

**Universidad Católica de Santa María**

**Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas**

**Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica**



**CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE  
BIOCOMPÓSITOS OPTIMIZADOS A PARTIR DE RESIDUOS  
AGROINDUSTRIALES Y FARMACÉUTICOS PARA SU USO  
COMO LADRILLOS TIPO II**

**Tesis presentada por la Bachiller:**

**Delgado Pineda, Daniela**

**Para optar el título profesional de  
Ingeniera Biotecnóloga**

**Asesor: Dr. Roque Rodríguez, Francisco Javier**

**AREQUIPA – PERÚ**

**2018**

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA  
Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas  
y Biotecnológicas  
Programa Profesional de Ingeniería Biotecnológica

Expediente N°. 20160000050548

N° Trámite en Fac. 0314-2016

Fecha Recep. Fac. 28-11-2016

FORMATO UNICO PARA TRAMITACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

DE: **DELGADO PINEDA, Daniela**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO BIOTECNOLOGO

"CARACTERIZACION ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE BIOCOPPOSITOS ELABORADOS POR EL REICLADO DE RESIDUOS PERSISTENTES Y NO BIODEGRADABLES DE INDUSTRIA FARMACEUTICA"

DICTAMINADORES: 1) *Ing. Cifrido Zaravia Sánchez* 2) *Mgter. Jaime Barreda del Carpio*

DICTAMEN DE PLAN: Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, en atención a su designación, el Jurado Dictaminador del Plan de Tesis informa que formuladas y corregidas las observaciones; consideramos se encuentra APTO para continuar con el trámite de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad.  
Atentamente

FIRMAS:

(Devolver antes de 8 días hábiles)

FECHA 06/12/2016

ASESOR: *Mgter. Francisco Roque Rodríguez*

DICTAMEN ASESORÍA:

Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, en atención a su designación como asesora del trabajo de investigación presentado por la recurrente, tengo a bien informar que luego de verificado el cumplimiento de los objetivos y la redacción del informe con los resultados, discusión y conclusiones correspondientes y debiendo cambiar el título a: "CARACTERIZACION ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE BIOCOPPOSITOS OPTIMIZADOS A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES Y FARMACEUTICOS PARA SU USO COMO LADRILLOS TIPO II", considero que el presente trabajo está APTO para continuar con el trámite, en conformidad al Reglamento de Grados y Títulos de nuestra Facultad  
Atentamente

FIRMA

FECHA 10/07/2018

DICTAMINADORES BORRADOR DE TESIS:

- 1) *Dr. José Villanueva Salas*
- 2) *Ing. Cifrido Zaravia Sánchez*
- 3) *Mgter. Jaime Barreda del Carpio*

DICTAMEN FINAL:

Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, atendiendo a su designación como Dictaminadores del presente Borrador de Tesis y luego de hechas las observaciones y correcciones pertinentes, cumpliendo con las exigencias mínimas establecidas para un trabajo de investigación de Tesis profesional, es que consideramos APTO para continuar con los trámites estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad.  
Atentamente

FIRMA

(Devolver antes de 15 días hábiles)

FECHA

01/08/18

JURADOS: PRESIDENTE: *Dr. José Villanueva Salas*  
VOCAL: *Ing. Cifrido Zaravia Sánchez*  
SECRETARIO: *Mgter. Jaime Barreda del Carpio*

FECHA

13/08/18

HORA

19.00

LOCAL

SUM C-402

FIRMA DEL DECANO

FECHA

07/08/18

## DEDICATORIA

A mis padres Raúl y Silvia, a mis hermanas Andrea y Tika por la  
paciencia, apoyo incondicional, amor y compañía durante toda mi  
vida.



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y darme la voluntad para seguir con cada una de mis metas.

Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María por haber hecho posible este proyecto mediante el financiamiento.

Al Ingeniero Javier Roque por la guía durante mi formación universitaria y en el desarrollo de este proceso de tesis.

A Nadia Gamero por la ayuda y consejos para un mejor desarrollo del proyecto de investigación.

Al Ingeniero Alejandro Hidalgo por la ayuda en el desarrollo del proyecto.

A mis jurados: Dr. José Villanueva, Ing. Cifrido Zarvia y al Ing. Jaime Barreda, por el apoyo y recomendaciones en el desarrollo de este proyecto.

A mis padres Raúl y Silvia por brindarme su apoyo en cada momento y conseguir cada uno de mis metas y objetivos

A mi hermana Andrea por todo el cariño y hacer de esta etapa más llevadera.

A mis amigos Gretta, Luis Ángel, Luis Alberto y Karla por cada momento que pasamos en el desarrollo de nuestra etapa universitaria.

A mis amigos Herson, David y Juan que me brindaron su apoyo para etapas clave del desarrollo de este proyecto.

Este proyecto de tesis se realizó con el financiamiento del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María mediante el formato fondos internos concursables. Proyecto fondo para la Investigación 2015-1  
RESOLUCIÓN N°23374 R-2016



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	XV
<b>ABSTRACT</b> .....	XVII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	V
<b>OBJETIVOS</b> .....	VII
<b>HIPÓTESIS</b> .....	VIII
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	1
<b>1. BIOCÓMPÓSITOS</b> .....	1
<b>2. FIBRAS NATURALES</b> .....	4
<b>3. TOTORA (<i>Schoenoplectus californicus</i>)</b> .....	12
<b>4. BLISTER</b> .....	16
<b>5. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL</b> .....	21
<b>6. ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE FORMA TRADICIONAL</b> .....	24
<b>CAPÍTULO II</b> .....	29
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	29
<b>1. LUGAR DE EJECUCIÓN</b> .....	29
<b>2. MATERIALES</b> .....	29
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	31
<b>4. DIAGRAMA DE FLUJO</b> .....	41
<b>CAPÍTULO III</b> .....	53
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	53
<b>4.1. Gestión y manejo de residuos tipo blister</b> .....	53
<b>4.2 Selección de los blister recolectados</b> .....	53
<b>4.3. Obtención de residuos de camal</b> .....	54
<b>4.4. Obtención de adhesivo a partir de residuos de camal</b> .....	55
<b>4.5. Acopio de residuos agroindustriales</b> .....	56
<b>4.6. Caracterización fisicoquímica de las fibras obtenidas</b> .....	56
<b>4.7. Determinación de propiedades físicas</b> .....	57
<b>4.8. Diseño y construcción de equipos</b> .....	61
<b>4.3. Conformación del biocompósito</b> .....	64

<b>4.4. Optimización de la elaboración del biocompósito a partir del diseño experimental.....</b>	<b>64</b>
<b>4.5. Elaboración de los ladrillos tipo II base biocompósitos.....</b>	<b>69</b>
<b>4.6. Caracterización de ladrillos tipo II base biocompósitos.....</b>	<b>70</b>
<b>REPETICIÓN.....</b>	<b>75</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>89</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema general de un biocompósito (Jawaid, Alothman y Sapuan 2017) ....	4
<b>Figura 2.</b> Estructura molecular de la celulosa. (Klemm, Heublein, Fink y Bohn 2005)	6
<b>Figura 3.</b> Estructura química de la hemicelulosa. (Fengel y Wegener, 1984).....	7
<b>Figura 4.</b> Estructura química de la lignina (Taiz L, Zeiger E.2006) .....	8
<b>Figura 5.</b> Clasificación de las fibras naturales (Jawaid and Abdul Khalil 2011; Duhovic et al. 2008; Rowell 2008) .....	9
<b>Figura 6.</b> Factores que afectan la elaboración de biocompósitos al usar fibras naturales Jawaid, Alothman y Sapuan 2017 .....	11
<b>Figura 7.</b> Corte transversal de Totora (Hidalgo-Cordero, 2007) .....	13
<b>Figura 8.</b> Uso de la totora como quesana (Hidalgo-Cordero, 2007) .....	15
<b>Figura 9.</b> Configuración de un envase tipo blister (Pilchik, 2000).....	16
<b>Figura 10.</b> Componentes de los envases tipo blister (Pilchik, 2000).....	17
<b>Figura 11.</b> Forma de elaboración de los envases tipo blister (Pilchik, 2000).....	21
<b>Figura 12.</b> Blister recolectados de diferentes centros .....	53
<b>Figura 13.</b> Selección de blíster para ser utilizados en la elaboración de biocompósitos .....	54
<b>Figura 14.</b> Residuos de camal recolectados.....	54
<b>Figura 15.</b> Adhesivo elaborado a partir de residuos de curtiembre. (a) Adhesivo formulado a las 24 horas. (b) Adhesivo formulado a las 72 horas .....	55
<b>Figura 16.</b> Determinación de la capacidad de absorción de agua de fibras naturales ...	58
<b>Figura 17.</b> Micrografía SEM de la estructura interna de totora.....	59
<b>Figura 18.</b> Microfotografía SEM de la estructura interna de totora .....	60
<b>Figura 19.</b> Microfotografía SEM de la estructura externa de totora.....	60
<b>Figura 20.</b> Máquina picadora ensamblada y en funcionamiento .....	61
<b>Figura 21.</b> Máquina mezcladora ensamblada .....	62
<b>Figura 22.</b> Prensa ensamblada .....	63
<b>Figura 23.</b> Moldes contruidos para un mejor secado .....	64
<b>Figura 24.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la respuesta .....	66
<b>Figura 25.</b> Gráfica de Efectos Principales para compresión.....	67
<b>Figura 26.</b> Gráfica de probabilidad normal para compresión.....	67
<b>Figura 27.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para flexión.....	68
<b>Figura 28.</b> Gráfica de efectos principales para flexión.....	68
<b>Figura 29.</b> Gráfica de probabilidad normal para flexión. ....	69
<b>Figura 30.</b> Curva carga-desplazamiento del punzón .....	73
<b>Figura 31.</b> Microfotografía SEM de la estructura interna del biocompósito.....	76
<b>Figura 32.</b> Microfotografía SEM de la estructura interna del biocompósito.....	77
<b>Figura 33.</b> Microfotografía SEM de la estructura interna del biocompósito.....	77
<b>Figura 34.</b> Procedimiento para la determinación de extraíbles .....	89
<b>Figura 35.</b> Procedimiento para la determinación de extraíbles .....	89
<b>Figura 36.</b> Procedimiento para la determinación de hemicelulosa.....	90
<b>Figura 37.</b> Hemicelulosa obtenida. (a) cascarilla de arroz. (b) totora. ....	90
<b>Figura 38.</b> Procedimiento para la determinación de celulosa.....	91
<b>Figura 39.</b> Celulosa obtenida (a) cascarilla de arroz. (b) totora. ....	91
<b>Figura 40.</b> Procedimiento para la obtención de lignina.....	92

