

**APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA
ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS**

**Aprovechamiento de la cáscara de mazorca de cacao para la elaboración de tableros
aglomerados**

Andrés Felipe Díaz Oviedo

**Universidad de Pamplona
Facultad de ingenierías y arquitectura
Maestría en ingeniería industrial
Pamplona
2021**

**APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA
ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS**

**Aprovechamiento de la cáscara de mazorca de cacao para la elaboración de tableros
aglomerados**

Andrés Felipe Díaz Oviedo

Documento presentado como requisito para optar al grado de:

Magister en Ingeniería Industrial

Director:

Dr. Bladimir Ramón Valencia

Codirector:

Msc. William Javier Mora Espinosa

Universidad de Pamplona

Facultad de ingenierías y arquitectura

Maestría en ingeniería industrial

Pamplona

2021

**APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA
ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS**

Nota de aceptación

JURADO

JURADO

Pamplona, 2021

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

A Dios y mi familia

Primeramente, le doy gracias a Dios por permitirme alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mis padres, hermanos, sobrinos y familiares, que siempre me han mostrado que, aunque la vida tenga distintos matices, siempre tiende a fundamentarse en la familia y dirigirse a la felicidad como una verdadera realización.

A mis amigos que tanto me han ayudado y algunas veces han creído en mí más que yo mismo.

A mis directores, Bladimir Ramón Valencia y William Javier Mora verdaderos guías y quienes con paciencia comparten su sabiduría para tratar de ver en sus estudiantes un futuro mejor para la humanidad.

A mi esposa y a mis hijas quienes me dan la fuerza para seguir intentando, con quienes construimos una nueva meta día a día y con quienes espero con la voluntad de Dios disfrutar de todo el esfuerzo de lo que hemos sembrado juntos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Producción agroindustrial en Colombia	16
2.2 Residuo agroindustrial del cacao.....	17
2.3 Propiedades físico-químicas de los residuos lignocelulósicos	20
2.3.1 Lignina.....	21
2.3.2 Hemicelulosa.....	22
2.3.3 Celulosa.....	22
2.4 Aprovechamiento de los residuos agroindustriales del cacao en la elaboración de nuevos materiales.....	23
2.5 Generalidades de los tableros aglomerados.....	24
2.6 Clasificación de tableros aglomerados	25
2.7 Propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados	26
2.8 Antecedentes de los residuos de cascara de cacao.....	26
2.9 Software de simulación SOLIDWORKS.....	33
3 OBJETIVOS	34
3.1 Objetivo general	34
3.2 Objetivos específicos.....	34
4. PARTE EXPERIMENTAL.....	35
4.1 Residuos agroindustriales de la cascara de mazorca de cacao.....	35
4.2 Caracterización físico-química de los residuos.....	36
4.2.1 Determinación de humedad.	37
4.2.2 Composición Química.	37
4.2.3 Termogravimetría.	41
4.2.4 Microscopía electrónica de barrido SEM.....	42
4.3 Fabricación de tableros aglomerados	42
4.3.1 Preparación del residuo.....	42
4.3.2 Material adhesivo.....	43
4.3.3 Manufactura de los tableros.....	43

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

4.4	Ensayos físico-mecánicos de los tableros aglomerados	44
4.4.1	Cálculo de la densidad.	45
4.4.2	Absorción de humedad.	45
4.4.3	Porcentaje de hinchamiento.	46
4.4.4	Comportamiento mecánico.	47
4.4.5	Simulación de una aplicación industrial.	48
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
5.1	Propiedades físico-químicas de los residuos de cascara de cacao	49
5.1.1	Determinación de humedad	49
5.1.2	Composición química.	50
5.1.3	Estabilidad térmica.	51
5.1.4	Evaluación morfológica.	53
5.2	Caracterización físico-mecánica de los tableros aglomerados.....	55
5.2.2	Contenido de absorción de humedad.....	56
5.2.3	Propiedad de hinchamiento	57
5.2.4	Comportamiento mecánico.....	58
5.3	Simulación de una aplicación industrial con el nuevo material	61
5.	CONCLUSIONES	67
6.	REFERENCIAS	70
7.	PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	76
8.	ANEXOS	79
	Anexo 1. Evidencias Fotográficas.....	79
	Anexo 2. Simulación en solid works	81
	Nombre del modelo: MESA TESIS	81
	Configuración actual: Predeterminado	81
	Sólidos.....	81
	Propiedades de estudio.....	98
	Unidades	98
	Propiedades de material	99
	Cargas y sujeciones	104
	Información de contacto.....	105
	Información de malla	106

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Información de malla - Detalles	106
Fuerzas resultantes	107
Fuerzas de reacción	107
Momentos de reacción	107
Vigas	108
Fuerzas de viga	108
Tensiones de viga.....	111
Resultados del estudio.....	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de residuos de acuerdo al tipo de cultivo y su origen	17
Tabla 2 Normas estandarizadas para ensayos de laboratorio caracterización química de la CMC.	38
Tabla 3 Determinación de la composición química de la CMC	50
Tabla 4 Porcentaje de extraíbles comparados con otros residuos agroindustriales	51
Tabla 5 MOR y MOE del material aglomerado obtenido de la CMC (MPa).....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). a) semillas, b) estructura interna y externa, c) cáscara seca.....	18
Figura 2. Planta de cacao variedad CCN51.	19
Figura 3. Pared celular de la madera (lignina, celulosa y hemicelulosa).....	21
Figura 4. Subproductos generados durante los procesos agrícolas e industriales del cacao	24
Figura 5. Cáscara de mazorca de cacao variedad CCN 51, a) interior, b) exterior.	36
Figura 6. Preparación de la muestra para la caracterización fisicoquímica.....	37
Figura 7. Proceso de a) secado, b) reducción en molino y c) tamizado.....	42
Figura 8. Proceso de llenado para termo conformado.	43
Figura 9. Tableros de CMC al a) 5%UF, b) 10%UF, c) 15%UF y d) 20%UF.....	44
Figura 10. Prueba de flexión estática en probetas	47
Figura 11. Pérdida de humedad en la CMC.....	49
Figura 12. Termograma TGA/DTG para la CMC	52
Figura 13. Microscopia electrónica de barrido de la CMC.....	54
Figura 14. Micro porosidad de la CMC.....	55
Figura 15. Densidad promedio (Kg/m ³) del tablero aglomerado.....	56
Figura 16. Absorción de humedad (%) del tablero aglomerado.....	57
Figura 17. Porcentaje de hinchamiento del tablero aglomerado.....	58
Figura 18. Valores promedio del módulo de elasticidad de los tableros para las diferentes formulaciones con resina %UF.....	59
Figura 19. Valores promedio del módulo de rotura de los tableros para las diferentes formulaciones con resina %UF	60
Figura 20. Enmallado para la simulación de la deformación	62
Figura 21. Cargas y momentos aplicados al modelo	62
Figura 22. Análisis Estático-Tensión de Von Mises.....	64
Figura 23. Análisis Estático-Desplazamientos resultantes	65
Figura 24. Análisis Estático-Deformación unitaria equivalente.....	66

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Determinación porcentaje de celulosa	39
Ecuación 2. Determinación porcentaje de pentosanos.....	39
Ecuación 3. Determinación del porcentaje de lignina.....	40
Ecuación 4. Porcentaje de solubilidad en NaOH.	41
Ecuación 5. Porcentaje de extraíbles.....	41
Ecuación 6. Determinación de la densidad	45
Ecuación 7. Absorción de humedad 2 horas	45
Ecuación 8. Absorción de humedad en 22 horas	45
Ecuación 9. Porcentaje de hinchamiento	46
Ecuación 10. Porcentaje de hinchamiento en 22 horas	46
Ecuación 11. Módulo de ruptura.....	47
Ecuación 12. Módulo de elasticidad	48

RESUMEN

En Colombia, la cáscara de cacao es un desecho no aprovechado, en donde el manejo inadecuado de estos residuos, genera grandes problemas medio-ambientales debido a la emisión de gas metano y por otro lado, se considera un foco de enfermedades para los agricultores. El presente trabajo de investigación se realizó como una alternativa para mitigar este impacto, aprovechando los residuos agroindustriales de la cáscara de mazorca de cacao (CMC) variedad CCN-51 para la elaboración de tableros aglomerados. Inicialmente, se caracterizó solo el residuo CMC, a partir del estudio de las propiedades fisicoquímicas, con lo cual permitió obtener las cantidades de lignina, celulosa, hemicelulosa, cenizas y porcentaje de humedad. Los resultados arrojaron que la composición química, se presentó en mayor proporción en el constituyente de lignina (43,6%), seguido de la celulosa (34,4%) y por último la hemicelulosa (11,75%). Las propiedades térmicas se evaluaron mediante la técnica de termogravimetría TGA/DTG, los termogramas evidenciaron tres etapas de fragmentación que corresponden a los componentes primarios y uno final que hace parte del residuo carbonizado, el límite de estabilidad térmica se observó alrededor de los 200°C. El análisis de la morfología se llevó a cabo mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido SEM, en el cual, reveló una microestructura con alta presencia de microporos y paredes celulares en la superficie. Estos análisis previos, permitieron determinar las variables para la siguiente etapa que consistió en la elaboración del tablero aglomerado con diferentes porcentajes de resina de urea-formaldehído, estos comprendieron valores de 5, 10, 15 y 20%. La caracterización de las propiedades físicas (densidad, absorción de humedad e hinchamiento) determinaron que los tableros se clasifican de alta densidad (ASTM D1554-10), con baja absorción e hinchamiento en los laminados particulados de mayor contenido de resina. Las propiedades mecánicas (MOR y MOE) fueron significativas en los tableros con la composición del 20%, con 7,21 MPa y 1021,92MPa respectivamente. Finalmente, los valores de estas propiedades se asignaron a un modelo desarrollado por elementos finitos en un software de simulación SolidWorks, para validar las propiedades mecánicas en un componente de aplicación industrial. El análisis de carga en modo estático, demostró pequeñas deformaciones en algunos puntos críticos del modelo, sin embargo se encontraban dentro del rango establecido, con lo cual ratifica el uso del tablero aglomerado a partir del residuo agroindustrial de la cáscara de cacao como posible reemplazo de la madera en este tipo de aplicaciones.

Palabras Clave: Agroindustria, Aprovechamiento de recursos, Residuos agroindustriales, Tableros aglomerados, Theobroma Cacao L.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial ha conllevado a la generación descontrolada de residuos, ocasionando un problema económico y ambiental para las empresas que deben asumir los costos en la disposición final de los mismos (Peñaranda et al., 2017; Yepes et al., 2008). De acuerdo con lo anterior, se están implementando procesos más eficientes, que permitan crear alternativas para el uso de estos desechos orgánicos, y en consecuencia aprovechar estos recursos naturales como una fuente de materia prima para la fabricación de elementos industriales (Salamanca, 2012).

Colombia produce 54.785 toneladas de grano de cacao seco al año, correspondiente al 23% de la mazorca utilizada para la producción del chocolate, y el 77% correspondiente a la cáscara, equivalente a 183.410 toneladas/año de residuo en el país, siendo el departamento de Santander el mayor productor con 22.177 toneladas al año (FEDECACAO, 2013).

En la explotación cacaotera sólo se aprovecha económicamente la semilla, que representa aproximadamente un 10% de la masa del fruto fresco. Los subproductos generados, la cáscara y la pulpa, cuando se depositan en los suelos se consideran un foco para la propagación de un hongo del género *Phytophthora* spp, el cual es el causante principal de pérdidas económicas de la actividad cacaotera (Franco et al., 2010). Por otra parte, estos residuos ocasionan un impacto ambiental de gran magnitud, debido al desprendimiento de gas metano que se produce de forma natural por la descomposición de sustancias orgánicas en ambientes pobres en oxígeno, convirtiéndose en un agente responsable del calentamiento global más potente que el dióxido de carbono (Martínez et al., 2015).

Se ha buscado la forma de proporcionar un uso sostenible de los residuos agroindustriales derivados de la producción de cacao, como se ha hecho en la fabricación de pectinas, obtención de biogás, espuma de poliuretano, adsorbentes, producción de carbón activado y pulpa de papel (Barazarte et al., 2008; Suarez et al., 2011). De igual forma, la cáscara de mazorca de cacao se ha experimentado para el empleo como adsorbente para el procesamiento de aguas contaminadas (Suarez et al., 2011). Así mismo, en la elaboración de carbono activo para el tratamiento de aguas residuales (Jiménez et al., 2016).

En la literatura se han reportado investigaciones empleando residuos agroindustriales para la elaboración de tableros aglomerados. Se prepararon laminados auto-enlazados a partir de fibras de la vena central de la hoja de plátano, en el cual se evaluaron, variables como la presión y la temperatura en el proceso de prensado del aglomerado (Álvarez et al., 2009). Con la fibra de raquis de la palma africana se elaboraron tableros auto-adheridos, a través de un proceso de termo-compresión (Mejía, 2012). El bagazo de caña de azúcar se empleó en la elaboración de tableros aglomerados híbridos empleando resinas de urea en formaldehído y melanina en formaldehído en donde se evaluaron las propiedades mecánicas de los tableros aglomerados (Monteiro et al., 2011). Las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas fueron estudiadas para diferentes mezclas de residuos de cascarilla de arroz con diferentes proporciones de gránulos de corcho y caucho reciclado. Los resultados sugieren soluciones a partir de estos compuestos, en particular con el rendimiento térmico y acústico para aplicaciones de materiales de construcción en edificios (António et al., 2018).

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

De acuerdo con lo anterior, es muy importante buscar nuevas alternativas para el uso de los residuos agroindustriales. Es así, que el eje central de la presente investigación, se orienta en el estudio físico-químico de la cáscara de cacao CCN51, como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados. Estos desechos que provienen del municipio de San Vicente de Chucuri-Santander, en el cual según el departamento de estadística de FEDECACAO se tiene la mayor producción a nivel nacional, y no se reportan cifras del uso de estos residuos agroindustriales de la cáscara de mazorca de cacao, y como consecuencia ha provocado un problema ambiental, debido a que su compostaje puede transmitir enfermedades a las otras plantas, problemas de emisión de gas y plagas.

Entre los principales aportes de la investigación se encuentran, el análisis de la composición química, representada en las fracciones de la celulosa, lignina y hemicelulosa. De igual manera, se evaluó las propiedades térmicas mediante la técnica de termo-gravimetría (TGA). Además, se realizó el estudio de la microestructura a través de la microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados arrojados de la caracterización, perfilan los residuos de cascara de cacao, como un potencial para fabricación de tableros aglomerados, sin embargo, se recomienda pre-tratamientos para mejorar la compatibilidad con el aglutinante.

Posterior a la caracterización del residuo, la investigación se divide en tres apartados. El primero, abarca la fundamentación teórica y tendencias frente al aprovechamiento de residuos agroindustriales en la elaboración de nuevos materiales, la determinación de las propiedades fisicoquímicas y las principales características de los tableros aglomerados elaborados a partir de residuos lignocelulósicos. El segundo comprende la parte experimental que incluye los materiales

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

y métodos, la fabricación y caracterización del tablero aglomerado. En el tercero se presentan resultados de los análisis físico-mecánicos aplicados a los tableros aglomerados y, por último, se muestran los valores obtenidos de la simulación del nuevo material para las posibles aplicaciones industriales. Los análisis de resultados y las conclusiones representan los aportes más relevantes del estudio, soportado en comparativos con diversos materiales encontrados en la revisión bibliográfica.

Este desarrollo busca impactar positivamente los sectores de la agroindustria, para mejorar la economía de los cultivadores de cacao y reducir la contaminación. Sumado a esto, el uso de tableros aglomerados disminuye el consumo de madera y permite aprovechar un material orgánico de desecho generando una economía circular. La elaboración de nuevos materiales permite un aporte sostenible, en el ámbito medio ambiental y el aprovechamiento de residuos de origen agroindustrial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Producción agroindustrial en Colombia

La problemática actual, tanto ambiental como económica para las empresas a nivel mundial, está ligada a su desarrollo industrial, a mayor procesamiento de materia prima, mayor generación de residuos y mayores costos para su disposición final. Esto motiva a las industrias a buscar nuevos procesos de producción eficientes y con bajo impacto al medio ambiente. En la actualidad hay una creciente necesidad de disminuir la explotación de los recursos naturales, la contaminación y degradación de los ecosistemas por quemados, el uso de rellenos sanitarios o vertimiento a las fuentes hídricas. El eje central de los nuevos procesos es el máximo aprovechamiento de los residuos generados (Peñaranda et al., 2017).

En Colombia, las centrales de abasto y la agroindustria alimentaria desechan gran volumen de residuos vegetales producto de la comercialización y procesamiento de productos agrícolas, ocasionando un impacto relevante al ecosistema (González, 2013.). La biodiversidad del país incrementa su potencial para desarrollar gran variedad cultivos, cuyo valor agregado permite generar ingresos y alcanzar desarrollos biotecnológicos significativos (Peñaranda et al., 2017; Melgarejo, 2003; Castro, 2014).

El interés que ha despertado la biomasa lignocelulósica en el desarrollo de diversas investigaciones reside en el carácter renovable de este recurso. Los combustibles elaborados a partir de biomasa presentan una menor producción de gas de efecto invernadero, en comparación con los combustibles fósiles. También permite crear productos alimenticios usando los residuos agrícolas, forestales y agroindustriales (Anwar et al., 2014; Medina et al., 2018).

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

En la Tabla 1, se presentan los tipos de residuos generados por los principales cultivos del país; así como su origen dependiendo, si son Residuos Agrícolas Industriales (RAI) o Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC).

Tabla 1 Tipos de residuos de acuerdo al tipo de cultivo y su origen

Cultivo	Tipo de Residuo	Origen del Residuo
Palma de aceite	Cuesco	RAI
	Fibra	
	Raquis de palma	
Caña de azúcar	Hojas-cogollo	RAC
	Bagazo	RAI
Café	Pulpa	RAI
	Cisco	
	Tallos	RAC
Arroz	Tamo	RAC
	Cascarilla	RAI
Banano	Raquis de banano	RAC
	Vástago de banano	
	Banano de rechazo	RAI
Plátano	Raquis de plátano	RAC
	Vástago de plátano	
	Plátano de rechazo	RAI

Fuente: (Serrato et al., 2016).

2.2 Residuo agroindustrial del cacao.

El cacao (*Theobroma cacao* L.) crece en ambientes tropicales alcanzando 2 a 3 m de altura. Las semillas del cacao están rodeadas por una pulpa aromática o tegumento. La pulpa mucilaginosa está compuesta por células de savia ricas en azúcares (10-13%), sales (8-10%), pentosas (2-3%) y ácido cítrico (1-2%). La pulpa es removida por fermentación e hidrolizada por microorganismos en el proceso de cosecha. Los precursores del sabor del chocolate se desarrollan por varios microorganismos en la fermentación, siendo la pulpa la que provee el sustrato. Estos microorganismos son eliminados completamente durante el proceso de tostado (Mejía et al., 2000;

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Ortíz et al., 2015). En la Figura 1, se muestra la morfología interna y externa del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.)



Figura 1. Cacao (*Theobroma cacao* L.). a) semillas, b) estructura interna y externa, c) cáscara seca.

Fuente: (*Federación Nacional de Cacaoteros, 2013*)

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta que pertenece a la familia Malvaceae y se encuentra de manera natural en los bosques de América del Sur, en las regiones del Amazonas y Orinoco. De forma natural se encuentran las especies *Theobroma cacao* L. y *T. bicolor* Humb.& Bonpl, sin embargo, en Sudamérica y partes de Centroamérica hasta México se encuentran cerca de 22 especies (*Federación Nacional de Cacaoteros, 2013*).



Figura 2. Planta de cacao variedad CCN51.

Fuente: (Teneda, 2016)

El fruto del cacao está conformado por un 30% de fruto carnosos, al cual se le realiza un respectivo secado para su posterior comercialización como materia prima y el otro 70% del fruto está formado por la mazorca o corteza exterior (Ruíz, 2011).

Según el departamento de estadística de FEDECACAO, en la actualidad, el departamento de Santander es el mayor productor con 22.424 Ton, siendo el 40.9% del total nacional, seguido de Arauca con 10.3% y Huila con el 7%, mientras que el consumo de cacao en Colombia es aproximadamente de 60.000 toneladas métricas (Martínez, 2016). En el proceso industrial de explotación de cacao no se utiliza toda la materia prima, se aprovecha aproximadamente el 10% de la masa del fruto seco que corresponde a la semilla de la fruta, los componentes como la cáscara y la pulpa no son utilizados y se consideran residuos (Franco et al., 2010).

Los desechos resultantes de los cultivos agrícolas y del proceso de transformación en el cultivo del cacao son residuos de biomasa, principalmente constituidos por: agua, celulosa y lignina; su disposición final tiene una alta dispersión debido a las grandes cantidades que se generan. Su proceso de biodegradabilidad es lento y al incrementarse la producción agrícola, se desequilibra su ciclo natural dando lugar a problemas sanitarios y de contaminación visual, además de representar un desperdicio de recursos potenciales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015).

2.3 Propiedades físico-químicas de los residuos lignocelulósicos

Los elementos constitutivos de las maderas principalmente son el carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, fósforo y azufre. Todas las especies lignocelulósicas se componen esencialmente de celulosa, hemicelulosa, lignina y extraíbles (Curling et al., 2002). Las moléculas de celulosa forman agregados de microfibras que están incrustados en una matriz blanda de hemicelulosa y lignina, estos componentes representan entre un 80-90% del peso (Ferrer, 2013). Otros constituyentes son los compuestos inorgánicos; representados por las cenizas y los de bajo peso molecular llamados extraíbles (Leal et al., 2011).

Las propiedades de los materiales lignocelulósicos dependen en gran medida de la composición química, la orientación de las microfibrillas de celulosa y las interacciones moleculares del ensamblaje de polímero en la pared celular (Yin et al., 2014). La pared celular de la madera exhibe grandes meso poros, debido a los espacios entre las microfibrillas de celulosa, ocupados parcialmente por lignina, hemicelulosa y extraíbles. Los residuos lignocelulósicos están compuestos de celulosa (40-50%), hemicelulosa (20-35%) y lignina (10-15%) (Wang et al., 2017; Medina et al., 2018).

En la Figura 3, se presenta la estructura de la pared celular de la madera, en donde se observa la lignina, celulosa y hemicelulosa.

