a direction normal to the face of the panel.

14.2 Test Specimen

14.2.1 The test specimen shall be of convenient size, at least 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane, and the thickness of the panel as manufactured. The test fastener shall be driven through the panel at the right angle to the face, and at least $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) of the shank portion shall project above the surface of the panel. The thickness of each specimen shall be measured to an accuracy of $\pm 0.3\%$. See Notes 29 and 30.

NOTE 29—A smooth shank six penny (6d) common wire nail with a 0.113 in. (2.90 mm) diameter shank is commonly used for this test. It is advisable to measure the variation in diameter of the nails. In certain instances it may be more desirable to use a pointed steel pin with a head or other suitable end to engage the load-applying fixture.

NOTE 30—Where the use of a particular nail or fastener requires less than $\frac{1}{2}$ in. of shank projecting above the surface, then only sufficient length may be left to permit engagement in the testing assembly.

14.3 Specimens Tested in the Dry Condition

14.3.1 When the tests are conducted with dry “as received” (section 6.3.1) or dry “conditioned” (section 6.3.2) materials, the withdrawals shall be made immediately after the fasteners have been driven.

14.4 Specimens Moisture Cycled Before Test

14.4.1 When a water soaked (section 6.3.3), accelerated aging (section 6.3.4) or other conditioning method is employed to simulate an application of moisture exposure with this test method, the fastener shall be driven prior to the moisture cycle.

14.5 Method of Loading

14.5.1 The assembly for the nail direct-withdrawal test is shown in Fig. 13. Attach the specimen-holding fixture to the lower platen of the testing machine. Insert the specimen in the fixture with the heads of the nails up, as shown. Engage the heads of the nails by the load-applying fixture equipped with a slot for easy attachment. This loading fixture shall be attached to the upper platen of the testing machine. Loads shall be applied by separation of the platens of the testing machine. The fitting is detailed in Fig. 14. See Note 31.

NOTE 31—For other types of fasteners, such as staples, modification of the loading fixture may be necessary.

14.6 Speed of Testing

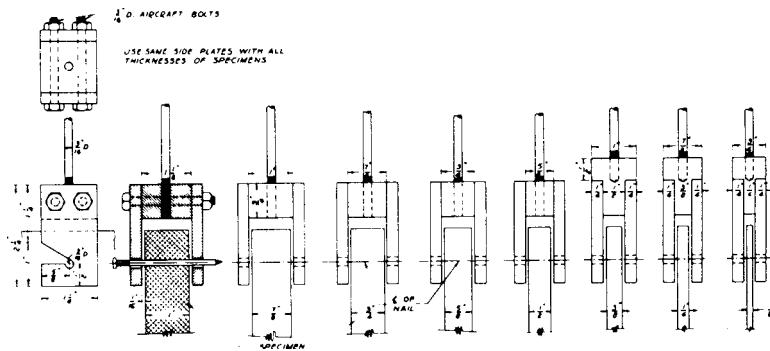
14.6.1 The specimen shall be loaded continuously throughout the test by a uniform motion of the movable head of the testing machine at a rate of 0.06 in./min (1.5 mm/min) $\pm 50\%$. See Note 13.

14.7 Test Data and Report

14.7.1 The maximum load required to withdraw the fastener shall be the measure of resistance of the material to direct fastener withdrawal, and shall be included in the report. See Note 28. The type and the size of the fastener used shall be described in the report.

15. Nail-Head Pull-Through

15.1 Scope



Metric Equivalents

in.	1/16	1/8	3/16	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	2 1/4
mm	1.5	3	4.5	9	12.7	15	19	21	25.4	28	32	57

FIG. 12 Detail of Stirrups and Connections for Measuring the Resistance of Nails to Lateral Movement

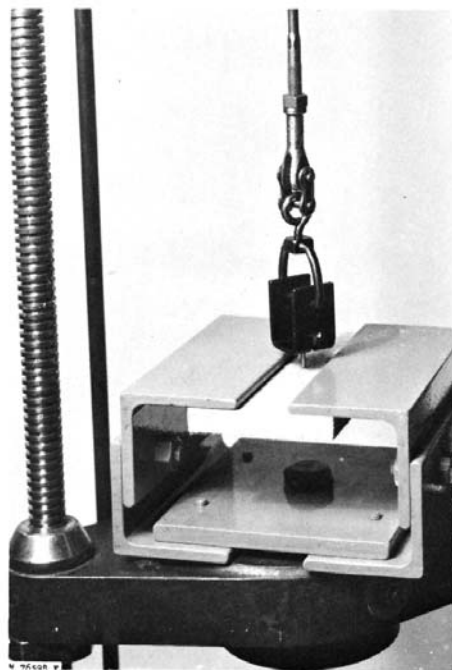


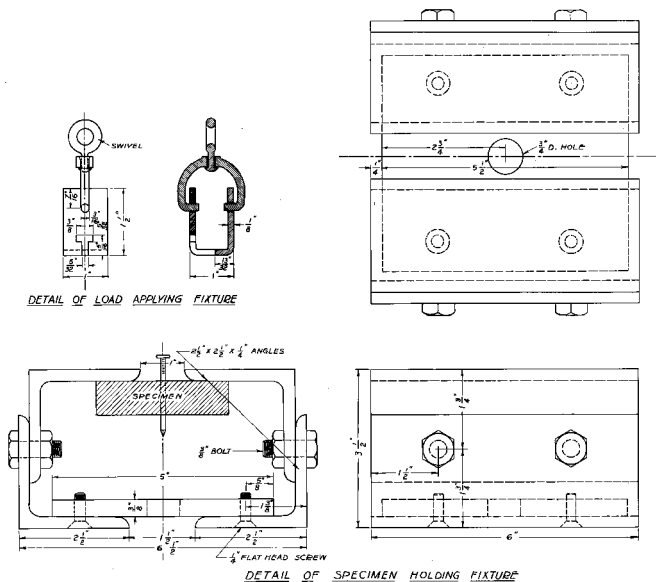
FIG. 13 Test Assembly for Measuring the Resistance of Nails to Direct Withdrawal

15.1.1 Nail-head pull-through tests shall be made to measure the resistance of a panel to having the head of a common nail or other fastener pulled through the panel. This test is to simulate the condition encountered with forces that tend to pull paneling or sheathing from a frame. See Note 24 and Note 32.

NOTE 32—For interior applications, the resistance to pull-through of a finishing nail may be preferred. For other applications, some special fasteners like staples or roofing nails may be desired instead of a common nail.

15.2 Test Specimen

15.2.1 The test specimen shall be of convenient size, at least 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane, and the thickness of the panel as manufactured. The test nail shall be driven through the panel at the right angle to the face with the head flush with the



NOTE 1—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 14 Details of Testing Equipment for Measuring the Resistance of Nails to Direct Withdrawal

surface of the panel (see Note 33). The size of the head and shank diameters of the nails used for this testing shall be measured and reported to an accuracy of ±1.0 %. The thickness of each specimen shall be measured to an accuracy of ±0.3 %.

NOTE 33—A sixpenny (6d) common wire nail with a 0.266 in. (6.75 mm) diameter head and a 0.113 in. (2.90 mm) diameter shank is commonly used for this test. Other fasteners may be selected to meet the test objectives.

15.3 Specimens Tested in the Dry Conditions

15.3.1 When the tests are conducted with dry “as received” (section 6.3.1) or dry “conditioned” (section 6.3.2) materials, the pull through shall be made immediately after the fasteners have been driven.

15.4 Specimens Moisture Cycled Before Test

15.4.1 When a water soaked (section 6.3.3), accelerated aging (section 6.3.4) or other conditioning method is employed to simulate an application of moisture exposure with this test method, the fastener shall be driven prior to the moisture cycle.

15.5 Method of Loading

15.5.1 Modify the assembly for the direct withdrawal test detailed in Fig. 14 by replacing the top pair of angles in the specimen-holding fixture with a 6-in. (152-mm) length of 6 by 2¼-in. (152 by 57-mm) steel channel. The web of the channel shall have a 3-in. (76-mm) diameter opening centered in the web. The edge of this opening provides the support to the specimen during test. The specimen-holding fixture shall be centered and attached it to the lower platen of the testing machine. The specimen shall be inserted in the holding fixture with the point of the test fastener up. The pointed end of the fastener shall be gripped with a gripping device of such a design as to allow accurate specimen positioning and true axial loading (see Note 34). Load shall be applied by separation of the platens of the testing machine.

NOTE 34—A “Jacob’s”-type drill chuck attached to the upper platen of the testing machine with a universal joint or toggle linkage, to provide for automatic aligning, has been used successfully.

15.6 Speed of Testing

15.6.1 The specimen shall be loaded continuously throughout the test by a uniform motion of the movable head of the testing machine at a rate of 0.06 in./min (1.5 mm/min) \pm 50 %. See Note 13.

15.7 Test Data and Report

15.7.1 The maximum load required to pull the head of the fastener through the panel shall be the measure of resistance of the material to fastener-head pull-through, and shall be included in the report for each specimen. See Note 28. The report shall describe the type and head and shank diameters of the nails used and the failure modes observed.

16. Direct Screw Withdrawal

16.1 Scope

16.1.1 Screw-holding tests shall be made on screws threaded into the panel to measure the resistance to screw withdrawal in a plane normal to the face of the panel. For numerous applications, the withdrawal resistance of screws from the edge of the panel is desired. When that value is required the screw withdrawal resistance in the plane parallel to the face shall be determined. See Note 24.

16.2 Test Specimen

16.2.1 *Withdrawal from the Face of the Panel*—The test specimen shall be of convenient size, at least 3 by 4 in. (76 by 102 mm) in plane. The thickness of the specimen shall be at least 1 in. (25 mm) unless other considerations make it desirable to test with the thickness as manufactured, because local bending of the panel at withdrawal may affect test results. If necessary, glue up two or more thicknesses of the panel to arrive at the 1-in. minimum thickness. A rubber cement or other suitable flexible adhesive shall be used, which does not alter the properties and moisture condition of the panel. The screw (see Note 35) shall be threaded ⅔ in. (17 mm) into a lead hole in the specimen at the right angle to the face of the panel. The

lead hole shall be predrilled using a drill of 0.9 of the root diameter of the screw (see Note 36).

16.2.2 *Withdrawal from the Edge of the Panel*—The test specimen shall be of convenient size, at least 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane, and the thickness of the panel as manufactured (see Note 37). To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with screw withdrawal parallel and perpendicular to the long-axis of the panel. The screw (see Note 35) shall be threaded ⅔ in. (17 mm) into a lead hole in the edge of the panel at midthickness at the right angle to the surface of the edge. The lead hole shall be predrilled using a drill of 0.9 of the root diameter of the screw (see Note 36).

NOTE 35—Number 10 Type AB screws should have a root diameter 0.138 ± 0.003 in. (3.51 ± 0.1 mm) and a pitch of 16 threads per inch. The diameter of the lead hole should be 0.125 in. (3.2 mm).

NOTE 36—It is recognized that some other lead hole diameter may give higher withdrawal resistance values for some densities and kinds of panels. Departures from this size of lead hole are permitted, but diameter used shall be reported.

NOTE 37—In some applications where several thicknesses of hardboard or the thinner particleboard are laminated together, it may be desirable to obtain the edge withdrawal resistance of a laminated panel. When this is done, the specimen is laminated from an odd number of thicknesses and the screw is located at the midthickness of the center laminate.

16.3 Specimens Tested in the Dry Condition

16.3.1 When the tests are conducted with dry “as received” (section 6.3.1) or dry “conditioned” (section 6.3.2) materials, the withdrawals shall be made immediately after the screws have been embedded.

16.4 Specimens Cycled Before Test

16.4.1 When a water soaked (section 6.3.3), accelerated aging (section 6.3.4) or other conditioning method is employed to simulate an application of moisture exposure with this test method, the screw shall be embedded prior to the moisture cycle.