Figura 41. Lignina obtenida (a) cascarilla de arroz. (b) totora. .... 92



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Variables y valores elegidas para la elaboración del diseño experimental.....	37
<b>Tabla 2.</b> Niveles de variables consideradas en el diseño experimental .....	37
<b>Tabla 3.</b> Matriz experimental para la evaluación efectos significativos en el proceso..	38
<b>Tabla 4.</b> Porcentaje de adhesivo obtenido .....	55
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de celulosa, hemicelulosa, lignina y extraíbles en totora y cascarilla de arroz .....	56
<b>Tabla 6.</b> Porcentaje de absorción de agua en cascarilla de arroz.....	57
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje de absorción de agua en totora.....	58
<b>Tabla 8.</b> Matriz de resultados para la evaluación efectos significativos en el proceso de optimización de biocompósitos .....	65
<b>Tabla 9.</b> Resistencia a la compresión de biocompósitos.....	71
<b>Tabla 10.</b> Resistencia a la flexión de biocompósitos.....	72
<b>Tabla 11.</b> Contenido de compuestos orgánicos e inorgánicos de biocompósitos.....	72
<b>Tabla 12.</b> Ensayo de resistencia al punzonado a alta velocidad de biocompósitos .....	73
<b>Tabla 13.</b> Ensayo de temperatura de reblandecimiento de VICAT de biocompósitos..	74
<b>Tabla 14.</b> Resistencia a la abrasión de biocompósitos.....	75
<b>Tabla 15.</b> Resistencia al desgarro de biocompósitos .....	75
<b>Tabla 16.</b> Ensayo de densidad de biocompósito.....	76



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Ecuación para la determinación de lignina .....	34
<b>Ecuación 2.</b> Ecuación para la determinación de la capacidad de absorción de agua.....	35



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1. GALERÍA FOTOGRÁFICA .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 2. PLANOS DE LA ELABORACIÓN DE LAS MÁQUINAS PLANOS DE LAS MÁQUINAS .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO 3. NORMA LEGAL E-70 .....</b>	<b>121</b>



## LISTA DE ABREVIATURAS

**RAI:** Fuente de residuos agroindustriales que proporcionan fibra estructural

**RAI-1:** Cascarilla de arroz

**RAI-2:** Totora

**FA:** Fuente de adhesivo aglomerante

**FA-1:** Adhesivo natural (colágeno)

**FA-2:** Adhesivo comercial

**CQR:** Composición química de los residuos agroindustriales utilizados para la elaboración de biocompuestos.

**CQR-H:** Porcentaje de hemicelulosa.

**CQR-C:** Porcentaje de celulosa.

**CQR-L:** Porcentaje de lignina.

**CBC:** Composición física del biocompuesto conformado.

**CBC-1:** Porcentaje de fibra vegetal.

**CBC-2:** Porcentaje de blister.

**CBC-3:** Porcentaje de adhesivo.

**P:** Parámetros de operación para la elaboración de los ladrillos.

**P1:** Tiempo de mezclado para la conformación del biocompuesto.

**P2:** Tamaño de partícula de blister y fibra vegetal.

**P3:** Concentración de adhesivo utilizado.

**P4:** Relación de RP/RV.

**P5:** Espesor del biocompósito

**P6:** Tipo de adhesivo

**P7:** Tipo de residuo vegetal

**PMB:** Propiedades mecánicas del biocompósito

**PMB -1:** Resistencia a la compresión.

**PMB-2:** Resistencia a la flexión.

**PML:** Propiedades mecánicas del biocompósito como ladrillo

**PML-1:** Resistencia a la compresión.

**PML-2:** Resistencia a la flexión.

**PML-3:** Ensayo de temperatura de reblandecimiento de VICAT.

**PML-4:** Ensayo de resistencia al punzonado a alta velocidad.

**PML-5:** Densidad.

**PML-6:** Resistencia a la abrasión.

**PML-7:** Resistencia al desgarro.

**PML-8:** Resistencia al desprendimiento axial de tornillos.

**PML-9: Ensayo de contenido de orgánicos e inorgánicos.**

**CM:** Caracterización morfológica del biocompósito tipo ladrillo.

**CM-1:** Microscopía electrónica de barrido.

**RP/RV:** Relación Residuo plástico/Residuo Vegetal

**CA:** Cascarilla de Arroz

**T:** Totorá

**S:** Sintético

**N:** Natural

**PE:** Pequeño

**GR:** Grande

**SEM:** Microscopía electrónica de barrido

**RCN:** Resistencia a la compresión

**RF:** Resistencia a la flexión





## RESUMEN

Actualmente se busca elaborar materiales de construcción usando recursos y tecnologías amigables con el medio ambiente que tengan buenas propiedades y menor impacto ambiental, es por ello que en la presente investigación se elaboró ladrillos tipo II a partir de biocompósitos utilizando diferentes residuos como son: blister de pastillas provenientes de la industria farmacéutica que son residuos no biodegradables además de ello actualmente no reciben un adecuado control, fibras vegetales de *Oryza sativa* (cascarilla de arroz) y *Schoenoplectus californicus* (totora) como refuerzo y residuos de curtiembre que son ricos en colágeno como adhesivo. Se utilizó una tecnología no convencional para el procesamiento del formulado, para ello se diseñó y elaboró máquinas para su procesamiento como son: una picadora mecánica semi-industrial, una mezcladora mecánica y una prensa manual que fueron capaces de brindar el soporte necesario para la elaboración de los ladrillos tipo II. Para optimizar el proceso de

elaboración se buscó obtener la formulación ideal a utilizar mediante un diseño factorial multinivel para la evaluación de 7 factores de interés (Residuo Vegetal, relación RP/RV, tipo de pegamento, concentración de pegamento, espesor, tiempo de mezclado y tamaño de partícula), se realizó también un análisis estadístico de los resultados obtenidos mediante el software Statgraphics Centurion XV versión 15,2 que permitió conocer los factores de mayor importancia, el tipo de fibra y la relación de esta con la cantidad de blíster usado, además se conoció el tipo de mezcla a usar ya que representa una mayor resistencia a pruebas mecánicas como son la compresión y flexión. Los ladrillos elaborados a partir de la mezcla optimizada fueron sometidos a diversas pruebas teniendo como resultado 6.76 MPa de resistencia a la compresión, 52.76 MPa de resistencia a la flexión, 64.21 °C de temperatura de reblandecimiento de VICAT, 97% de resistencia a la abrasión, 210 N de resistencia al desgarro, 0.741 de densidad. La elaboración de los ladrillos en base biocompósitos ofrece grandes ventajas como son: bajo costo, menor daño ambiental en su producción, así como también presenta adecuadas propiedades de resistencia que lo convierte en un material altamente atractivo para la construcción

#### **PALABRAS CLAVE**

Biocompósito, ladrillo tipo II, blíster, fibra natural, adhesivo

## ABSTRACT

Currently we search to develop materials using environmental friendly resources and technologies, which have good properties and lower environmental, therefore in the present investigation type II bricks were made from biocomposites using different residues such as: Pill blisters form pharmaceutical industry which are non-biodegradable wastes, besides that it don't receive adequate control. Vegetal fibers of rice husk and totora as reinforcement that are not harnessed and tannery residues that are rich in collagen as adhesive.

Non conventional technology were used to processing the formulate, machines were designed and developed for processing such as a semi-industrial mechanical chopper, a mechanical mixer and a manual presser that were able to provide the support for the bricks elaboration.

To optimize the elaboration process, ideal formulation was sought to use through a multilevel factorial design for the evaluation of 7 factors of interest (Vegetable waste, RP / RV ratio, type of glue, glue concentration, thickness, mixing time and particle size), The statistical analysis of the results were obtained by means of the software Statgraphics Centurion XV version 15,2 that allowed knowing the most important factors, the chosen fiber type and its relationship with the amount of blister used, besides the mix type to use which represents a greater resistant to mechanical tests such as compression and bending.

The bricks elaborated from the optimized blend were subjected to various tests, resulting in 6.76 MPa of resistance to compression, 52,76 MPa of resistance to blending, 3.24 of resistance to punzonado a alta velocidad, 64.21 °C of softening temperature of VICAT, 97 % of resistance to abrasion, 210 N of resistance to tear,

0.741 of density. The bricks elaboration based in biocomposites gives great advantages such as: low cost, less environmental damage in production, as well as presents adequate resistance properties that makes an attractive material for the construction.

### **KEYWORDS**

Biocomposite, brick type II, blister, natural fiber, adhesive



## INTRODUCCIÓN

La creciente conciencia ambiental y las nuevas regulaciones están obligando a las industrias a buscar materiales ecológicos y amigables con el medio ambiente a diferencia de los que se vienen usando tradicionalmente (1). Tal es el caso de la industria de la construcción en donde se hace uso de grandes cantidades de ladrillos en donde para su fabricación se genera un gran impacto ambiental sobre todo en la calidad de aire.

Uno de estos nuevos materiales son los llamados biocompósitos que son el resultado del procesado de compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales que para su producción se hace uso de tecnologías en donde se genera una menor contaminación del aire al producir una cantidad menor de emisiones siendo de esta forma materiales ecológicos (2) (3) (4), además presentan una mayor resistencia, menor peso y costo (5) (6).

Generalmente los biocompósitos se elaboran a base de matrices poliméricas como el PVA y fibras de origen natural que actúan como refuerzo, estas fibras poseen diversas ventajas, entre ellas se tiene la facilidad de disponibilidad, la renovabilidad de las materias primas, la baja densidad, la alta resistencia y rigidez específicas, todo esto debido a los hilos que posee dentro de su composición (7) que permiten además tener una mayor fuerza de unión con la matriz polimérica presentando excelentes propiedades mecánicas en comparación con los productos basados en petróleo no renovables (8), sin embargo el uso de este tipo de plásticos origina también cierto grado de contaminación.

La selección de materiales juega un papel muy importante durante todo el proceso de diseño del producto (9), este proceso es considerado como el paso principal del diseño de ingeniería (10) debido a que los materiales son responsables del funcionamiento, la forma y la interacción con otros componentes del producto.

Los blister son un tipo de residuo persistente que tiene como función contener en ellos dosis de diferentes medicamentos en fase sólidas o semisólidas, son uno de los principales residuos hospitalarios y farmacéuticos que son pobremente tratados y completamente inutilizados. Al estar compuestos por PVC (11) pueden ser utilizados como matriz para la elaboración de ladrillos tipo II a base de biocompósitos. Como refuerzo bioestructural se tiene el uso de cascarilla de arroz y totora que es una planta macrófita flotable que crece en lagos y humedales enraizada al substrato (12) poseen una composición alta en celulosa, hemicelulosa y lignina lo que las convierte en un refuerzo adecuado. Al usar este tipo de materiales se logra reducir en grandes cantidades la contaminación ambiental a comparación de otras tecnologías.