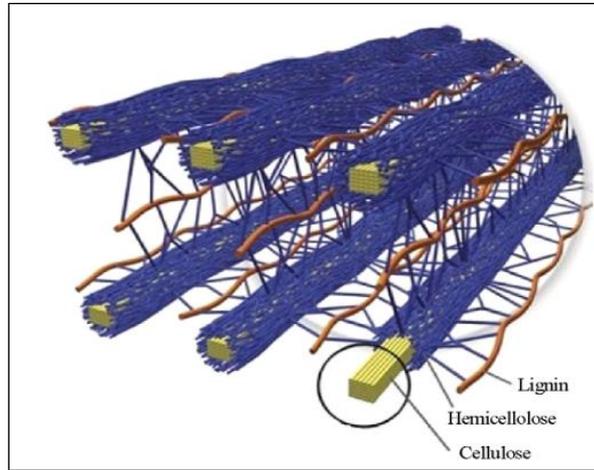


Figura 3. Pared celular de la madera (lignina, celulosa y hemicelulosa).

Fuente: (Doherty et al., 2011).

2.3.1 Lignina. Es uno de los biopolímeros más predominantes en las plantas, junto con la celulosa y las hemicelulosa. La lignina se acumula en la pared celular, en una disposición a escala nanométrica y da como resultado estructuras de red de lignina-carbohidratos (Gellersted et al., 2008). Tiene función aglomerante al encontrarse depositada sobre las fibras celulósicas, así como en los enlaces covalentes entre lignina y carbohidratos, esto asegura una protección contra los agentes atmosféricos (Vázquez et al., 2002; Mejía, 2012).

Su estructura ha sido muy difícil de determinar por ser un polímero aromático tridimensional muy complejo, ser insoluble y no permitir la hidrolización por ácidos. En diversas investigaciones se ha demostrado que los diferentes tejidos o capas de la pared celular manifiestan diferencias en la composición de la lignina en las plantas, ligado a la variación de clase de botánica, ordenes e incluso especie (Mejía, 2012; Reale et al., 2003).

2.3.2 Hemicelulosa. Esta contiene cadenas de azúcares y algunos de sus derivados, como son: azúcares acetilados y ácidos urónicos y son considerados polímeros heterogéneos. Diferentes grupos como los pentosanos o azúcares de 5 carbonos, hexosanos o azúcares de 6 carbonos, ácidos hexurónicos y deoxihexosas forman la hemicelulosa. (Vázquez et al., 2002; Mejía, 2012).

Propiedades como el grado de hinchamiento, (re)hidratación, plasticidad, flexibilidad, rigidez y dureza en los materiales lignocelulósicos, se deben principalmente a la capacidad de enlace y el desempeño visco-elástico, en el comportamiento físico-químico de las hemicelulosas (Doherty et al., 2011). Comparado con la celulosa, las hemicelulosas presentan una mayor velocidad de hidrólisis en medio ácido, solubilidad en álcalis y una mejor resistencia a la oxidación respecto a la lignina (Mejía, 2012; Ariza et al., 2009).

2.3.3 Celulosa. Principalmente este componente determina el grado de madurez de las plantas, por ser el mayor constituyente de la materia vegetal, la edad está relacionada directamente con la cantidad presente en las fibras vegetales y maderas (Mejía, 2012). La celulosa, gracias a la extensa red de enlaces de hidrogeno forma una estructura parcialmente cristalina en orden jerárquico. Las microfibrillas de celulosa actúan como el componente portador de carga, proporcionando integridad estructural a los materiales lignocelulósicos, mientras que los componentes de la matriz (lignina-hemicelulosa) son capaces de ajustar las propiedades de los tejidos vegetales de acuerdo con los requisitos específicos. (Martínez et al., 2017).

Otras propiedades de gran importancia que están contenidas en los residuos lignocelulósicos, comprenden una amplia variedad de compuestos no volátiles como grasas, ácidos grasos, alcoholes, resinas acidas, fitoesteroides y otros compuestos neutros. Estos componentes gracias a su baja degradabilidad cumplen la función de proteger las plantas al evitar la pérdida de

agua, los daños mecánicos en las células de la epidermis de las hojas y tallos, así como repeler el ataque por insectos (Mejía, 2012).

De otro modo, las cenizas contribuyen a la regulación de la carga hidrostática al estar constituidas principalmente por carbonatos y oxalatos cuando se someten a temperaturas entre 575 a 850°C, estos son los compuestos remanentes después de la destrucción de la materia orgánica de las fibras (Mejía, 2012).

2.4 Aprovechamiento de los residuos agroindustriales del cacao en la elaboración de nuevos materiales

La extracción de la pulpa de cacao, genera como residuo la cáscara de mazorca y su valor calórico va de los 17 a los 22 MJ Kg⁻¹. Con base en cenizas libres, la CMC contiene 35, 30 y 10 wt % de lignina, celulosa y hemicelulosa respectivamente; el porcentaje restante corresponde a extraíbles. La ceniza representa 10 a 15 wt % y es la fracción inorgánica de la biomasa (Martínez et al., 2015; Titiloye et al., 2013).

En la Figura 4, se muestran las etapas de la industria cacaotera y se indican los momentos o procesos en los que se generan los residuos.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

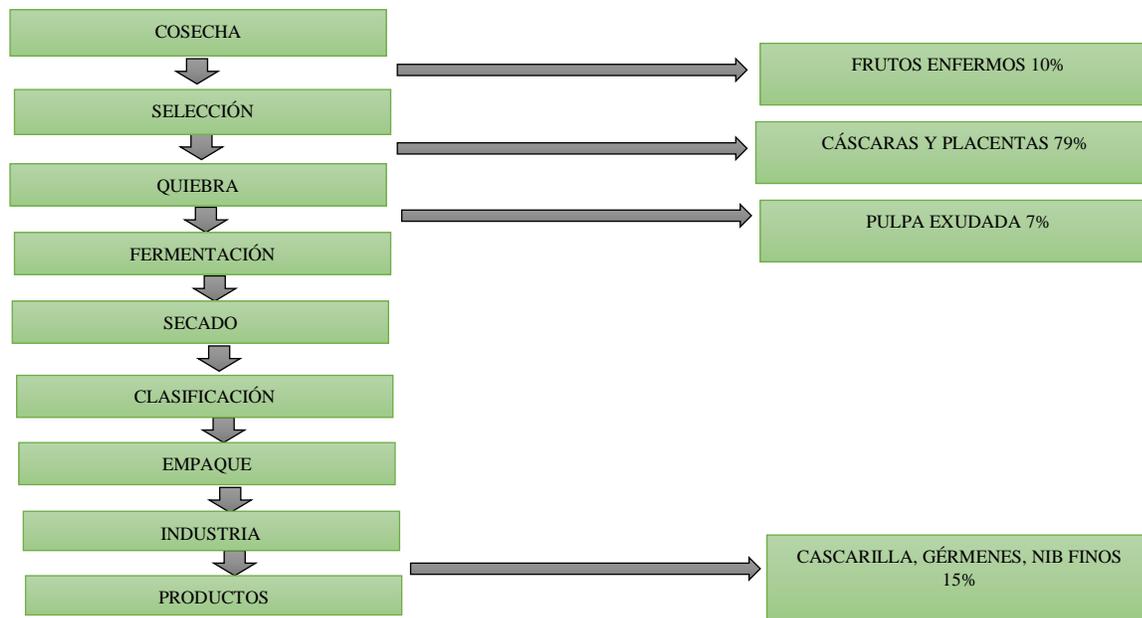


Figura 4. Subproductos generados durante los procesos agrícolas e industriales del cacao

Fuente: (Mejía et al., 2000)

2.5 Generalidades de los tableros aglomerados

La norma ASTM D1554-10 “terminología estándar relacionada con materiales de paneles de partículas y fibras a base de madera”, los clasifica como un material de tipo compuesto a los tableros aglomerados de partículas lignocelulósicas, debido a su conformación por una resina (matriz), aglutinada con una fibra o ripio de madera (refuerzo) (ASTM, 2005). Se destaca que la elaboración de tableros aglomerados de este tipo, permite obtener piezas únicas de grandes dimensiones y de formas irregulares, haciendo un uso eficiente del consumo energético y con bajas emisiones de dióxido de carbono (CO₂), dándole una ventaja competitiva en el mercado (López, 2010).

Las partículas o fibras homogeneizadas son aglomeradas usando diversas resinas permitiendo una gama propiedades, dependiendo del tipo de aplicación al que vayan a ser sometidos. Los suplentes de los productos de madera pura permiten muchas aplicaciones debido a

ventajas como su bajo costo, rigidez, suavidad, fácil procesamiento, buena estabilidad, tensión, entre otras. Por este motivo los tableros aglomerados han sido utilizados desde hace mucho tiempo (Domínguez et al., 2014).

Tradicionalmente los adhesivos a base de formaldehído, tales como urea-formaldehído, melanina-formaldehído y fenol-formaldehído se han utilizado en la elaboración de aglomerados a nivel industrial. Cuando entran en contacto con materiales a base de madera, las propiedades químicas que presentan, le proporcionan un mejor nivel de impermeabilidad, incrementando de esta manera las propiedades físico-mecánicas de los mismos (Domínguez et al., 2014; Gurú et al., 2006; Lei et al., 2014).

2.6 Clasificación de tableros aglomerados

Los tableros aglomerados se clasifican en dos grandes grupos de acuerdo al origen del material con que se elaboran: de partículas y de fibras. Los tableros de partículas, utilizan diferentes tipos de adhesivos y se fabrican aplicando altas temperaturas y presiones sobre las partículas de madera o fibras. Las resinas sintéticas son los aglutinantes más usados debido a las propiedades físico-mecánicas que les brindan a los tableros, aunque también se emplean resinas naturales. Por otro lado, se encuentran los tableros de fibras, fabricados mediante la compresión de fibras de madera refinadas previamente, se clasifican de densidad media (MD) y densidad alta (HD). Estos materiales utilizan tanto resinas sintéticas como naturales, en el cual, el proceso de curado puede ocurrir a diferentes temperaturas. En la industria son aptos para fabricar muebles, laminados, lienzos de pintura, puertas de armarios, posters, puzzles, base para maquetas, entre otros, principalmente en aplicaciones no estructurales (Domínguez et al., 2014).

2.7 Propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados

Los tableros requieren una capa de recubrimiento para garantizar la resistencia requerida a la humedad, golpes o suciedad, siendo esto, una de las características más importantes (Domínguez et al., 2014).

La aptitud de los tableros, para usos específicas dependen de la densidad, esta propiedad determina el campo de aplicación debido a que está estrechamente relacionada con la resistencia mecánica de los tableros. De igual manera, es importante conocer propiedades como la uniformidad en su espesor, el perfil de densidad en función de su espesor, la resistencia y rigidez a esfuerzos de flexión estática, la adherencia de las partículas, así como el grado de absorción de humedad e hinchamiento. Estas propiedades físicas y mecánicas, son determinantes para obtener el máximo rendimiento, durabilidad y economía. El aprovechamiento del tablero en las diversas aplicaciones industriales va ligado a sus características, lo que ha permitido incluir algunas especies de madera que no se consideraban aptas para el desarrollo de tableros y que mostraron buenas propiedades (Manzano, 2000).

2.8 Antecedentes de los residuos de cascara de cacao

Diversos usos alternativos para la cáscara de mazorca de cacao se han desarrollado en investigaciones, donde su principal objetivo ha sido la transformación sostenible de los residuos agroindustriales derivados de la producción de cacao. Entre ellas se puede destacar:

- En los países bajos una investigación conjunta evaluó el potencial bioenergético mediante densificación de las cáscaras de los granos de cacao en gránulos, teniendo en cuenta el efecto del tamaño de las partículas de la cáscara, la tensión de compactación, la velocidad de compactación y la adición de aglutinante mediante pruebas de resistencia a la

compresión y a la tracción para evaluar la integridad mecánica, resistencia a la abrasión, el impacto y absorción de agua. Los resultados determinaron un tamaño de partícula óptimo <1 mm y con adición de aglutinante para lograr un pellet aceptable y de buena calidad. (Thompson & Rough, 2021).

- En Malasia, investigadores de la UTHM utilizaron la cáscara de cacao y del tallo del maíz para la producción de papel debido a la carencia de fibras de madera. Realizaron un análisis químico y morfológico del cacao, determinando que principalmente se componen de celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas. La microscopía de barrido sirvió como análisis morfológico y los resultados confirmaron que estos residuos pueden ser utilizados como alternativas para la fabricación de papel (Daud et al., 2013).
- En Nigeria, investigadores de la Universidad Estatal de IMO, utilizaron como adsorbente la cáscara de cacao para retirar el Zn de soluciones acuosas, analizando los efectos y el tiempo de contacto, las concentraciones de Zn, la temperatura y el pH, además de la presencia de otros iones metálicos. Los resultados mostraron que la biosorción se puede dar en un proceso espontáneo y endotérmico, aunque se midió un efecto adverso debido a la presencia de iones, reflejado en la capacidad de biosorción (Njoku, 2014).
- En México, se estudió el efecto de la incorporación del residuo de la cascara de cacao en la formulación de espumas de poliuretano (PU) y su influencia en sus propiedades físico-mecánicas. Los resultados arrojaron que la aplicación de estos productos hidrófilos en suelos mejora su capacidad de retención de agua y permite resolver la irregularidad del aporte natural de agua en la región noreste, con la ventaja de ser materiales con biodegradabilidad controlada (Padrón et al., 2004).

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

- Por otra parte, en Venezuela se analizó la utilización de la cáscara de cacao en la producción de pectinas a nivel industrial. Para esto, se extrajo pectinas de la cascara de cacao a diferentes condiciones de pH y temperatura, y se evaluó sus principales características químicas; con la pectina extraída elaboraron una mermelada de fresa y determinaron su aceptabilidad empleando una escala hedónica de 7 puntos. Finalmente se concluyó, que es necesario optimizar los parámetros de extracción para aumentar el rendimiento de las pectinas de cáscara de cacao para su potencial aplicación en la industria de alimentos (Barazarte et al., 2008).
- La producción de carbón activado a partir de la cáscara de mazorca de cacao (CMC), fue estudiada por investigadores de Perú y Finlandia con dos tamaños de partícula diferentes, tres agentes químicos de activación y carbonización sobre nitrógeno atmosférico durante dos horas en tres diferentes temperaturas. El carbón obtenido fue caracterizado por procedimientos químicos en el laboratorio y los resultados validaron que la cáscara de mazorca de cacao puede ser usada para producir carbón activado por acción química (Cruz et al., 2012).
- En Ecuador se evaluó energéticamente las características de la biomasa residual agrícola de cacao (CCN-51). Esta investigación abarcó el análisis inmediato, análisis elemental y la estimación del potencial energético de dichos materiales. Los resultados reflejaron que reúne las características físicas, químicas y energéticas que la identifican como biomasa potencial, al ser similares a las del bagazo de caña o cascara de coco (Sánchez, 2013).

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

- En una investigación, se determinó de forma experimental un análisis comparativo para el aprovechamiento de residuos agroindustriales de la cáscara de cacao variedad arriba y CCN51 para la elaboración de una infusión con plantas medicinales utilizando Stevia como edulcorante. Con la caracterización de las dos variedades de la CMC se concluyó que la variedad arriba tiene mayor cantidad de polifenoles en comparación con las plantas medicinales. La infusión en este estudio demostró excelentes atributos organolépticos y beneficios para el consumidor. (Tapia, 2015).

En Colombia, diversas investigaciones han sido evaluadas con el uso de la cáscara de cacao con el propósito de darle alguna utilidad a ese gran volumen de residuos agroindustriales.

- La investigación denominada “Aprovechamiento de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente” tuvo como objetivo desarrollar y analizar la aplicación de la CMC como adsorbente para el tratamiento de agua contaminada. El trabajo consistió en la implementación de un tratamiento térmico para la modificación química de la superficie de la CMC. Las pruebas de adsorción realizadas al material resultante presentaron una remoción de más del 99% del adsorbato, en el cual se evidenció que la cáscara de la mazorca de cacao por medio de un tratamiento térmico permite producir un material adsorbente (Ardila et al., 2011).
- De igual forma, se realizó una revisión bibliográfica referente a la producción de adsorbentes a través del aprovechamiento de materias primas baratas como los residuos lignocelulósicos para la reducción de la carga contaminante en aguas y reducir costos en el tratamiento de aguas y, además, para conocer la problemática derivada de la industria cacaotera en el país por sus actividades. Se ha demostrado que el desarrollo tecnológico

para el tratamiento de aguas residuales permite la utilización de productos y métodos de alto costo, lo que ha conducido a implementar alternativas novedosas de menor costo y con igual o mejor efectividad, implementando residuos agroindustriales, debido a su alto contenido lignocelulósico (Jiménez et al., 2016).

- El aprovechamiento de los residuos de la cáscara de mazorca de cacao y su contenido de pectina se utilizó en la preparación de mermeladas de tipo comercial; mediante un proceso de reducción de tamaño para facilitar su tratamiento, un lavado con ácido cítrico y un calentamiento con agua. La solución obtenida de este proceso fue sometida a un análisis microbiológicos y fisicoquímicos en donde se determinaron diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos importantes que permitieron usarla como reemplazo de la pectina comercial en la preparación de mermeladas de fruta, obteniendo un grado de esterificación superior al 70% y un conteo de microorganismos despreciable (Bernal et al., 2014).
- El análisis de tres materiales biológicos: el clon CCN-51, el clon ICS-39 (CMC2) y un híbrido (CMC3) con altos rendimientos, permitió evaluar el potencial energético de la CMC. Se usaron diferentes técnicas de caracterización para biomasa cruda y cenizas, análisis definitivo, aproximado y de valor calórico, determinando distintos índices de fouling. Los resultados determinaron la aparición de fenómenos de aglomeración y sintetizado cuando se usa la CMC como combustible. Así mismo, propusieron la gasificación como un proceso con mayores posibilidades para el uso energético (Martínez et al., 2015).

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

El uso de residuos agroindustriales para la elaboración de tableros aglomerados se ha venido fortaleciendo, como se evidencia en diversas investigaciones referentes a esta temática.

- En México, se elaboraron tableros aglomerados a partir de la fibra de coco y cemento. Los tableros se fabricaron con ciertas proporciones de mezcla cemento-fibra, agregado material inerte y agua, partiendo de un diseño experimental para la determinación de las proporciones y la determinación de las propiedades físico-mecánicas. Los resultados mostraron que la óptima proporción es del 5% fibra y 60% cemento, para obtener un tablero y buenas propiedades de resistencia a la flexión. Por otra parte, en el ensayo de compresión, las mejores mezclas fueron 5% fibra-40% cemento (Novoa, 2005).
- En Venezuela, se llevó a cabo un estudio para la elaboración de tableros aglomerados de partículas aprovechando los residuos industriales del aserrío de la madera de *Pinus patula*. Los tableros se manufacturaron con partículas homogéneas a dos niveles de densidad, luego se determinaron sus propiedades físico-mecánicas y se evaluaron bajo las normas técnicas. Los tableros aglomerados elaborados en este estudio cumplieron con los valores mínimos requeridos por las normas, en específico para las propiedades mecánicas de MOR y adhesión interna, demostrando que los residuos industriales de esta especie maderable presentan buenas características para la fabricación de tableros de partículas de densidad media (Zambrano et al., 2013).
- Otra investigación en Venezuela, realizó un estudio exploratorio para proporcionar un uso a la madera de *Eucalyptus uruphylla* en la elaboración de tableros aglomerados de partículas. Para tal fin, se determinaron las propiedades físico-mecánicas del material aglomerado bajo la norma DIN y la norma CONEVIN. El aprovechamiento de la madera

de la especie *Eucalyptus uruphylla*, mostró buenos resultados y propiedades tecnológicas adecuadas para su transformación en un producto de ingeniería como el tablero homogéneo de una capa de partículas con densidad media .

- En la universidad Autónoma del caribe-Colombia, se fabricaron tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibras de la vena central de la hoja de plátano. Las propiedades mecánicas fueron evaluadas por medio de ensayos de flexión y la degradación térmica de las fibras se examinaron por medio de ensayos termogravimétricos. El análisis de las propiedades mecánicas demostró una alta influencia de variables como la presión y temperatura, mientras que el tiempo y la humedad de la fibra no se modificaron. Además, se comprobó que a mayores temperaturas se obtienen tableros con mejores propiedades mecánicas (Álvarez et al., 2009).
- En la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín (UPB) en Colombia, se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de tableros de partículas empleando como adhesivo una dispersión de proteína de soya, adicionando un agente modificante como la urea y el alcohol furfurilico. El material presentó buena adhesión y un incremento en su resistencia a la tracción con el uso de la proteína y el entrecruzante. Así mismo, la apariencia física mejoró con la adición del modificante (Londoño et al., 2013).
- En este contexto en la UPB, se llevó a cabo una investigación para elaborar tableros de fibra sin aditivos sintéticos empleando el fique como materia prima. Se evaluó el efecto de la severidad en las propiedades físico-mecánicas de módulo de elasticidad, módulo de ruptura, hinchamiento en el espesor y absorción de agua, debido al pretratamiento y la temperatura de prensado. Los tableros obtenidos con un espesor de 3 mm y dimensiones de 15 mm de longitud por 5 mm de ancho presentaron densidades mayores a 1000 Kg/m^3 ,

módulos de elasticidad y módulos de ruptura mayores a 2000 MPa y 10 MPa respectivamente. Se obtuvieron mejores propiedades mecánicas de los tableros a severidades menores. De otro lado, en severidades muy altas se adhiere mayor contenido de lignina pero se genera menor resistencia en los tableros debido a que las fibras se deterioran más (Arriaga, 2015).

- Aplicaciones de las fibras de materiales lignocelulósicos en la elaboración de tableros aglomerados provenientes de plantas como la “guasca de plátano”, el “tripeperro” y el “pasto elefante” encontradas en la región del Quindío, Colombia, se compararon con aglomerados comerciales de madera. El tablero de partículas mezcladas con resina termoestable fue sometido a pruebas mecánicas de flexión, tracción, compresión, dureza, así como de absorción de agua teniendo en cuenta lo establecido por la norma ASTM. Los análisis revelaron mejores resultados que el tablero comercial respecto a la absorción de agua, aislamiento térmico y dureza (Gaitán et al., 2016).

2.9 Software de simulación SOLIDWORKS.

Este software CAD 3D (diseño asistido por computadora) sirve para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D que permiten optimizar todo el proceso de desarrollo del producto mediante la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño. (<https://solid-bi.es>, 2021).

El software SOLIDWORKS permite desarrollar soluciones intuitivas de diseño en 3D que ayudan a conceptualizar, crear, validar, comunicar, gestionar y transformar ideas innovadoras en grandes diseños de productos. Sus principales ventajas son:

- *“Creación de diseños de forma rápida y precisa, incluidos modelos 3D y dibujos 2D de ensamblajes y piezas complejos.*
- *Optimización de los costos de diseño y fabricación utilizando herramientas de estimación de costos y realizando comprobaciones de la viabilidad de fabricación.*
- *Evita errores y repeticiones utilizando herramientas integradas de análisis de la tensión y el movimiento.”* (<https://www.solidworks.com>, 2021).