16.5 Method of Loading

16.5.1 The assembly for the direct screw withdrawal is the same as shown for direct nail withdrawal in Fig. 13. Attach the specimen-holding fixture to the lower platen of the test machine. Insert the specimen in the fixture with the head of the screw up as shown. Engage the head of the screw by the load-applying fixture equipped with a slot for easy attachment. Attach this loading fixture to the upper platen of the testing machine. Load shall be applied by separation of the platens of the testing machine.

16.6 Speed of Testing

16.6.1 The specimen shall be loaded continuously throughout the test by a uniform motion of the movable head of the testing machine at a rate of 0.06 in./min (1.5 mm/min) \pm 50 %. See Note 13.

16.7 Test Data and Report

16.7.1 The report shall include the following:

16.7.2 Type of withdrawal resistance (face, edge-parallel or edge-perpendicular to the long axis of the panel) and the maximum load required to withdraw the screw from the panel. See Note 28). If the screw is broken rather than withdrawn, it shall be noted and the test value shall be discarded.

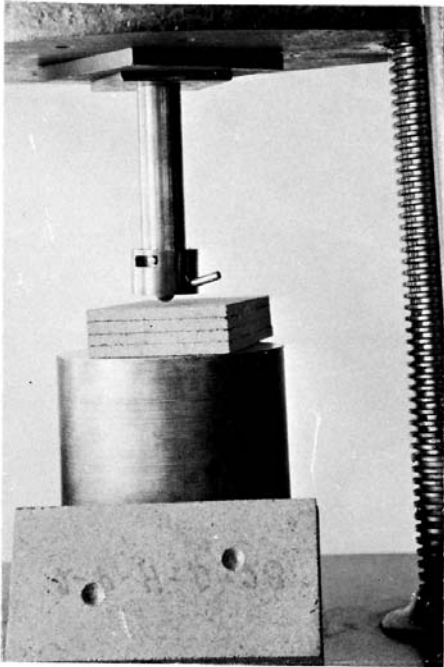


FIG. 15 Janka Ball Test Apparatus for Hardness of Panels

16.7.3 The type and size of the screw, and diameter of lead hole actually used.

16.7.4 Thickness of the panel and depth of screw penetration as actually tested.

17. Hardness

17.1 Scope

17.1.1 The modified Janka-ball test method shall be used for determining hardness of panel.

17.2 Test Specimen

17.2.1 Each specimen shall be nominally 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane and at least 1 in. (25 mm) thick (see Note 38). Because most panels are manufactured in thicknesses of less than 1 in. (25 mm), the specimen for test shall be made by bonding together several layers of the panels to make the required thickness. A rubber cement or other suitable flexible adhesive shall be used, which does not alter the properties and moisture condition of the panel. The finished specimen shall be trimmed after bonding so that edges are smooth. The thickness of the specimens as tested shall be measured to an accuracy of $\pm 0.3\%$.

NOTE 38—If the purpose of the test is to measure the indentation resistance of the panel as manufactured, the multiple piece specimen may be tested without gluing the layers together.

17.3 Procedure

17.3.1 The modified Janka-ball test method shall be used with a “ball” 0.444 in. (11.3 mm) in diameter. The load shall be recorded when the “ball” has penetrated to one-half its diameter into the panel, as determined by an electric circuit indicator or by the tightening of the collar against the specimen. The test assembly with a tool of the tightening collar type is shown in Fig. 15.

17.3.2 Two penetrations shall be made on each of the two flat faces of the panel. The locations of the points of penetration shall be at least 1 in. (25 mm) from the edges and ends of the specimen and far enough apart so that one penetration will not affect another one.

17.4 Speed of Testing

17.4.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.25 in./min (6 mm/min) $\pm 50\%$. See Note 13.

17.5 Test Data and Report

17.5.1 The load required to embed the “ball” to one-half its diameter into the panel shall be the measure of hardness, and shall be included in the report. Where one face of the panel is different from the other, as for example the smooth face and wire-textured back of most hardboards, the data obtained from the two faces shall be reported separately. The thickness of the test material shall also be included.

18. Hardness Modulus

18.1 Scope

18.1.1 The hardness modulus method of determining “equivalent Janka-ball hardness” may be used for determining hardness of building fiberboard and particleboard panels

18.2 Significance and Use

18.2.1 The hardness modulus (in pounds per inch of penetration) divided by 5.4 gives the equivalent Janka-ball hardness in pounds.³ The thinness of most wood-base panel materials precludes the use of the regular Janka-ball procedure (see Methods D143) unless several thicknesses are laminated together to provide a thickness of 1 in. (25 mm) or more.

18.2.2 This procedure is applicable for materials greater in thickness than $\frac{1}{8}$ in. (3 mm). For thicknesses $\frac{1}{8}$ in. or less, stacks of material may be used, but extreme care must be taken to select the proper slope for hardness modulus.

18.3 Test Specimen

18.3.1 Each specimen shall be nominally 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane by the thickness of the material. When materials are $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) or less in thickness, an extra specimen shall be prepared as a backing material during the test. The finished specimen shall be sawn square with smooth edges. The thickness of the specimens as tested shall be measured to an accuracy of $\pm 0.3\%$.

18.4 Procedure

18.4.1 The rate of penetration of the modified Janka-ball, 0.444 in. (11.3 mm) in diameter, shall be used for determining hardness modulus. See Note 39. Each test shall be continued until the penetration is about 0.1 in. (2.5 mm).

NOTE 39—Suitable modifications of the Janka-ball hardness apparatus to measure penetration are shown in Figs. 16 and 17. Fig. 16 shows the modification for manual measurements of penetration and Fig. 17 shows

³ For further information on this relationship consult “Hardness Modulus as an Alternate Measure of Hardness to the Janka Ball for Wood and Wood-Base Materials,” by W. C. Lewis, U.S. Forest Service, research note FPL-0189, March 1968. Available from Forest Products Laboratory, One Gifford Pinchot Dr., Madison, WI 53705-2398.

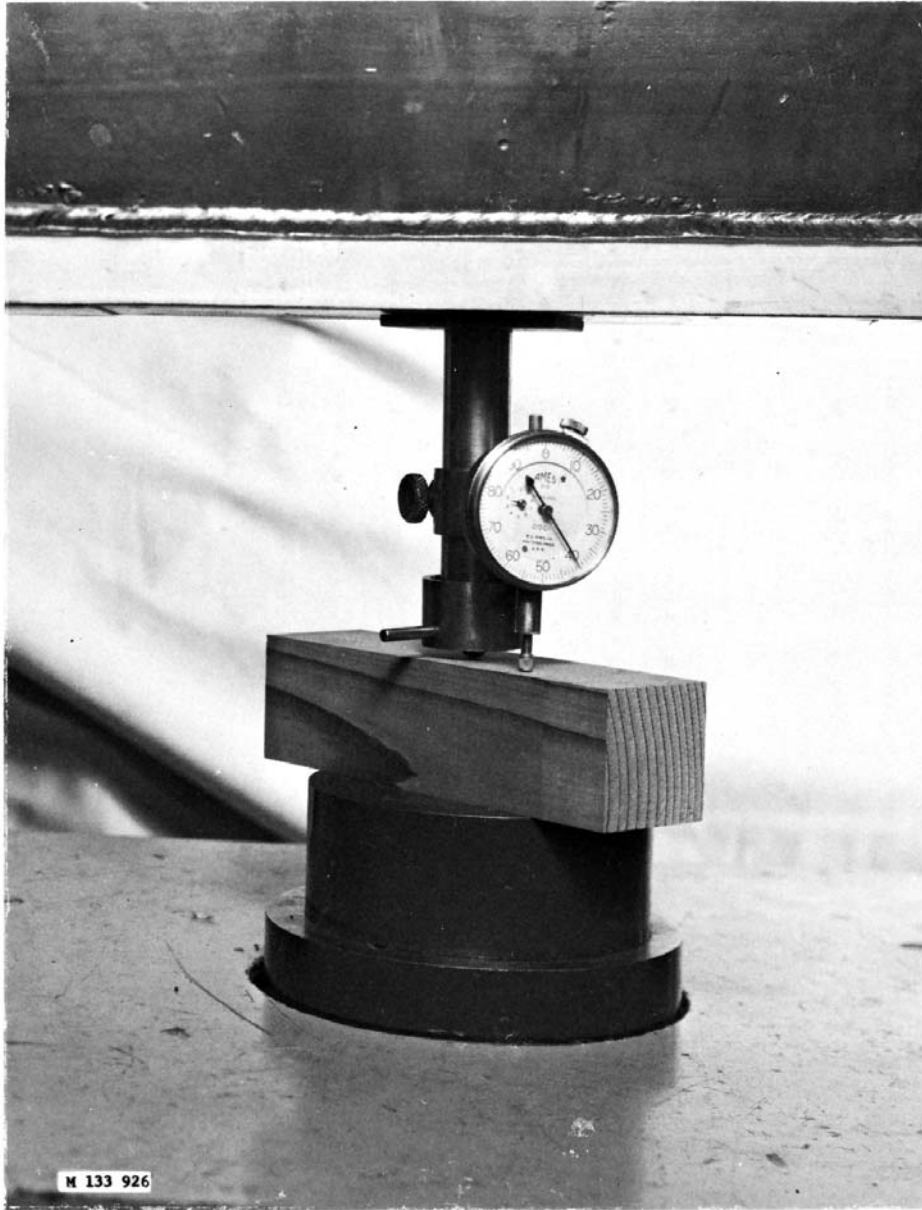


FIG. 16 Janka-Ball Hardness Tool Equipped with a Micrometer Dial for Measuring Penetration

a cone unit with microformer for autographic recording. Fig. 18 shows the kind of load-penetration data obtained from tests.

18.4.2 At least two penetrations shall be made on each of the two flat faces of each specimen. Where one face is different from the other as, for example, the smooth face and wire-textured back of most hardboards, the data obtained from the two faces shall be reported separately. The locations of the points of penetration shall be at least 1 in. (25 mm) from the edges and ends of specimens and far enough apart so that one penetration will not affect another one.

18.5 Speed of Testing

18.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.05 in./min (1.3 mm/min) \pm 50 %. See Note 13.

18.6 Test Data and Report

18.6.1 The slope of the straight-line portion of the load penetration curve in pounds per inch shall be the hardness modulus. The equivalent Janka-ball hardness value in pounds is obtained dividing this hardness modulus by the factor 5.4.

18.6.2 The hardness modulus as determined from the load-penetration curve and the calculated equivalent Janka-ball hardness value shall be included in the report.