La ventaja de utilizar biocompuestos como materiales de construcción incluye una amplia disponibilidad, peso ligero, alta resistencia específica, resistencia a la corrosión y que para su obtención se da un proceso sostenible y sin dificultad (13).

Por este motivo en la presente investigación se aprovechó diversos residuos como son los blister de la industria farmacéutica, fibra natural de totora como refuerzo y residuos de camal como patas y piel que cumple la función de adhesivo para la elaboración de ladrillos tipo II a base biocompósitos.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Caracterizar estructural y funcionalmente biocompósitos optimizados a partir de residuos agroindustriales y residuos farmacéuticos para su uso como ladrillos tipo II

### Objetivos Específicos

- Diseñar una máquina picadora, una máquina mezcladora y una prensa manual que conformarán la tecnología para la elaboración de biocompósitos.
- Seleccionar la mezcla óptima para elaborar biocompósitos que expongan una mayor resistencia a la compresión y flexión mediante un diseño experimental fraccionario Packlet & Burmann.
- Elaborar ladrillos tipo II base biocompósitos según la norma NTP- E070 del Registro Nacional de Edificación caracterizados para su uso comercial.

## HIPÓTESIS

Debido que los biocompósitos están elaborados a partir de una matriz polimérica y fibras vegetales como refuerzo, es posible utilizar blister de la industria farmacéutica y fibras naturales de totora para su elaboración y posterior uso como ladrillos tipo II.



## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1. BIOCOMPÓSITOS

Se consideran a los biocompósitos como materiales compuestos que están elaborados a partir de una o más fases derivadas de polímeros, (14) en ellos al menos uno de los componentes se deriva de recursos naturales como es el caso de las fibras naturales(15) que actúan como refuerzo de la matriz conformada por los polímeros (16) (17). Son considerados también como "biocompuestos verdes" (18). Los biocompósitos biodegradables son aquellos en los que la matriz polimérica es biodegradable que incluye dos familias diferentes: biológicas y basadas en petróleo.

El desarrollo y uso de biocompuestos no es una nueva técnica para la humanidad, existen evidencias del uso de este tipo de materiales hace varios siglos atrás, como por ejemplo se tiene el uso de arcos contruidos a partir de laminados de cuernos y tendones de animales unidos por adhesivos naturales. El desarrollo de biocompuestos ha sufrido cambios significativos, por lo que es muy importante la elección de materiales ya que de ello depende las propiedades requeridas para aplicaciones especiales junto con el mantenimiento de naturaleza biodegradable y ecológica (16).

#### USO DE MATERIALES COMPUESTOS

Desde hace varios años diversas industrias han implementado el uso de materiales ecológicos en sus componentes, por ejemplo en la industria automotriz se realiza la sustitución de fibras de vidrio por fibras de plantas en diferentes piezas de autos (19), en la industria alimentaria se emplean componentes naturales en la elaboración de botellas, recipientes, tazas, vajillas desechables y envases (20), en la industria médica se elaboran

equipos desechables (21). Además este tipo de materiales se viene utilizando también como reemplazo de materiales elaborados a partir de fibra sintética de diversos objetos como juguetes, barandas marinas, estuches para dispositivos electrónicos como laptops y teléfonos móviles, empaques, etc (22).

## **VENTAJAS**

Los biocompósitos son de gran interés debido a sus diversas aplicaciones. Una de las principales ventajas es la reducción de la contaminación ambiental mediante el uso de materiales sostenibles y ecológicos (23).

Los compuestos reforzados con fibras naturales tienen un peso específico menor que el de la fibra de vidrio, lo que da como resultado una alta resistencia y rigidez. El procesamiento y producción de biocompósitos requiere menos energía y tiene menos riesgos para la salud que los compuestos tradicionales (24). Otras de las ventajas son: La producción de bajo costo, el fácil reciclado, mejores propiedades térmicas y acústicas, baja densidad, buenas propiedades mecánicas, alta estabilidad y ventajas de costos. Todas estas propiedades hacen de los biocompuestos una opción preferida en las industrias, especialmente en la industria automotriz y de la construcción (25) (26) (27).

## **TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DE BIOCOMPÓSITOS**

Para la elaboración de biocompósitos se usan generalmente las mismas técnicas de fabricación que se utilizan para desarrollar compuestos sintéticos de polímeros. Entre estas técnicas se tiene:

### **PROCESO DE COLOCACIÓN MANUAL**

Esta es una de las técnicas más simples que puede ser usada en la fabricación de biocompósitos, se usa generalmente cuando el polímero está en forma líquida y las fibras

naturales están en forma de estera. Consiste en que el polímero se coloca alternativamente sobre esteras de fibra en un molde metálico, la resina extra se exprime debido a la presión aplicada. Después del tiempo de curado específico, se abre el molde y se retira el laminado compuesto. Uno de los inconvenientes es que se generan espacios vacíos en el material formado (28).

### **MOLDEO POR COMPRESIÓN**

Esta es una de las técnicas que se usan con mayor frecuencia, el procedimiento consiste en la aplicación de presión predefinida y temperatura especificada, las fibras naturales se pueden usar en forma de estera o en forma de fibra corta y picada. El tiempo de procesamiento, la temperatura de trabajo y la aplicación de presión deben analizarse críticamente y deben optimizarse para fabricar biocompuestos con buenas propiedades mecánicas, ya que si hay un exceso de temperatura y presión provocará el deterioro de la superficie de la fibra natural y posteriormente de sus propiedades, por otro lado si existe una temperatura y presión más bajas conducirán a una adhesión incorrecta entre la fibra y la matriz del polímero, lo que a su vez dará como resultado propiedades deficientes del material compuesto (29).

### **TÉCNICA DE FABRICACIÓN DE MOLDEO POR INYECCIÓN**

Los procesos de moldeo por extrusión e inyección se utilizan comúnmente para elaborar biocompuestos reforzados con fibras cortas. En el proceso de moldeo por extrusión se desarrollan gránulos de fibra natural mezclados con los polímeros, en donde se hace uso del moldeo por compresión para obtener el producto final. En el proceso de moldeo por inyección, se introducen fibras naturales cortas y gránulos de polímero en un cilindro especial, en donde el polímero se ablanda debido al calentamiento en la cámara del cilindro. La acción de mezcla tiene lugar debido a la rotación del tornillo. La velocidad

del tornillo, la temperatura en la cámara del cilindro, la presión de inyección, el área transversal de la boquilla, el tiempo y la cantidad de presión aplicada al molde son algunos de los parámetros que determinan la calidad y el rendimiento del material elaborado (30).

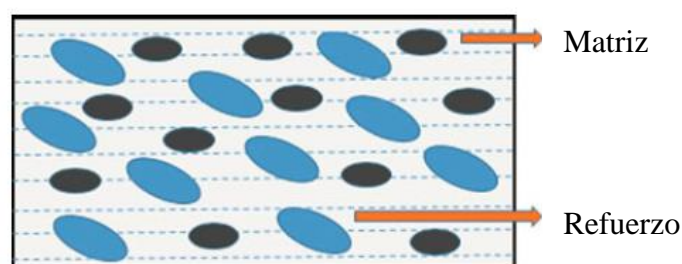
### **TÉCNICA DE FABRICACIÓN DE TRANSFERENCIA DE RESINA**

En esta técnica, el polímero que se encuentra en forma líquida se inyecta a través de orificios en la cavidad del molde donde las fibras en forma de estera ya están colocadas. La viscosidad del polímero juega un papel muy importante para un flujo y distribución uniforme de resina sobre las fibras en forma de esfera (31).

## **2. FIBRAS NATURALES**

### **USO DE FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO DE BIOCOMPÓSITOS**

Generalmente se usan fibras naturales como material de refuerzo en matrices elaboradas a partir de polímeros, contribuyendo ampliamente con los conceptos de sostenibilidad, conciencia ecológica, social y económica (32) (33) siendo de esta manera una alternativa atractiva a los compuestos de polímero reforzados con fibra de vidrio. Las fibras naturales vienen siendo empleadas en diferentes tamaños, desde micrómetros hasta varios centímetros para la elaboración de biocompuestos, (34) es por ello que se viene estudiando sus propiedades. La mayoría de los estudios se centran en el estudio de sus propiedades mecánicas, mejoramiento de compatibilidad, procesos de fabricación, modificación de fibra, resistencia a la intemperie, durabilidad, etc (35) (36) (37).



**Figura 1.** Esquema general de un biocompuesto (Jawaid, Alothman y Sapuan 2017)

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS FIBRAS NATURALES

Las fibras naturales están compuestas principalmente por: celulosa, lignina, hemicelulosa en conjunto con pequeñas cantidades de ceras y otros compuestos aromáticos. La cantidad de estos polímeros, así como sus propiedades varían entre los diferentes tipos de fibras. Esta variación se podría dar según la estación de crecimiento, la región de cultivo, la ubicación de la fibra en la planta, edad de la planta y el proceso de extracción empleado.

(38) La relación de estos componentes, los tipos de enlaces químicos y físicos que están presentes y la orientación de las macromoléculas definen las propiedades físicas y químicas de las fibras (39). Es esencial conocer estas propiedades para comprender el mecanismo de catálisis enzimática y establecer su uso efectivo para el pretratamiento de las fibras (40).

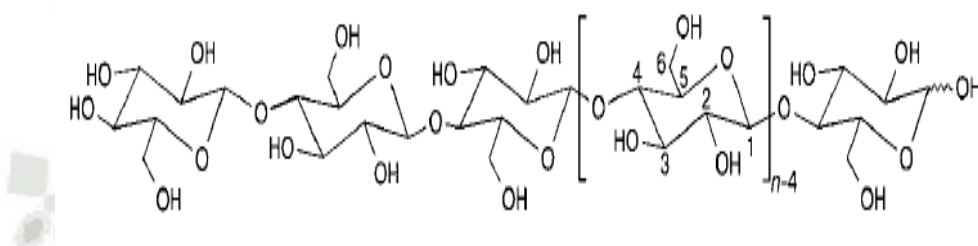
### CELULOSA

La Celulosa es el polímero más abundante en la naturaleza y el componente esencial de todas las fibras vegetales. En el caso de las plantas usan dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua para producir moléculas de glucosa mediante el uso de energía lumínica del sol, estas unidades de glucosa luego se convierten en celulosa por reacción de polimerización y condensación con la eliminación de agua (41). La estructura molecular de la celulosa es responsable de su estructura supramolecular y esto a su vez determina muchas de sus propiedades químicas y físicas (42).