Mediante SOLIDWORKS se desarrolla el proceso de cálculo llevando los diseños a condiciones reales, permitiendo mediante la simulación mejorar la calidad y costo. Sus funcionalidades principales son las siguientes:

- *“Genera menor número de prototipos gracias a la posibilidad de configurar y probar los productos simulando un entorno real antes de fabricarlos. De esta forma se evitan errores costosos y el producto llega antes al mercado.*
- *Evalúa el rendimiento de los productos para mejorar la eficacia de éstos desde la primeras fases de diseño y controlar su ciclo de vida. Se perfeccionan los diseños gracias al análisis de simulación y se adapta el producto según los resultados obtenidos.*
- *Las pruebas virtuales en las fases iniciales del desarrollo de producto integradas en CAD ayudan a comercializar los productos más rápido utilizando menor número de prototipos físicos los cuales suponen una pérdida de tiempo.”* (<https://solid-bi.es>, 2021)

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Aprovechar la cáscara de mazorca de cacao, variedad CCN-51 para la elaboración de tableros aglomerados, a fin de establecer una aplicación industrial.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físico-químicas de la cáscara de la mazorca de cacao mediante normas ASTM Y TAPPI.
- Elaborar el tablero aglomerado mediante procesos convencionales de fabricación de termoconformado.

- Determinar las propiedades físico-mecánicas del aglomerado según la norma ASTM.
- Simular mediante SolidWorks (elementos finitos) la posible aplicación industrial del nuevo material.

4. PARTE EXPERIMENTAL

En el siguiente apartado se desarrolló en dos ejes principales. El primero comprende la caracterización de las propiedades físico-químicas de los residuos de la cáscara de mazorca de cacao, en el cual permite establecer la composición química de la materia prima a utilizar en la elaboración de tableros aglomerados. El segundo abarca la fabricación de los tableros aglomerados, seguido de la evaluación de sus propiedades físico-mecánicas y por último, una simulación en el software SolidWorks para determinar la posible aplicación industrial. De esta manera, se caracterizó y se evaluó la viabilidad de los residuos agroindustriales de cáscara de mazorca de cacao (CMC), para la construcción de tableros aglomerados con fines industriales. En este contexto, se pretende disminuir el impacto ambiental debido a la mala disposición y tratamiento de los mismos, así como mejorar la cadena de valor de los productos obtenidos a partir del cacao, mediante un proceso sostenible a través de una economía circular.

4.1 Residuos agroindustriales de la cascara de mazorca de cacao

Los residuos de la Cáscara de Mazorca de Cacao (CMC) se recolectaron de diversas fincas ubicadas en la vereda La Esmeralda del municipio de San Vicente de Chucuri, en el departamento de Santander. En la Figura 5, se presenta una muestra de la CMC recolectada de la variedad CCN-51.

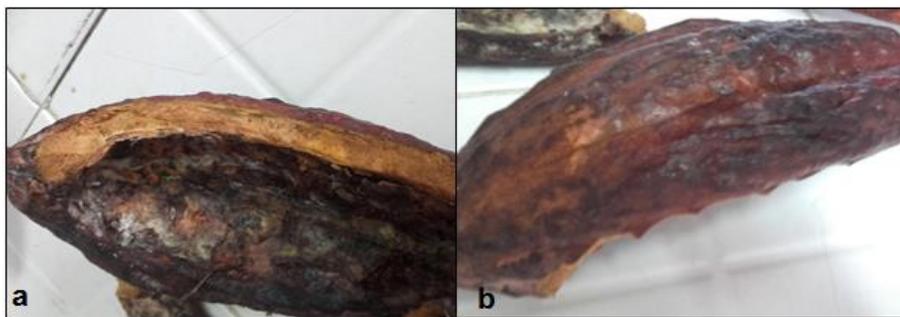


Figura 5. Cáscara de mazorca de cacao variedad CCN 51, a) interior, b) exterior.

Fuente: Elaboración propia

4.2 Caracterización físico-química de los residuos

La caracterización físico-química de la cáscara de mazorca de cacao permite obtener los parámetros y condiciones que son determinantes en la elaboración de los tableros aglomerados, con lo cual, se brinda información de las fracciones que constituyen este residuo lignocelulósico, la capacidad de aglomeración de las partículas, la cantidad de humedad, así como factores que incluyen la absorción de agua e hinchamiento en el espesor. El estudio del comportamiento térmico determina el límite de estabilidad térmica, un parámetro importante para encontrar las condiciones óptimas de temperatura de trabajo durante el termoconformado, y así evitar la degradación de los residuos durante esta operación.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

En la Figura 6, se muestra la preparación de la muestra en el laboratorio para los posteriores análisis.



Figura 6. Preparación de la muestra para la caracterización fisicoquímica

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Determinación de humedad. Para la determinación de humedad se aplicó el método termogravimétrico, en el que se aplica a la muestra una temperatura constante de 105 °C y se calcula la pérdida de masa a través del tiempo. La muestra de variedad CCN-51 se trituró y se tomó aproximadamente un gramo, medido en una termobalanza de alta precisión, proceso que se realizó por triplicado. La prueba de humedad se realizó en las instalaciones del laboratorio de control de calidad en la Universidad de Pamplona.

4.2.2 Composición Química. El contenido de cenizas y extraíbles de los residuos de CMC, se determinaron bajo la norma ASTM (*American Society for Testing and Materials*), mientras que las cantidades de lignina, celulosa, hemicelulosa y solubilidad en NaOH se llevaron a cabo bajo la norma TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*), estándares empleados en

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

la industria de la madera y los tableros aglomerados. La descripción de las normas se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Normas estandarizadas para ensayos de laboratorio para determinar la composición química de los residuos de CMC

PARÁMETRO	NORMA
Celulosa	TAPPI 17 m-55
Hemicelulosa	TAPPI 19-wd-71
Lignina	TAPPI 13-os-54
Solubilidad NaOH	TAPPI T212 om-12
Cenizas	ANSI/ASTM D1102-56
Extraíbles	ANSI/ASTM D1105-56

Fuente: Elaboración propia

- **Celulosa.** La determinación del contenido de celulosa se realizó de acuerdo a la norma TAPPI 17-m-55. Para tal fin, se tomaron 2 gramos del material libre de extraíbles, fueron puestos en un erlenmeyer de 125 ml con 50 ml de hipoclorito de sodio al 10%. Luego se filtró el material empleando en una bomba de vacío y se lavó con 50 ml de agua destilada, 50 ml de dióxido de azufre al 3% y una solución de sulfito de sodio al 2% hasta obtener un tono rosa. Una vez, filtrada y lavada la muestra, se llevó a un vaso de precipitado completando la solución con sulfito de sodio al 2% y se filtró al vacío con agua destilada. Posteriormente, se realizó un secado en un horno durante 3 horas a una temperatura de 105°C y se dejó en reposo en el desecador por 30 minutos. Finalmente, se pesó la muestra y el contenido de celulosa se calculó por medio de la siguiente ecuación:

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{\text{masa inicial de la muestra} - \text{masa final de la muestra}}{\text{masa inicial de la muestra}} * 100$$

Ecuación 1. Determinación porcentaje de celulosa

- **Hemicelulosa** El contenido de hemicelulosa se determinó según la norma TAPPI 19-wd-71. Para esto, se pesó aproximadamente 1 gramo del material libre de extraíbles, puestos en un balón de 500 ml junto a un magneto y 100 ml de ácido clorhídrico a una concentración de 3,5 N. Posteriormente en un embudo de separación, se adicionaron 300 ml de ácido clorhídrico con la misma concentración. La mezcla se llevó a ebullición y se recogieron 300 ml de destilado, posteriormente introducidos en un Erlenmeyer de 1 litro, se adicionaron aproximadamente 250 gramos de hielo picado y 50 ml de agua destilada. Cuando la temperatura fue menor a 0°C se añadieron 20 ml de solución de bromuro de bromato al 0,2 N, con agitación durante 5 minutos. Por último, se adicionaron 10 ml de yoduro de potasio al 0,2 N, en el cual se utilizó almidón como indicador y se tituló con tiosulfato de sodio. La determinación de hemicelulosa se calculó por el % de pentosanos, mediante la Ecuación 2.

$$\% \text{ pentosanos} = \frac{7,5 * N * (V - v)}{w} - 1\%$$

Ecuación 2. Determinación porcentaje de pentosanos

Donde:

N: Normalidad de la solución de tiosulfato utilizada.

V: Volumen en el blanco gastado de tiosulfato (ml).

v: Volumen en el destilado gastado de tiosulfato (ml).

W: peso inicial de muestra (g).

- **Lignina.** La determinación del contenido de lignina se realizó según la norma TAPPI 13-os-54. Para tal propósito, se pesó aproximadamente 1 gramo del material libre de extraíbles, se colocó en un Erlenmeyer de 125 ml y se añadieron 15 ml de ácido sulfúrico al 72 %, la mezcla se agito durante 6 horas. Posteriormente, se añadieron 560 ml de agua a un balón de 1000 ml junto a la mezcla, se dejó en reflujo por 4 horas, se enfrió a temperatura ambiente y se filtró al vacío. El material filtrado se lavó con agua caliente, seguidamente se llevó al horno durante 3 horas a una temperatura de 105 °C y se dejó en reposo en el desecador por 30 minutos. Finalmente, se pesó la muestra y el contenido de lignina se determinó mediante la Ecuación 3.

$$\% \text{ Lignina} = \frac{\text{masa inicial de la muestra} - \text{masa final de la muestra}}{\text{masa inicial de la muestra}} * 100$$

Ecuación 3. Determinación del porcentaje de lignina

- **Solubilidad en NaO.** La solubilidad en Hidróxido de Sodio (NaOH) se realizó según la norma TAPPI T212-om.12. Inicialmente, se pesaron aproximadamente 2 gramos de la muestra, se colocó en un Erlenmeyer de 125 ml, en 100 ml de solución de hidróxido de sodio al 1 % con agitación en un baño de agua en ebullición por 30 minutos (la muestra se agito a los 10, 15 y 30 minutos). Seguidamente, se dejó enfriar a temperatura ambiente, se filtró al vacío y el residuo se lavó con 50 ml de ácido acético al 10% y 100 ml de agua caliente. Finalmente, la solución se llevó al horno a 105 °C por 4 horas y se dejó en reposo por 30 minutos. La solubilidad en NaOH se calculó mediante la Ecuación 4.

$$\% \text{ Solubilidad en NaOH} = \frac{\text{masa inicial de la muestra} - \text{masa final de la muestra}}{\text{masa inicial de la muestra}} * 100$$

Ecuación 4. Porcentaje de solubilidad en NaOH.

- **Cenizas.** La prueba de cenizas se realizó según la norma ASTM D1102-56. Inicialmente, se calcino un crisol vacío a 550°C durante 1 hora, el recipiente se deseco por 30 minutos y se registró el peso del crisol vacío. Luego, se pesaron aproximadamente 4 gramos de fibra en el crisol y se realizó pre-cenizas, calcinando controladamente la muestra puesta en el crisol con un mechero antes de ponerlo en la mufla durante 4 horas a 550°C, se dejó reposar la muestra en el desecador por 30 minutos y finalmente se pesó la muestra.
- **Extraíbles.** La determinación del contenido de extraíbles se realizó según la norma ANSI/ASTM D1105-56. Inicialmente, se pesaron aproximadamente 4 gramos del material; se armó un dedal de papel filtro, se introdujo en el condensador de extracción Soxhlet y se llenó con una mezcla de tolueno con etanol en una proporción 3:2 hasta completar 150 ml. Se realizó la extracción durante 6 horas, en un sistema de extracción para separar el solvente, sometiéndolo a ebullición hasta reducir el volumen a 10 ml. La muestra se llevó a un crisol tarado y luego al horno durante 4 horas a 105 °C, para posteriormente desecarla y tomar el peso de la muestra. El contenido de extraíbles se calculó por medio de la Ecuación 5.

$$\%Extraibles = \frac{\text{masa final de la muestra}}{\text{masa inicial de la muestra}} * 100$$

Ecuación 5. Porcentaje de extraíbles

4.2.3 Termogravimetría. Las propiedades térmicas se analizaron a través por termogravimetría (TGA) en un equipo modelo SDT-Q600 de TA Instruments. Se realizaron dos barridos de temperatura con muestras de 10 mg en peso, en un intervalo de temperatura de 25 °C hasta 620°C, con una velocidad de calentamiento de 10°C/min, en atmosfera de Argón con flujo de 100 ml/min.

4.2.4 Microscopía electrónica de barrido SEM. Para la evaluación de las características morfológicas se emplearon imágenes de microscopia electrónica de barrido SEM, con el fin de predecir las propiedades de aglomeración que se pueden derivar de este residuo agroindustrial. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido de marca TESCAN modelo MIRA 3 FEG-SEM, previamente las muestras se recubrieron con una capa delgada de oro para mejorar la conductividad.

4.3 Fabricación de tableros aglomerados

4.3.1 Preparación del residuo. Se usaron 25 kilos de residuos de cascara de mazorca de cacao (CMC) húmeda, los cuales fueron tratados inicialmente en un horno a 50 °C por más de 72 horas para eliminar la humedad presente (Figura 7a). Posteriormente, se trituró en una recuperadora de materia prima para la reducción de las partículas (Figura 7b), pasándola tres veces por este proceso. Seguidamente, las muestras se tamizaron durante 15 minutos teniendo en cuenta que la homogeneidad de la partícula influye en gran medida en la elaboración del aglomerado, la mezcla de la resina y la distribución de la carga en el tablero terminado. Finalmente se seleccionan las partículas retenidas en el tamiz #30 debido a que representaban la mayor proporción respecto a la cantidad tamizada (Figura 7c).

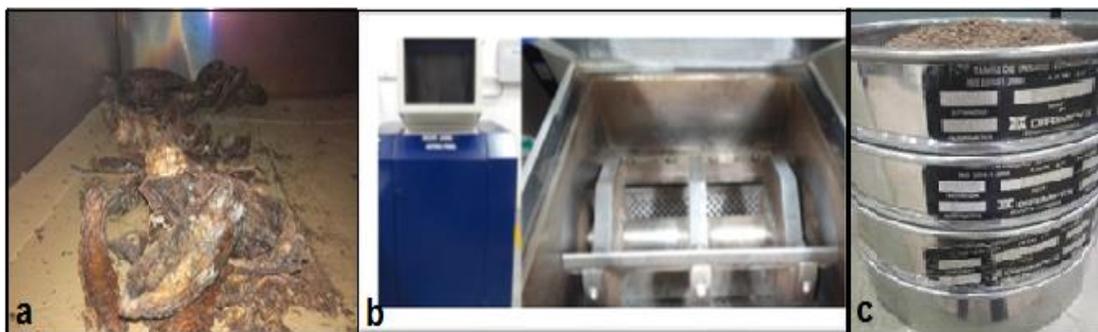


Figura 7. Proceso de a) secado, b) reducción en molino y c) tamizado.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Material adhesivo. La resina utilizada como adhesivo fue urea-formaldehido (UF) de marca “PREFLEZ”, según su ficha técnica TPE-542-UREQUÍMICA, la temperatura máxima es de 105 °C, porcentaje de sólidos (105°C): 63% - 65%, viscosidad al despacho (25°C): 100 – 1000cP y pH: 8.0 – 9.0. y como catalizador se utilizó cloruro de amonio en una proporción del 7% (p/p).

4.3.3 Manufactura de los tableros. La elaboración de los tableros aglomerados se realizó mediante un proceso convencional de fabricación denominado termo-conformado en una prensa hidráulica con capacidad de 50 Ton provista de temporizador y control de temperatura. Para tal fin, el ciclo de prensado se llevó a cabo en dos fases, en la primera etapa se ubicó el material en el molde, como se evidencia en la figura 8 y obtener tableros con dimensiones de 200 mm x 200 mm x 10 mm y se aplicó una presión a una temperatura de 105°C (según especificaciones de la resina) durante 5 minutos con el propósito de homogenizar el residuo en el molde, posteriormente es llevado a una presión final por un tiempo de 10 minutos para obtener las dimensiones finales.



Figura 8. Proceso de llenado para termo conformado.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Fuente: Elaboración propia

Para la presente investigación se realizaron diferentes mezclas entre residuos de CMC y UF que consistieron CMC/5%UF, CMC/10%UF, CMC/15%UF y CMC/20%UF, en la figura 9 se observan los tableros aglomerados con sus diferentes porcentajes de adhesivo.

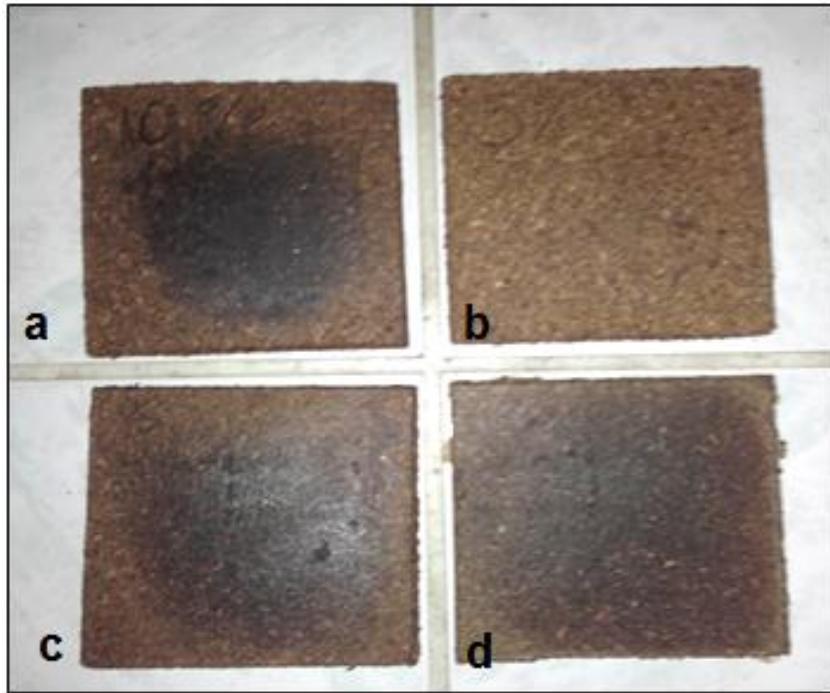


Figura 9. Tableros de CMC al a) 5%UF, b) 10%UF, c) 15%UF y d) 20%UF

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Ensayos físico-mecánicos de los tableros aglomerados

Se elaboraron tres tableros por cada porcentaje de resina, para la determinación de los módulos de ruptura y elástico se cortaron 5 probetas, en total se realizaron 20 probetas para los ensayos mecánicos. Para la densidad aparente, hinchamiento y absorción de agua se usó una probeta por porcentaje de resina, ajustando el ancho, largo y espesor de acuerdo a la norma para la determinación de las propiedades de los tableros aglomerados.

4.4.1 Cálculo de la densidad. Para determinar la densidad de los tableros aglomerados se midieron el ancho, largo y espesor de cada probeta; con estos valores se determinó el volumen, y luego se pesaron para finalmente obtener el valor de la densidad mediante la Ecuación 6. La prueba se realizó para cada probeta cortada con cada uno de los porcentajes de resina empleados. La clasificación de la densidad obtenida se estableció según la norma ASTM D1555-10.

$$\rho = \frac{\textit{masa}}{\textit{volumen}}$$

Ecuación 6. Determinación de la densidad

Donde:

m: masa (g)

V: Volumen (cm³)

4.4.2 Absorción de humedad. Para la medición de la absorción de humedad, inicialmente se pesaron las probetas antes y después de inmersión en agua para los tiempos de 2 y 22 horas; una vez pasado este tiempo de actividad se volvieron a pesar y medir cada una de las probetas. El cálculo de la absorción de humedad se realizó mediante las Ecuaciones 7 y 8. Para esta prueba se siguieron las especificaciones de la norma ASTM D1037.

$$\textit{Absorción 2 horas (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

Ecuación 7. Absorción de humedad 2 horas

$$\textit{Absorción 22 horas (\%)} = \left(\frac{m_3 - m_2}{m_2} * 100 \right) + \textit{Abs 2 horas}$$

Ecuación 8. Absorción de humedad en 22 horas

Donde:

m_1 : Peso de la probeta antes de la inmersión en agua (g).

m_2 : Peso de la probeta luego de la inmersión en agua por 2 horas (g).

m_3 : Peso de la probeta luego de la inmersión en agua por 22 horas (g).

Abs 2 horas: Porcentaje de absorción de humedad luego de la inmersión en agua por 2 horas.

4.4.3 Porcentaje de hinchamiento. Para la determinación del porcentaje hinchamiento, se tuvo en cuenta el espesor de las probetas antes y después de inmersión en agua por 2 y 22 horas, una vez pasado este tiempo de actividad, se tomaron de nuevo las mediciones del espesor para cada una de las probetas. El cálculo del hinchamiento se realizó mediante las Ecuaciones 9 y 10, teniendo en cuenta las especificaciones de la norma ASTM D1037.

$$\text{Hinchamiento (\%)} = \frac{l_2 - l_1}{l_1} * 100$$

Ecuación 9. Porcentaje de hinchamiento

$$\text{Hinchamiento (\%)} = \left(\frac{l_3 - l_2}{l_2} * 100 \right) + \text{Hinchamiento 2 horas}$$

Ecuación 10. Porcentaje de hinchamiento en 22 horas

Donde:

m_1 : Espesor de la probeta antes de la inmersión en agua por 2 horas (mm).

m_2 : Espesor de la probeta luego de la inmersión en agua por 2 horas (mm).

m_3 : Espesor de la probeta luego de la inmersión en agua por 22 horas (mm).

4.4.4 Comportamiento mecánico. Para la medición de las propiedades mecánicas de los tableros aglomerados de CMC se tuvieron en cuenta los parámetros como el módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad aparente (MOE), para tal propósito se realizaron pruebas destructivas en flexión estática en tres puntos de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM D1037. En la Figura 10 se muestra la realización de la prueba para las probetas.