19. Shear in the Plane of the Panel

19.1 Scope

19.1.1 Shear tests shall be made on specimens prepared by laminating each specimen so that the plane of the shear failure will be in the panel proper and not in the glue lines. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be

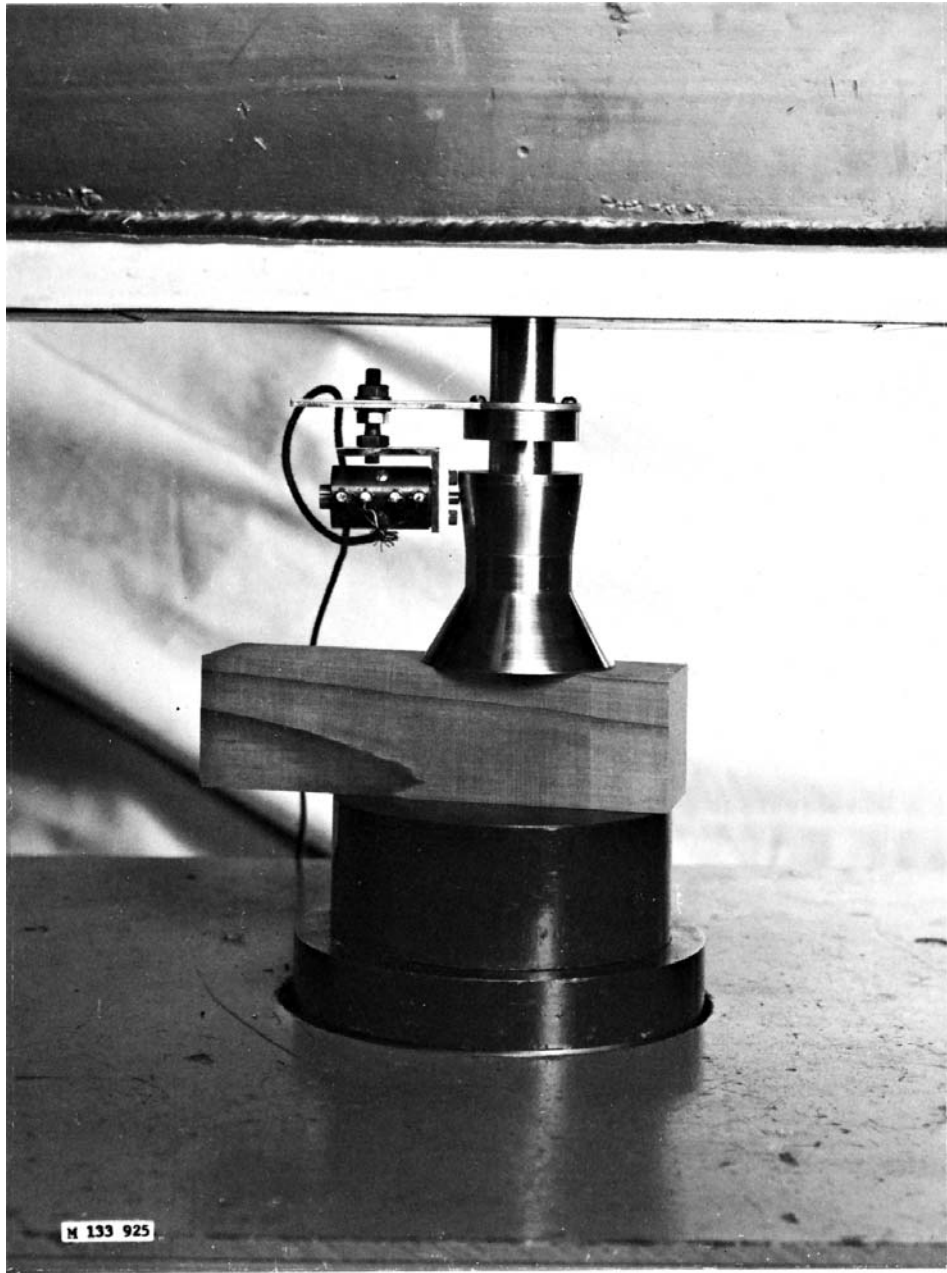


FIG. 17 Janka-Ball Hardness Tool Adapted with Cone and Microformer Unit for Direct Autographic Recording of Load-Penetration Data

tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel. This test, except for the method of preparing the specimen, follows the procedure described in Section 14 of Methods D143.

19.2 Test Specimen

19.2.1 The shear-parallel-to-plane of panel tests shall be made on 2 by 2 by 2½-in. (51 by 51 by 64-mm) specimens notched as illustrated in Fig. 19. It is the intent in this test to have the plane of shear parallel to the surfaces of the panel and to have the failure approximately midway between the two surfaces of the panel. The specimen shall be glued up by laminating sufficient thicknesses (see Note 40) of the panel together to produce the desired 2-in. (51-mm) thickness of

specimen as shown in Fig. 19. The actual area of the shear surface shall be measured to the nearest 0.005 in. (0.1 mm).

NOTE 40—When the shear strength of a thin panel like hardboard is desired, it will be permissible to use a thicker material such as plywood for outer laminations to reduce the total amount of gluing. When that procedure is used, at least the center lamination and preferably the three center laminations shall be of the panel under test.

19.3 Procedure

19.3.1 A shear tool with a self-aligning seat shall be used similar to that illustrated in Fig. 22 of Methods D143, providing a ⅛ in. (3-mm) offset between the inner edge of the supporting surface and the plane, along which failure occurs. The specimen shall be loaded at the notch, as indicated by the

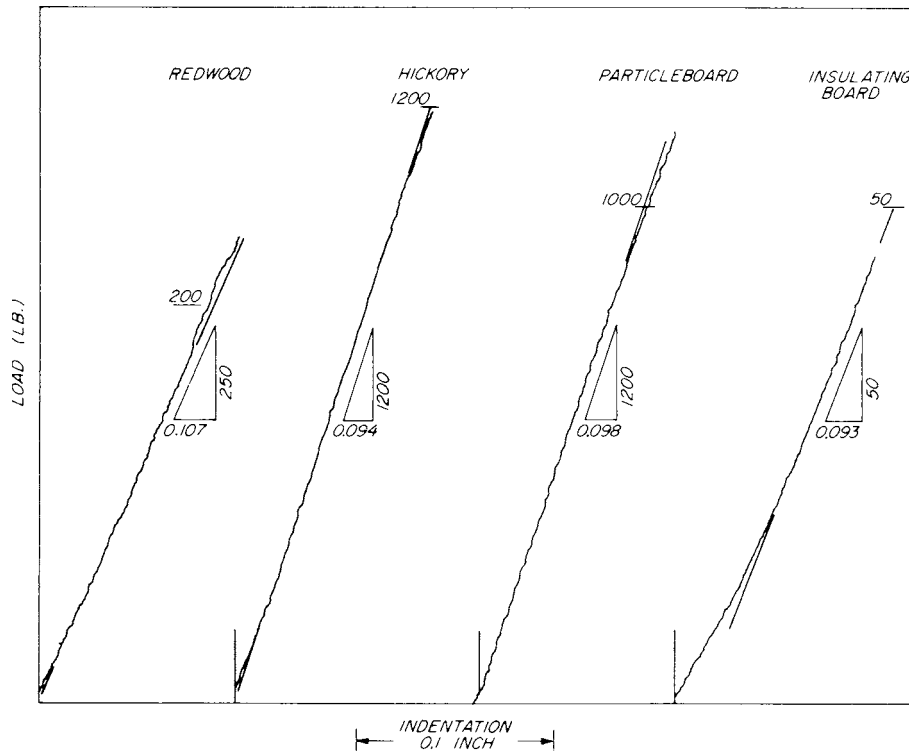
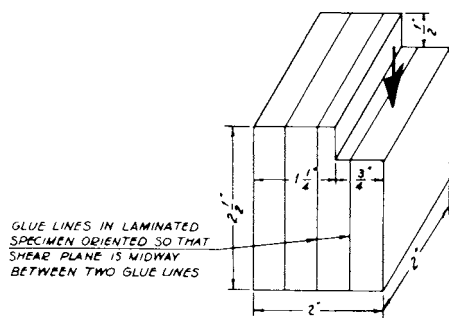


FIG. 18 Typical Load-Indentation Lines Obtained with Autographic Equipment for Wood and Wood-Base Panel Materials. Values Shown on Triangles Were Ones Used to Compute the Hardness Modulus Values



Metric Equivalents

in.	1/2	3/4	1 1/4	2	2 1/2
mm	12.7	19	31.7	51	63.5

FIG. 19 Shear Parallel to Surface Test Specimen

large arrow in Fig. 19, and supported at the opposite corner. Care shall be taken in placing the specimen in the shear tool to see that the crossbar is adjusted so that the edges of the specimen are vertical and the end rests evenly on the support over the contact area. The maximum load and the mode of failure shall be recorded.

19.4 Speed of Testing

19.4.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.024 in./min (0.6 mm/min) ± 50 %. See Note 13.

19.5 Calculation and Report

19.5.1 The maximum shear stress shall be calculated for each specimen in accordance with the following equation:

$$\tau = \frac{P_{max}}{bd} \tag{12}$$

where:

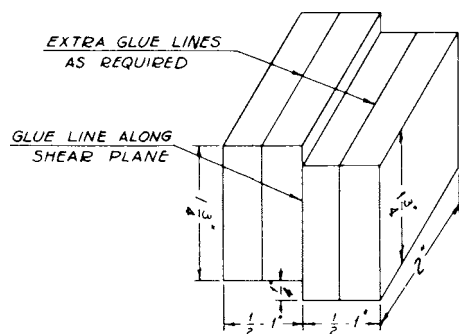
- b* = width of the shear area measured in dry condition, in. (mm),
- d* = depth of the shear area measured in dry condition, in. (mm),
- P_{max}* = maximum load, lbf (N), and
- τ = maximum shear stress, psi (MPa).

19.5.2 The direction of loading, the character and type of failure, the maximum shear stress, the maximum load, and the shear area dimensions of each specimen shall be included in the report. In all cases where the failure at the base of the specimen extends back onto the supporting surface, the test shall be discarded.

20. Glue-Line Shear (Block Type)

20.1 Scope

20.1.1 The block-type glue-line shear test shall be used to evaluate glued panel constructions that are obtained when thicknesses are laminated together to provide a greater thickness than when manufactured. When desired, the specimens may be modified to evaluate glue lines between the test material and solid wood or veneer by laminating the specimen so that the glue line to be evaluated is so oriented in the specimen that it coincides with the plane of shear in the specimen. The shear blocks shall be fabricated such that the applied load will be parallel to the strong direction of the panel.



Metric Equivalents

in.	1/4	1	1 3/4	2
mm	6	25.4	44	51

FIG. 20 Block-Type Glue-Line Shear Test Specimen

This test procedure is adopted from Test Method D905, except for the rate of loading (see section 20.4).

20.2 Test Specimen

20.2.1 The test specimen shall be 2 in. (51 mm) in width and 2 in. (51 mm) in height, and shall be fabricated as shown in Fig. 20. The specimen shall be from 1 to 2 in. (25 to 51 mm) thick, depending on the thickness of the panel (see Note 41). Specimens shall be sawn from panels glued up in sizes of at least 6-in. (152-mm) square. Care shall be taken in preparing test specimens to make the loaded surfaces smooth and parallel to each other and perpendicular to the glue line in the shear plane. Care shall be exercised in reducing the lengths of the laminations to 1 3/4 in. (44 mm) to ensure that the saw cuts extend to, but not beyond the glue line. The width and height of the shear area of each specimen at the glue line shall be measured to the nearest 0.005 in. (0.1 mm).

NOTE 41—When the glue-line shear strength of a thin panel like hardboard is desired, it will be permissible to use a thicker material such as plywood for outer laminations to reduce the total amount of gluing. The material on either side of the glue line in the plane of shear shall be the panel under test unless the test involves a glue line of panel and another material.

20.3 Procedure

20.3.1 The specimen shall be loaded using the shearing tool with a self-aligning seat similar to that shown in Fig. 1 of Test Method D905, adjusted so that failure will occur along or adjacent to the glue line (no offset). Care shall be taken in placing the specimen in the shear tool to see that the crossbar is adjusted so that the edges of the specimen are vertical and the end rests evenly on the support over the contact area. The maximum load, mode of failure, and the percentage of fiber failure shall be recorded.

20.4 Speed of Loading

20.4.1 The load shall be applied with a continuous motion of the movable head of the testing machine at 0.024 in. (0.6 mm/min) ±50 %. See Note 13.

20.5 Calculation and Report

20.5.1 The maximum shear stress shall be calculated for each specimen in accordance with the following equation:

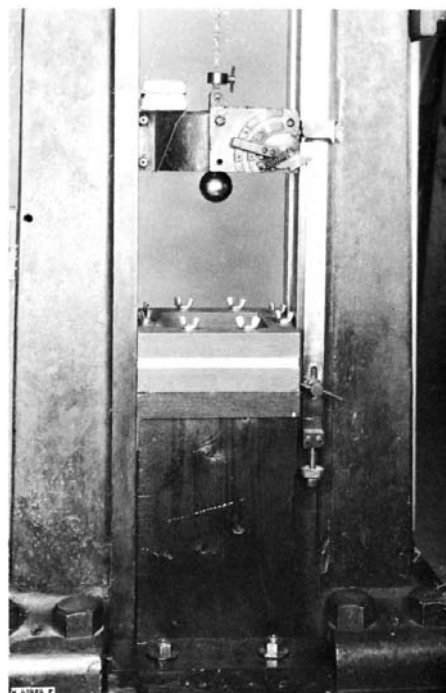


FIG. 21 Test Assembly for Falling Ball Impact Test

$$\tau = \frac{P_{max}}{bd} \tag{13}$$

where:

- b* = width of the shear area in dry condition, in. (mm),
- d* = depth of the shear area in dry condition, in. (mm),
- P_{max}* = maximum load, lbf (N), and
- τ = maximum shear stress, psi (MPa).