La celulosa es un polímero lineal de glucosa, en donde estas moléculas se agregan sucesivamente a través de los enlaces  $\beta$ -1,4 con la eliminación de agua para formar largas cadenas de celulosa (41). Las macromoléculas de celulosa están unidas por enlaces de hidrógeno intramoleculares, que se producen entre los grupos colgantes OH y  $\text{CH}_2\text{OH}$  creando microfibrillas de 2-20 nm de diámetro y 100-40,000 nm de longitud (43). Las

regiones donde las macromoléculas de celulosa son bastante paralelas entre sí y en donde se encuentran formando unidades muy compactas a través de enlaces de hidrógeno intramoleculares se llaman regiones cristalinas (42).

Las propiedades mecánicas de las fibras naturales dependen del tipo de celulosa que poseen, ya que cada tipo de celulosa adquiere su propia geometría celular y las condiciones geométricas determinan las propiedades mecánicas (44).



**Figura 2.** Estructura molecular de la celulosa. (Klemm, Heublein, Fink y Bohn 2005)

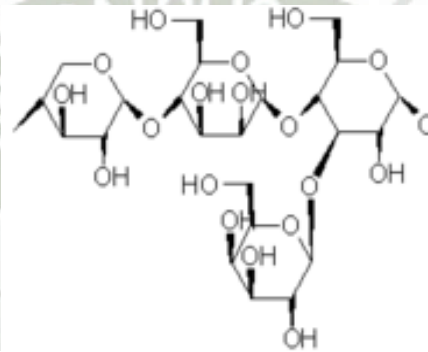
## HEMICELULOSA

La hemicelulosa es un polisacárido, es decir, es un tipo de carbohidrato cuyas moléculas están conformadas por numerosas moléculas de azúcar unidas entre sí en cadenas más cortas que la celulosa. También está conformada por glucanos, mananos y galactanos. (43) Las hemicelulosas constituyen el 20-30% de todas las paredes celulares de las plantas (45). Se encuentra asociada con celulosa, lignina, pectina y otras sustancias aromáticas dentro de las paredes celulares de las plantas presentes en forma de laminillas medias ubicadas en la pared primaria de las plantas (43) (46).

La hemicelulosa difiere de la celulosa en tres aspectos importantes: En primer lugar, contienen varias unidades de azúcar diferentes, mientras que la celulosa contiene solo unidades de glucosa. En segundo lugar, exhiben un grado considerable de ramificación de cadena, mientras que la celulosa es un polímero estrictamente lineal. En tercer lugar,

el grado de polimerización de la celulosa nativa es de diez a cien veces mayor que el de la hemicelulosa (47).

La función principal de la hemicelulosa es la interacción con la celulosa y lignina para proporcionar rigidez a la pared celular. Las cadenas de hemicelulosas se asocian con las microfibrillas de celulosa tras su carácter polar. Su comportamiento físico químico principalmente su capacidad de enlace y su comportamiento visco-elástico es de gran importancia para proporcionar propiedades deseadas como grado de hinchamiento, rehidratación, plasticidad, flexibilidad, rigidez, dureza, etc.

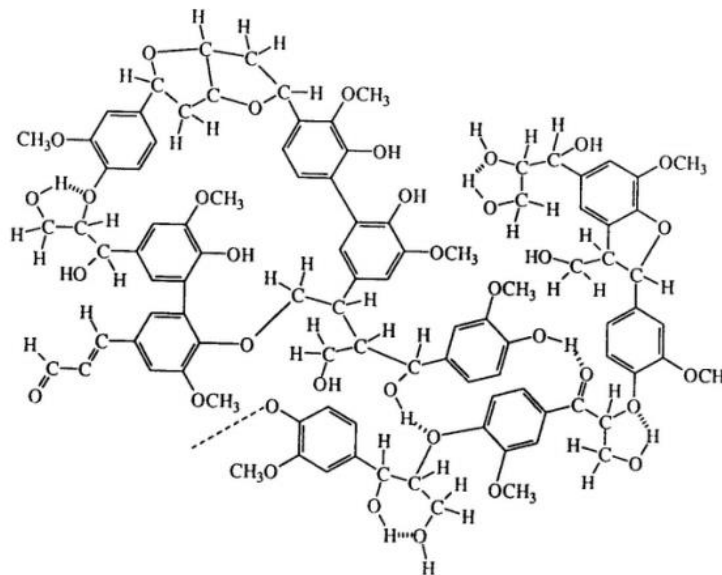


**Figura 3.** Estructura química de la hemicelulosa. (Fengel y Wegener, 1984)

## LIGNINA

La lignina es un poliéter polifenólico altamente ramificado que consiste en una estructura compleja resultante de la condensación de unidades de fenilpropano obtenidas a partir de los precursores p-hidroxifenil alcohol, guayacil alcohol y siringil alcohol. Las cantidades diferenciales de estos tres alcoholes junto con diferentes grados de metoxilación conducen a la diversidad estructural en ligninas (48). Posee enlaces de carbono-carbono y de carbono-oxígeno que se producen entre las unidades monoméricas (49). Un aspecto interesante de la lignina es que lleva grupos hidroxilo tanto fenólicos como alifáticos que pueden usarse para modificaciones o polimerización adicionales. La lignina es responsable de la resistencia, la rigidez y la protección contra los patógenos microbianos

de las paredes celulares. Los enlaces covalentes se producen entre lignina y hemicelulosas, y juntos actúan como un material de cemento entre las macromoléculas de celulosa (43).



**Figura 4.** Estructura química de la lignina (Taiz L, Zeiger E.2006)

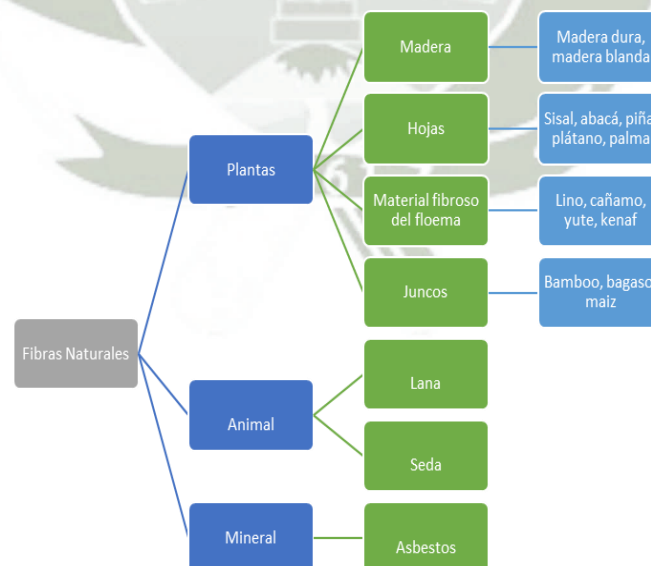
## USO DE LIGNINA EN MATERIALES COMPUESTOS

Aunque la lignina es un biopolímero rígido y frágil, rara vez se utiliza como biorelleno en compuestos plásticos (50). Sin embargo, puede mejorar las propiedades térmicas, el proceso y la estabilidad a la luz de los materiales poliméricos debido a su naturaleza fenólica (51). La lignina es un material polifenólico amorfo que contiene una gran cantidad de funcionalidades químicas en su estructura molecular. Estas funcionalidades químicas hacen que la lignina sea un elemento apropiado para las aplicaciones poliméricas (52). La presencia de grupos fenólicos confiere propiedades antioxidantes a la lignina, que proporciona estabilidad a los polímeros frente a oxidaciones térmicas (53). Por esa razón existe un gran interés en el uso de la lignina como refuerzo en compuestos poliméricos para obtener propiedades mecánicas sobresalientes (54). Las ventajas como

el costo, la naturaleza ecológica y la abundancia hacen que sea un material prometedor para el uso en compuestos poliméricos de alto rendimiento. (55)

### CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS NATURALES

Las fibras naturales se dividen principalmente en tres grupos según su origen: fibras vegetales, fibras animales y fibras minerales (56). Existen una serie de fibras naturales que satisfacen tales demandas, la mayoría de estas fibras son de origen vegetal y son de naturaleza lignocelulósica, es decir, contienen lignina y celulosa como componentes principales. Las fibras de plantas lignocelulósica más populares para refuerzo compuesto son fibras de líber como lino, cáñamo, yute, ramio, kenaf y una fibra de hoja como el sisal (57) que cumplen el papel de refuerzo para matrices basadas en polímeros (32). La utilización de fibras naturales en particular disminuirá la contaminación ambiental al eliminar una menor cantidad de desechos, lo que los convierte en materiales ambientalmente atractivos. Las propiedades y el rendimiento de los materiales elaborados a partir de fibras naturales dependen de las propiedades de sus componentes individuales, así como de sus características de compatibilidad e interfacial (polímero / relleno) (34).



**Figura 5.** Clasificación de las fibras naturales (Jawaid and Abdul Khalil 2011; Duhovic et al. 2008; Rowell 2008)

## **PROTEÍNAS**

La pared celular vegetal además está compuesta por proteínas estructurales que son ricas en uno o dos aminoácidos, tienen dominios con secuencias repetidas y están glicosiladas en mayor o menor grado. Para la mayoría de las proteínas estructurales de la pared vegetal, se ha propuesto que tienen estructura fibrilar (16).

## **OTROS COMPUESTOS AROMÁTICOS**

En las paredes celulares de las plantas se puede encontrar también compuestos aromáticos como es el caso de taninos condensados (58) y ácidos fenólicos de bajo peso molecular, por ejemplo, ácidos ferúlico y p-cumárico.

## **GRASAS, CERAS Y LÍPIDOS**

Las grasas, ceras y lípidos son hidrocarburos que son insolubles en agua. Las ceras son ésteres de alcoholes de cadena larga, la cutícula cerosa es la que influye en las propiedades de las fibras naturales. Los compuestos lipídicos en fibras naturales incluyen ácidos grasos de cadena larga (ácido carboxílico), alcoholes grasos y ésteres de cera (59).

## **MODIFICACIÓN DE LAS FIBRAS NATURALES**

Las propiedades físicas de cada uno de los componentes (matriz y fibras de refuerzo) que conforman los biocompuestos afectan o benefician el rendimiento mecánico de los nuevos materiales. La naturaleza altamente polar e hidrofílica de la superficie de la mayoría de las fibras dificulta su unión con la matriz no polar de la matriz, si se presenta una unión débil se obtienen materiales con propiedades mecánicas deficientes (60) (61), es por ello que las fibras deben tener una distribución uniforme dentro de la matriz, esto se logra con un tratamiento superficial de las fibras reduciendo la sensibilidad a la humedad (62).