Figura 10. Prueba de flexión estática en probetas

Fuente: Elaboración propia

El módulo de ruptura (MOR) se expresa en MPa y se determina por medio de la Ecuación 11.

$$MOR = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

Ecuación 11. Módulo de ruptura

Donde:

F: Fuerza máxima (N)

l: Altura del tablero (mm)

b: Ancho del tablero (mm)

d: Espesor del tablero (mm)

El módulo de elasticidad aparente (MOE) se expresa en MPa y se determina por medio de la

Ecuación 12:

$$MOE = \left(\frac{l^3}{4*b*d^3} \right) * \frac{\Delta F}{\Delta \delta}$$

Ecuación 12. Módulo de elasticidad

Donde:

l: Altura del tablero (mm)

b: Ancho del tablero (mm)

d: Espesor del tablero (mm)

$\Delta F/\Delta \delta$: Pendiente de la curva esfuerzo vs deflexión (N/mm)

4.4.5 Simulación de una aplicación industrial. Los valores de las propiedades MOR, MOE y densidad del material aglomerado resultante se aplicaron en el software de simulación SolidWorks versión 2018, con la finalidad de validar el comportamiento de los esfuerzos a flexión en una posible aplicación industrial.

Se plantea evaluar la viabilidad de reemplazar madera en un mueble con una estructura de acero AISI 1020, laminado en frío, perfil tubular de ½ pulgada y calibre 16. Se seleccionó una sección del respaldo, asiento y soporte de mesa con el objetivo de comparar los resultados utilizando las propiedades MOR y MOE del material aglomerado, teniendo en cuenta los mejores resultados arrojados en el comportamiento mecánico de la mejor formulación residuo-adhesivo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Propiedades físico-químicas de los residuos de cascara de cacao

5.1.1 Determinación de humedad. El análisis de humedad arrojó un valor promedio de 14,6 %. Según la norma ASTM-D-1554-10 para tableros de partículas de madera, la humedad se debe mantener en máximo del 13% (ASTM, 2005). En la Figura 11, se observa que a partir del minuto 60 la variación en la pérdida de masas es mínima y permanece constante hasta el minuto 90.

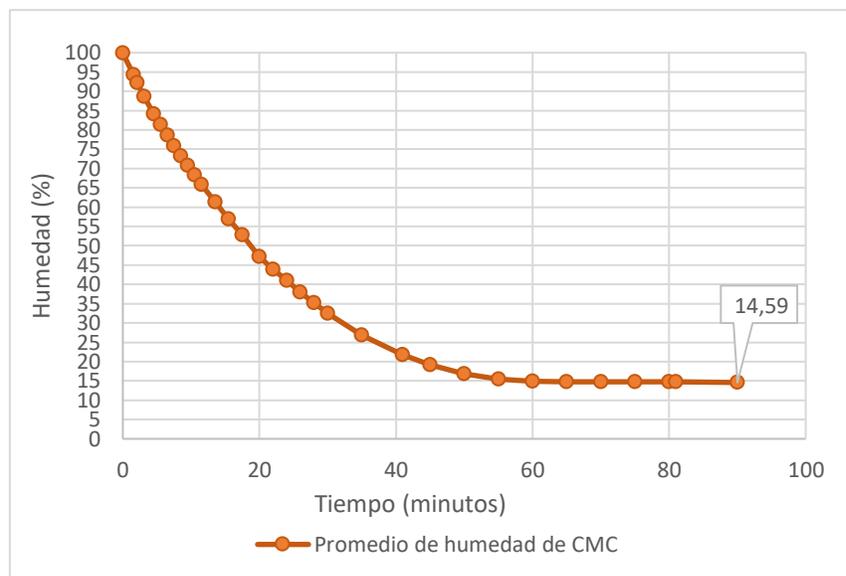


Figura 11. Pérdida de humedad en la CMC

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de la humedad en los residuos CMC, es una variable fundamental para evaluar su posible uso en tableros aglomerados, debido a que está relacionada directamente con factores como la absorción de agua e hinchamiento, propiedades físicas que evalúan la estabilidad dimensional de los tableros de fibras. Estas propiedades proporcionan información de cómo los tableros se comportan en condiciones de alta humedad (Diossa et al., 2017).

5.1.2 Composición química. El conocimiento de la composición química de los residuos de la cáscara de cacao (CMC), permite conocer las fracciones de los constituyentes de este desecho. Por consiguiente, se realizaron pruebas de análisis químico por triplicado, para determinar las cantidades de celulosa, lignina y hemicelulosa para las muestras preparadas, obteniendo los valores promedio, desviación estándar y la varianza, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Determinación de la composición química de la CMC

COMPOSICIÓN QUIMICA (% P/P)	Promedio	Desviación	Varianza
LIGNINA	43,6	1,04	0,72
CELULOSA	34,4	0,55	0,20
HEMICELULOSA	11,75	0,28	0,05
EXTRAIBLES	2,43	0,12	0,01
SOLUBILIDAD NaOH	47,51	0,47	0,15
CENIZAS	1,11	0,11	0,01

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, la lignina representa el mayor porcentaje de composición química de la cáscara de mazorca de cacao con un 43.6%, seguido de un 34,4% asociado con la cantidad de celulosa y muy por debajo se encuentra la hemicelulosa con el 11,75%. El contenido de lignina concentrada en el residuo, representa un aporte significativo en las propiedades mecánicas de la estructura vegetal y según los reportes de otros autores, le aporta rigidez a la corteza de cacao. Además, en la literatura se mencionan estudios referentes al residuo agroindustrial de la cáscara de nuez, con lo cual se evidencia, que la contribución de la lignina en las fibras con mayor estado de madurez presentan un mejor comportamiento en tracción (Yusriah et al., 2014). Así mismo, el contenido de celulosa obtenido del residuo de cacao en el análisis, es fundamental para contribuir en la resistencia de la pared celular (Morales et al., 2016).

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

La solubilidad de los residuos de cáscara de cacao en hidróxido de sodio al 1%, presentó un valor de 47.51 %, lo que significa que estos sustratos pueden estar expuestos a la degradación por hongos (Mejía, 2012). Finalmente, su contenido de extraíbles y de cenizas no supera el 3% de la composición química del residuo.

En la Tabla 4, se muestra la comparación entre la composición química de la CMC y otros residuos lignocelulósicos. Según los datos obtenidos, se observa que los CMC presentaron un mayor porcentaje de lignina y en menor proporción de celulosa.

Tabla 4. Porcentaje de extraíbles comparados con otros residuos agroindustriales

Análisis de composición de lignina, celulosa y cenizas	% Lignina Mín. Máx.	% Celulosa Mín. Máx.	% Cenizas Mín. Máx.
Cáscara de Cacao	42,4-44,3	33,9-35,0	1,0-1,2
Maderas duras	23,0-30,0	54,0-61,0	1,0
Maderas suaves	26,0-34,0	53,0-62,0	1,0
Yute	21,0-26,0	57,0-58,0	0,5-1,0
Sisal	8,0-9,0	55,0-73,0	0,6-1,0
Bagazo de caña	19,0-24,0	49,0-62,0	1,5-5,0
Bamboo	21,0-31,0	57,0-66,0	1,7-5,0

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Estabilidad térmica. Los termogramas correspondientes al TGA (pérdida de masa frente a la temperatura) y DTG (primera derivada de la curva TGA) para el desecho de la cáscara de mazorca de cacao, se muestran en la Figura 12.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

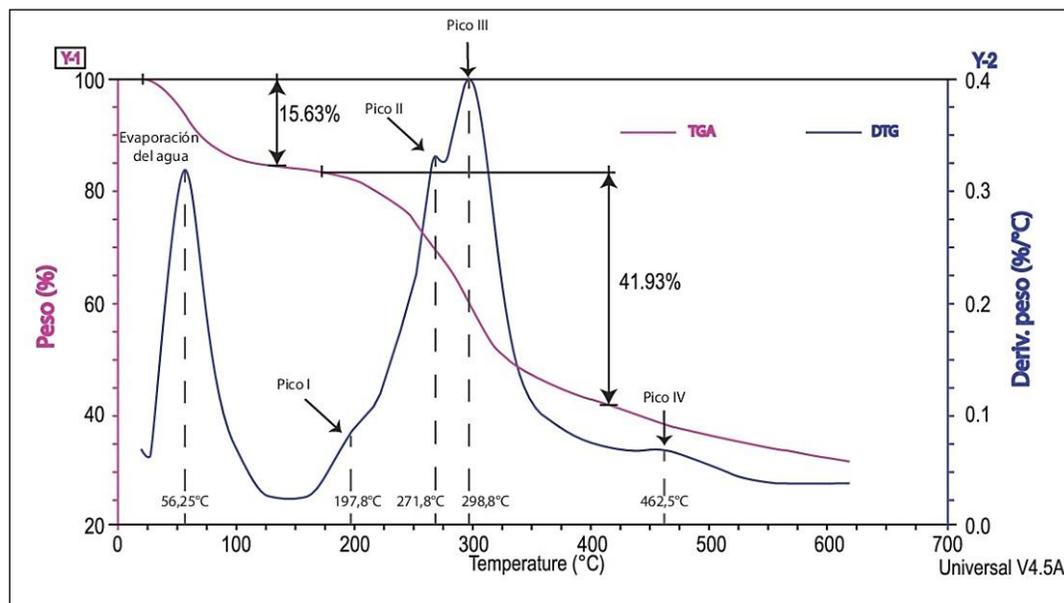


Figura 12. Termograma TGA/DTG para la CMC

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 12, se presentan tres etapas de degradación de masa. El primero corresponde a la evaporación de la humedad en la muestra, que va desde una temperatura de 35°C hasta los 105°C. Una segunda etapa corresponde a la degradación de la hemicelulosa presente, desde los 200°C hasta los 278°C, mientras que la descomposición de la celulosa y la lignina, se da en un rango de temperatura máxima de entre 293°C y 462°C respectivamente. La pérdida de masa debido al contenido de humedad fue del 15,63%, un 41,93% entre la hemicelulosa y celulosa, quedando un 42,74% de material del cual el 15,44% corresponde a la pérdida de masa por parte de la lignina. Los valores obtenidos concuerdan con los reportados en la literatura por (Seong et al., 2013) en donde la evaporación de la humedad ocurre entre los 30 y 100°C, la descomposición de la hemicelulosa entre los 200 a 350°C y la descomposición de la celulosa y lignina sobre los 300°C.

La curva de TGA (color morado), se da entre los 50 ° C y 120 ° C y corresponde con el 15,63% de la pérdida de masa, atribuida con la evaporización del agua contenida en el CMC es muy similar al obtenido en la prueba de análisis de humedad. Esta cantidad representa un inconveniente porque indica que la naturaleza de la cáscara de cacao es higroscópica y permite almacenar grandes contenidos de líquido, con lo cual representaría un obstáculo por el incremento de la absorción e hinchamiento del material aglomerado.

El aporte de la curva DTG es más relevante en materia de la precisión de los rangos de temperaturas en los que se degradan los microconstituyentes primarios. Un pico inicial de gran magnitud, está vinculado con la eliminación de la humedad. A mayores temperaturas se relacionan cuatro picos de descomposición asociados con la relajación de la estructura. Un primer pico en torno a los 200 ° C, que representa la degradación de la hemicelulosa, seguido de dos picos entre 250°C y 300°C, ligados con la despolimerización de la fase cristalina de la celulosa y, por último, un pico alrededor de los 450 ° C que corresponde con la desintegración de la fase amorfa de la lignina.

En la literatura, se reportan investigaciones que se han valido de la técnica de TGA para evaluar el comportamiento térmico de residuos agroindustriales. Investigadores como (Navas et al., 2015), analizaron muestras de residuos de cáscaras de olivo húmedas y secas, junto con residuos de tallos de uva producto de la elaboración del vino. Los resultados del DTG arrojaron resultados similares, iniciando con la evaporación de la humedad, seguido con la descomposición de la hemicelulosa y celulosa y, por último, la lignina.

5.1.4 Evaluación morfológica. En la microestructura de los residuos de cáscara de cacao, se observó una porosidad entre partículas de aproximadamente 50 a 200 micras, debido a los bajos

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

niveles de celulosa y los altos niveles de lignina, como se ha analizado en estudios similares, para la elaboración de carbón activado (Cruz et al., 2012; Loannidou et al., 2007).

En la Figura 13, se identifica una estructura irregular amorfa con tamaños de partícula que oscilan entre 100 y 300 micras. Resultados similares revelaron las imágenes de SEM de las investigaciones realizadas por otros autores (Fioresi et al., 2017; Bargougui et al., 2018).

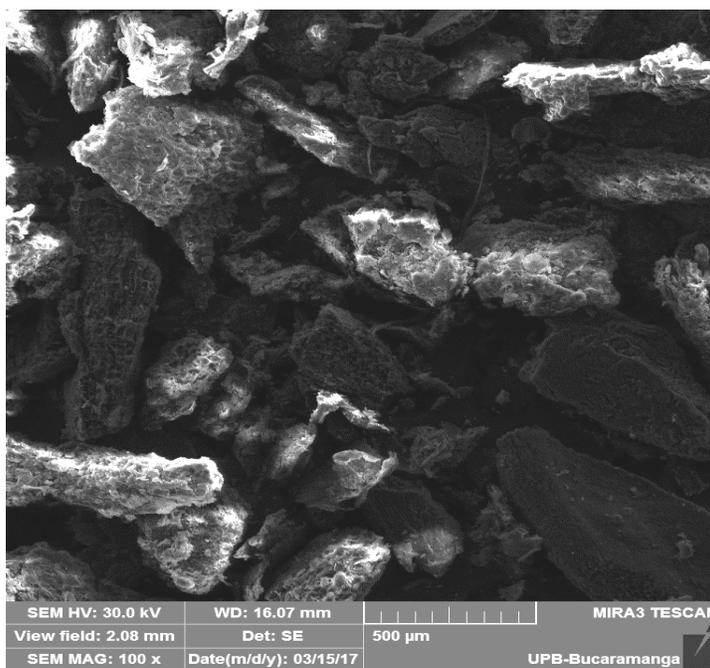


Figura 13.Microscopía electrónica de barrido de la CMC

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14, se observan diferentes granos que corresponden a la pared celular con un espesor promedio de 5 micras, asociados a los componentes primarios de celulosa y lignina y confirman los altos contenidos presentados en la composición química. Igualmente, en las micrografías se aprecia una estructura de microporos y una laminilla media que divide la pared celular de los granos entre sí. Algunos reportes en la literatura, mencionan en sus estudios de especies vegetales con fibras naturales la conformación de estructuras que contienen paredes

celulares de grandes espesores separados por la laminilla media (Mora et al., 2017; Tibolla et al., 2018).

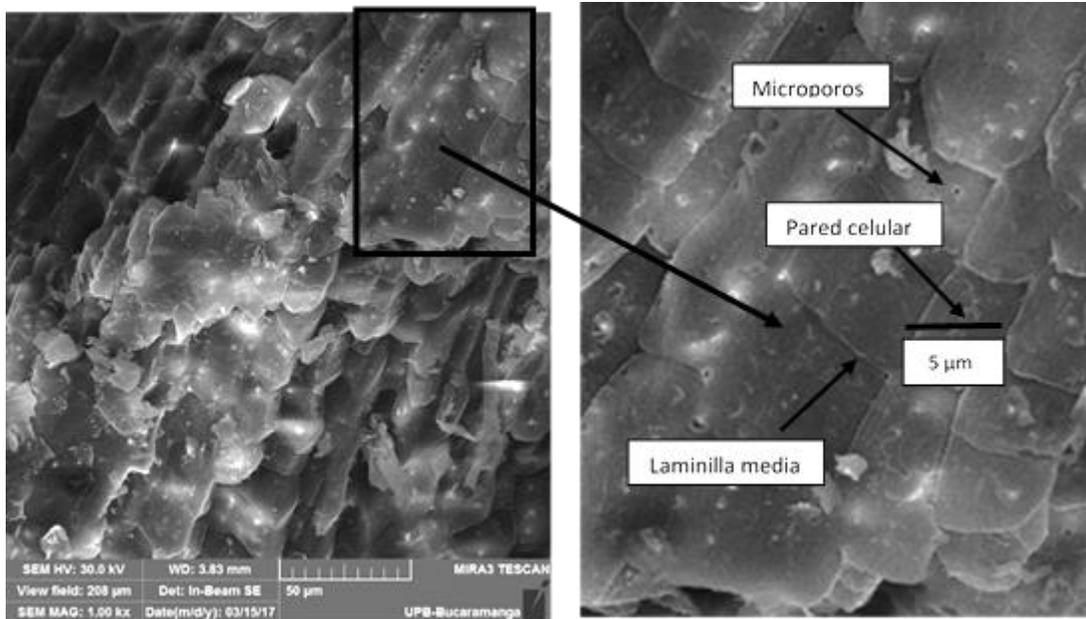


Figura 14. Micro porosidad de la CMC

Fuente: Elaboración propia

5.2 Caracterización físico-mecánica de los tableros aglomerados

En este apartado se presentan los valores obtenidos de la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del material aglomerado resultante de la cáscara de mazorca de cacao con resina de urea formaldehído. Entre las principales propiedades físicas evaluadas se mencionan la densidad de tableros, absorción de humedad e hinchamiento y entre las mecánicas se analizaron los módulos de ruptura y de elasticidad aparente.

5.2.1 Análisis de densidad. La Figura 15, representa los valores promedio de la densidad del tablero aglomerado en función del incremento del porcentaje de resina utilizado.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

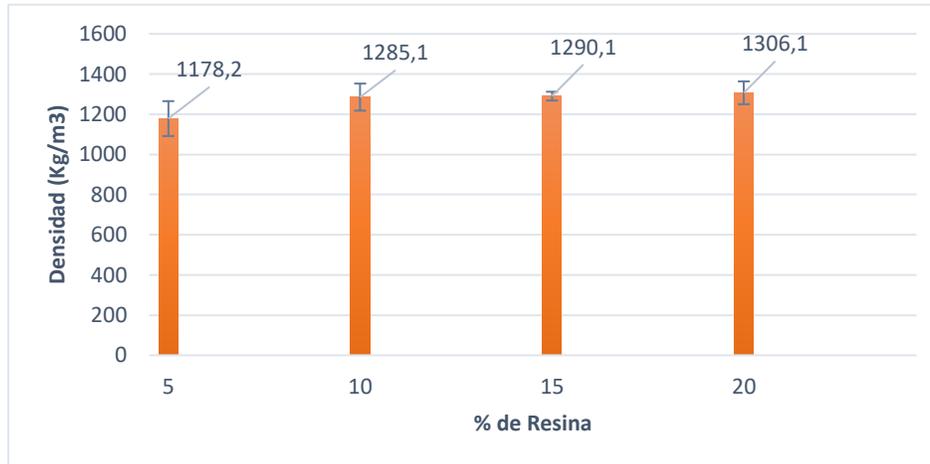


Figura 15. Densidad promedio (Kg/m³) del tablero aglomerado

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los valores obtenidos en todos los porcentajes de resina, las densidades son mayores a 800 Kg/m³; por tanto, los tableros aglomerados elaborados a partir de la cáscara de mazorca de cacao se clasifican como alta densidad según la ASTM D-1554. Esta característica es determinante para establecer los posibles usos y presenta una relación directa entre el porcentaje de resina utilizado y la densidad del material aglomerado, principalmente por la correspondencia entre los valores de densidad elevados al incrementarse la cantidad de adhesivo.

5.2.2 Contenido de absorción de humedad. En la Figura 16, se presentan los valores obtenidos para la propiedad de absorción de humedad a 2 y 22 horas del tablero aglomerado.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

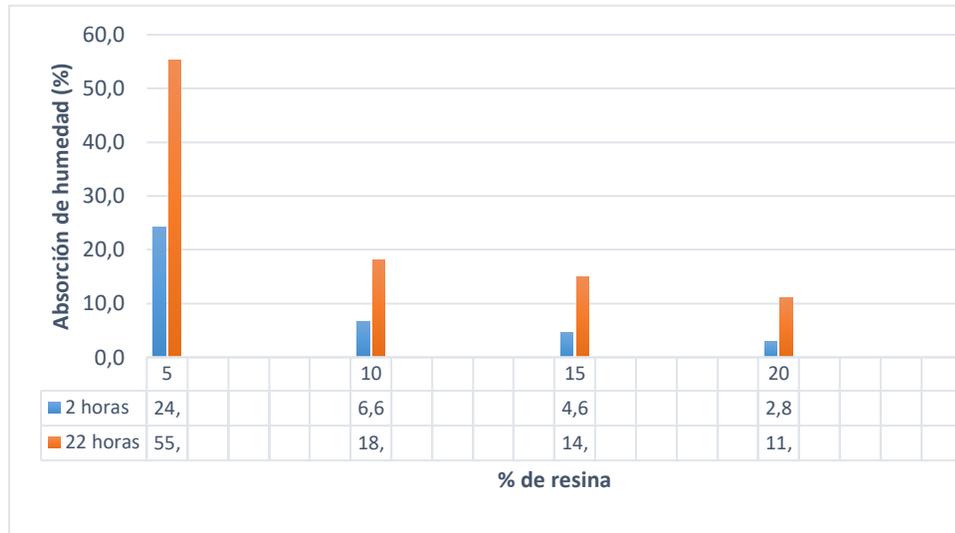


Figura 16. Absorción de humedad (%) del tablero aglomerado

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 16, a las 2 horas de inmersión en agua el máximo porcentaje de absorción alcanzó el 24 %, en comparación con la absorción obtenida a las 22 horas de inmersión que alcanzó un máximo de 55%. Además, se aprecia una relación inversa entre el porcentaje de resina utilizado y la absorción de humedad por parte del tablero aglomerado, debido a que, entre mayor sea el porcentaje de resina utilizado, menor es el porcentaje de absorción de humedad en los dos casos (2 y 22 horas de inmersión en agua).

5.2.3 Propiedad de hinchamiento. Los valores correspondientes a los porcentajes de hinchamiento para los tableros aglomerados se presentan en la figura 17. Como se observa, durante las 2 primeras horas de inmersión en agua, se presentó un máximo de 3,7% de hinchamiento, en comparación con la inmersión en agua a las 22 horas, que arrojó un máximo de 41%. La diferencia entre el porcentaje de hinchamiento en los dos casos es considerable. En este caso, se presentó el máximo porcentaje de hinchamiento o aumento del espesor del material, utilizando el 5% de resina, a las 22 horas de inmersión en agua.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

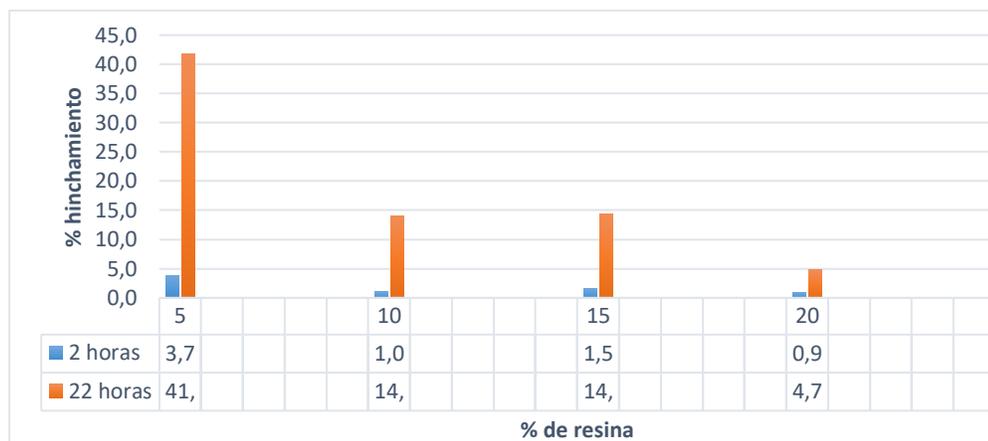


Figura 17. Porcentaje de hinchamiento del tablero aglomerado

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Comportamiento mecánico. En la Tabla 5, se presentan los valores promedio, desviación estándar y la varianza, para el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad aparente (MOE), calculados para las diferentes formulaciones de residuos CMC/%resina.