20.5.2 The shear stress at failure, based on the maximum load, the shear area dimensions (the overlap area between the two laminations), and the percentage of fiber failure, for each specimen, shall be included in the report.

21. Falling Ball Impact

21.1 Scope

21.1.1 The falling ball impact test shall be used to measure the impact resistance of panels from the kind of damage that occurs in service when struck by moving objects. In this test a 2-in. (51-mm) diameter steel ball is dropped from increasing heights onto a specimen supported in a frame as described in section 21.2. Each drop is made at the same location on the specimen approximately in the center of the panel, until the panel fails. The height of drop in inches that produces a visible failure on the underside of the specimen is recorded as the index of resistance to impact.

21.2 Apparatus

21.2.1 A suitable assembly for making the falling ball impact test is shown in Fig. 21. Two frames of 1 1/2-in. (38-mm) thick plywood, 9 by 10-in. (228 by 254-mm) outside dimension with a 6-in. (152-mm) central square shall be provided with eight 3/8-in. (9-mm) carriage bolts for clamping the specimen between the frames. The eight bolts shall be spaced equidistant on 8 5/8-in. (218-mm) diameter circle. A 2-in. (51-mm) diameter

steel ball weighing 1.18 lb (535 g) and a suitable means of holding and releasing it from predetermined heights shall be provided. During the test the frame and specimen shall be supported solidly on a suitable base.

21.3 Test Specimen

21.3.1 The impact test specimens shall be 9 by 10 in. (228 by 254 mm) by the thickness of the material. No facing material other than that which is a regular part of the panel shall be applied to the panel prior to test. The thickness of the specimens as tested shall be measured to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

21.4 Procedure

21.4.1 The specimen shall be clamped securely between the frames. Drop the steel ball with an initial drop of 1 in. (25 mm) so that it strikes approximately at the center of the specimen. Make repeated drops from increasing heights until a visible fracture is produced on the top and bottom surface of the specimen. Increments of drop shall be 1 in. (25 mm), measuring the distance from the bottom of the ball to the top surface of the specimen. The heights of drop that produce visible fractures on each surface shall be recorded. Catch the ball after each drop so that there will be only one impact for each drop.

21.5 Report

21.5.1 The report shall include the following:

21.5.2 Description of the failure,

21.5.3 Heights of drop that produced failures on each surface, and

21.5.4 The measured thickness of each test specimen.

22. Abrasion Resistance by the U.S. Navy Wear Tester

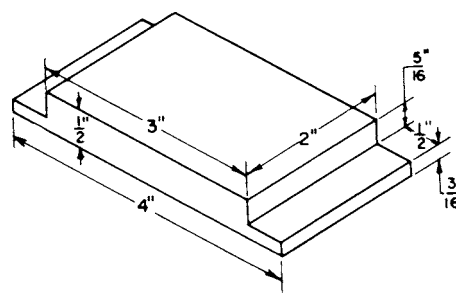
22.1 Scope

22.1.1 Abrasion resistance tests shall be made on the panel to determine the wear under simulated conditions of uniform abrasion. See Note 42.

NOTE 42—Other test methods have been used to measure abrasion resistance of other materials. The test method delineated here has been used extensively for measuring the resistance of wood and other wood-base materials like plywood to surface abrasion.⁴

22.2 Test Specimen

22.2.1 The area of the test specimen to be abraded shall be 2 by 3 in. (51 by 76 mm), and the specimen shall be fabricated from a piece of the panel 2 by 4 in. (51 by 102 mm) by the thickness of the material as shown in Fig. 22. When the panel tested is less than 1/2 in. (12 mm) thick, either sufficient pieces shall be laminated together to provide the 1/2-in. thickness or the specimen shall be backed by a thickness of wood or plywood sufficient to provide the 1/2-in. total specimen thickness required. The specimens shall be air-conditioned before test (see section 6.3.2) and the test made in the same conditioned atmosphere. The actual dimensions of the abrading area of the specimen shall be measured to the nearest 0.01 in. (0.2 mm). The thickness of the test specimen shall be measured to the nearest 0.001 in. (0.025 mm) near each corner and the center.



Metric Equivalents						
in.	3/16	5/16	1/2	2	3	4
mm	4.5	7.5	12.7	51	76	101.6

FIG. 22 Test Specimen for Abrasion Resistance Test

22.3 Procedure

22.3.1 Conduct the test with the Navy-type abrasion machine⁵ as shown in Fig. 23, using new No. 80-grit aluminum oxide, or equivalent, as the abrading medium. Apply the grit continuously (see Note 43) to the 14-in. (355-mm) diameter steel disk, which serves as a platform supporting the specimen and rotates at the rate of 23 1/2 r/min. Rotate the specimen in the same direction as the steel disk at the rate of 32 1/2 r/min. Superimpose a load of 10 lb (4.5 kg) on the test specimen. The machine is designed so that twice each revolution the specimen is raised 1/16 in. (1.6 mm) above the steel disk and immediately lowered. Determine the decrease in the thickness of the specimen at the end of each 100 revolutions of the steel disk by measuring the thickness of the specimen to the nearest 0.001 in. (0.025 mm) near each corner and at the center. Remove any dust or abrading material adhering to the surface of the specimen before measuring the thickness. The mean of the five thickness readings shall be taken as the loss in thickness of the specimen. Repeat this procedure until the specimen has 500 revolutions of wear or as required. See Note 44.

NOTE 43—The Navy wear tester is designed so that there is an excess of grit on the abrading disk at all times. During all parts of the abrading action, except when the specimen is in the raised position, the specimen is pushing a small amount of grit ahead of it.

NOTE 44—When values of accumulated wear are plotted as ordinates against revolutions, the slope of the curve is a straight line for wear through uniform materials. When the rate of wear per 100 revolutions of the abrading disk is not uniform after the first 200 revolutions, it is probably due to a change in abrasion resistance with depth from the original surface of the material being tested.

22.4 Report

22.4.1 The report shall include the following:

22.4.2 Loss in thickness in inches per 100 revolutions of wear if uniform, and

22.4.3 The loss in thickness in inches for each 100 revolutions if the amount of wear changes with depth from the original.

⁴ U.S. Forest Products Laboratory Report R1732, "The Abrasion Resistance of Wood as Determined with the U.S. Navy Wear Test Machine."

⁵ The Navy-type wear tester may be constructed from drawings obtainable from the U.S. Navy or the Forest Products Laboratory. It is manufactured commercially by the Tinius Olsen Testing Machine Co., Willow Grove, PA.

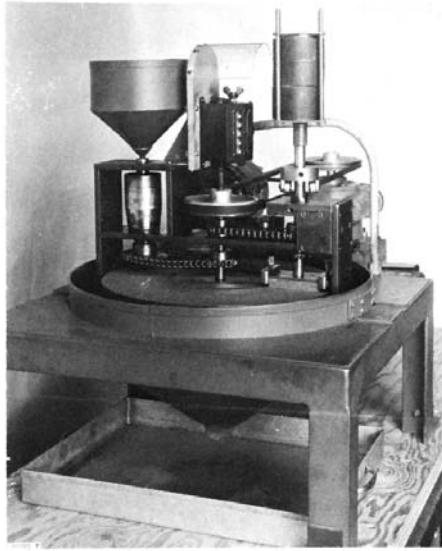


FIG. 23 Navy-Type Wear Machine for Abrasion Resistance Test

23. Water Absorption and Thickness Swelling

23.1 Scope

23.1.1 A test shall be made to determine the water-absorption characteristics of panels. For Method A (section 23.5) the water absorption and thickness swelling are expressed as a percent for the specimen after a 2-plus-22-h submersion. For Method B (section 23.6) the water absorption and thickness swelling are expressed as a percent for the specimen after a single continuous submersion time of 24-h. Method A, with its initial 2-h submersion period, provides information on the short term (2 h) and longer term (2-plus-22-h) water absorption and thickness swelling performance. Because Method A calls for a short removal period after 2 h, the values from Method A and Method B are not necessarily compatible.

23.2 Test Specimen

23.2.1 The test specimen shall be 12 by 12 in. (305 by 305 mm) or 6 by 6 in. (152 by 152 mm) by the thickness of the material with all four edges smoothly and squarely trimmed.

23.3 Conditioning Prior to Test

23.3.1 Prior to the test, the test specimens shall be in the “dry” condition in accordance with section 6.3.2. See Note 45.

NOTE 45—Conditioning prior to testing is not a common practice for quality control testing and some other circumstances. If the specimen is not conditioned to the defined parameters in section 6.3.2, the deviation from the conditioning requirement shall be reported.

23.4 Weight, Thickness, and Volume of Test Specimen

23.4.1 After conditioning, the weight of the specimen shall be measured to an accuracy of $\pm 0.2\%$. The width, length, and thickness of the specimen shall be measured to an accuracy of $\pm 0.3\%$ to compute the volume of the specimen. The thickness shall be measured at four points midway along each side 1 in. (25 mm) in from the edge of the specimen and the average of these four measurements shall be used for the thickness swelling determination (see Note 46).

NOTE 46—Where a common practice or special consideration requires thickness determinations at the edge or another distance from the edge, the edge distance used shall be reported. For textured surfaces, the surface area of the measuring device shall be of sufficient diameter as not to penetrate localized indentations of the textured surface.

23.5 Method A: 2-Plus-22-h Submersion in Water

23.5.1 The specimens shall be submerged horizontally under 1 in. (25 mm) of potable water maintained at a temperature of $68 \pm 2^\circ\text{F}$ ($20 \pm 1^\circ\text{C}$). See Note 47. Fresh water shall be used for each test. After a 2-h submersion, suspend the specimen to drain for 10 ± 2 min, then remove the excess surface water and immediately weigh the specimen and determine the thickness according to section 23.4. Submerge the specimen for an additional period of 22 h and repeat the above weighing and measuring procedures.

NOTE 47—As an alternative to the above method of submersion, the specimens may be submerged vertically. The amounts of water absorbed for tests of this duration are not the same for the two methods of submersion. Specimens suspended vertically will absorb considerably more water than those suspended horizontally. Therefore, values obtained from the horizontal and vertical methods are not comparable.

23.6 Method B: Single Continuous 24-h Submersion in Water

23.6.1 The procedure for determining water absorption after a 24-h submersion shall be the same as that provided in sections 23.2 through 23.5, except that only two sets of measurements are required, initial and after the 24-h submersion period.

23.7 Drying After Submersion

23.7.1 After submersion using Method A or B, the specimens shall be dried in an oven at $217 \pm 4^\circ\text{F}$ ($103 \pm 2^\circ\text{C}$) to determine the moisture content in accordance with Test Methods D4442.

23.8 Calculation and Report

23.8.1 The moisture content of the specimens before and after submersion shall be calculated based on oven-dry weight. Report shall include the size of the specimens and the description of the submersion procedure (Method A or Method B, horizontal or vertical submersion). The amount of water absorbed by the specimen during the submersion shall be calculated from the increase in weight and expressed as the percentage by volume and by weight based on the volume and the weight, respectively, after conditioning. Assume the specific gravity of the water to be 1.00 for this purpose. The thickness swelling shall be reported as a percentage of the conditioned thickness.

24. Linear Expansion with Change in Moisture Content

24.1 Scope

24.1.1 Tests of linear expansion with changes in moisture content shall be made to measure the dimensional stability of a panel with change in moisture content.