## **TRATAMIENTO FÍSICO A LAS FIBRAS**

Existen diversos tratamientos físicos o fisicoquímicos para modificar la superficie de las

fibras naturales, estos no conducen a cambios severos en las propiedades de las fibras, sino que ejercen cambios en la composición de la superficie de las fibras (63).

### TRATAMIENTO MECÁNICO SIMPLE

Se usan este tipo de tratamientos para lograr separar haces de fibras e incrementar y de esta forma incrementar el área de la superficie de la fibra, de modo que se mejora la adhesión fibra-matriz, se usan calentamientos y estiramientos (63) (64).

### TRATAMIENTO TÉRMICO

En este tipo de tratamiento las fibras son sometidas a temperaturas relativamente altas (23).

Los componentes no celulósicos se degradan de los haces de fibras y logran separarse.

### VENTAJAS DEL USO DE FIBRAS NATURALES:

1. Son ambientalmente amigables tanto en el proceso, producción y como desecho al final del ciclo.
2. Propiedades similares a aquellos materiales con refuerzo de fibra de vidrio.
3. Absorben bien las vibraciones y por lo tanto el sonido.
4. Son de 2 a 3 veces más barato que trabajar con fibra de vidrio (65).



**Figura 6.** Factores que afectan la elaboración de biocompuestos al usar fibras naturales Jawaid, Allothman y Sapuan 2017

## DESVENTAJAS DEL USO DE FIBRAS NATURALES

El uso de fibras naturales presenta diversas dificultades, entre ellas se tiene su disposición que puede variar según el tiempo de producción (66) (67), un factor importante también es que las propiedades de las fibras naturales pueden variar de acuerdo con el ambiente, madurez de la planta (68) (69).

Otro inconveniente, siendo este el más difícil de controlar es la alta sensibilidad a la humedad, que supone un gran desafío para utilizarlas en aplicaciones de almacenamiento a largo plazo (70). Las fibras naturales presentan una naturaleza hidrofílica lo que generan que tengan una baja resistencia microbiana y susceptibilidad a la putrefacción. Estas también absorben agua del ambiente circundante ocasionando que las fibras se hinchen y tengan dimensiones inestables cambiando las propiedades mecánicas y físicas del biocompuesto elaborado, esta dificultad se solucionaría si se aplica un tratamiento superficial a las fibras empleadas (71).

Suele existir una mala compatibilidad entre las matrices poliméricas, dado que presentan diferente tipo de naturaleza, la matriz es de naturaleza polar y las fibras naturales son de naturaleza no polar (72) (73), por lo que se modifica la superficie de las fibras para mejorar su adhesión.

### 3. TOTORA (*Schoenoplectus californicus*)

#### DEFINICIÓN

La totora (*Schoenoplectus californicus*) es una planta macrófita flotable que crece en lagos y humedales enraizada al sustrato, crece de manera silvestre en el Lago Titicaca. Tiene como característica que sus tallos emergen del agua logrando alcanzar grandes alturas que se secan en el período frío y seco, iniciando el rebrote en la época de transición a partir de órganos “subterráneos” o rizomas, que persiste en la época fría (12).

## CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA TOTORA.

Según las características morfológicas de *Schoenoplectus californicus*, muestran que es una planta herbácea formada por dos clases de tallos, uno subterráneo y otro aéreo (75)

además de ello está conformado por las siguientes partes:



**Figura 7.** Corte transversal de Totora (Hidalgo-Cordero, 2007)

### RAÍZ

Las raíces de la totora son adventicias. Se originan a partir de un rizoma maduro, son fibrosas y no desarrollan pelos reticulares. La cualidad de permanecer en el mismo sitio está dada por raíces secundarias, estas forman penachos delgados que dan anclaje a la planta en el substrato de fondo, su desarrollo es horizontal. Su diámetro varía en torno a 1 mm de grosor de acuerdo a la edad de la planta (75).

Posee además un sistema de raíces como una estructura en forma de red que se encarga de almacenar nutrientes y ayuda a la planta a sobrevivir durante las estaciones secas y en condiciones adversas (76)(77). Esta estructura tiene como objetivo proporcionar a la planta un soporte estable para el crecimiento (77). Cuando el nivel del agua de los lagos

aumenta, estos bloques de raíces, que a menudo contienen burbujas de aire debido a las funciones de aireación de la planta, flotan y se separan del fondo del lago, de esta manera, la planta puede flotar hasta que el nivel del agua se recupere o se reubique en aguas menos profundas.

### **RIZOMA**

Posee un tallo grueso con hojas escamosas que crecen bajo el sustrato de forma horizontal y paralelo a este, distinguiéndose por presentar nudos o yemas cada 2 a 6 cm, de donde brotan los tallos (75). El rizoma contiene sustancias de reserva que le permite sobrevivir en períodos de sequedad, y cuando retornan las condiciones de humedad las yemas dan origen a nuevos tallos aéreos mientras por la parte inferior se inicia el crecimiento de las raíces adventicias.

### **TALLO**

El tallo emerge en los nudos del rizoma teniendo forma de cilindro cortical que es de poco espesor, no posee ramificaciones, algunas veces presenta una sección triangular en la parte superior y apical. Puede llegar a crecer 30 cm a 100 cm o más cada 4 meses, llegando así hasta 4m (75).

### **INFLORESCENCIA**

La totora presenta una inflorescencia tipo umbela, que se caracteriza por que las primeras ramificaciones dan lugar a su vez a otra umbela pequeña que a su vez da origen a la umbelilla que se encuentra en sus ejes terminales que poseen un número variable de flores, en el que cada eje terminal está cubierto de una bráctea escamosa de color café oscuro de 3 a 5 mm de longitud (75). En un período anual, la totora presenta dos floraciones. La primera se presenta en abril a junio, y la segunda de septiembre a diciembre, sin embargo, existen algunos tallos floríferos todo el año (75).

Una vez madura la inflorescencia, se forma la semilla que por acción del viento caen al agua, formando así a una nueva planta de totora dándose una regeneración natural, siempre y cuando las condiciones naturales y antrópicas lo permitan (78).

### **USOS DE LA TOTORA**

Uno de los principales usos de la totora es la elaboración de artesanías como alfombras, cestas, sopladores, joyas y recuerdos. La versatilidad de la planta ha permitido a muchas comunidades desarrollar una amplia gama de técnicas basadas tanto en la tradición como en la innovación (77) Además de ello la totora es empleada como material de construcción en comunidades indígenas del lago Titicaca (77) (79).

### **USO COMO QUESANA**

La quesana es una alfombra gruesa tradicional que se usa como tapete, techo y revestimiento de paredes (80). Se hace trenzando tallos de totora con una cuerda a intervalos de aproximadamente 30 cm. El espesor de la quesana es de aproximadamente 5 cm, su ancho es de aproximadamente 2 m, dependiendo de la longitud de las cañas de la totora, y su longitud suele ser de entre 3 y 10 m (77).



**Figura 8.** Uso de la totora como quesana (Hidalgo-Cordero, 2007)

## COMPOSICIÓN

La totora está compuesta por hemicelulosa, lignina y celulosa, siendo esta la que se encuentra en mayor porcentaje. Además, está compuesta por proteínas 6,03%, calcio 0,34%, magnesio 0,49%, yodo 0,78% y fósforo 0,28 %.

## 4. BLISTER

### DEFINICIÓN

Los empaques blister son un tipo de envase que tiene como función contener en ellos dosis de diferentes medicamentos en fase sólidas o semisólidas. Estos generalmente están conformados por láminas flexibles de material plastificado, metálico o combinación de ambos, que tiene la forma de tiras. Sus paredes tienen la función de proteger al medicamento de la luz, la humedad y la abrasión (11).

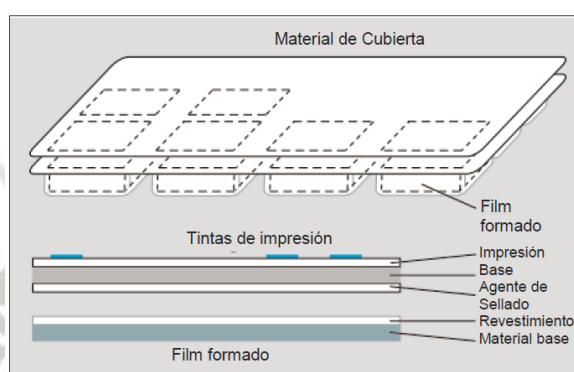


**Figura 9.** Configuración de un envase tipo blister (Pilchik, 2000)

Existen dos tipos básicos de presentaciones. En la primera forma la cavidad en donde se deposita el medicamento está construida de plástico transparente termoformado y la tapa está hecha de plástico transparente o una combinación de plástico, papel y/o papel aluminio. En la segunda forma de elaboración el papel de aluminio es el componente esencial de ambas redes, y su cavidad se crea mediante estiramiento en frío (81).

## COMPONENTES DE LOS BLISTER DE INDUSTRIA FARMACEÚTICA

Los blisteres de industria farmacéutica están conformados principalmente por cuatro componentes que son: el film formado, el material de cubierta, el recubrimiento de sellado térmico y la tinta de impresión. De todos estos componentes el que se encuentra en mayor cantidad es el film formado (80-85 %), en segundo lugar, se encuentra el material de cubierta con un 15% aproximadamente (81).



**Figura 10.** Componentes de los envases tipo blister (Pilchik, 2000)

### FILM FORMADO

Este es el componente de embalaje en el cual se deposita el producto (medicamentos) en bolsillos profundos. Al ser el componente que se encuentra en mayor cantidad, es muy importante seleccionar el plástico adecuado, de acuerdo al tipo de medicamento a envasar, por lo que se toman en cuenta sus propiedades, grosor, la altura y el peso, el envejecimiento y el costo de la película (81). Las películas de plástico tales como PVC, polipropileno (PP) y poliéster (PET) son aptas para el proceso de termoformado. La película formadora generalmente es incolora y transparente, pero puede oscurecerse para proteger las drogas sensibles a la luz. La red formadora de blisters está elaborada generalmente a partir de PVC(81).

### TIPOS DE FILM PARA LA ELABORACIÓN DE BLISTER

Existen diversos tipos de film para la conformación de los blister, dentro de ellos tenemos:

### **POLICROLULO DE VINILO (PVC)**

Se utiliza PVC rígido, llamado así por la ausencia de agentes suavizante, este es un material claro que presenta una excelente termoformabilidad, una alta resistencia a la flexión, buena resistencia química, baja permeabilidad a aceites, grasas e ingredientes aromatizantes y bajo costo. El uso de PVC ha atraído muchas críticas porque su combustión produce emisiones de hidrócloruro y, en condiciones desfavorables, dioxinas altamente tóxicas (81).