Tabla 5 MOR y MOE del material aglomerado obtenido de la CMC (MPa).

	5		10		15		20	
	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE
MEDIA	4,5	546,1	6,2	815,3	6,5	833,2	7,2	1021,9
DESVIACIÓN	1,2	144,1	0,2	46,1	0,6	89,1	1,2	199,3
VARIANZA	1,5	20754,5	0,04	2123,1	0,4	7945,5	1,5	39716,8

Fuente: Elaboración propia

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

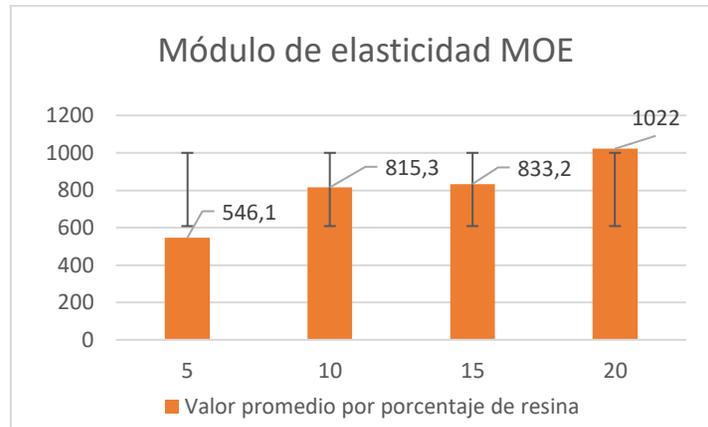


Figura 18. Valores promedio del módulo de elasticidad de los tableros para las diferentes formulaciones con resina %UF

En la figura 18, se muestran los valores promedio del módulo de elasticidad de los tableros para las diferentes formulaciones con resina %UF. En lo que respecta con la rigidez, una propiedad cuantificada con el MOE, se evidencia un incremento en la medida que aumenta la proporción de adhesivo, por tanto, el mayor valor para este comportamiento se evidencia en la formulación con el 20% UF con un resultado de 1022 MPa, lo que corresponde a un crecimiento porcentual del 87,17% tomando como referencia el valor medio del panel que contiene 5%UF que fue del 546,1MPa. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede establecer que la resina juega un rol importante en la conducta mecánica de los tableros aglomerados, no obstante, los residuos lignocelulocicos CMC, aportan el mayor rendimiento en el MOR por encontrarse en una cantidad superior en la mezcla.

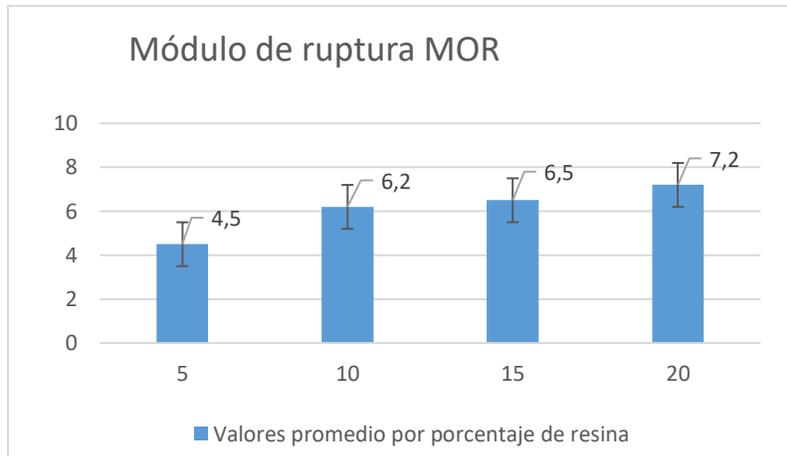


Figura 19. Valores promedio del módulo de rotura de los tableros para las diferentes formulaciones con resina % UF

Continuando con el análisis de los resultados de las propiedades a flexión de la figura 19, en este caso evaluando la resistencia máxima, parámetro medible con el módulo de rotura MOR, se muestra una proporcionalidad con incrementos del esfuerzo en la medida que aumenta la cantidad de adhesivo de UF, por lo tanto, teniendo en cuenta que la formulación con 20%UF fue la que obtuvo el mayor valor del MOR con un 7,2 MPa, lo que representa un incremento porcentual del 60% tomando como base la mezcla que contiene el 5%UF, en donde arrojó un MOR de 4,47 MPa. Estas cifras son similares a las obtenidas frente al comportamiento con el MOE, con lo cual se refuerza la teoría de la influencia positiva de la resina en las propiedades mecánicas de los tableros aglomerados CMC/%UF

Estos resultados obtenidos de las propiedades mecánicas a flexión para los tableros aglomerados con residuos de CMC/%UF, se muestran esperanzadores, inicialmente para validarlos en una simulación mediante la mecánica computacional a través de elementos finitos para una aplicación de tipo industrial y posteriormente en un futuro producirlos a una escala comercial, lo que representaría un beneficio para la sociedad en general y el medio ambiente.

En comparación con otros residuos agroindustriales como el aglomerado de racimo de plátano con MOR 14,29 MPa (Quintana et al., 2009), los módulos de ruptura para los porcentajes analizados con la CMC son bajos; aunque se asemejan al módulo de ruptura que se obtiene con aglomerados de bagazo de caña de azúcar (5,91 MPa) (Monteiro et al., 2011) y la cascara de maíz (5,6 MPa) (Madurwar et al., 2013).

5.3 Simulación de una aplicación industrial con el nuevo material

A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos de la simulación realizada en el software SolidWorks (versión 2018) para una aplicación del material aglomerado de residuos de la Cáscara de Mazorca de Cacao (CMC), en un escritorio escolar (preescolar a primaria), en el cual se evaluó la resistencia mecánica mediante el uso de la mecánica computacional.

El modelo analizado en el software SolidWorks, que corresponde al nombre de “MESA TESIS-Análisis estático 1-1”. Para la simulación se usaron las propiedades del aglomerado con 20 % de resina, con valores MOR de 6,8 MPa, MOE 994,6 MPa y densidad de 1306,6 Kg/m³. La carga fue de 30 y 40 Kgf. Este modelo fue evaluado mediante un análisis de carga y un análisis elástico, donde las flechas que se indican en la figura 21, corresponden a las fuerzas resultantes que actúan sobre el elemento o modelo. Se definen las fuerzas de reacción (N) y momentos de reacción (N.m) y otras variables como la malla (tipo de malla, mallador utilizado, puntos jacobianos, tamaño máximo y mínimo del elemento, calidad de la malla), efecto térmico, temperatura, presión, vigas, y tensiones de viga. Los parámetros para la simulación fueron: tipo de modelo (cargas estáticas, geometrías, tipos de apoyos) y criterio de error predeterminado, en las propiedades del material: módulo de ruptura, módulo elástico y densidad.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

En la Figura 20, se observa el tipo de malla utilizada para la simulación, y las formas del modelo, tanto de las placas de material aglomerado (color azul), como el material tubular (color gris).

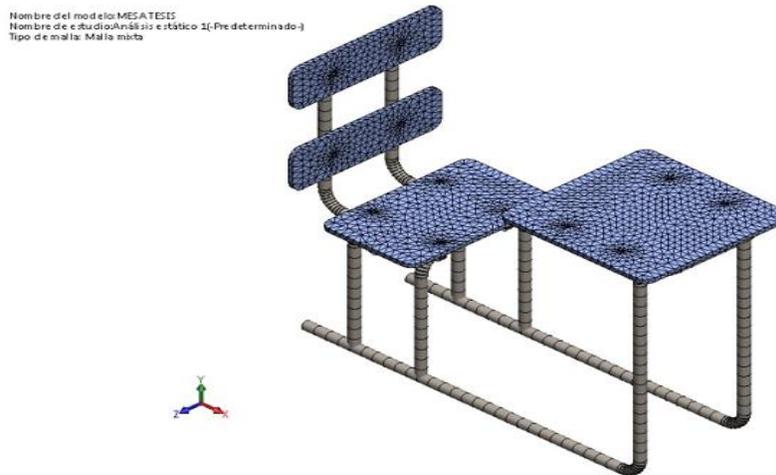


Figura 20. Enmallado para la simulación de la deformación

Fuente: Elaboración propia

La figura 21, muestra las cargas aplicadas sobre los elementos que conforman el modelo.

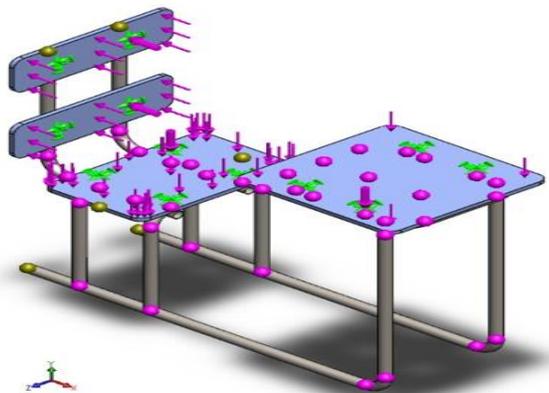


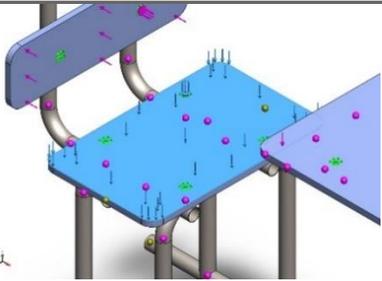
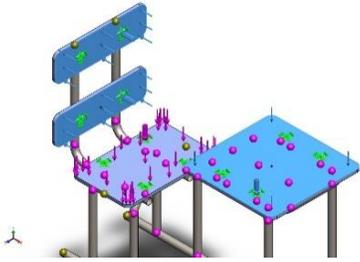
Figura 21. Cargas y momentos aplicados al modelo

Fuente: Elaboración propia.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

En la Tabla 7, se observan imágenes de la distribución homogénea de la carga aplicada, la cual fue de 30 y 40 kgf, equivalente al peso de un niño en etapa escolar entre preescolar y primaria.

Tabla 7 Detalle de la aplicación de la carga

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 40 kgf</p>
Fuerza-2		<p>Entidades: 3 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 30 kgf</p>

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados correspondientes al análisis estático, que comprende tres variables: tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias. En la Figura 21,

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

se presenta el resultado obtenido para el análisis de tensiones. El tipo de tensión manejado fue la tensión de Von Mises, expresada en N/mm^2 o MPa.

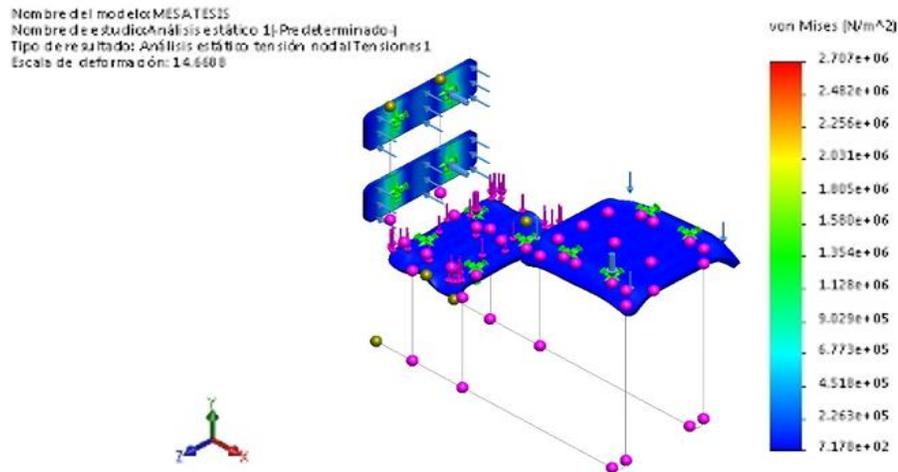


Figura 22. Análisis Estático-Tensión de Von Mises

Fuente: Elaboración propia

La tensión máxima en la escala es de $2.707\text{e}+06 \text{ N/m}^2$ y se presenta sobre el espaldar del material, la tensión mínima es de $7.17\text{e}+02 \text{ N/m}^2$ y se presenta sobre la mesa, como se indica en la figura 22; los demás elementos constituyentes del material analizado se encuentran en un rango de baja tensión.

En la Figura 23, se muestra el modelo sometido a la carga de 40 kgf, donde los colores representan el análisis de desplazamientos. En este caso, el rango que abarca el análisis de desplazamiento va desde $1.000 \text{ e}-30$ hasta $6.697 \text{ e}+00 \text{ mm}$; en general, el desplazamiento en el material es bajo, pues en la mayoría de sus componentes predomina un valor de desplazamiento no superior a los $2.232 \text{ e}+00$. Por otra parte, sobre el asiento del material, el rango de desplazamiento resultante va desde los $1.116 \text{ e}+00$ a los $2.232 \text{ e}+00\text{mm}$, indicando un desplazamiento moderado. El color azul muestra las zonas en donde no hubo deformación y el

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

material soportó la carga adecuadamente. En las zonas verde y amarilla la deformación es aceptable y no supera el límite elástico del material y no se aprecian zonas de color rojo, donde el material sobrepasa el límite.

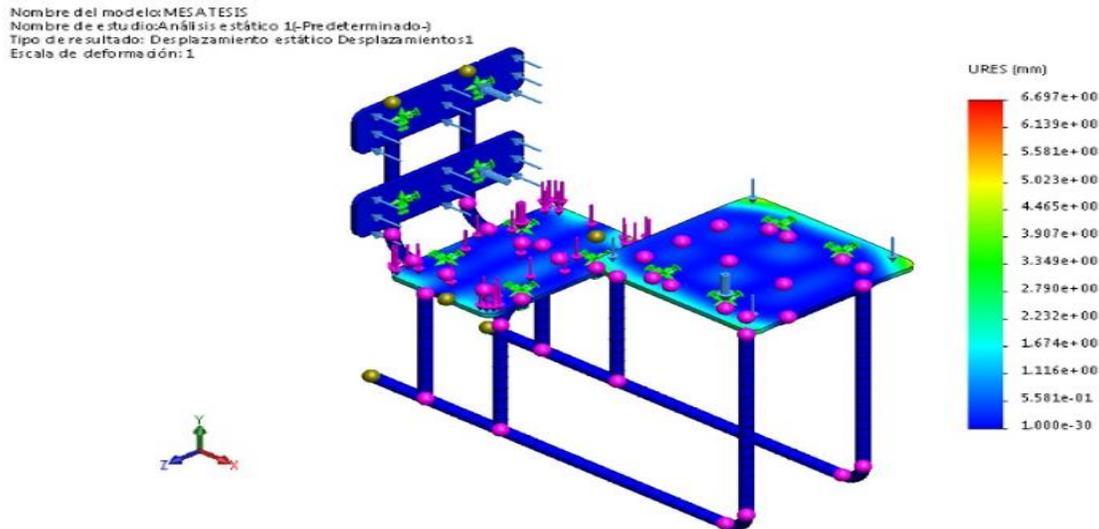


Figura 23. Análisis Estático-Desplazamientos resultantes

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 24, se presenta el resultado obtenido para el análisis de deformación unitaria.

El tipo de deformación manejado fue la deformación unitaria equivalente (ESTRN), adimensional.

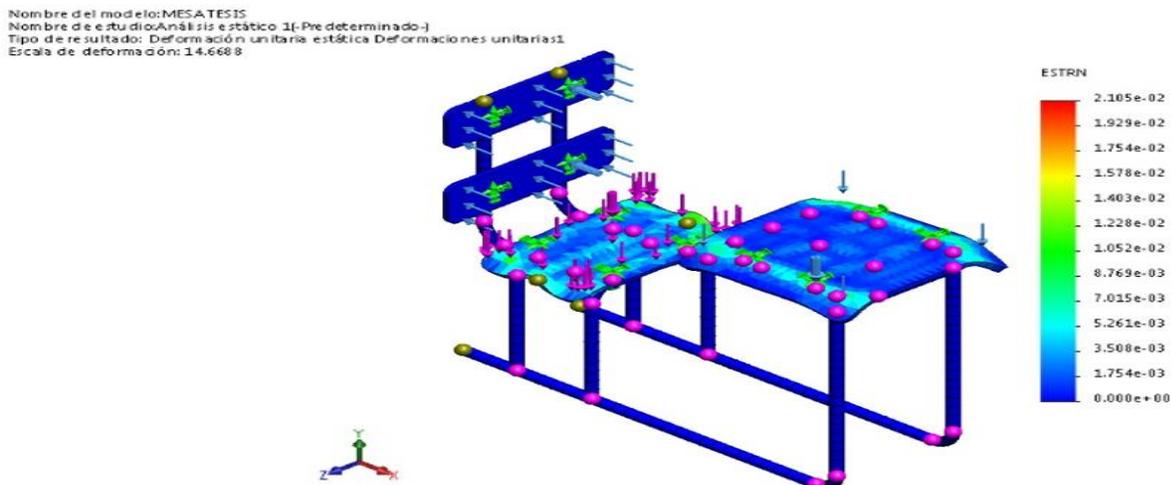


Figura 24. Análisis Estático-Deformación unitaria equivalente

Fuente: Elaboración propia

La máxima deformación unitaria equivalente se presenta sobre el asiento, con valores entre $3.508 \text{ e-}03$ y $7.015 \text{ e-}03$; seguidamente, se presenta una mínima deformación en los lados extremos de la mesa, con valores que no superan los $5.261 \text{ e-}03$. Sobre el espaldar no ocurre deformación unitaria equivalente. En general, la deformación unitaria equivalente en el modelo analizado es moderada.

A partir de los resultados se valida la propuesta del material aglomerado con 20% de resina y CMC como alternativa en la fabricación de mobiliario para niños para ser utilizado en un pupitre escolar teniendo en cuenta el peso de un niño en edad escolar primaria y verificando la resistencia del material, aunque con las propiedades obtenidas se pueden explorar otras aplicaciones.

5. CONCLUSIONES

Las evaluaciones de las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de cacao arrojaron resultados importantes encaminados a determinar, tanto las variables para la fabricación del aglomerado (tiempo, presión y temperatura) como su resistencia mecánica (MOR y MOE). En este sentido, se recomienda realizar un pretratamiento a la cáscara de mazorca de cacao, debido a la naturaleza higroscópica de los residuos que afecta la adhesión de la resina por su alto porcentaje de humedad (14.6% después del proceso de secado).

Según la composición química los valores de los microconstituyentes de la CMC como la lignina, celulosa y hemicelulosa, representan un aporte significativo en las propiedades mecánicas de los residuos y, por tanto, en el funcionamiento para una aplicación a futuro de los tableros aglomerados. La lignina representó el mayor porcentaje en la composición química de la CMC con un 44% siendo esta cantidad un valor apreciable comparado con otros residuos agroindustriales como la madera con 30% o el yute con 26%.

La caracterización térmica de la CMC, presentó 3 etapas, que corresponden con la evaporación de la humedad (35-105°C), la degradación de la hemicelulosa (200-278°C) y la degradación de la celulosa y lignina (293-462°C). Por otra parte, la pérdida de masa por el contenido de humedad fue del 15,63%, con lo cual se recomienda realizar algún proceso de secado antes de ser mezclado con la resina para eliminar la humedad retenida por el residuo y así mejorar la adhesión entre los residuos de CMC y la resina de UF.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

La densidad del tablero aglomerado elaborado a partir de la cáscara de mazorca de cacao se clasifica como alta según la ASTM D1554 (1178- 1306 Kg/m³), por tanto, se considera como una propiedad importante para establecer los posibles usos a nivel industrial. De acuerdo a los resultados obtenidos, se presentó una relación inversa entre el porcentaje de resina utilizado y la absorción de humedad por parte del tablero aglomerado (5% de resina con 55% de absorción y 20% de resina con 11,14%). De igual forma, las propiedades de absorción e hinchamiento están directamente relacionadas, por la presencia de componentes higroscópicos debido la naturaleza de los residuos CMC por atraer el agua, por tanto, se debe controlar este efecto a fin de evitar cambios en las dimensiones del tablero.

De acuerdo a los valores obtenidos en las propiedades mecánicas, el tablero aglomerado elaborado con cáscara de mazorca de cacao es más rígido en la medida que aumenta el porcentaje de resina utilizado, esto se evidencia cuando se obtiene un valor MOR 4.5MPa para 5% de resina y un valor MOR 7.2MPa para 20% de resina. Se prueba que la resina genera un aporte adicional en la conducta mecánica de los laminados particulados. Igualmente, la contribución de los componentes primarios en especial por el alto contenido de la lignina (44%), desempeñan un rol importante en el comportamiento de la resistencia mecánica de los paneles de partículas de CMC.

Respecto a la simulación de las posibles aplicaciones industriales del material aglomerado resultante, se encontró que el modelo analizado “MESA TESIS” presenta baja tensión (2.7 MPa), un desplazamiento resultante moderado en la mesa (6.69mm) y una deformación unitaria equivalente baja (2.1×10^{-2}). Sin embargo, sobre el apoyo de la mesa se presentaron los valores más altos referentes a las tres propiedades analizadas pero dentro de límites aceptables (Zonas

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

rojas en los resultados de simulación). Por tanto, con la siguiente investigación se comprueba que los residuos de cáscara de mazorca de cacao variedad CCN 51 se presentan como una alternativa viable económicamente y sostenible ambientalmente para ser empleada en la elaboración de tableros aglomerados para aplicaciones industriales.