24.2 Test Specimen

24.2.1 The test specimens shall be 3 in. (76 mm) in width and at least 12 in. (305 mm) in length with the edges smoothly and squarely trimmed. If the panel is not large enough to permit a 12-in. (305-mm) specimen, the maximum length possible shall be used, but it shall be at least 6 in. (152 mm). Two

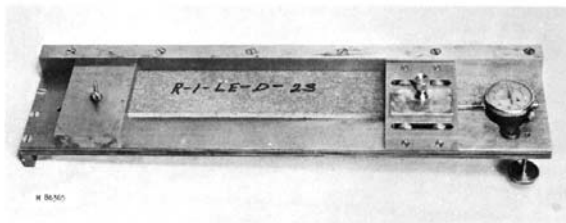


FIG. 24 Dial Gage Comparator for Determining Linear Expansion with Change in Moisture Content

specimens shall be cut from each panel, one specimen with the long side parallel to the long dimension of the panel and the other specimen—perpendicular.

24.3 Procedure

24.3.1 Specimens shall be conditioned to practical equilibrium (see Note 48) at a relative humidity of $50 \pm 2\%$ and a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) and the length of each specimen shall be measured to the nearest 0.001 in. (0.02 mm). Then the specimens shall be conditioned to practical equilibrium at a relative humidity of $90 \pm 5\%$ and a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) and the length shall be measured again to the nearest 0.001 in. (0.02 mm). See Notes 49 and 50. For each measurement the specimen shall be oriented in the same way (for example, numbered surface up with numbers reading from the side toward the operator). See Note 51.

NOTE 48—Practical equilibrium is defined as the state of time-change in weight where for practical purposes the specimen is neither gaining nor losing moisture content more than 0.05 weight percent in a 24-h period. It is helpful in determining the end point in conditioning to plot weight change against time. When the curve becomes asymptotic to a horizontal line, practical equilibrium is indicated.

NOTE 49—Where values of linear change with change in moisture content associated with exposure to a greater humidity change are desired, equilibrium at a relative humidity of $30 \pm 1\%$ may be used for the lower humidity condition rather than the 50% specified in this section. The report shall state the actual humidity conditions used. When the change between 30 and 90% relative humidity is desired, it is suggested the specimens be prepared in pairs, conditioned at 50% relative humidity, and then one specimen of each pair be conditioned at 90% relative humidity and the other at 30% relative humidity.

NOTE 50—Certain wood products experience difficulty reaching an equilibrium moisture content when exposed to 90% relative humidity, making the standard 50 to 90% relative humidity test method unreliable. As an alternative to the standard 90% upper relative humidity level, equilibrium at $80 \pm 3\%$ may be used. The coefficient of variability for linear expansion tested with an 80% upper relative humidity should be less than that of the 90% relative humidity test because of the smaller allowable range in endpoint relative humidity and the possible differences in hygroexpansivity of a given material between 80 and 90% relative humidity.

NOTE 51—Figs. 24 and 25 provide details of a dial gage comparator that may be used for measuring linear expansion with change in moisture content. One equally or more accurate measurement procedure may be used.

24.4 Calculation and Report

24.4.1 The linear expansion with change in moisture content shall be reported as the percentage change in length based on the length at 50% relative humidity. The report shall include the conditions used. When change in length from 30 to 90% (or 30 to 80%) relative humidity is desired, this may be

estimated with sufficient accuracy by adding the changes in length between 50 and 90% (or 50 and 80%) and 50 and 30% relative humidity.

25. Cupping and Twisting

25.1 Scope

25.1.1 When required, measurements of cupping and twisting shall be made after accelerated aging (see Section 7).

25.2 Test Specimen

25.2.1 The test specimen shall be 12-in. (305-mm) square by the thickness of the material with all four edges smoothly and squarely trimmed. The dimensions of the specimen shall be measured to an accuracy of $\pm 0.3\%$.

25.3 Procedure

25.3.1 Cupping shall be determined by placing a straight-edge across opposite edges of the specimen, and measuring the maximum distance to the concave face to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

25.3.2 Twisting shall be determined by placing the specimen with three corners touching a level surface and measuring the distance from the raised corner to the surface to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

25.4 Report

25.4.1 The report shall include the size of specimens and necessary details regarding methods and results of measurements.

26. Interlaminar Shear

26.1 Scope

26.1.1 Tests in interlaminar shear (shear in the plane of the panel) shall be made on specimens bonded between two steel loading plates loaded in compression on the edge to obtain shear strength and deformation properties of the panel. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

26.2 Significance and Use

26.2.1 Shear properties in the plane of the panel (interlaminar shear) duplicate the kind of shear stress encountered in such glued structural assemblies as structural sandwiches and adjacent to gluelines between flanges and webs in box-beams and I-beams and gusset plates in trusses. The procedure used follows closely the requirements of Test Method C273. While it apparently yields values in the same plane as the “block shear” test of Section 20, values obtained are not comparable because of effects of friction in the block shear tool and the fact that failure in the block shear test can only occur in a $\frac{1}{8}$ -in. (3-mm) thick area in the middle of the specimen. The interlaminar shear strength test offers the additional advantage that shear deformation data can be obtained when desirable.

26.3 Test Specimen

26.3.1 The interlaminar shear tests shall be made on specimens 2 by 6 in. (51 by 152 mm) by the thickness of the material, when the panel material is $\frac{1}{2}$ in. (12.5 mm) in thickness or less. For materials greater than $\frac{1}{2}$ -in. (12.5-mm) thick, the specimen shall have a width of at least twice the thickness but not less than 2 in. (51 mm) and a length at least

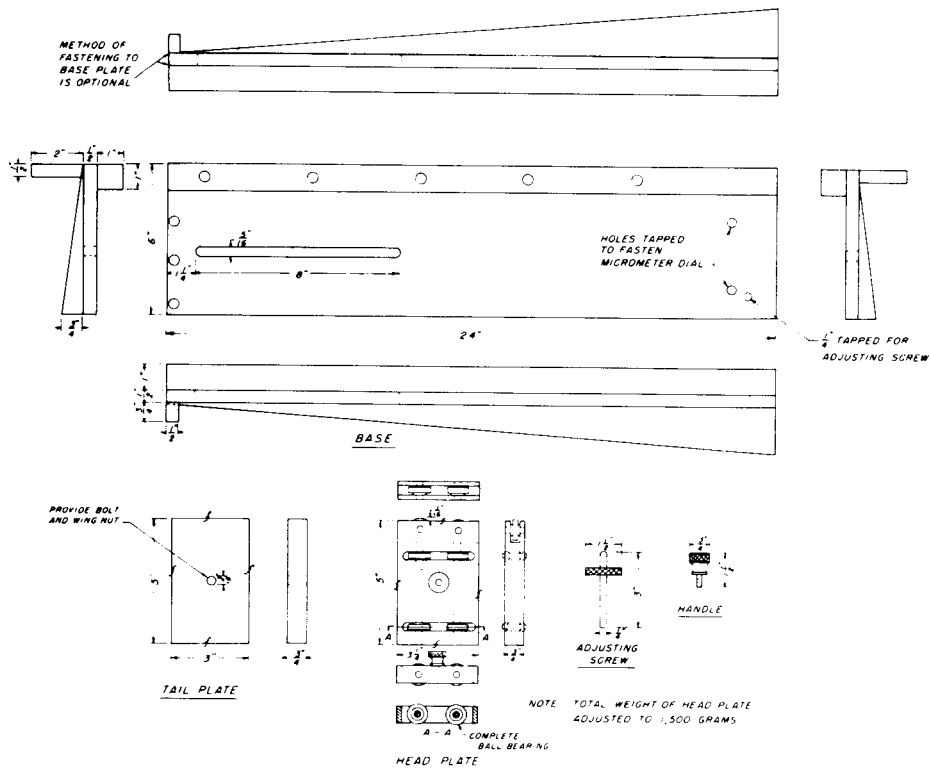


FIG. 25 Details of Dial Gage Comparator for Measuring Linear Expansion with Change in Moisture Content

12 times the thickness (see Note 51). The edges of the specimen shall be sawn square and smooth. The length and width shall be measured to an accuracy of $\pm 0.3\%$. The thickness shall be measured to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

26.3.2 Steel loading plates $\frac{3}{4}$ -in. (19-mm) thick, having a width equal to the specimen width and a length equal to the specimen length plus $\frac{1}{4}$ in. (7 mm) shall be bonded to each face of the specimen as shown in Fig. 26 using suitable adhesive (see Note 20). The loading ends of the plates shall project $\frac{1}{4}$ in. (7 mm) beyond the end of the specimen and they shall be beveled at 45° and oriented as shown. Use minimum spreads and extreme care when applying adhesive to prevent infusing into the specimen and thus reinforcing the panel.

NOTE 52—A length ratio of 12:1 is prescribed as a minimum so that secondary normal stresses are minimal.

26.4 Procedure

26.4.1 The load shall be applied through notched fittings such that the line of action of the direct compressive force shall pass through the diagonally opposite corners of the specimen as shown in Fig. 26. The lower fitting shall be placed on a spherical bearing block as shown in Fig. 27 so that the load is uniformly distributed across the width of the specimen.

26.5 Speed of Testing

26.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine equal to 0.002 times the length in./min (mm/min) $\pm 50\%$. See Note 13.

26.6 Load-Deformation Data

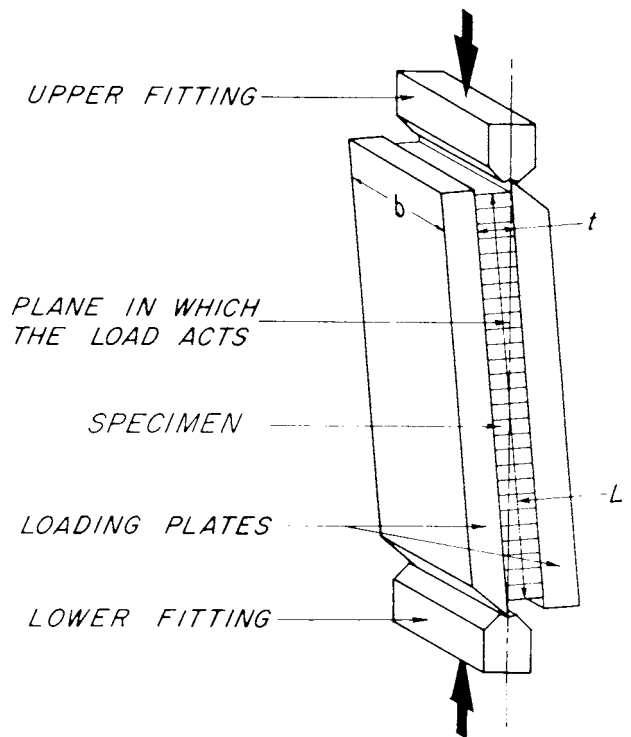


FIG. 26 Detail of Specimen and Loading Apparatus for Determining Interlaminar Shearing Properties

26.6.1 When shear modulus is required, data for plotting load-deformation curves can be obtained by using the arrangement shown in Fig. 27, which measures the displacement of

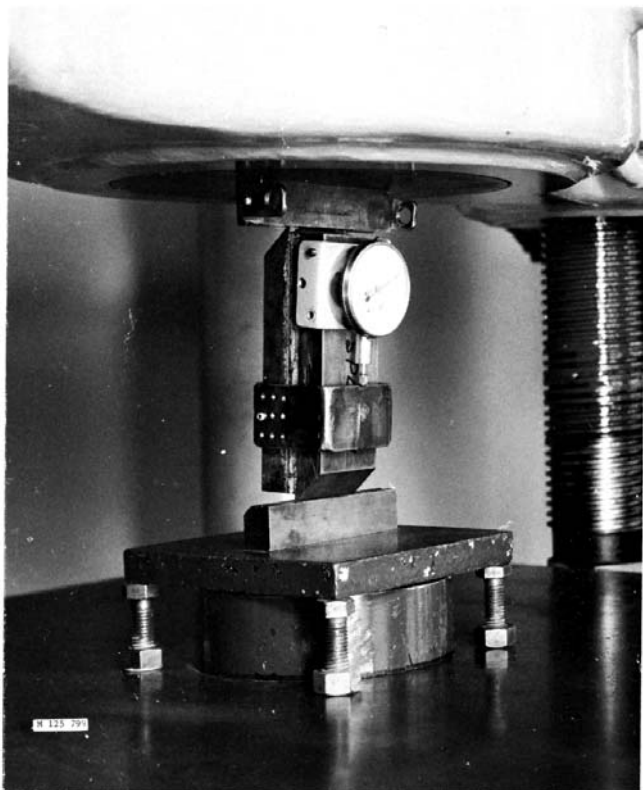


FIG. 27 Test Assembly for Determining Interlaminar Shearing Properties, Showing Dial Gage Apparatus for Measuring Shear Displacement

one plate with respect to the other. Displacement can be measured by the dial gage or microformer.