### **PP (POLIPROPILENO)**

Existe una tendencia creciente, en el uso PP como material de apoyo para la elaboración de blíster ya que presenta facilidad de reciclaje, ausencia de liberación de toxinas durante la incineración y buenas propiedades de barrera a la humedad. Sin embargo, presenta diversos inconvenientes como la inestabilidad térmica y menor rigidez que el PVC. Además, el PP es difícil de manejar en una máquina de blíster estándar y no se puede procesar tan rápido como el PVC (81).

### **TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)**

El PET es otro material que puede reemplazar al PVC, pero su permeabilidad al vapor de agua relativamente alta en comparación con la del PVC impide su uso universal (81).

### **POLIESTIRENO (PS)**

El poliestireno es un material compatible con el proceso de termoformación, pero su alta permeabilidad al vapor de agua la convierte en un material no apto para el uso en la industria farmacéutica (81).

### **MATERIAL DE CUBIERTA**

El material de cubierta proporciona la base sobre el cual se construye el blíster. Se debe seleccionar de acuerdo con el tamaño, la forma y el peso del producto.

El grosor que presenta generalmente se encuentra entre el rango de 0.46-0.61 mm. La superficie del material de cubierta debe ser compatible con el proceso de recubrimiento (81).

El material de tapa cubierta puede ser de plástico transparente, también se puede usar cubiertas conformadas por aluminio o una combinación de estas. El material debe ser adecuado para el tipo de abertura apropiada para el paquete (push-through o peel-off) (81).

### **TIPOS DE MATERIALE DE CUBIERTA**

#### **ALUMINO DURO**

Este es el material que se emplea en mayor proporción en la elaboración de blister. La lámina usualmente tiene un espesor de 0.6 mm. La dureza que presenta el aluminio facilita la apertura de empuje, además de ello permite imprimir información para poder identificar el medicamento(81).

#### **PAPEL /ALUMINIO.**

Esta combinación presenta un espesor de 0.6-1 mm. La razón de esta diferencia radica en el hecho de que este material de tapa se emplea en la elaboración de blister de empuje a prueba de niños, por lo que el papel de aluminio debe ser relativamente delgado (81).

#### **PAPEL / PET / ALUMINIO.**

El material de la tapa hecho de un laminado de papel / PET / aluminio a menudo se llama "peel off-push through foil". El concepto de este material es que primero se retire el laminado de papel, luego el laminado PET y por último el aluminio (81).

### **RECUBRIMIENTO DE SELLADO TÉRMICO**

Este es el componente más crítico de todo el sistema, ya que la apariencia y la integridad física de los blister dependen de la calidad del recubrimiento de sellado térmico. Estos

proporcionan una unión entre el film y el material de cubierta (81). Un revestimiento de sellado térmico adecuado debe presentar buen brillo, claridad, resistencia a la abrasión, pegajosidad en caliente y debe sellar numerosas películas (81).

### **TINTAS DE IMPRESIÓN**

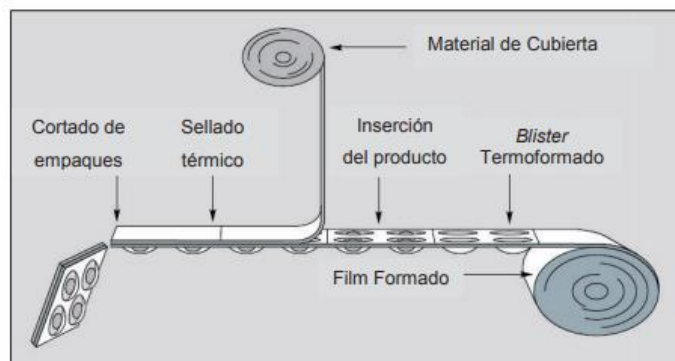
Las tintas de impresión proporcionan información de los medicamentos a través de gráficos y textos. Se aplican al material de cubierta mediante procesos de impresión de tipografía, huecograbado, desplazamiento o serigrafía.

Las tintas de impresión deben resistir temperaturas hasta 300 °C, sin mostrar ninguna decoloración o pegajosidad. Además, deben tener propiedades de resistencia a la abrasión, la flexión, deben ser seguros para usar con el producto deseado y no deben contener cantidades excesivas de lubricantes, grasas, aceites o agentes de liberación de hidrocarburos (81).

### **PROCESO DE ELABORACIÓN DE EMPAQUES TIPO BLISTER**

El proceso de la elaboración de blíster de la industria farmacéutica es continuo cuyo objetivo es empaquetar los medicamentos dentro de un envase. Este incluye actividades de termoformado de la cavidad, llenado de la cavidad con una tableta, sellado de la ampolla e impresión en el material de cubierta (81). El material de cubierta (aluminio) y el film (PVC) son provistos en rollos, el proceso inicia con el termoformado, en donde el film es calentado hasta una temperatura que permita la formación de las cavidades.

En el caso del PVC, éste debe ser calentado de 120 a 140°C. Seguidamente el material pasa a la estación de enfriamiento para que la cavidad formada mantenga su forma. Después, dentro de la cavidad se inserta la tableta. Finalmente, se realiza el proceso de sellado, en el caso de usar aluminio el sellado térmico es realizado bajo presión (82).



**Figura 11.** Forma de elaboración de los envases tipo blister (Pilchik, 2000)

## 5. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL

La caracterización estructural y funcional de materiales consiste en determinar diferentes propiedades químicas, estructurales, físicas o mecánicas. Para el caso de los biocompósitos dicha caracterización permite entender su comportamiento para poder utilizarlo de una manera adecuada (83).

Las propiedades mecánicas de los biocompósitos se caracterizan comúnmente mediante ensayos de tracción, flexión, impacto y dureza. A continuación, se describen aquellas los diferentes ensayos que se utilizan en su caracterización:

### PROPIEDADES DE DESGASTE

El desgaste se define como la pérdida no deseada de material sólido en las superficies debido a una interacción mecánica. El desgaste puede ser determinado a partir del volumen de pérdida, también llamados partículas desgastadas que son separadas de la muestra durante la prueba (84).

### DESGASTE ABRASIVO

La característica principal del desgaste abrasivo es el efecto de corte de la superficie producido por partículas duras. Existen dos tipos de desgaste abrasivo. En el primer caso, la aspereza dura solamente arrastra el material deformado hacia adelante y hacia los

costados, desmoronándolo sin presentar ningún tipo arranque. En contraste, en el segundo caso se produce eliminación de material en forma de virutas (84).

### **DESGASTE ADHESIVO**

Este tipo de desgaste consiste en la formación de una unión adhesiva, su crecimiento y posterior fractura. Esta se da bajo ciertas condiciones, en donde una película del material más blando se transfiere a la superficie del más duro. Se considera que el porcentaje de desgaste aumenta cuando la película de polímero se elimina de la superficie dura y se forman nuevas películas de transferencia que van siendo eliminadas, el porcentaje de desgaste disminuye si la película queda permanentemente adherida a la superficie metálica (84).

### **DENSIDAD**

La densidad es la relación que existe entre la masa de un objeto con su volumen, es importante conocer el valor de la densidad del material a elaborar ya define la ligereza del material elaborado (85) (86).

### **RESISTENCIA A LA TRACCIÓN**

La resistencia a la tracción es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos en presencia de temperatura, humedad y velocidad especificadas (87). Este ensayo es utilizado para determinar diversas propiedades mecánicas del material. Consiste en someter a una probeta normalizada a un proceso de deformado generalmente hasta lograr su ruptura, en donde se aplica un esfuerzo axial de tracción creciente (88) (89).

### **RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

La resistencia a la flexión es la relación que existe entre una carga aplicada a una determinada distancia de un área de sección (90). Este tipo de ensayo es empleado

generalmente como medida de la rigidez de los materiales. Las propiedades de flexión son calculadas en relación al esfuerzo y deformación que se producen en la superficie externa de la probeta empleada (87).

### **ENSAYO DE IMPACTO**

Este ensayo es utilizado ampliamente para la caracterización de las propiedades mecánicas de diversos materiales poliméricos. Los resultados proveen respuestas carga-deformación bajo condiciones de deformación multiaxial, de esta manera, se logra conocer las propiedades de punzonado y de sensibilidad al impacto del material (88) , además de ello representa la resistencia o tenacidad de un material rígido a la repentina aplicación de una carga mecánica (87).

### **ENSAYO DE COMPRESIÓN**

La resistencia a compresión es la relación directa que existe entre la carga que es aplicada a una determinada área de sección (85). Los resultados brindan información para conocer el confortamiento de un material bajo tensiones elevadas y permanentes (es decir comportamiento plástico), como en aplicaciones de fabricación, o cuando el material es frágil bajo tensión. Los valores altos de la resistencia a la compresión señalan buena calidad para todos los fines estructurales y de exposición (89).

### **ENSAYO DE DUREZA**

El ensayo de dureza es la medida de la resistencia de un material a una deformación plástica localizada como por ejemplo una abolladura o un rasguño. El ensayo consiste en el empleo de un pequeño punzón que es puesto en la superficie del material que se ensaya, bajo condiciones controladas de carga. La profundidad o el tamaño de la muesca resultante se mide y, a su vez se relaciona con un número de dureza (89).

### **ENSAYO DE PUNZONADO A ALTA VELOCIDAD**

El ensayo consiste básicamente en un punzonado en caliente sobre una probeta mediante un punzón de gran rigidez para producir una huella de penetración por deformación plástica, durante el ensayo se recogen los valores de carga aplicada y desplazamiento del punzón. Este tipo de ensayo es utilizado para caracterizar materiales especialmente la resistencia superficial del material y el comportamiento plástico de éste cuando se somete a una carga (91).

### **ENSAYO DE TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO DE VICAT**

El método de ensayo Vicat tiene como objetivo determinar la temperatura máxima de uso de un material, sin que exista pérdida importante de propiedades mecánicas.

En un ensayo VICAT se determina la temperatura a la cual un penetrador o punta, penetra un milímetro en la superficie de la probeta bajo una carga determinada por las dimensiones de la probeta y la norma utilizada para el ensayo (92).

## **6. ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE FORMA TRADICIONAL**

Un ladrillo es una pieza cerámica, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, Se emplea en albañilería para la ejecución de fábricas de ladrillo, ya sean muros, tabiques, tabicones, etc. (92).

### **CLASIFICACIÓN**

De acuerdo a sus propiedades, el Reglamento Nacional de Edificaciones clasifica al ladrillo en cinco tipos: (93)

- **Tipo I:** Resistencia y durabilidad muy bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencias mínimas.