Con el presente trabajo de investigación se logra demostrar, que los residuos provenientes de la agroindustria del cacao y en especial de la cascara, se muestran como alternativa viable ecológica, técnica y comercialmente para sustituir componentes fabricados en madera, con lo cual, se entraría en un modelo de economía circular con capacidad de producir tableros aglomerados que permitan garantizar un crecimiento sostenible en el tiempo

6. REFERENCIAS

- Álvarez et al. (2009). Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano. *Prospect*, 7(2), 69-74.
- António et al. (2018). Application of rice husk in the development of new composites boards. , pp. . *Construction and Building Materials*, 176, 432-439. doi:doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.028.
- Anwar et al. (2014). Agro-industrial, lignocellulosic biomass a key to unlock the future bioenergy: A brief review. *Journal of radiation research and technology*, 38(1), 89-93.
- Ardila et al. (2011). *Aprovechamiento de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente*. Bucaramanga:: Tesis pregrado. Universidad Industrial de Santander.
- Ariza et al. (2009). *Subproductos en la fabricación de pastas. auto- hidrolisis de las hemicelulosas*. Recuperado el 2020, de <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/328/b152962832.pdf?sequence=3>
- Arriaga. (2015). *Elaboración de tableros de fibras libres de resinas a partir de residuos de fique*. Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
- ASTM. (2005). *Standard terminology relating to wood- base fiber and particle panel materials*. USA: American society for testing and materials ASTM-D 1554-10.
- Barazarte et al. (2008). La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(1), 64-70.
- Barazarte et al. (2008). La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): una posible fuente de comercio de pectinas. *Archivos latinoamericanos de nutrición.*, 58(1), 64-70.
- Bargougui et al. (2018). Improvement in CO₂ adsorption capacity of cocoa shell through functionalization with amino groups and immobilization of cobalt nanoparticles. *Journal on Environmental Chemical Engineering*, 6, 325-331.
- Bernal et al. (2014). ,Aprovechamiento de la cáscara de cacao y su contenido de pectina en la preparación de mermeladas de tipo comercial. *Integra SENNOVA*, 1, 35-52.
- Castro, Y. (2014). *Aprovechamiento de Biomasa lignocelulósica, algunas experiencias de investigación en Colombia*. Bogotá: UTadeo. Fundación Universitaria de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano. Obtenido de https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-aprovechamiento_de_biomasa.pdf
- Cruz et al. (2012). Production of Activated Carbon from Cocoa (*Theobroma cacao*) Pod Husk). *Civil & Environmental Engineering*, 2(2), 1-6.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

- Curling et al. (2002). Relationships between mechanical properties, weight loss, and chemical compositions of wood during incipient Brown- rot decay. *Forest products Journal*, vol. 52, n° 7, pp. ., 52(7), 34-39.
- Daud et al. (2013). Chemical Composition and Morphological of Cocoa Pod Husk and Cassava Peels for Pulp and Paper Production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(9), 406-410.
- Diossa et al. (2017). Efecto de la presión de prensado y la adición de lignina Kraft en la producción de tableros aglomerados autoenlazados a partir de *Gynerium sagittatum* pretatada con vapor. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 19(4), 525-538.
- Doherty et al. (2011). Value- adding to cellulosic ethanol: lignin polymers,». *Science Direct*, 33(2), 259-276.
- Domínguez et al. (2014). *Elaboración de tableros aglomerados empleando diferentes formulaciones adhesivas apartir de proteína de soya*. Medellín, Colombia: Tesis pregrado. Universidad Pontificia Bolivariana.
- FEDECACAO. (2013). *Situación mundial y nacional de la cacaocultura*. Bucaramanga, Colombia.
- Federación Nacional de Cacaoteros. (2013). *Guía Ambiental para el cultivo del Cacao*. Bogotá, D.C Colombia: FEDECACAO .
- Ferrer, A. (2013). *Aprovechamiento integral del residuo de la industria del aceite de palma (EFB). Obtención de derivados de las hemicelulosas, pastas celulósicas y celulosas nanofibrilar*. Montería. Córdoba: Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba .
- Fioresi et al. (2017). Chemical modification of the cocoa shell surface using diazonium salts. *Journal of Colloid and Interface Science.*, 494, 92-97.
- Franco et al. (2010). Reaprovechamiento integral de residuos agroindustriales: Cáscara y pulpa de cacao para la producción de pectinas. *Revista Latinoamericana El ambiente y las ciencias*, 1(2), 45-66.
- Franco et al. (2010). Reaprovechamiento integral de residuos agroindustriales: Cáscara y pulpa de cacao para la producción de pectinas. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 2, 45-66.
- Gaitán et al. (2016). Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de *Pennisetum purpureum schum*, *Philodendron longirrhizum* y *Musa acuminata*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1), 5-11.
- Gellersted et al. (2008). *Lignins: Major sources, structure and properties*. 201-224: Elsevier. UK. Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

- González, D. (2013.). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal*. Caldas-Antioquia.: Tesis pregrado. Corporación Universitaria Lasallista.
- Gurú et al. (2006). Manufacturing of urea- formaldehyde based composite particleboard from almond shell. *Materials & Design*, 1-3.
- <https://solid-bi.es>. (2021). *SOLIDWORKS. Qué es y para qué sirve*. Obtenido de <https://solid-bi.es/solidworks/>
- <https://www.solidworks.com>. (2021). *SOLIDWORKS Diseño/Ingeniería*. Obtenido de <https://www.solidworks.com/es/domain/design-engineering>
- Jiménez et al. (2016). *Aprovechamiento de la cáscara de cacao en la elaboración de carbono activo para el tratamiento de aguas residuales*. Bucaramanga. Colombia: (Tesis de pregrado). Facultad de ciencias naturales e ingenierías, Unidades Tecnológicas de Santander.
- Jiménez et al. (2016). *Aprovechamiento de la cáscara de mazorca de cacao en la elaboración de carbono activo para el tratamiento de aguas residuales*. Bucaramanga, Santander: Unidades Tecnológicas de Santander.
- Leal et al. (2011). Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden procedente de finca Las Maravillas, Departament de Orán, Salta. *Quebracho*, vol. 19, n° 1, pp. , , 19(1), 75-83.
- Lei et al. (2014). Cross- linked soy based wood adhesives for plywood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*.
- Loannidou et al. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review,». *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 11(9), 1966-2005.
- Londoño et al. (2013). «Evaluación de propiedad físico-mecánica de tableros aglomerados usando dIferentes formulaciones adhesivas de proteína de soya. *Ingeniar UPB*, 671-680.
- López, M. (12 de 05 de 2010). *Los composites son los materiales que más innovan*. Recuperado el 2020, de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/40358-Luis-Lopez-Mateo-Los-composites-son-los-materiales-que-mas-innovan-en-todo-el-mundo.html>.
- Madurwar et al. (2013). Application of agro- waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building materials*, 38, 872-878.
- Manzano. (2000). *Propiedades físico químicas de tableros aglomerados de particulas 12, 16,19 mm de una empresa del estado de Durango*. Durango, México: Tesis pregrado. Universidad Autónoma Chapingo.
- Martínez. (2016). *Evaluación de componentes físicos, químicos, organolepticos y del rendimiento de clones universales y regionales de cacao (Theobroma, cacao L.) en las zonas*

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

- productoras de Santander, Arauca y Huila*. Bogotá, D.C Colombia: Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Martínez et al. (2015). Caracterización y evaluación de la cáscara de mazorca de cacao (*Theobroma cacao* L.) como fuente de energía renovable. *Agrociencia*, 49(3), 329-345.
- Martínez et al. (2015). Caracterización y evaluación de la cascara de mazorca de cacao (*Theobroma cacao* L.) como fuente de energía renovable. *Agrociencia*, 49(3), 329-345.
- Martínez et al. (2017). Structure of cellulose microfibrils in mature cotton fibres. *Elsevier science*, 175(1), 450-463.
- Medina et al. (2018). Un estudio sobre el potencial del uso de residuos lignocelulósicos. *Revista MICA*, 1(1), 6-23.
- Mejía. (2012). *Elaboración de tableros aglomerados autoadheridos a partir de fibra de raquis de Palma Africana (Elaeis guineensis Jacq.)*. Quito, Ecuador: (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional.
- Mejía. (2012). *Elaboración de tableros aglomerados auto-adheridos apartir de fibra de raquis de palma africana (Elaeis guineensis Jacq.)*. Quito, Ecuador: Tesis pregrado. Escuela Politécnica Nacional.
- Mejía et al. (2000). *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao*. Bucaramanga, Colombia: Publicaciones CORPOICA.
- Melgarejo, L. (2003). Bioprospección: Plan Nacional y Aproximación al estado actual en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2), 73-86.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). *Base agrícola EVA 2007-2015*. Recuperado el 2020, de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Páginas/default.aspx>.
- Monteiro et al. (2011). Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. *Industrial Crops and Products*, 33, 369-373.
- Monteiro et al. (2011). Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin.), pp. . *Industrial Crops & Products*, 33(2), 369-373. doi:doi: 10.1016/j.indcrop.2010.
- Mora et al. (2017). Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 41(161), 479-489.
- Morales et al. (2016). Avances en la obtención de tableros de fibra a partir de mezclas residuales lignocelulósicos de bagazo. *Revista de Química Teórica y aplicada*, 73(575), 205-209.
- Navas et al. (2015). Comparative study of agroindustrial Wastes for their use in Polymer matrix composites. *Procedia Materials Science*, 8, 778-785.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

- Njoku, V. O. (2014). Biosorption potential of cocoa pod husk for the removal of Zn(II) from aqueous phase. *Revista de ingeniería química ambiental*, 2(2), 881-887.
- Novoa. (2005). *Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de fibra de coco y cemento*,. Colima, México.: Tesis de maestría. Universidad de Colima.
- Ortíz et al. (2015). Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila, Colombia). *Bol. Cient. mus.hist.nat*, 19(1), 65-84.
- Padrón et al. (2004). Efecto de la cáscara de cacao en la obtención de espumas de poliuretano para uso hortícola. Propiedades físicas y de biodegradabilidad. *Rev. Soc. Quim. Mex.*, 48, 156-164.
- Peñaranda et al. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 141-150. doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2040>
- Peñaranda et al. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 141-150.
- Priyadarshini, M., Giri, J. P., & Patnaik, M. (2021). Variability in the compressive strength of non-conventional bricks containing agro and industrial waste,. *Case Studies in Construction Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00506>
- Quintana et al. (2009). Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch. *Industrial Crops & Products*, 9, 60-66.
- Reale et al. (2003). Mass spectrometry in the biosynthetic and structural investigation of Lignins. *Mass Espectrometry Reviews*, 23, 87.
- Ruíz, L. (2011). www.unperiodico.unal.edu.co. *Cacao: De chocolate a combustible* . Recuperado el 2020, de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/un-periodico-impreso-no-145.html>.
- Salamanca. (2012). Compostaje de residuos agroindustriales en Colombia. *Tecnicaña*, 28, 13-18.
- Sánchez, J. P. (2013). *Evaluación energetica de cáscara de cacao nacional y CCN-51*, . Cuenca, Ecuador: Tesis de maestría. Universidad de Cuenca.
- Seong et al. (2013). Modified cocoa Pod Husk- filed Polypropylene composites by using methacrylic acid. *Bioresources Journal*, 8(3), 3260-3275.
- Serrato et al. (2016). , *Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca*. Bogotá D.C, Colombia: Tesis pregrado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

- Suarez et al. (2011). *Aprovechamiento de la cáscara de cacao como adsorbente*. Bucaramanga, Colombia.: (Tesis de pregrado). Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander.
- Tapia, C. (2015). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) variedad arriba y CCN -51 para la elaboración de una infusión*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Teneda. (2016). *Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao. (Theobroma cacao L.) Variedad Nacional y variedad CCN51*. Sevilla. España: Universidad internacional de Andalucía.
- Thompson, S. O., & Rough, S. L. (2021). The densification of cocoa bean shells for bioenergy purposes. *Biomass and Bioenergy*, 148. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106057>.
- Tibolla et al. (2018). Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and mechanical treatments: Characterization and cytotoxicity assessment. *Food Hydrocolloids*, 75, 192-201.
- Titiloye et al. (2013). Thermochemical characterisation of agricultural wastes from West Africa.,». *Ind. Crop. Prod.*, 47, 199-203.
- Vázquez et al. (2002). Transformación de materiales lignocelulósicos. composición, fraccionamiento y aprovechamiento. *Revista de agroquímica y tecnología de alimentos*, 31(2), 143.
- Wang et al. (2017). Effects of different durations of acid hydrolysis on the properties of starch-based wood adhesive. *International Journal of Biological Macromolecules*, 819-828.
- Yepes et al. (2008). Valorización de residuos agroindustriales -frutas- en Medellín y el sur del Valle de Aburrá. Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 61(1), 4422-4431.
- Yin et al. (2014). «Enzymatic Hydrolysis enhancement of corn lignocellulose by supercritical CO₂ combiend with ultrasound pretreatment. *Chinese Journal of Ctalysis*, 35(5), 763-769.
- Yusriah et al. (2014). Characterization of physical, mechanical, thermal and morphological properties of agro-waste betel nut (Areca catechu) husk fibre. *Journal of cleaner Production*, 72, 174-180.
- Zambrano et al. (2013). Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de Pinus patula. *Madera y Bosques*, 19(3), 65-80.

8. ANEXOS

Anexo 1. Evidencias Fotográficas

Caracterización fisicoquímica de la Cáscara de Mazorca de Cacao (CMC)

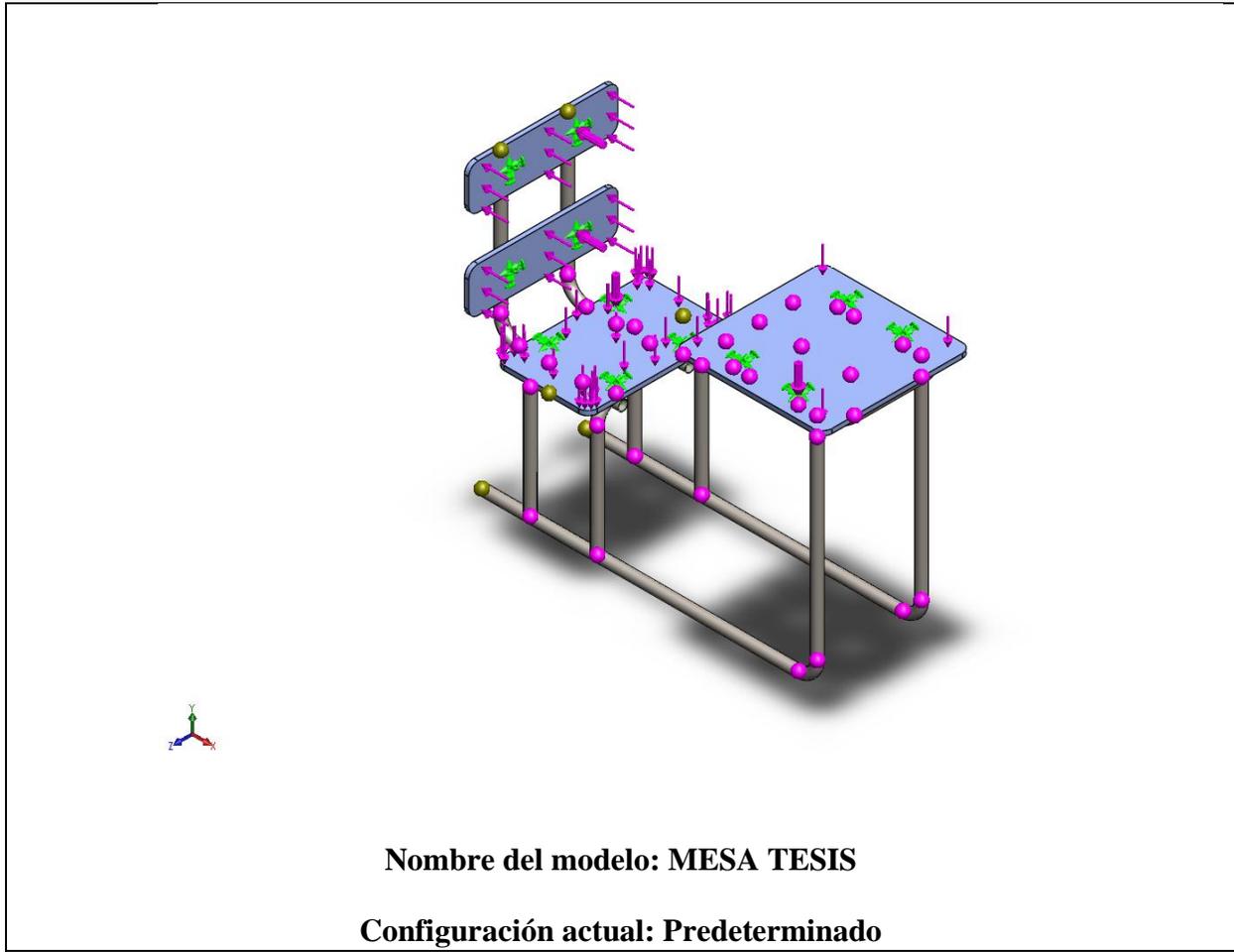


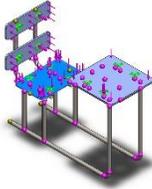
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS



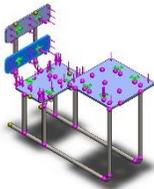
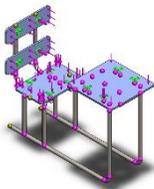
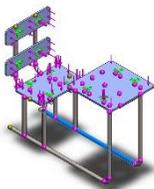
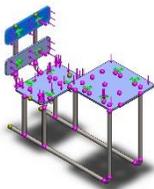
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Anexo 2. Simulación en solid works

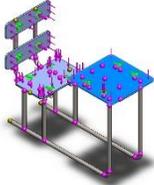
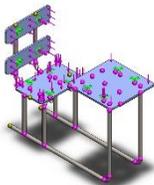
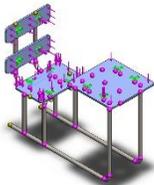


Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir1 	Sólido	Masa:1.55402 kg Volumen:0.001189 m ³ Densidad:1307 kg/m ³ Peso:15.2294 N	D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\TABLA ASIEN TO.SLDPR T Oct 17 09:36:32 2018
Cortar-Extruir1	Sólido	Masa:0.741436 kg Volumen:0.000567281 m ³	D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\TABLA ESPALDAR.SLDPR T

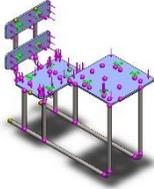
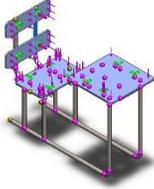
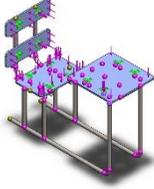
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		Densidad:1307 kg/m ³ Peso:7.26608 N	Oct 17 09:37:10 2018
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0.741436 kg Volumen:0.000567281 m ³ Densidad:1307 kg/m ³ Peso:7.26608 N	D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\TABLA ESPALDAR.SLDPR T Oct 17 09:37:10 2018
Saliente-Extruir1 	Sólido	Masa:2.49506 kg Volumen:0.001909 m ³ Densidad:1307 kg/m ³ Peso:24.4516 N	D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\TABLA MESA.SLDPR T Oct 17 09:36:52 2018
Sólidos de viga:			
Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades	Ruta al documento/Fecha de modificación
Viga-1(Cortar-Extruir3[3]) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40 Área de sección: 7.58926e-05m ² Longitud:75.7945mm Volumen:5.86891e-06m ³ Densidad:7870kg/m ³ Masa:0.0461883kg Peso:0.452646N	D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPR T Oct 17 09:55:15 2018
Viga-2(Tubería 1.0 SCH 40(1)[30])	Viga – Sección	Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40	D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPR T

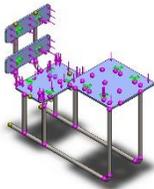
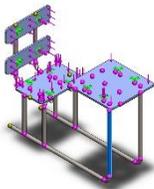
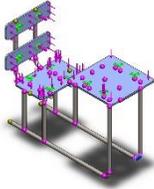
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

	transversal uniforme	<p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:20mm</p> <p>Volumen:1.51785e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0119455kg</p> <p>Peso:0.117066N</p>	Oct 17 09:55:15 2018
<p>Viga-3(Tubería 1.0 SCH 40(1)[6])</p> 	Viga – Sección transversal uniforme	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:850mm</p> <p>Volumen:6.45087e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.507684kg</p> <p>Peso:4.9753N</p>	D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT Oct 17 09:55:15 2018
<p>Viga-4(Cortar-Extruir3[2])</p> 	Viga – Sección transversal uniforme	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:180mm</p> <p>Volumen:1.34777e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.10607kg</p> <p>Peso:1.03948N</p>	D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT Oct 17 09:55:15 2018
<p>Viga-5(Tubería 1.0 SCH 40(1)[35])</p>	Viga – Sección transversal uniforme	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p>	D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT

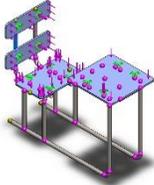
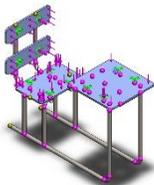
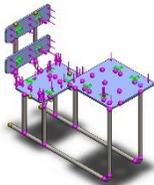
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:90mm</p> <p>Volumen:6.83034e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0537547kg</p> <p>Peso:0.526796N</p>	<p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-6(Cortar-Extruir1[1])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:379.968mm</p> <p>Volumen:2.84707e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.224065kg</p> <p>Peso:2.19583N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-7(Cortar-Extruir2[1])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:75.7764mm</p> <p>Volumen:5.86891e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0461883kg</p> <p>Peso:0.452646N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-8(Cortar-Extruir3[1])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p>

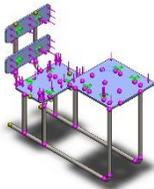
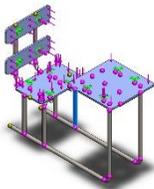
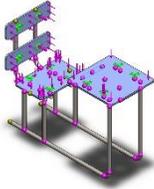
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:75.5356mm</p> <p>Volumen:5.86891e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0461883kg</p> <p>Peso:0.452646N</p>	<p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-9(Tubería 1.0 SCH 40(1)[3])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:520mm</p> <p>Volumen:3.94642e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.310583kg</p> <p>Peso:3.04371N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPR T Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-10(Tubería 1.0 SCH 40(1)[7])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:78.4402mm</p> <p>Volumen:5.96059e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0469099kg</p> <p>Peso:0.459717N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPR T Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-11(Cortar-Extruir1[2])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPR T</p>