26.7 Calculation and Report

26.7.1 The interlaminar shear strength and, when required, the interlaminar shear modulus shall be calculated for each specimen in accordance with the following equations, and the values determined shall be included in the report:

$$f_s = \frac{P_{max}}{bL} \quad (14)$$

$$G = \frac{d}{bL} \frac{\Delta P}{\Delta y} \quad (15)$$

where:

b = width of specimen measured in dry condition, in. (mm),

d = thickness of specimen measured in dry condition, in. (mm),

f_s = interlaminar shear strength, psi (MPa),

G = interlaminar shear modulus, psi (MPa),

L = length of specimen measured in dry condition, in. (mm),

P_{max} = maximum load, lbf (N), and

$\frac{\Delta P}{\Delta y}$ = slope of the straight line portion of the load-deformation curve (see Note 17 and Note 53), lbf/in. (N/mm).

NOTE 53—Eq 15 assumes that the strains in the loading plates and in the bond between the plates and the specimen are negligible.

26.7.2 A secant modulus may be calculated for data that do not have an initial straight-line relationship. Then $(\Delta P/\Delta y)$ is the slope of the secant of the load-deformation curve in a given range. The method used to determine shear modulus shall be reported.

27. Edgewise Shear

27.1 Scope

27.1.1 Tests in edgewise shear (shear normal to the plane of the panel, or panel shear) shall be made on specimens clamped between two pairs of steel loading rails. These rails when loaded in axial compression or tension introduce shear forces in the specimen that produce failures across the panel. With most panel materials, failure is a combination of diagonal tension and compression. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

27.2 Significance and Use

27.2.1 This test produces the kind of shear stress that occurs when shear forces are introduced along the edges of the material. The usual applications are where the panel is used as sheathing and racking forces are involved. When panel areas are large with respect to thickness, buckling may occur due to diagonal compressive forces. When this is so, actual panel shear strength may be lower than determined from this test.

27.3 Test Specimen

27.3.1 Each specimen, 3½ by 10 in. (89 by 254 mm) by the thickness of the material, shall be prepared as shown in Fig. 28. The thickness and length of the specimen shall be measured to an accuracy of ±0.3 %.

27.4 Procedure

27.4.1 The load shall be applied in either tension or compression such that the line of action of the applied force passes through diagonally opposite corners of a 1-in. (25-mm) wide by 10-in. (254-mm) long shear area. The ¼ in. (32 mm) width on either side of the shear area shall be used to grip the panel using friction. See Note 54.

NOTE 54—This test procedure is commonly executed using pneumatic or hydraulic gripping devices through which a tension force is applied across the shear area. As an alternative, the bolted grips such as those pictured in Fig. 29 may be used. These grips use hardened steel loading rails with serrated gripping surfaces and are bolted to the specimen with eight ⅜-in. (10 mm) high-strength bolts. The bolts are tightened to prevent the rails from slipping when the load is applied so as to avoid bolt-bearing failures in the panel material. The pressure necessary to prevent slipping will depend upon the density of the material. In order to obtain sufficient gripping pressure when testing some low-density panels, a certain amount of crushing of the specimen beneath the loading rails is unavoidable. The lower fitting is placed on a spherical bearing block so that the load is applied uniformly. The upper fitting is positioned directly above the lower fitting; thus the direct compressive force is applied vertically as shown in Fig. 30.

27.5 Speed of Testing

27.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.02 in./min (0.5 mm/min) ±50 %. See Note 13.

27.6 Calculation and Report

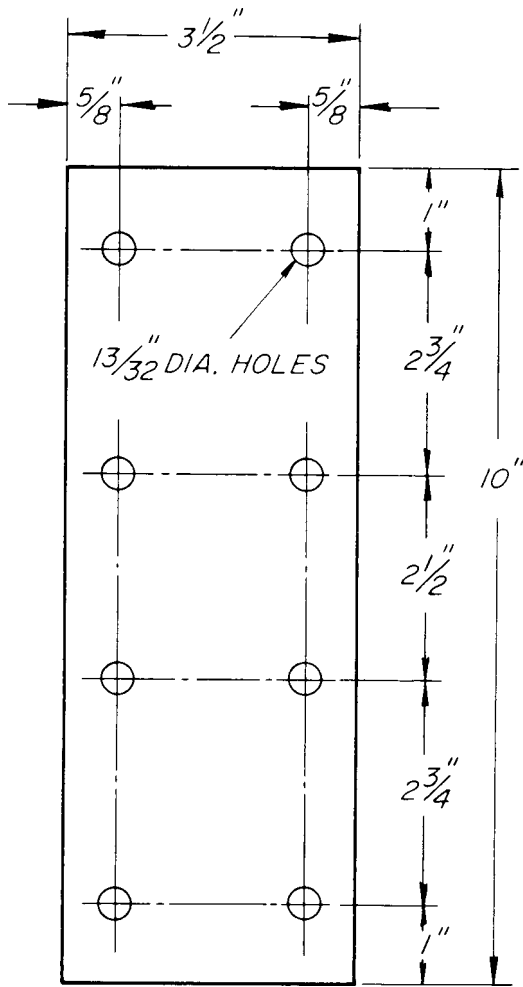


FIG. 28 Detail of Edgewise Shear Specimen

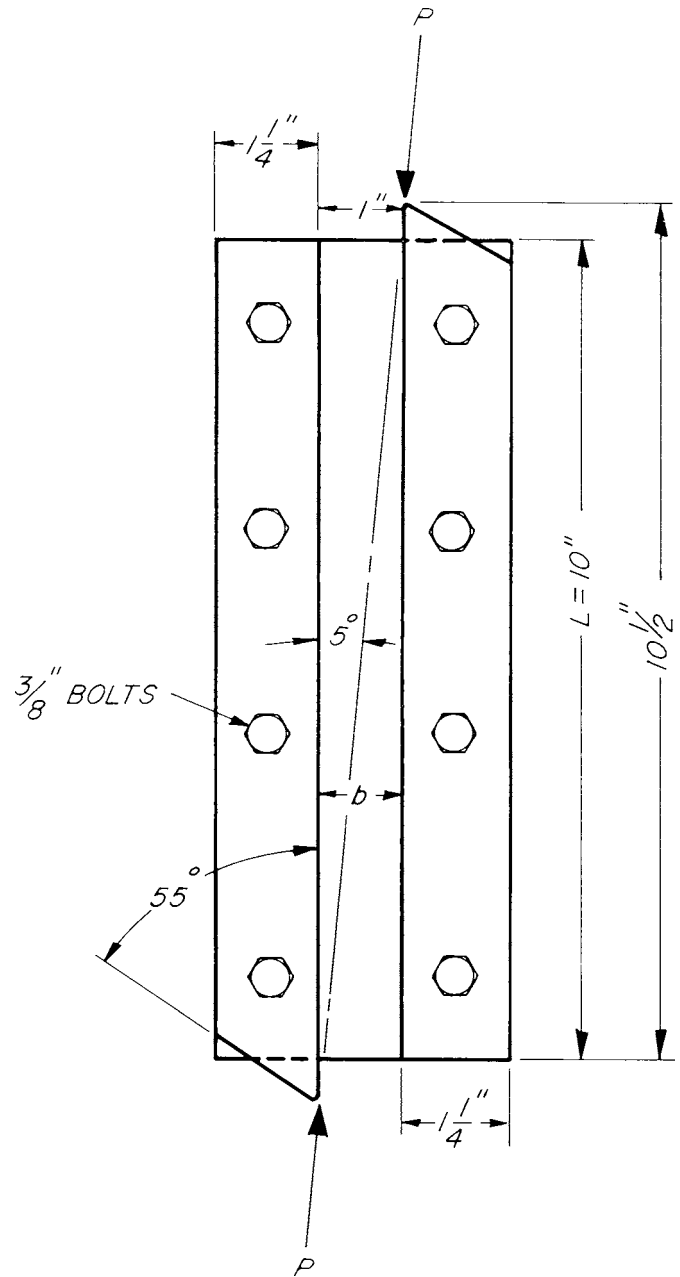


FIG. 29 Detail of Loading Rails Used with Edgewise Shear Specimen

27.6.1 The edgewise shear strength shall be calculated for each specimen in accordance with the following formula, and the values determined shall be included in the report:

$$f_s = \frac{P_{max}}{dL} \quad (16)$$

where:

- d = thickness of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- f_s = edgewise shear strength, psi (MPa),
- L = length of specimen measured in dry condition, in. (mm), and
- P_{max} = maximum compressive load, lbf (N).

27.6.2 Report shall include the description of test apparatus, direction of loading (compression or tension), and calculated values. The kind of failure shall also be described.

28. Compression-Shear

28.1 Scope

28.1.1 This test destructively determines the compressive-shear strength of a panel specimen without gluing or clamping. It provides an indication of the bond quality of a material

subjected to shear deformation, which correlates to the tensile strength perpendicular-to-surface (internal bond) test (Section 11).

28.1.2 It is appropriate for specimens from 1/4 in. (6.4 mm) to 15/16 in. (33.3 mm) in thickness if the panel exhibits sufficient compressive strength perpendicular to the surface so that the primary mode of failure is shear in a plane nearly parallel to the surface.

28.1.3 The specimen may be tested with the shear stress applied parallel or perpendicular to the panel length, or at any angle in between.

28.2 Summary of Test Method

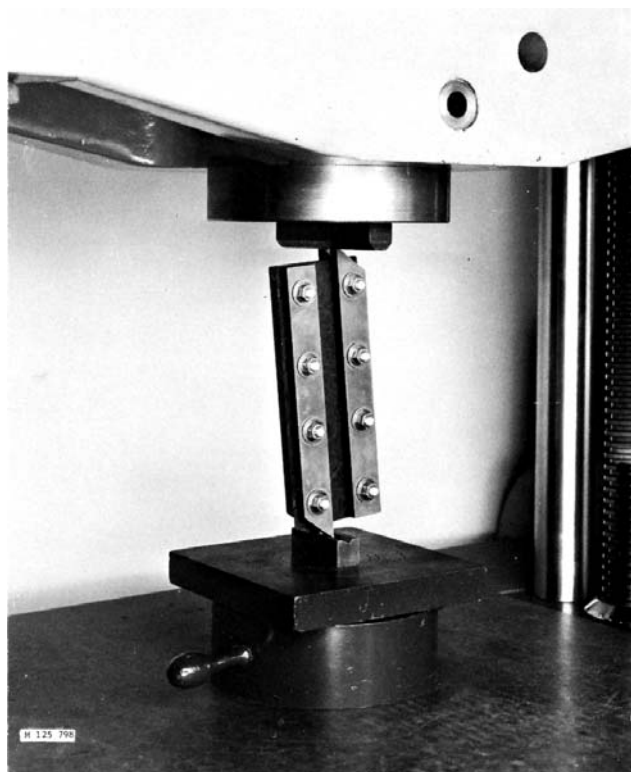


FIG. 30 Test Assembly for Determining the Edgewise Shearing Strength of Wood-Base Panel Products

28.2.1 The test employs the principle that an axially loaded column develops maximum shear stress at an angle 45° to the direction of an applied compressive load. A short columnar assembly of upper and lower sections, to which a compressive load is applied at a uniform rate, is formed by placing a specimen between friction surfaces of mating shear jaws that are oriented at 45° to the axis of the column (Fig. 31). Components of the applied load subject the specimen to compression stress perpendicular to the surface, and shear stress parallel to the surface of the specimen. The shear jaws can be adjusted so that the applied load is always directed through the geometric center of the test specimen. The surfaces of the jaws are designed to transfer the shear force to the specimen. Removable restraining bars, one on the upper end of the upper-shear jaw, and one on the lower end of the lower-shear jaw position the specimen for testing, and also transmit some shear if transfer by the jaw surfaces is incomplete. The base of the lower section of the test column rides on a journaled-roller assembly that permits unrestrained lateral movement to occur as shear strain develops. A hemispherical-pivot point is attached to the top of the upper section of the test column to enable unevenly thick or improperly cut specimens with slight dimensional variations to be tested without modification.