- **Tipo II:** Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicios moderadas.
- **Tipo III:** Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general.
- **Tipo IV:** Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.
- **Tipo V:** Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

## TIPOS DE PROCESO DE FABRICACIÓN

La producción de ladrillos puede llevarse a cabo de tres formas, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana:

- 1. Artesanal:** Ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales, el amasado o moldeado es hecho a mano. El ladrillo producido artesanalmente se caracteriza por variaciones de unidad a unidad respecto a sus propiedades (93).
- 2. Semi-Industrial:** Es el ladrillo fabricado con procedimientos manuales, donde el proceso de moldeado se realiza con maquinaria elemental que en ciertos casos extruye a baja presión la pasta de arcilla. El ladrillo semi-industrial se caracteriza por presentar una superficie lisa (93).
- 3. Industrial:** Es el ladrillo fabricado con maquinaria que amasa, moldea y prensa o extruye la pasta de arcilla. El ladrillo producido industrialmente se caracteriza por su uniformidad (93). Las formas de producción artesanal y semi-industrial, tienen los mismos pasos o secuencias, únicamente variando en los instrumentos, métodos y

herramientas utilizadas para la producción. La principal variación se da en el proceso de moldeado, como ya se explicó en la definición, para el ladrillo semi-industrial se utiliza maquinaria que extruye la pasta de arcilla, por lo que se obtienen unidades de superficie lisa. El proceso industrial se diferencia de los dos primeros procesos de fabricación no solo en la utilización de maquinaria para el proceso de moldeado sino en el empleo de hornos más sofisticados para la fase de cocción. En estos hornos se lleva un control de temperatura, logrando una mayor eficiencia en la producción de unidades de arcilla con una mejor calidad final (93).

## **FABRICACIÓN**

### **SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MEZCLA**

Es una etapa muy importante de la fabricación, depende de la fineza de la mezcla para que el producto sea bien logrado (aspecto, resistencia, etc.). La arcilla debe someterse a ciertos tratamientos de trituración, homogenización y reposo, para obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características mecánicas y químicas (93).

### **MOLDEADO**

En esta etapa se le da a la arcilla la forma que las unidades de albañilería deberán tener después de la cocción, el proceso de moldeado se puede realizar a mano o empleando máquinas. Para la producción de ladrillo artesanal únicamente consiste en llenar las gaveras o moldes vaciando la mezcla dentro de ellas, compactándola con las manos y después alisándola con un rasero (93).

### **SECADO**

El proceso de secado consiste en el desprendimiento del agua unida físicamente a la pasta. Dentro del proceso de secado hay un proceso conocido como pre-secado, el cual consiste en dejar durante un tiempo el ladrillo recién moldeado en el mismo lugar donde fue hecho

para que pierda humedad y sea posible su manipulación. El tiempo de secado dependerá de la velocidad de difusión, misma que está en función del tamaño, longitud y forma del poro de la arcilla. El secado puede ser natural o artificial, en el primer caso el secado está condicionado a las características climáticas de la región y algunas veces el lugar de secado es colocado sobre los hornos para que de esta manera se pueda recuperar algo de la energía perdida a través de la bóveda del horno. En el caso de secado artificial, este proceso es acelerado por acondicionamiento del aire. El secado de los ladrillos es una de las partes más delicadas de la fabricación, pues un secado muy rápido puede rajarlos y un secado incompleto puede impedir el buen cocimiento (93).

### **COCCIÓN**

El proceso de cocción consiste en someter los ladrillos previamente secados a condiciones de alta temperatura por tiempos prolongados en hornos, con el fin de que adquieran sus propiedades mecánicas y físicas, ya que la arcilla sin cocer tiene propiedades muy bajas. Con este proceso no sólo consiguen las propiedades físicas y mecánicas sino también la apariencia final. Las fases de cochura en el horno son tres: precalentamiento, cocción y enfriamiento. En la primera fase se elimina paulatinamente el agua impregnada en la arcilla. El agua es removida por aire continuamente renovado y aumenta constantemente la temperatura, el precalentamiento se considera terminado cuando toda la masa alcanza los 100° C. En la etapa de enfriamiento la temperatura desciende desde la de cocción hasta la normal, esto debe realizarse paulatinamente (de 500° C a 600° C), especialmente en los hornos cerrados, para garantizar dureza, tenacidad y colorado de la pieza vitrificada. El enfriamiento de las piezas está definido por su tamaño, cuanto mayor es el tamaño de los ladrillos, la temperatura normal se alcanza más

lentamente. Los productos cuyo enfriamiento se realiza lentamente, son tenaces y muy resistentes a las acciones mecánicas (93).



## CAPÍTULO II

# MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La presente investigación fue desarrollada en el ambiente F-407 de la Universidad Católica de Santa María.

### 2. MATERIALES

#### EQUIPOS

- Agitador electrónico
- Mezcladora
- Mufla
- Balanza analítica
- Equipo de reflujo
- Estufa
- Baño termostático
- Microscopio óptico
- Equipo de Soxhlet
- pH-metro

#### MATERIAL DE VIDRIO

- Beakers de 600mL
- Probeta de 500 mL
- Probeta de 100 mL
- Matraz de 500 mL

- Embudo grade
- Balón de 100 mL
- Fiola de 100 mL
- Bureta de 50 mL
- Tubos de centrifuga
- Tubos con tapa rosca
- Pipeta de 10 mL
- Pipeta de 5 mL

#### **REACTIVOS**

- Peróxido de hidrógeno al 30%
- Hidróxido de sodio
- Ácido sulfúrico
- Acetona al 70%
- Clorito de sodio
- Hidróxido de sodio
- Ácido ascórbico
- Ácido acético glacial

#### **MATERIAL VEGETAL**

- Totora
- Cascarilla de arroz

#### **OTROS MATERIALES**

- Blisters
- Residuos de curtiembre

### 3. METODOLOGÍA

**Gestión y manejo de residuos farmacéuticos tipo blister.** Los blister fueron recolectados del hospital Militar de Arequipa, así como también de la Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos EMPRESRES SRL, estos se almacenaron en bolsas y fueron trasladados al laboratorio para su debido procesamiento.

**Selección de los blister recuperados.** Se retiraron las pastillas que permanecían en algunos blister, estas fueron desechadas adecuadamente en bolsas rotuladas para evitar cualquier tipo de contaminación.

#### **Acopio de residuos agroindustriales**

**Recolección de cascarilla de arroz.** La cascarilla de arroz fue obtenida como residuo de un molino local, esta fue seleccionada y almacenada adecuadamente en bolsas libres de humedad para ser trasladadas al laboratorio para su estudio.

**Recolección de totora.** La totora fue recolectada como residuo de diversos puntos de plantación de la ciudad de Puno y humedales de la ciudad de Arequipa, esta fue almacenada en bolsas y fue trasladada a los laboratorios para ser procesada.

**Obtención de residuos de camal.** Se recolectó piel y patas de cerdo y res como residuos de los diferentes centros de aprovechamiento de la ciudad, estos fueron almacenados adecuadamente en bolsas de y posteriormente refrigerados para la conservación del colágeno presente en ellos.

**Obtención de adhesivo a partir de residuos de camal.** Se realizó un pretratamiento a los residuos de piel que consistió en retirar la mayor cantidad de pelos para que este no interfiera en la elaboración del adhesivo. Seguidamente se pesó 250 g de cada uno de los residuos (piel y patas), estos fueron llevados a una olla por separado en donde se

agregó 500 mL de agua, se dejó hervir hasta que el agua se redujo en la tercera parte de su contenido, posteriormente se coló la mezcla formada para eliminar restos de gran tamaño. Finalmente, se vertió la pasta formada en bandejas para dejarlas secar a temperatura ambiente durante 24 horas.

**Activación del adhesivo formulado.** Para poder emplear la pasta elaborada fue necesario someterla a un proceso de activación que consistió en dejar macerar los adhesivos durante 12 horas en agua fría para luego ser calentados a una temperatura menor de 40 °C durante 30 minutos. El adhesivo activado fue utilizado directamente como aglomerante en la elaboración del biocompósito. (Véase la **Figura 44 del Anexo 1**)

**Caracterización fisicoquímica de las fibras obtenidas.** La composición química de las fibras naturales se determinó mediante un método de extracción química, en donde cada componente se separó por fracciones.

Este proceso fue realizado para las fibras de totora y cascarilla de arroz por separado siguiendo las mismas condiciones.

**Determinación de extraíbles.** Los extraíbles interfieren en el proceso de caracterización de las fibras, es por ello que fueron eliminados en dos diferentes fases de extracción siguiendo el procedimiento descrito en el ensayo TAPPI T-264 (94). Para poder realizar este ensayo las fibras de totora y cascarilla de arroz fueron trituradas y posteriormente tamizadas hasta que se logró un tamaño de partícula de 800  $\mu\text{m}$ . (Véase la **Figura 35 del Anexo 1**)

**Primera fase de extracción.** En esta primera fase se tomó 10 g de cada fibra tamizada y fue introducida en un cartucho para ser llevada al extractor Soxhlet. La extracción se

realizó con 200 mL de acetona durante un periodo de tiempo de 7 horas, en donde se mantuvo el líquido en ebullición. Finalmente se lavó la muestra con agua caliente para poder eliminar los restos de acetona. En esta primera extracción se eliminan resinas, ácidos grasos, esteroides, ceras y grasas. (Véase la **Figura 36** del **Anexo 1**)

**Segunda fase de extracción.** Las muestras provenientes de la primera extracción de cada fibra fueron lavadas y posteriormente llevadas a un Erlenmeyer de 1 L, en donde se añadió 500 mL de agua destilada caliente y se dejó hervir durante 1 hora. Finalmente, las muestras fueron filtradas y llevadas a secar. En esta extracción se eliminan taninos, gomas, azúcares y materia colorada.