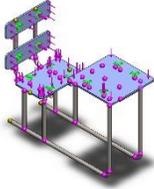
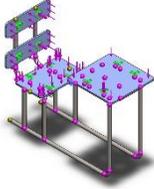
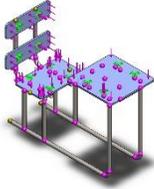
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:380mm</p> <p>Volumen:2.84731e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.224084kg</p> <p>Peso:2.19602N</p>	<p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-12(Tubería 1.0 SCH 40(1)[34])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:20mm</p> <p>Volumen:1.51785e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0119455kg</p> <p>Peso:0.117066N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-13(Cortar-Extruir2[7])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 4.29888e-05m²</p> <p>Longitud:41.8221mm</p> <p>Volumen:1.85344e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0145865kg</p> <p>Peso:0.142948N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-14(Tubería 1.0 SCH 40(1)[33])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p>

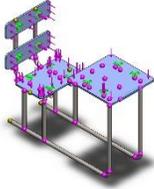
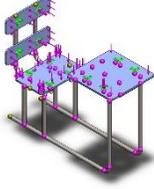
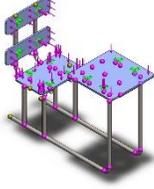
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:78.4402mm</p> <p>Volumen:5.96059e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0469099kg</p> <p>Peso:0.459717N</p>	<p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-15(Tubería 1.0 SCH 40(1)[16])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:293.734mm</p> <p>Volumen:2.22055e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.174757kg</p> <p>Peso:1.71262N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-16(Tubería 1.0 SCH 40(1)[32])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:180mm</p> <p>Volumen:1.36607e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.107509kg</p> <p>Peso:1.05359N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-17(Tubería 1.0 SCH 40(1)[41])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p>

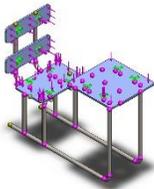
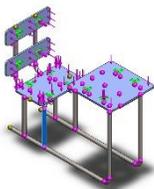
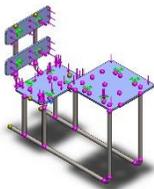
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:78.4402mm</p> <p>Volumen:5.96059e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0469099kg</p> <p>Peso:0.459717N</p>	<p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-18(Cortar-Extruir3[10])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:0.00488104mm</p> <p>Volumen:1.3541e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0106568kg</p> <p>Peso:0.104436N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-19(Tubería 1.0 SCH 40(1)[31])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:78.4402mm</p> <p>Volumen:5.96059e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0469099kg</p> <p>Peso:0.459717N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-20(Tubería 1.0 SCH 40(1)[40])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

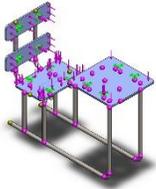
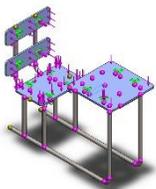
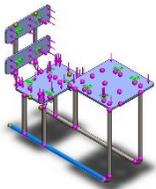
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Longitud:180mm</p> <p>Volumen:1.36607e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.107509kg</p> <p>Peso:1.05359N</p>	
<p>Viga-21(Cortar-Extruir3[8])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:260mm</p> <p>Volumen:1.9457e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.153127kg</p> <p>Peso:1.50064N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDprt</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-22(Cortar-Extruir2[3])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:75.7764mm</p> <p>Volumen:5.86891e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0461883kg</p> <p>Peso:0.452646N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDprt</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-23(Tubería 1.0 SCH 40(1)[37])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:90mm</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDprt</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

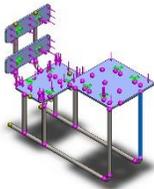
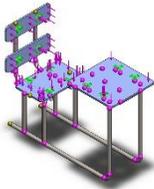
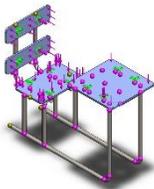
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Volumen:6.83034e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0537547kg</p> <p>Peso:0.526796N</p>	
<p>Viga-24(Tubería 1.0 SCH 40(1)[20])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:293.734mm</p> <p>Volumen:2.22074e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.174772kg</p> <p>Peso:1.71277N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-25(Cortar-Extruir3[9])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:0.00236344mm</p> <p>Volumen:1.35422e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0106577kg</p> <p>Peso:0.104446N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-26(Tubería 1.0 SCH 40(1)[36])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:180mm</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

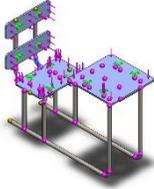
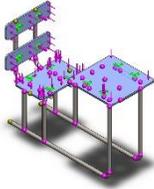
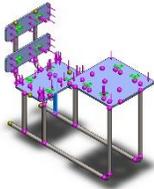
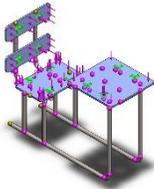
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Volumen:1.36607e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.107509kg</p> <p>Peso:1.05359N</p>	
<p>Viga-27(Tubería 1.0 SCH 40(1)[44])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:123.991mm</p> <p>Volumen:9.23885e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0727097kg</p> <p>Peso:0.712555N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-28(Tubería 1.0 SCH 40(1)[1])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:850mm</p> <p>Volumen:6.45087e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.507684kg</p> <p>Peso:4.9753N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-29(Tubería 1.0 SCH 40(1)[8])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:520mm</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

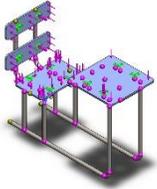
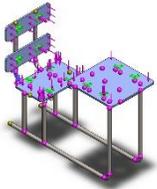
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Volumen:3.94642e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.310583kg</p> <p>Peso:3.04371N</p>	
<p>Viga-30(Cortar-Extruir3[7])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:260mm</p> <p>Volumen:1.94574e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.153129kg</p> <p>Peso:1.50067N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-31(Tubería 1.0 SCH 40(1)[39])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:78.4402mm</p> <p>Volumen:5.96059e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0469099kg</p> <p>Peso:0.459717N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-32(Tubería 1.0 SCH 40(1)[25])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:78.4402mm</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

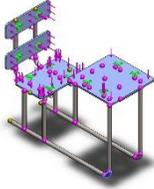
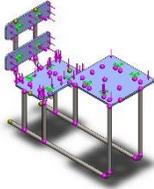
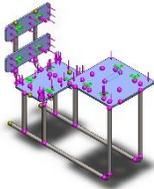
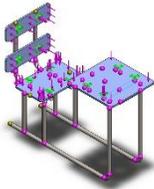
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Volumen:5.96059e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0469099kg</p> <p>Peso:0.459717N</p>	
<p>Viga-33(Cortar-Extruir2[4])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:175mm</p> <p>Volumen:1.30068e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.102363kg</p> <p>Peso:1.00316N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-34(Tubería 1.0 SCH 40(1)[11])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:293.734mm</p> <p>Volumen:2.22047e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.174751kg</p> <p>Peso:1.71256N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-35(Cortar-Extruir2[2])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:175mm</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

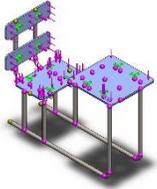
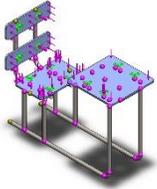
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Volumen:1.30068e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.102363kg</p> <p>Peso:1.00316N</p>	
<p>Viga-36(Cortar-Extruir3[6])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:75.7945mm</p> <p>Volumen:5.86891e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0461883kg</p> <p>Peso:0.452646N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-37(Tubería 1.0 SCH 40(1)[23])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:78.4402mm</p> <p>Volumen:5.96059e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0469099kg</p> <p>Peso:0.459717N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-38(Tubería 1.0 SCH 40(1)[2])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:78.4402mm</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

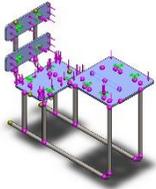
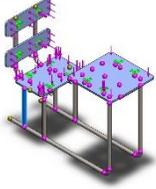
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Volumen:5.96059e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0469099kg</p> <p>Peso:0.459717N</p>	
<p>Viga-39(Cortar-Extruir3[5])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:180mm</p> <p>Volumen:1.34777e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.10607kg</p> <p>Peso:1.03948N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-40(Tubería 1.0 SCH 40(1)[45])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:123.991mm</p> <p>Volumen:9.23885e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0727097kg</p> <p>Peso:0.712555N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-41(Cortar-Extruir2[5])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:269.985mm</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Volumen:1.98224e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.156002kg</p> <p>Peso:1.52882N</p>	
<p>Viga-42(Cortar-Extruir2[6])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 4.29888e-05m²</p> <p>Longitud:41.8221mm</p> <p>Volumen:1.85428e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0145932kg</p> <p>Peso:0.143013N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-43(Cortar-Extruir3[4])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:75.5356mm</p> <p>Volumen:5.86891e-06m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.0461883kg</p> <p>Peso:0.452646N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>
<p>Viga-44(Tubería 1.0 SCH 40(1)[43])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:228.993mm</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDPRT</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Volumen:1.72053e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.135405kg</p> <p>Peso:1.32697N</p>	
<p>Viga-45(Tubería 1.0 SCH 40(1)[15])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-ansi inch/pipe/1.0 sch 40</p> <p>Área de sección: 7.58926e-05m²</p> <p>Longitud:293.734mm</p> <p>Volumen:2.22074e-05m³</p> <p>Densidad:7870kg/m³</p> <p>Masa:0.174772kg</p> <p>Peso:1.71277N</p>	<p>D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS\ESTRUCTURA.SLDprt</p> <p>Oct 17 09:55:15 2018</p>

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

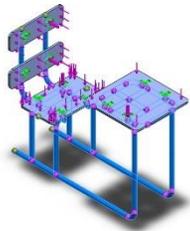
Propiedades de estudio	
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla mixta
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Direct sparse solver
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (D:\informacion escritorio 9 de agosto\MESA TESIS)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 1020 laminado en frío</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 3.5e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4.2e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2.05e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 7870 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.2e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir3[3])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 2(Tubería 1.0 SCH 40(1)[30])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 3(Tubería 1.0 SCH 40(1)[6])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 4(Cortar-Extruir3[2])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 5(Tubería 1.0 SCH 40(1)[35])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 6(Cortar-Extruir1[1])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 7(Cortar-Extruir2[1])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 8(Cortar-Extruir3[1])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 9(Tubería 1.0 SCH 40(1)[3])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 10(Tubería 1.0 SCH 40(1)[7])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 11(Cortar-Extruir1[2])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 12(Tubería 1.0 SCH 40(1)[34])(ESTRUCTURA-1),</p>

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Sólido 13(Cortar-Extruir2[7])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 14(Tubería 1.0 SCH 40(1)[33])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 15(Tubería 1.0 SCH 40(1)[16])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 16(Tubería 1.0 SCH 40(1)[32])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 17(Tubería 1.0 SCH 40(1)[41])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 18(Cortar-Extruir3[10])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 19(Tubería 1.0 SCH 40(1)[31])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 20(Tubería 1.0 SCH 40(1)[40])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 21(Cortar-Extruir3[8])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 22(Cortar-Extruir2[3])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 23(Tubería 1.0 SCH 40(1)[37])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 24(Tubería 1.0 SCH</p>
--	--	--

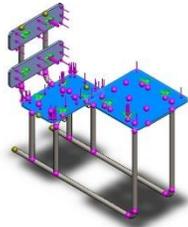
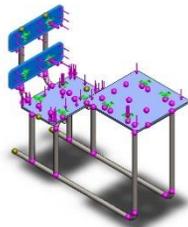
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>40(1)[20](ESTRUCTUR A-1),</p> <p>Sólido 25(Cortar-Extruir3[9])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 26(Tubería 1.0 SCH 40(1)[36])(ESTRUCTUR A-1),</p> <p>Sólido 27(Tubería 1.0 SCH 40(1)[44])(ESTRUCTUR A-1),</p> <p>Sólido 28(Tubería 1.0 SCH 40(1)[1])(ESTRUCTURA -1),</p> <p>Sólido 29(Tubería 1.0 SCH 40(1)[8])(ESTRUCTURA -1),</p> <p>Sólido 30(Cortar-Extruir3[7])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 31(Tubería 1.0 SCH 40(1)[39])(ESTRUCTUR A-1),</p> <p>Sólido 32(Tubería 1.0 SCH 40(1)[25])(ESTRUCTUR A-1),</p> <p>Sólido 33(Cortar-Extruir2[4])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 34(Tubería 1.0 SCH 40(1)[11])(ESTRUCTUR A-1),</p> <p>Sólido 35(Cortar-Extruir2[2])(ESTRUCTURA-1),</p>
--	--	--

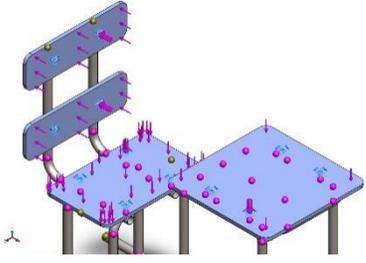
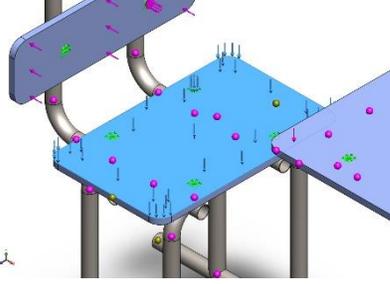
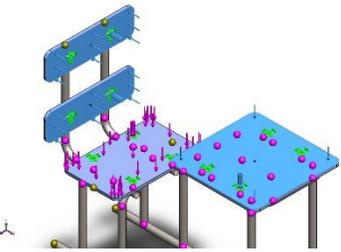
APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

		<p>Sólido 36(Cortar-Extruir3[6])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 37(Tubería 1.0 SCH 40(1)[23])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 38(Tubería 1.0 SCH 40(1)[2])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 39(Cortar-Extruir3[5])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 40(Tubería 1.0 SCH 40(1)[45])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 41(Cortar-Extruir2[5])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 42(Cortar-Extruir2[6])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 43(Cortar-Extruir3[4])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 44(Tubería 1.0 SCH 40(1)[43])(ESTRUCTURA-1),</p> <p>Sólido 45(Tubería 1.0 SCH 40(1)[15])(ESTRUCTURA-1)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

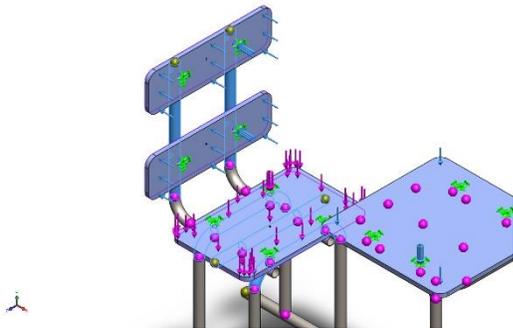
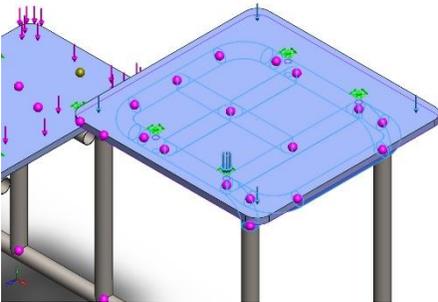
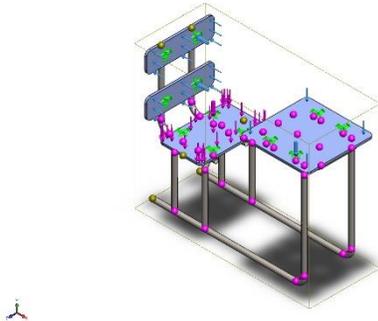
	<p>Nombre: aglomerado tesis</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 1.29e+09 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3e+07 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 7.2e+06 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.394</p> <p>Densidad: 1307 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.3e+06 N/m²</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(TABLA ASIENTO-1),</p> <p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(TABLA MESA-1)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		
	<p>Nombre: aglomerado tesis</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 1.29e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 7.2e+09 N/m²</p> <p>Densidad: 1307 kg/m³</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(TABLA ESPALDAR-1),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(TABLA ESPALDAR-2)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Cargas y sujeciones				
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 12 cara(s) Tipo: Geometría f		
Fuerzas resultantes				
Componentes		X	Y	Z
Fuerza de reacción(N)		588.399	686.466	-1.1161e-05
Momento de reacción(N.m)		0.831062	0.405047	-19.1549
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuer Valor: 40 kgf		
Fuerza-2		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Aplicar fuer Valor: 30 kgf		

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Información de contacto

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-1		<p>Entidades: 3 cara(s), 11 Viga(s)</p>
Contacto-2		<p>Entidades: 1 cara(s), 18 Viga(s)</p>
Contacto global		<p>Tipo: Unión rígida</p> <p>Componentes: 1 componente(s)</p> <p>Opciones: Mallado compatible</p>

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

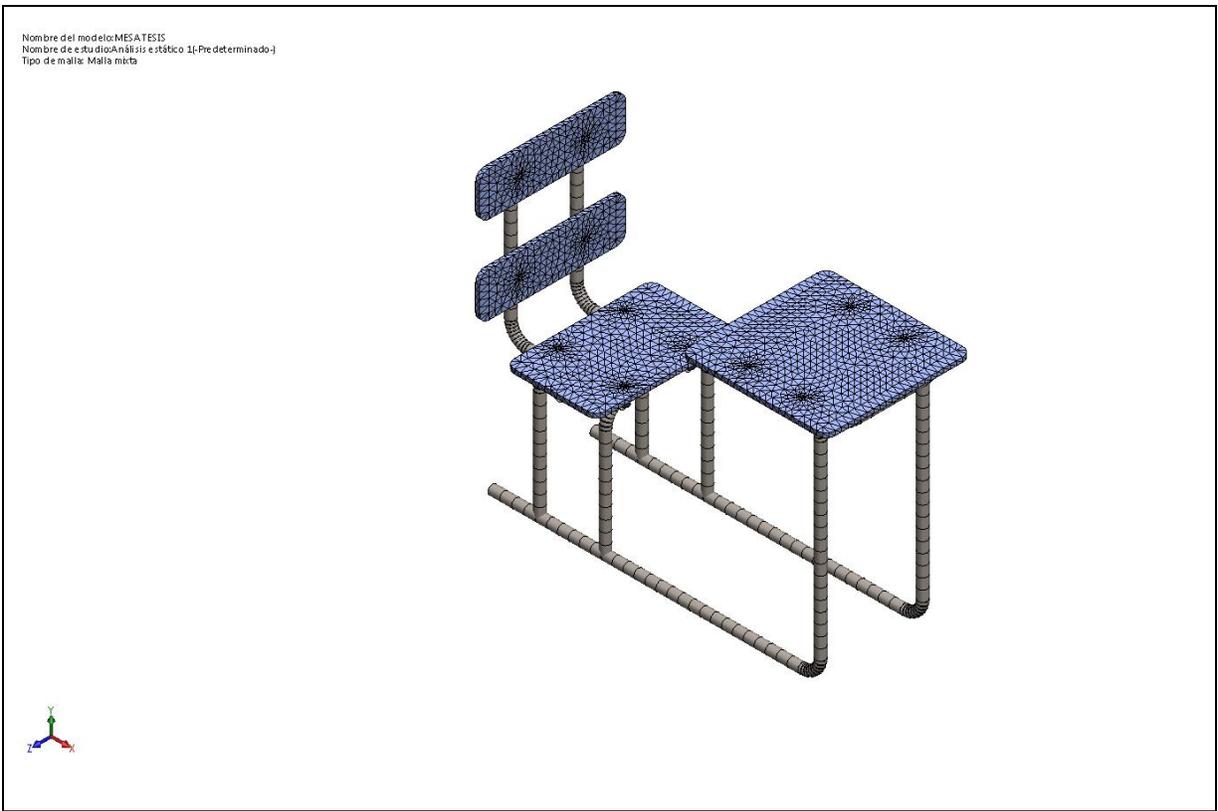
Información de malla

Tipo de malla	Malla mixta
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	17.5283 mm
Tamaño mínimo del elemento	0.876415 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	20183
Número total de elementos	10193
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Nombre de computadora:	UFPSO-HP

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	588.399	686.466	-1.1161e-05	904.129

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0.831062	0.405047	-19.1549	19.1772

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Vigas

Fuerzas de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N)	Corte1(N)	Corte2(N)	Momento1(N.m)	Momento2(N.m)	Torsión(N.m)
Viga-1(Cortar-Extruir3[3])	1	-8.71064	-2.10506	-8.45645	0.296646	0.0347307	0.488366
	2	-1.74201	0.968848	-0.335244	-0.0210947	0.00852946	-0.00807481
Viga-3(Tubería 1.0 SCH 40(1)[6])	1	-1.1618e-14	-4.26274e-15	8.95287e-15	-6.84691e-17	3.40397e-16	2.14511e-18
	2	-0.353956	-0.0716421	0.137415	-0.0473144	-0.0146597	-0.00679574
	3	0.353957	0.071636	-0.137417	-0.0268905	-0.0240258	0.00679576
	4	0.338031	0.018706	0.380886	0.0376497	-0.0114109	0.00926751
Viga-4(Cortar-Extruir3[2])	1	7.32619	0.00627955	19.8553	-0.721137	0.000992199	0.0162368
	2	-6.58847	-2.49265	21.8246	0.756187	0.074419	0.0479222
Viga-5(Tubería 1.0 SCH 40(1)[35])	1	-5.60361	-0.0733152	16.6447	0.218063	-0.125295	-0.122276
	2	-14.9813	1.71639	-23.2935	-1.59164	0.00818138	0.0190276
Viga-6(Cortar-Extruir1[1])	1	-23.0823	8.29817	-36.4931	-0.0376797	0.0619752	-0.130139
	2	-1.7845	-0.226611	6.42933	0.046745	0.0166943	-0.10996
Viga-7(Cortar-Extruir2[1])	1	0.539102	-2.39405	0.497973	0.0269189	-0.0347647	0.00790015
	2	41.4257	5.74413	38.476	-3.27262	0.247945	-0.30887
Viga-8(Cortar-Extruir3[1])	1	11.4371	-2.37964	-10.5479	-0.450601	0.0282445	0.492659
	2	2.00426	-0.930253	0.586513	-0.0407089	0.0175948	-0.0147375
Viga-9(Tubería 1.0 SCH 40(1)[3])	1	-0.0886081	0.193954	0.059314	-0.0392198	0.0781337	-0.0113948
	2	0.0886091	-0.193954	-0.0593136	0.00837664	0.0227225	0.0113948
Viga-10(Tubería 1.0 SCH 40(1)[7])	1	0.364587	0.106043	0.0716374	-0.0151946	0.0473149	0.00549223
	2	-0.167743	0.340633	-0.0716374	0.0119278	-0.0364879	0.0172661
Viga-11(Cortar-Extruir1[2])	1	-28.3798	-19.5896	-40.0024	-0.246389	0.146399	-0.132183
	2	-1.59904	0.586435	7.08878	0.0647117	-0.0307696	0.0793057
Viga-13(Cortar-Extruir2[7])	1	-7.72578	-15.2991	-5.0639	0.0252373	0.294973	-0.000338634
	2	7.72578	15.2991	5.0639	0.186545	-0.934814	0.000338634
Viga-14(Tubería 1.0 SCH 40(1)[33])	1	6.3765	2.18482	-15.2099	0.365241	-0.0626132	-0.167059
	2	2.46297	1.96956	4.64734	0.403264	-0.0164949	-0.0633162
	1	-0.518303	0.0159254	-0.0529325	-0.00247178	-0.0040194	-0.0159822