28.3 Significance and Use

28.3.1 The intent of the compression-shear test method is to provide a quick, simple, reproducible, and quantitatively accurate means for measuring the bond quality of panel products.

28.3.2 Panel producers can use it to monitor quality control, and secondary manufacturers and researchers can evaluate the relative strength of panels with similar particle geometries.

28.3.3 The results of the compression shear test can be used directly as a measure of bond quality, or the results may be correlated, using appropriate statistical procedures, to those of the tensile strength perpendicular-to-surface test outlined in Section 11.

28.4 Interferences

28.4.1 The configuration of the test specimen results in some non-uniformity of stress across and through the specimen. Thus, the plane of maximum shear is not precisely parallel to the panel face. However, results correlate well with the common method of evaluating bond quality as specified in Section 11.

28.4.2 Shear failure should occur near the center plane of the specimen. When shear failure occurs on, or near the surface of the specimen, it may not be indicative of a poorly bonded face, since stress concentrations at the interface of the bar, and specimen may initiate unwarranted failure.

28.4.3 When shear failure occurs at or near the specimen's surface, a verification test with a representative specimen shall be conducted as directed in Section 11 to determine if the surface is actually the weakest plane.

28.4.4 Panel types having different particle geometries or orientations, but the same tensile strength perpendicular-to-surface values (Section 11), may have different compression-shear values. Therefore, it may be necessary for each user to develop specific correlations for each panel type to be tested.

28.4.5 Particles aligned perpendicular to the shear force may fail in rolling shear, determined by wood strength, not bond strength.

28.4.6 When bond strength of oriented strand board (OSB) is desired, the test specimen shall be cut so that the orientation of all layers of the specimen is aligned at 45° to the shear force.

28.5 Apparatus

28.5.1 The compression-shear test apparatus consists of the compression-shear device, illustrated in Fig. 32, and any machine (see Note 55) that can apply a compressive force measurable within $\pm 2\%$ accuracy at a rate that will develop 5000 lbf (22 000 N) within 4 ± 2 s, when platens or crosshead and load cell are in contact with a $5/8$ -in. (149-mm) diameter $7/8$ -in. (22-mm) or thicker steel plate.

NOTE 55—Experience indicates that a machine with a 5000 lbf load capacity should be sufficient for testing commercially produced commodity panel types. However, high strength experimental, or specialty-panel types may require a machine capacity of up to 10 000 lbf.

28.6 Test Specimen

28.6.1 Test specimen shall be a $2 \pm 1/16$ -in. (51 ± 1.6 -mm) wide rectangle with all edges trimmed smoothly and squarely. The length, $\pm 1/16$ in. (± 1.6 mm), shall be determined in accordance with thickness as listed in Table 2.

28.6.2 A specimen that is to be tested in a swollen state may be cut before or after swelling. For a specimen to be tested in the swollen state and cut prior to swelling, the thickness of the specimen as it will be tested shall be anticipated in order to establish specimen length. To compensate for any anticipated

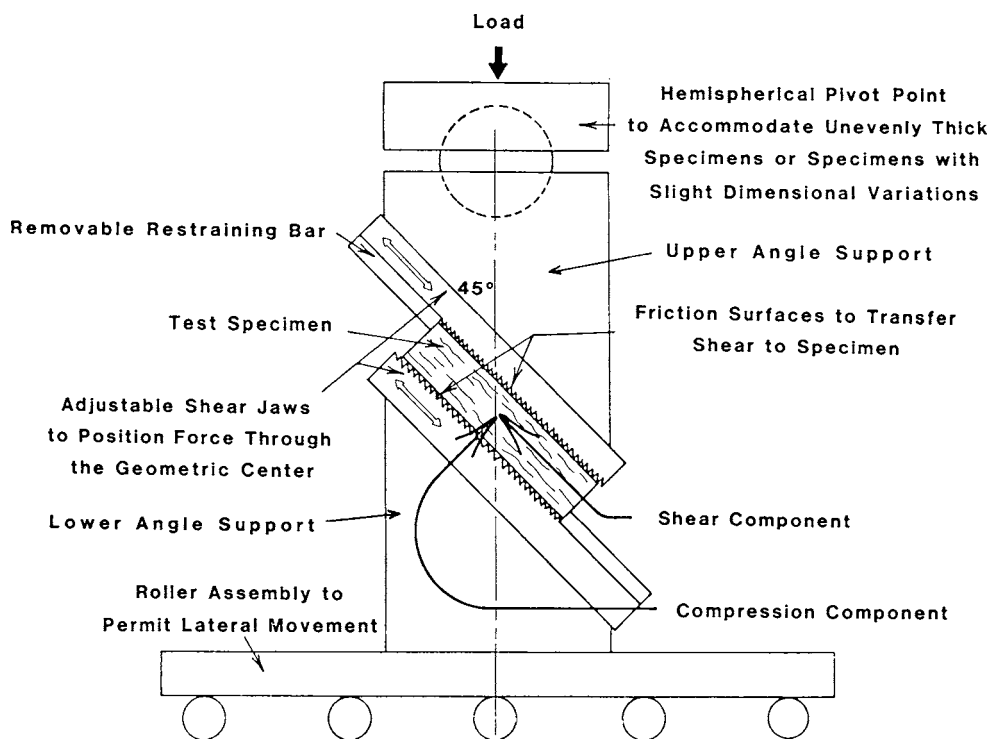


FIG. 31 Principle of Compression-Shear Test

TABLE 2 Specimen Length as a Function of Thickness^A

Thickness Range, in. (mm)	Length, in. (mm)
0.250 to 0.312 (6.35 to 7.93)	2.000 (50.80)
0.313 to 0.437 (7.94 to 11.10)	2.125 (53.98)
0.438 to 0.562 (11.11 to 14.28)	2.250 (57.15)
0.563 to 0.687 (14.29 to 17.45)	2.375 (60.33)
0.688 to 0.812 (17.46 to 20.63)	2.500 (63.50)
0.813 to 0.937 (20.64 to 23.80)	2.625 (66.68)
0.938 to 1.062 (23.81 to 26.98)	2.750 (69.85)
1.063 to 1.187 (26.99 to 30.15)	2.875 (73.03)
1.188 to 1.312 (30.16 to 33.32)	3.000 (76.20)

^A The thickness at the time of testing is the basis for establishing length. For example, a specimen 0.520-in. (13.21-mm) thick shall be 2.250-in. (57.2-mm) long. In instances where the thickness variation of a group of similar specimens would dictate cutting specimens of different lengths, the length of all specimens in the group shall be governed by the thickest specimen. For example, in a group composed of two specimens that individually measure 0.410 and 0.465-in. (10.4 and 11.8-mm) thick, each specimen shall be 2.250-in. (57.2-mm) long.

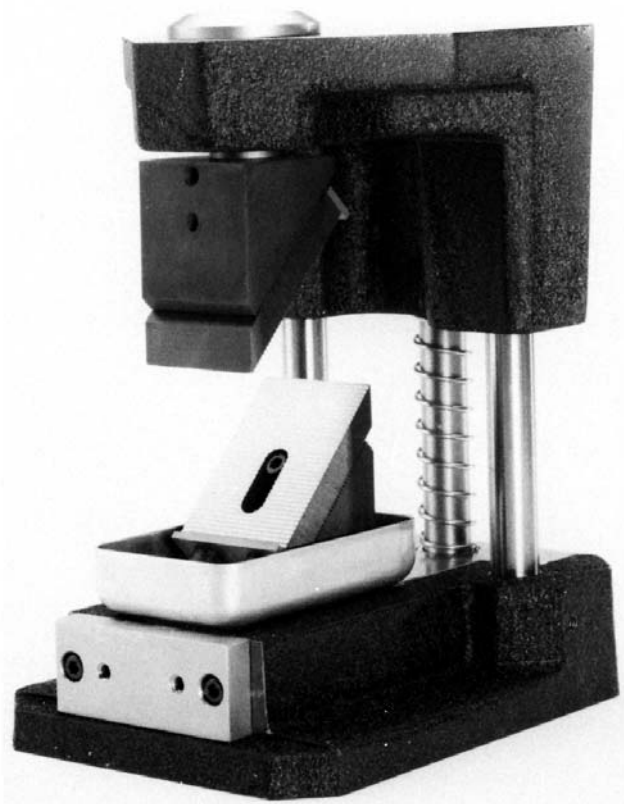


FIG. 32 Compression-Shear Device

change in length, the length shall be increased or decreased by the amount of the anticipated change.

28.6.3 Individual agencies promulgating the compression-shear test as a quality control test shall decide what method of wetting shall be appropriate. Otherwise, users shall decide the appropriate method, and shall include it in report.

28.6.4 The length, width, thickness, and weight of each specimen shall be measured prior to test to an accuracy of $\pm 0.3\%$.

28.7 Procedure

28.7.1 Symmetrically position the upper- and lower-shear jaws, with restraining bars attached, so that the applied force will be directed through the geometric center of the test specimen.

28.7.2 The correct positioning of a specimen can be checked by marking, and aligning the specimen as follows:

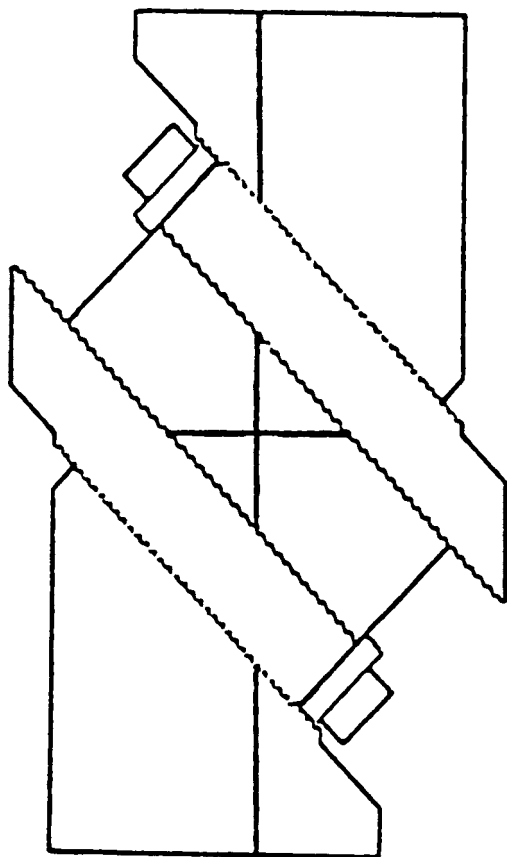


FIG. 33 Proper Positioning of Test Specimen and Shear Jaws on Angle Supports

Use a 45/90° square to determine the geometric center of the long edge of the specimen and draw two 45° lines through this point to form an X.

28.7.3 Place the test specimen flush against the lower-restraining bar and shear jaw, and position the lower-shear jaw so that the indicator line on the lower-angle support is aligned with the vertical line on the test specimen; then position the upper-shear jaw so that the indicator line of the upper-angle support is aligned with the same line on the test specimen when each shear jaw's face and restraining bar are flush with the test specimen, as illustrated in Fig. 33.