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Viga-15(Tubería 1.0 SCH 40(1)[16])	2	0.518303	-0.0159254	0.0529325	-0.0135008	-0.000786163	0.0159822
Viga-16(Tubería 1.0 SCH 40(1)[32])	1	3.18056	1.85236	3.77881	0.668268	-0.0126446	0.167086
	2	-1.59555	0.143815	3.49345	-0.616874	0.0360196	0.197584
	3	-1.19772	0.411269	4.29874	-0.59249	0.0179235	-0.141199
Viga-17(Tubería 1.0 SCH 40(1)[41])	1	3.76208	1.90051	-6.777	0.213351	0.0807842	0.0068852
	2	1.72181	-0.873223	4.8293	-0.0172609	-0.0824862	-0.0280489
Viga-19(Tubería 1.0 SCH 40(1)[31])	1	-5.88195	-1.9433	14.9285	0.383173	-0.032075	-0.170202
	2	-2.68278	-1.30442	-5.13555	0.412668	-0.0312287	-0.0968219
Viga-20(Tubería 1.0 SCH 40(1)[40])	1	-4.37995	-2.95882	8.76884	-0.0478377	-0.12904	0.0595745
	2	5.05506	-2.19695	8.54843	0.00185795	0.0469538	-0.0290532
Viga-21(Cortar-Extruir3[8])	1	21.663	-5.88074	37.4105	1.56429	0.265753	-0.416705
	2	21.8107	5.91457	-37.028	-1.70858	-0.29323	0.42181
	3	-21.8107	-5.91457	37.028	-1.62394	-0.239081	-0.42181
	4	6.42933	0.226625	1.7845	0.185496	0.121292	0.00536315
Viga-22(Cortar-Extruir2[3])	1	63.1798	7.4874	32.44	-4.03323	0.488385	0.29063
	2	0.0134718	-2.98211	-0.441143	-0.030429	-0.0758493	-0.00838216
Viga-23(Tubería 1.0 SCH 40(1)[37])	1	-3.22945	0.0348211	-15.9269	-0.140383	-0.0122895	-0.00526874
	2	-16.8744	-1.05432	22.9316	1.49132	0.0556431	0.0193882
Viga-24(Tubería 1.0 SCH 40(1)[20])	1	0.316191	0.0839452	0.0173848	-0.000709204	0.00320152	-0.0136499
	2	-0.316191	-0.0839464	-0.0173848	-0.00453667	0.0221294	0.0136499
Viga-26(Tubería 1.0 SCH 40(1)[36])	1	0	0	0	0	0	0
	2	-19.7839	-4.10696	27.0185	-1.47249	-0.0924192	0.181345
Viga-27(Tubería 1.0 SCH 40(1)[44])	1	6.67506	0.944906	-25.6471	0.796861	0.0256519	-0.274725
	2	-3.40048	0.40775	10.2763	1.77914	-0.006222	0.328387
Viga-28(Tubería 1.0 SCH 40(1)[1])	1	2.97778e-15	1.32319e-14	2.49421e-15	8.43554e-18	-4.0529e-18	-1.29833e-17
	2	0.176571	0.0246321	0.227582	-0.0137408	0.00920947	-0.00861295
	3	-0.193955	0.0593083	0.088611	-0.02799	0.00842841	0.00541137
	4	0.17657	0.0246359	0.227583	0.0203966	0.00551428	-0.00861298

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Viga-29(Tubería 1.0 SCH 40(1)[8])	1	0.137418	-0.0716322	-0.353958	-0.0364877	-0.0103782	-0.01824
	2	-0.137416	0.0716322	0.353958	-0.14757	0.0476268	0.0182401
Viga-30(Cortar-Extruir3[7])	1	19.5286	7.62247	38.827	1.55235	-0.328161	0.409768
	2	25.0438	-7.39119	-35.3131	-1.56987	0.357858	-0.403866
	3	-25.0435	7.38926	35.3137	-1.60833	0.307258	0.403866
	4	7.08878	-0.586432	1.59906	0.209777	-0.108625	-0.00144798
Viga-31(Tubería 1.0 SCH 40(1)[39])	1	-2.49404	1.0831	-5.19034	0.0126144	-0.0292797	0.0192277
	2	-3.32872	0.101652	6.2651	0.201417	-0.0315602	-0.0212423
Viga-32(Tubería 1.0 SCH 40(1)[25])	1	2.33807	-6.24933	-0.226625	-0.00704705	0.0467447	0.110997
	2	-6.56039	-1.21736	0.226625	-0.120363	0.185496	-0.0159139
Viga-33(Cortar-Extruir2[4])	1	4.78209	-4.58531	-26.3489	-1.14126	-0.129173	-0.257174
	2	-2.1515	2.0072	71.1881	10.1687	-0.0686195	-0.398172
	3	-4.78209	4.58531	26.3489	2.28422	-0.0697268	0.257174
Viga-34(Tubería 1.0 SCH 40(1)[11])	1	0.380886	0.0187049	0.338031	0.0376498	0.00926749	-0.0114108
	2	-0.380886	-0.0187049	-0.338031	0.0643525	-0.0149118	0.0114108
Viga-35(Cortar-Extruir2[2])	1	2.54444	3.06065	-26.8739	-1.20307	0.0650149	0.258577
	2	-2.79261	-2.28349	72.6514	10.3961	0.0925527	0.449597
	3	-2.54444	-3.06065	26.8739	2.36879	0.0677493	-0.258577
Viga-36(Cortar-Extruir3[6])	1	-1.24255	0.70773	0.0238984	-0.00110662	0.0211886	-0.00813228
	2	-10.4869	5.23913	-3.07672	0.274831	-0.142236	-0.267063
Viga-37(Tubería 1.0 SCH 40(1)[23])	1	2.21078	-6.92244	0.586421	0.0237406	0.0647119	-0.0816855
	2	-7.20117	-0.975131	-0.586421	0.108087	0.209776	0.0109103
Viga-38(Tubería 1.0 SCH 40(1)[2])	1	-0.105176	0.185494	0.0593109	-0.0093382	-0.0227224	-0.0106215
	2	0.20094	0.071366	-0.0593109	0.00886895	0.0279897	-0.0046561
Viga-39(Cortar-Extruir3[5])	1	-6.98918	22.8303	-5.1726	-0.137294	-0.725017	-0.0324163
	2	6.07235	23.0772	-5.17678	0.153459	0.789718	-0.0791203
Viga-40(Tubería 1.0 SCH 40(1)[45])	1	-4.2602	-0.832326	-10.5026	-1.77517	0.0849696	-0.303962
	2	9.48841	1.99605	24.8573	-0.705255	0.107419	0.29023
	1	6.79268	0.0688207	-25.7216	-0.805747	-0.0289416	-1.87872
	2	6.32107	1.20964	26.9006	-0.750678	0.144467	1.87883

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Viga-41(Cortar-Extruir2[5])	3	-7.71811	-1.07862	10.6007	-1.16767	0.0084529	1.87839
Viga-42(Cortar-Extruir2[6])	1	7.2534	-15.5065	-4.72481	-0.162353	0.885916	7.91852e-05
	2	-7.2534	15.5065	4.72481	-0.0352488	-0.237402	-7.91852e-05
Viga-43(Cortar-Extruir3[4])	1	0.698601	-0.215394	0.0164694	0.000760689	0.0120268	-0.012261
	2	0	0	0	0	0	0
Viga-44(Tubería 1.0 SCH 40(1)[43])	1	-0.0481336	0.266449	-10.8574	0.30827	-0.0138827	0.0122172
	2	0.149797	1.10087	-0.63688	2.69968	-0.0824108	0.00336057
	3	0.858323	-1.53391	16.6372	-3.84043	-0.124507	-0.00546448
Viga-45(Tubería 1.0 SCH 40(1)[15])	1	0.227582	0.0246353	-0.17657	-0.0328841	0.00117925	0.00551442
	2	-0.227582	-0.0246344	0.17657	-0.0203966	-0.00861293	-0.00551439

Tensiones de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N/m ²)	Dir. de pliegue1(N/m ²)	Dir. de pliegue2(N/m ²)	Torsional (N/m ²)	Tensión axial y de flexión en el límite superior(N/m ²)
Viga-1(Cortar-Extruir3[3])	1	-114776	629651	-73718.2	518295	748727
	2	22953.6	44774.8	18104.3	-8569.66	71250.1
Viga-3(Tubería 1.0 SCH 40(1)[6])	1	-1.53085e-10	-1.4533e-10	-7.22515e-10	2.27657e-12	8.90072e-10
	2	4663.91	100428	-31116.2	-7212.2	109802
	3	4663.92	-57076.8	50996.3	7212.22	81204
	4	4454.06	79914	24220.3	9835.45	87957.8
Viga-4(Cortar-Extruir3[2])	1	-96533.6	1.53066e+06	2106.01	17231.9	1.6272e+06
	2	-86813	1.60506e+06	-157959	50859	1.69962e+06
Viga-5(Tubería 1.0 SCH 40(1)[35])	1	73836	-462853	-265948	-129769	607654
	2	-197401	-3.37837e+06	-17365.5	20193.7	3.57581e+06
Viga-6(Cortar-Extruir1[1])	1	-304144	-79977.7	-131546	-138115	458095
	2	23513.5	-99219.3	35434.7	-116699	128870
Viga-7(Cortar-Extruir2[1])	1	7103.48	57137.1	73790.4	8384.29	100429
	2	-545846	6.94635e+06	526279	-327798	7.51211e+06
Viga-8(Cortar-Extruir3[1])	1	-150701	956431	59950.7	522850	1.10901e+06
	2	26409.2	-86407.3	-37346	-15640.6	120542
Viga-9(Tubería 1.0 SCH 40(1)[3])	1	1167.55	83246.5	165844	-12093.1	186732
	2	1167.56	17780	-48230	12093.2	52570.5

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Viga-10(Tubería 1.0 SCH 40(1)[7])	1	4803.99	-32251.6	-100429	5828.81	110284
	2	2210.27	-25317.5	-77447.9	18324.2	83691.3
Viga-11(Cortar-Extruir1[2])	1	-373947	-522976	-310742	-140284	982277
	2	21069.7	-137355	-65310.6	84165.8	173161
Viga-13(Cortar-Extruir2[7])	1	179716	-266888	954312	-1658.08	1.40092e+06
	2	179716	1.97274e+06	3.02436e+06	1658.08	5.17682e+06
Viga-14(Tubería 1.0 SCH 40(1)[33])	1	-84020	-775249	-132901	-177297	870578
	2	32453.4	855954	35011.5	-67196.4	889123
Viga-15(Tubería 1.0 SCH 40(1)[16])	1	-6829.42	-5246.51	8531.44	-16961.6	16845
	2	-6829.42	28656.3	-1668.68	16961.6	35534.3
Viga-16(Tubería 1.0 SCH 40(1)[32])	1	-41908.7	-1.41844e+06	-26839	177325	1.46061e+06
	2	-21023.7	-1.30935e+06	-76454	209692	1.33261e+06
	3	-15781.8	-1.2576e+06	-38043.7	-149852	1.27396e+06
Viga-17(Tubería 1.0 SCH 40(1)[41])	1	-49571.1	-452851	171470	7307.15	533799
	2	22687.4	-36637.3	175082	-29767.9	201562
Viga-19(Tubería 1.0 SCH 40(1)[31])	1	-77503.6	813309	68081.4	-180633	893657
	2	35349.7	-875914	-66285	-102755	913769
Viga-20(Tubería 1.0 SCH 40(1)[40])	1	57712.5	101539	-273895	63225.4	349823
	2	66608	3943.63	-99662.4	-30833.6	166348
Viga-21(Cortar-Extruir3[8])	1	285443	3.32032e+06	-564077	-442241	3.65333e+06
	2	287389	-3.62657e+06	622401	447660	3.96698e+06
	3	287389	3.44692e+06	-507465	-447660	3.77146e+06
	4	84716.1	393728	-257450	5691.82	555144
Viga-22(Cortar-Extruir2[3])	1	-832490	8.56079e+06	1.03663e+06	308441	9.45582e+06
	2	177.511	-64587.6	160995	-8895.84	173645
Viga-23(Tubería 1.0 SCH 40(1)[37])	1	42552.9	297973	-26085.3	-5591.62	341665
	2	-222346	3.16541e+06	-118106	20576.3	3.38996e+06
Viga-24(Tubería 1.0 SCH 40(1)[20])	1	-4166.3	1505.33	6795.43	-14486.4	11126.5
	2	-4166.29	-9629.38	-46971.2	14486.4	52114.4

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Viga-26(Tubería 1.0 SCH 40(1)[36])	1	0	0	0	0	0
	2	260683	3.12545e+06	-196166	192458	3.39228e+06
Viga-27(Tubería 1.0 SCH 40(1)[44])	1	-87954	-1.69139e+06	54447.8	-291561	1.78022e+06
	2	-44806.5	3.77635e+06	13206.6	348511	3.82118e+06
Viga-28(Tubería 1.0 SCH 40(1)[1])	1	3.92367e-11	1.7905e-11	8.60253e-12	-1.3779e-11	5.91011e-11
	2	2326.59	-29165.8	-19547.7	-9140.77	37437.2
	3	2555.65	59410.6	17889.9	5742.99	64601.3
	4	2326.57	43293.2	-11704.4	-9140.8	47174
Viga-29(Tubería 1.0 SCH 40(1)[8])	1	1810.69	-77447.6	22028.3	-19357.8	82330.1
	2	1810.67	313228	101091	19357.9	330947
Viga-30(Cortar-Extruir3[7])	1	257319	3.29497e+06	696543	434880	3.62511e+06
	2	329990	-3.33215e+06	-759576	-428616	3.74762e+06
	3	329986	3.41379e+06	652175	428616	3.80551e+06
	4	93405.3	445265	230564	-1536.72	594824
Viga-31(Tubería 1.0 SCH 40(1)[39])	1	32862.7	-26774.9	-62148.1	20406	100533
	2	-43861	427521	66988.5	-22544.1	476598
Viga-32(Tubería 1.0 SCH 40(1)[25])	1	30807.6	-14957.8	-99218.8	117799	131148
	2	86443	255478	393728	-16889.1	555794
Viga-33(Cortar-Extruir2[4])	1	-63011.3	2.4224e+06	-274179	-272934	2.50088e+06
	2	-28349.2	2.15836e+07	145649	-422573	2.16125e+07
	3	-63011.3	4.8484e+06	148000	272934	4.91367e+06
Viga-34(Tubería 1.0 SCH 40(1)[11])	1	5018.74	79914.1	-19670.9	-12110.1	87318.2
	2	5018.74	-136592	-31651.2	12110.1	145230
Viga-35(Cortar-Extruir2[2])	1	-33526.8	2.55359e+06	137998	274423	2.59084e+06
	2	-36796.9	2.20664e+07	-196449	477149	2.21041e+07
	3	-33526.8	5.02792e+06	-143802	-274423	5.0635e+06
Viga-36(Cortar-Extruir3[6])	1	16372.5	2348.88	44974.1	-8630.64	61407.9
	2	-138180	583347	301906	-283429	795021
Viga-37(Tubería 1.0 SCH 40(1)[23])	1	29130.3	50390.9	-137355	-86691.4	175437
	2	94886.3	-229422	445263	11578.9	595779

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

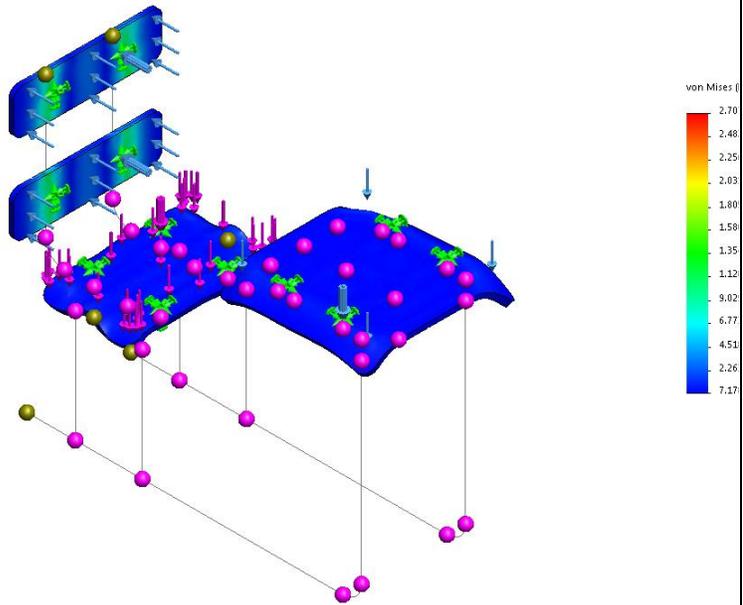
Viga-38(Tubería 1.0 SCH 40(1)[2])	1	1385.85	19820.9	-48229.7	-11272.4	53529.6
	2	2647.69	18824.9	-59409.9	-4941.44	64968.8
Viga-39(Cortar-Extruir3[5])	1	-92093	-291415	1.5389e+06	-34402.8	1.65834e+06
	2	-80012.4	-325726	1.67623e+06	-83969	1.78759e+06
Viga-40(Tubería 1.0 SCH 40(1)[45])	1	-56134.6	-3.76791e+06	-180354	-322590	3.82836e+06
	2	-125024	1.49695e+06	228003	308016	1.63924e+06
Viga-41(Cortar-Extruir2[5])	1	89503.9	-1.71025e+06	61430.5	-1.99386e+06	1.80086e+06
	2	83289.7	-1.59336e+06	-306641	1.99397e+06	1.70589e+06
	3	101698	2.47845e+06	17941.8	1.99351e+06	2.58022e+06
Viga-42(Cortar-Extruir2[6])	1	168728	-1.7169e+06	-2.86616e+06	387.636	4.75179e+06
	2	168728	372760	-768056	-387.636	1.30954e+06
Viga-43(Cortar-Extruir3[4])	1	9205.12	1614.61	-25527.6	-13012.4	34783.8
	2	0	0	0	0	0
Viga-44(Tubería 1.0 SCH 40(1)[43])	1	-634.232	654323	29467	12965.9	655621
	2	1973.8	5.73024e+06	174922	3566.52	5.73488e+06
	3	-11309.7	8.15156e+06	-264273	-5799.36	8.16716e+06
Viga-45(Tubería 1.0 SCH 40(1)[15])	1	2998.74	-69798.6	-2503.04	5852.36	72842.3
	2	2998.74	43293.2	-18281.5	-5852.33	49993.6

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.000e+00 N/m ² Nodo: 19644	2.707e+06 N/m ² Nodo: 5712

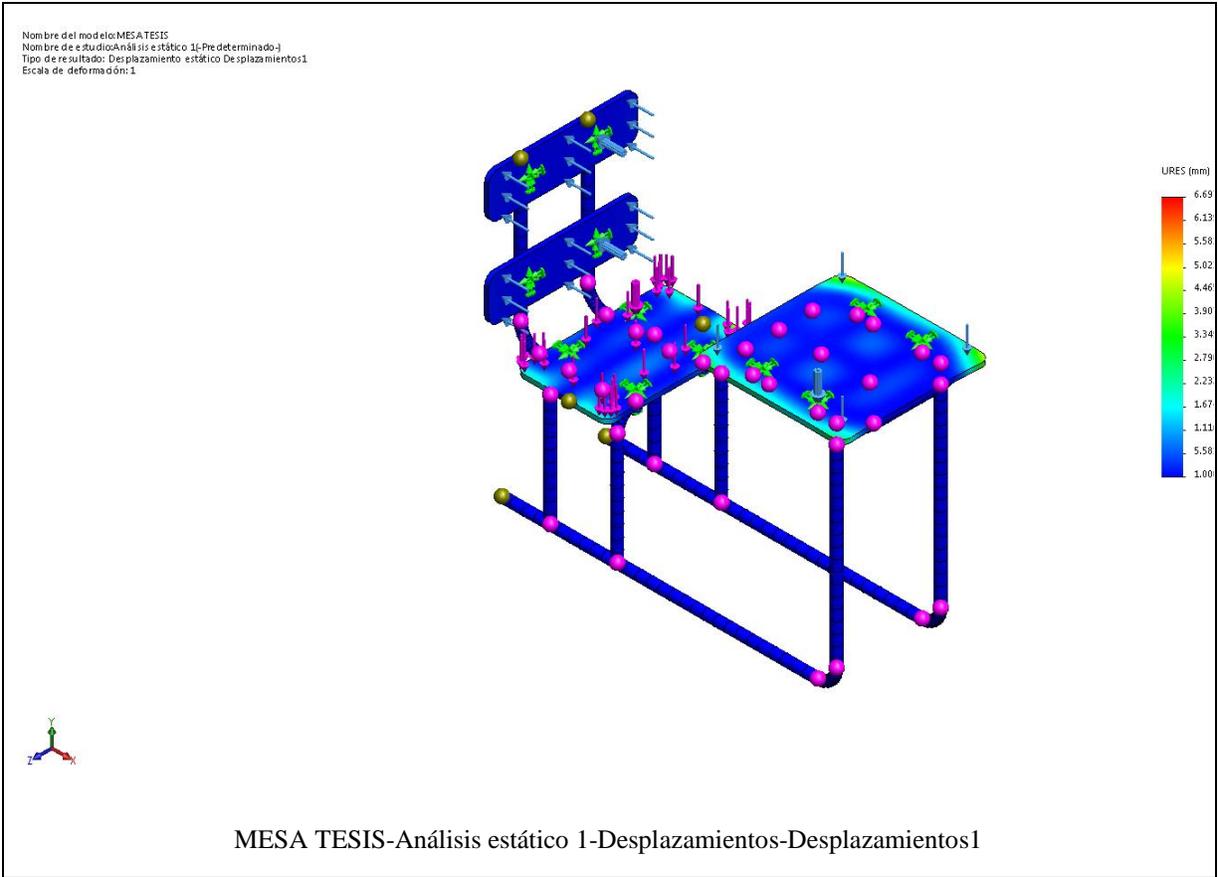
Nombre del modelo: MESA TESIS
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-Pre determinado-1
 Tipo de resultado: Análisis estático: tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1.46888



MESA TESIS-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 1	6.697e+00 mm Nodo: 82

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0.000e+00 Elemento: 9798	2.105e-02 Elemento: 1076

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