28.7.4 Position the compression-shear device in the testing machine that will apply the compressive load.

28.7.5 Place a test specimen in the device; apply a compressive load at the rate specified in section 28.5, and record the maximum load to failure.

28.8 Calculation and Report

28.8.1 Assume that the shear area is the product of the measured length and width dimensions, even when the plane of failure is not parallel to the surface.

28.8.2 Calculate the maximum shear stress for each specimen in accordance with the following equation:

$$\tau = \frac{P_{max}}{\sqrt{2}bd} \quad (17)$$

where:

b = width of the specimen, in. (mm),

d = length of the specimen, in. (mm),
 P_{max} = maximum load, lbf (N), and
 τ = maximum-shear stress, psi (MPa).

28.8.3 The report shall include the following:

28.8.4 The brand name and model number of the machine used to apply the compressive load, and how the load was delivered, that is, through manual or motorized application.

28.8.5 The actual length, width, and thickness of the specimen, in. (mm).

28.8.6 The orientation of panel length, or machine direction to the direction of shear stress.

28.8.7 Special conditions of test, if any (see 28.6.3).

28.8.8 The maximum load, lbf (N).

28.8.9 The maximum shear stress, psi (MPa) for each specimen as calculated in section 28.8.2.

28.8.10 The percent moisture content at time of test as determined in accordance with section 8.4.

PART B—ACCEPTANCE AND SPECIFICATION TEST METHODS FOR HARDBOARD

29. Test Panel

29.1 A test panel of minimum dimensions of 40 by 48 in. (1.0 by 1.2 m) shall be sawn for each test panel whenever possible. The 48-in. dimension of the test panel shall be across the longer dimension of the panel as it is usually obtained. When the test panels are less than 40 by 48 in. in size, a sufficient number of panels shall be selected for each test series to yield the equivalent number of specimens, as shown in Fig. 34.

30. Test Specimens

30.1 Specimens shall be sawn from the test panel, as shown in Fig. 34, exercising care so that edges are straight, smooth, and square, and so that ends and sides are mutually perpendicular to each other.

31. Conditioning

31.1 Except in case of disputes, test all specimens at the moisture content as shipped or received. In cases of dispute, condition the specimens to a constant weight prior to testing, at a relative humidity of 50 ± 2 % and a temperature of 72 ± 2°F (22 ± 1°C).

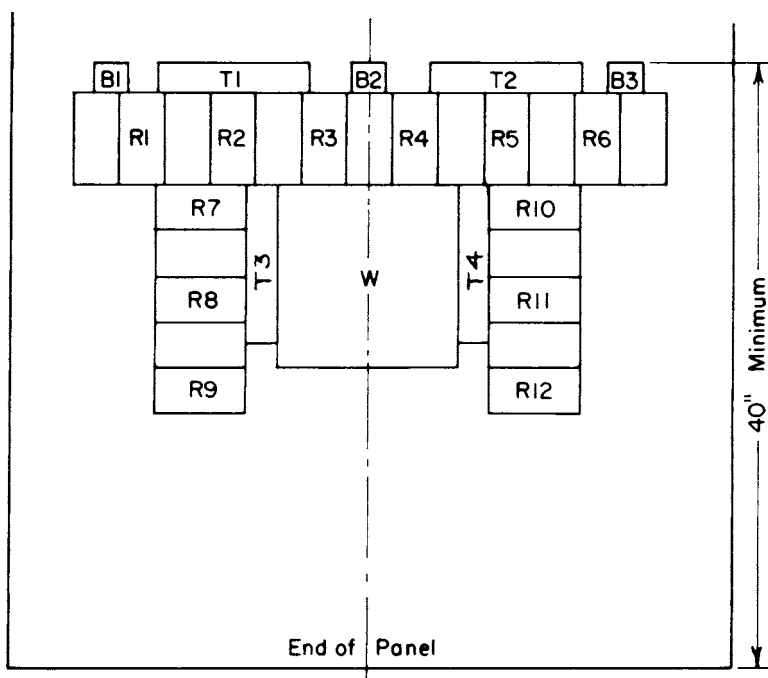
32. Thickness

32.1 Apparatus

32.1.1 Any thickness measuring instrument on which the contacting surfaces are flat and have a minimum diameter of 7/16 in. (11 mm) shall be used. Pressure on the contacting surfaces shall be not less than 7 psi (48 kPa) nor greater than 12 psi (83 kPa), and the instrument shall be such that determinations of thickness are accurate to 0.001 in. (0.02 mm).

32.2 Test Specimen

32.2.1 Twelve 3 by 6-in. (76 by 152-mm) modulus-of-rupture specimens, as specified in section 33.2, shall be used for the determinations of thickness.



Modulus of rupture (*R*)—twelve 3 by 6 in. (76 by 152 mm)
 Tension parallel to surface (*T*)—four 2 by 10 in. (51 by 254 mm)
 Tension perpendicular to surface (*B*)—three 2 by 2 in. (51 by 51 mm)
 Water absorption and swelling (*W*)—one 12 by 12 in. (304 by 304 mm)

NOTE 1—The suffix numbers may be used to identify individual specimens by location and to record specimen test data.

FIG. 34 Diagram for Cutting Test Specimens from Hardboard Test Panel

32.3 Procedure

32.3.1 Measure the thickness at two points on each specimen approximately 1 in. (25 mm) in from the center of the long edges to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

32.4 Calculation and Report

32.4.1 Report the average thickness of the twelve specimens for each test panel to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

33. Modulus of Rupture

33.1 Apparatus

33.1.1 *Testing Machine*—Any standard testing machine (see Note 1) capable of applying and measuring the load with an error not to exceed $\pm 1.0\%$, as provided in Practices E4.

33.1.2 *Span and Supports*—The span shall be 4 in. (102 mm) from center to center of the supports when testing nominal thicknesses not less than $\frac{1}{10}$ in. (2.5 mm) nor greater than $\frac{3}{8}$ in. (9.5 mm). For thicknesses less than $\frac{1}{10}$ in. a span of 2 in. (51 mm) shall be used. The supports and loading block shall be rounded to a radius of not less than $\frac{3}{16}$ in. (5 mm) nor more than $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) and shall be at least 3 in. (76 mm) long.

33.2 Test Specimen

33.2.1 The test specimen shall be 3 by 6 in. (76 by 152 mm) by the thickness of the panel. Six specimens with the long dimension parallel and six specimens with the long dimension perpendicular to the long dimension of the panel shall be taken for testing, as shown in Fig. 34.

33.3 Procedure

33.3.1 *Thickness*—The thickness of each specimen shall be measured to the nearest 0.001 in. (0.025 mm) using the apparatus and procedure specified in Section 34.

33.3.2 *Width*—The width of each specimen shall be measured to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) at the line of load application.

33.3.3 *Load Application*—The specimen shall be centered flatwise on the parallel supports. The specimen shall be placed for testing so that the screen, or rough side, or back surface of sanded two side (S2S) panels when it can be determined, is placed in tension.

33.3.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously at midspan at an approximately uniform rate of motion of the movable crosshead such that the outer fiber strain rate is 0.02 in./in./min (0.02 mm/mm/min). The rate of motion of the crosshead shall be calculated in accordance with Eq 1. See Notes 56 and 57. The crosshead speed, adjusted for thickness, shall not vary by more than $\pm 50\%$ from that specified for a given test. The speed of testing shall be recorded on the data sheet.

NOTE 56—Based on Eq 1, the calculated speed of the crosshead to achieve an outer fiber strain rate of 0.02 in./in./min is approximately:

0.13 in./min (3.3 mm/min)	for $\frac{1}{10}$ -in. (2.5-mm) thickness, 2-in. (51-mm) span
0.14 in./min (3.6 mm/min)	for $\frac{3}{8}$ -in. (9.5-mm) thickness, 4-in. (102-mm) span

NOTE 57—This speed is the differential speed between the moving crosshead and the supports.

33.3.5 The load shall be applied until definite failure occurs. The maximum load shall be recorded to accuracy of the testing machine.

33.4 Calculation and Report

33.4.1 The modulus of rupture shall be calculated for each specimen in accordance with the following equation:

$$R_b = \frac{3P_{max}L}{2bd^2} \quad (18)$$

where:

- b = width of specimen, in. (mm),
- d = thickness of specimen, in. (mm),
- L = length of span, inch (mm),
- P = maximum load, lbf (N), and
- R_b = modulus of rupture, psi (MPa).

33.4.2 The average modulus of rupture of the twelve specimens for each test panel shall be reported to the nearest 100 psi (0.5 MPa).

34. Tension Parallel to Surface

34.1 Procedure

34.1.1 The procedure for determining tension parallel to surface shall be the same as that provided in Section 10, except that the uniform rate of separation of the jaws of the tensile grips shall be 0.15 ± 0.025 in./min. (3.8 ± 0.6 mm/min.). From each test panel, two specimens shall be selected with the long dimension parallel and two specimens with the long dimension perpendicular to the long dimension of the test panel, as shown in Fig. 34. The thickness of each specimen shall be measured to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) and the width to the nearest 0.01 in. (0.2 mm).

34.2 Calculation and Report

34.2.1 The tension shall be calculated for each specimen in accordance with Eq 6.

34.2.2 The average tension of the four specimens for each test panel shall be reported to the nearest 100 psi (0.5 MPa).

35. Tension Perpendicular to Surface

35.1 Procedure

35.1.1 The procedure for determining tension perpendicular to surface shall be the same as that provided in Section 11, except that the uniform rate of separation of the heads of the testing machine shall be 0.15 ± 0.025 in./min. (3.8 ± 0.6 mm/min.). From each test panel, three specimens shall be selected for test as shown in Fig. 34. Saw each test specimen accurately so that it is 2.00 ± 0.01 in. (50.8 ± 0.2 mm) on a side. If improper adhesion of the metal loading blocks to the specimen is indicated by less than 95 % fiber transfer at failure, the tests shall be repeated using supplemental specimens obtained from the same general area of the test panel as the original specimens.

35.2 Calculation and Report

35.2.1 The tension perpendicular to surface shall be calculated for each specimen in accordance with Eq 7.

35.2.2 The average tension of the three specimens from each test panel shall be reported to the nearest 5 psi (0.05 MPa).

36. Water Absorption and Thickness Swelling

36.1 Procedure

36.1.1 The procedure for determining water absorption after a 24-h immersion shall be the same as that provided in Section 23, Method B on a single 12-in. (305-mm) square specimen (see Note 58), as shown in Fig. 34.

NOTE 58—A 6 by 6-in. (152 by 152-mm) specimen may be used for convenience as an alternative size. The smaller specimen will usually yield slightly higher values for water absorption. In cases where dispute is likely because of amount of water absorbed, the 12-in. square specimens should be used.

36.2 Calculation and Report

36.2.1 The water absorption and average thickness swelling values shall be calculated for each test panel, and reported to the nearest 1 % on a weight basis.

37. Moisture Content and Specific Gravity

37.1 Moisture content and specific gravity of each modulus-of-rupture specimen shall be determined based on the volume at test and oven-dry weight in accordance with Test Methods D4442 and D2395. The average values shall be reported for each test panel to the nearest 0.1 % for moisture content and 0.01 for specific gravity. See Note 59.

NOTE 59—For some specification purposes it may be advantageous to report density instead of specific gravity. When this is so, report the average density in lb/ft³ to the nearest 1 lb/ft³.

38. Report

38.1 The data reported shall include, in addition to the actual test results and data called for specifically under each test, a description of the material, sampling procedure, record of any conditioning or treatment, and notes regarding any specific details that may have a bearing on the test results.

39. Precision and Bias

39.1 Statements on precision and bias have not been developed for these methods. Precision will be estimated in accordance with the interlaboratory test program prescribed by Practice E691.

40. Keywords

40.1 hardboard; medium density fiberboard; oriented strand board; panels; particleboard; particle panel materials; wood; wood-base fiber; wood-base panel

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT/).