**Determinación de hemicelulosa.** La cuantificación de hemicelulosa se realizó siguiendo el método descrito en el ensayo ASTM D-1104 (95) (94). Se pesó 2 g de fibra de totora y cascarilla de arroz libres de extraíbles, fueron llevadas por separado a un matraz de 250 mL en donde fueron tratadas con 150 mL de agua, 0.2 mL de ácido acético y 1 g de clorito sódico en un baño de agua a 75 °C. Seguidamente por cada hora, y durante 5 horas, se añadió 0.22 mL de ácido acético y 1 g de clorito sódico, pasadas las 5 horas, se colocó el matraz en un baño de hielo para luego ser filtradas y lavadas con 500 mL de agua destilada fría. Se logró observar que el residuo que estaba amarillo pasó a ser de color blanco. Finalmente, las muestras obtenidas fueron secadas a 105 °C. (Véase la **Figura 37**, **Figura 38** del **Anexo 1**)

**Determinación de celulosa.** Se tomó 1 g de fibra de totora y cascarilla de arroz libre de Hemicelulosa, estas se colocaron por separado en un matraz de 100 mL para ser llevado a un baño de agua a 25°C en donde se añadió 10 mL de hidróxido de sodio al 17.5 %, se agitó y se dejó reposar por 5 minutos, seguidamente se añadió 5 mL de hidróxido de

sodio al 17.5 %, se agitó y se dejó reposar 30 minutos, se agregó finalmente 30 mL de agua, se agitó y se dejó reposar durante 1 hora. Transcurrido ese tiempo, se filtró a vacío y se realizó lavados con agua y una solución de hidróxido de sodio al 17.5%. Por último, se secó el material a 75 °C durante 24 horas. (Véase la **Figura 39, Figura 40 del Anexo 1**)

**Determinación de lignina.** Se tomó 5g de fibra natural de cascarilla de arroz y totora, estas fueron a un beaker por separado para posteriormente agregarles una solución de ácido sulfúrico al 72%, se agitaron durante 2 horas y después se agregó 60 mL de agua destilada. Seguidamente se filtró las muestras y el precipitado fue lavado con agua destilada, hasta obtener un pH neutro. Finalmente fue secado a una temperatura de 100°C. El porcentaje de lignina fue obtenido por la siguiente ecuación. (Véase la **Figura 41, Figura 42 del Anexo 1**)

$$\%Material = \frac{\textit{peso Final}}{\textit{peso Inicial}} \times 100$$

**Ecuación 1.** Ecuación para la determinación de lignina

## DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

**Determinación de la capacidad de absorción de agua.** Las fibras de totora y cascarilla de arroz fueron cortadas a una longitud aproximada de 30 mm para poder elaborar 5 muestras de aproximadamente 1 g cada una. Las cinco muestras de cada fibra fueron secadas en un horno a 100°C durante 24 h, posteriormente se pesaron en una balanza de 0.001 g de precisión para poder obtener el peso seco (PS). Cada muestra fue saturada en agua destilada, con un respectivo tiempo de saturación, que fueron 5, 15, 30, 60 minutos y 24 horas. Al término de cada periodo de tiempo se obtuvo la condición saturada

superficial frotando las fibras ligeramente con papel absorbente durante aproximadamente 2 minutos, se pesó las muestras obteniendo el peso saturado superficialmente seco (PSSS). El porcentaje de absorción se obtuvo usando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{PSSS - PS}{PS} \times 10$$

**Ecuación 2.** Ecuación para la determinación de la capacidad de absorción de agua.

**Diseño y construcción de equipos.** Dada la naturaleza de las materias primas para conformar el biocompósitos fue necesario someterlas a diferentes procesos físicos, es por ello que se diseñó y se mandó a construir tres equipos que en conjunto permitieron la obtención de los biocompósitos. (Véase la **Figura 45, 49** del **Anexo 1**)

**Construcción de la picadora semi-industrial.** Se hizo un diseño inicial de la picadora, este diseño fue llevado a construcción por la empresa Servicios y prestaciones Reyes S.R.L.

**Construcción de una máquina mezcladora.** Se hizo un diseño inicial de la máquina mezcladora, este diseño fue llevado a construcción por la empresa Servicios y prestaciones Reyes S.R.L.

**Construcción de la prensa manual.** Se hizo un diseño inicial de la máquina mezcladora, este diseño fue llevado a construcción por la empresa Servicios y prestaciones Reyes S.R.L.

**Diseño y construcción de moldes para la elaboración de biocompósitos.** Se diseñó un molde externo y siete moldes internos de diferentes materiales para facilitar el proceso de secado.

**Conformación del biocompósito.** El proceso de elaboración del biocompósito consta de las siguientes etapas:

**Pre-tratamiento a las fibras vegetales.** Las fibras vegetales fueron sometidas a un proceso de transformación física, en donde por medio del calor se logró eliminar gran parte de la humedad.

**Trituración de materias primas.** Tanto los blister como las fibras vegetales fueron trituradas para reducir su tamaño inicial y que de esta manera puedan unirse con mayor facilidad. En el caso de los blister a un tamaño aproximado de 0.05 mm y en el caso de las fibras a un tamaño aproximado de 0.01 mm o incluso hasta obtener un polvillo. Este proceso fue realizado en la máquina picadora.

**Proceso de mezclado.** Se introdujo los blister junto con las fibras naturales, cada una de ellas por separado, y el adhesivo en la mezcladora que estuvo a una temperatura de 30°C para que el adhesivo funcione de una mejor manera. (Véase la **Figura 46** del **Anexo 1**)

**Proceso de prensado.** La mezcla obtenida fue vertida en los moldes internos y luego estos fueron llevados al molde externo para ser sometidos a presión utilizando la prensa manual durante 30 minutos. Se dejó el molde en la prensa durante 24 horas.

**Proceso de secado.** Los moldes internos fueron retirados y dejados a temperatura ambiente, directamente al sol durante 7 días para que los biocompósitos queden secos en su totalidad.

**Proceso de recubrimiento con barniz.** Para evitar el desmoronamiento del biocompósito, se aplicó una capa externa de barniz comercial. De esta forma el biocompósito queda completamente protegido. (Véase la **Figura 49** del **Anexo 1**)

**Diseño experimental para la optimización en el proceso de elaboración.** El diseño experimental se inició estableciendo las variables para optimizar el proceso y de esta manera poder encontrar los valores óptimos que permitan obtener la mejor respuesta (mayor resistencia a la compresión y flexión), se procedió a darles valores, estos se pueden observar en la Tabla 1.

**Tabla 1** Variables y valores elegidas para la elaboración del diseño experimental

VARIABLES	VALORES
<b>Residuo Vegetal</b>	Cascarilla
	Totora
<b>Relación RP/RV* (%)</b>	75
	95
<b>Tipo de pegamento</b>	Natural
	Industrial
<b>Concentración de pegamento (mL)</b>	500
	900
<b>Espesor (cm)</b>	2
	3
<b>Tiempo de mezclado (min)</b>	40
	80
<b>Tamaño de corte</b>	Pequeña
	Grande

Al tener un número elevado de variables se eligió emplear el diseño Experimental Cribado Plackett-Burman plegado  $2^{7*3/16}$ , donde para su desarrollo se estableció un valor máximo (1) y un valor mínimo (-1). Estos niveles se pueden observar en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Niveles de variables consideradas en el diseño experimental

VARIABLES	NIVELES	
	-1	1
<b>A: Residuo Vegetal</b>	Cascarilla	Totora
<b>B: Relación RP/RV* (%)</b>	75	95
<b>C: Tipo de pegamento</b>	Natural	Industrial
<b>D: Concentración de pegamento(mL)</b>	500	900
<b>E: Espesor (cm)</b>	2	3
<b>F: Tiempo de mezclado (min)</b>	40	80
<b>G: Tamaño de corte</b>	Pequeña	Grande

Para estudiar el diseño se utilizó el software Statgraphics Centurion XV versión 15.2, en donde se obtuvo la matriz descrita en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Matriz experimental para la evaluación efectos significativos en el proceso

TRATAMIENTO	VARIABLES CODIFICADAS							VARIABLES REALES						
	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G
T1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	CA	75	S	500	2	80	PE
T2	1	1	-1	1	-1	-1	-1	T	75	S	900	2	80	PE
T3	-1	1	1	1	-1	-1	-1	T	95	S	500	2	40	GR
T4	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	T	95	S	900	3	80	GR
T5	-1	1	1	-1	1	-1	-1	T	95	N	500	2	80	PE
T6	1	-1	1	1	1	-1	-1	T	95	N	900	2	40	PE
T7	1	1	-1	-1	-1	1	-1	T	75	N	500	3	80	GR
T8	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	CA	95	N	500	3	40	GR
T9	1	-1	1	1	-1	1	-1	CA	75	S	500	3	80	GR
T10	1	1	1	-1	1	1	-1	CA	75	N	500	2	40	PE
T11	-1	-1	-1	1	1	1	-1	T	75	N	900	2	80	GR
T12	-1	1	-1	1	1	1	-1	T	95	S	500	3	80	PE
T13	1	-1	1	-1	-1	-1	1	CA	75	S	900	3	40	GR
T14	1	1	1	-1	-1	-1	1	CA	95	S	500	3	40	PE
T15	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	CA	75	N	900	3	80	PE
T16	-1	1	-1	-1	1	-1	1	T	95	N	900	3	40	GR
T17	1	1	-1	1	1	-1	1	CA	95	S	900	2	40	PE
T18	-1	-1	1	1	1	-1	1	CA	95	N	500	2	80	GR
T19	-1	1	-1	-1	-1	1	1	CA	95	S	900	2	80	GR
T20	-1	-1	1	-1	-1	1	1	CA	75	N	900	2	40	GR
T21	-1	1	1	1	-1	1	1	T	75	S	500	2	40	GR
T22	1	-1	-1	-1	1	1	1	T	75	N	500	3	40	PE
T23	1	1	1	1	1	1	1	T	75	S	900	3	40	PE
T24	1	-1	-1	1	-1	1	1	CA	95	N	900	3	80	PE

**Elaboración de los ladrillos tipo II base biocompósitos.** A partir de los datos obtenidos del diseño experimental se eligió la mezcla ideal para la elaboración del ladrillo ya que presenta mejor resistencia a la compresión y flexión, siguiendo los mismos pasos que la elaboración del biocompósito.

**Caracterización de ladrillos tipo II base biocompósitos.** Se realizaron los siguientes estudios para determinar las propiedades mecánicas del biocompósito elaborado a partir de la mezcla que presentó mejores propiedades.

**Resistencia a la compresión.** Este ensayo fue realizado por la Universidad Católica de Santa María en el Laboratorio de suelos y pavimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

**Resistencia a la flexión.** Este ensayo fue realizado por la Universidad Católica de Santa María en el Laboratorio de suelos y pavimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

**Ensayo de contenido de orgánicos e inorgánicos.** Este ensayo fue realizado por la Pontificia Universidad Católica del Perú en el Laboratorio de Materiales del departamento de Ingeniería Mecánica

**Ensayo de resistencia al punzonado a alta velocidad.** Este ensayo fue realizado por la Pontificia Universidad Católica del Perú en el Laboratorio de Materiales del departamento de Ingeniería Mecánica

**Ensayo de temperatura de reblandecimiento de VICAT.** Este ensayo fue realizado por la Pontificia Universidad Católica del Perú en el Laboratorio de Materiales del departamento de Ingeniería Mecánica

**Resistencia a la abrasión.** Este ensayo fue realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería en el laboratorio LABICER de la facultad de ciencias

**Resistencia a la flexión.** Este ensayo fue realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería en el laboratorio LABICER de la facultad de ciencias

**Resistencia al desgarro.** Este ensayo fue realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería en el laboratorio LABICER de la facultad de ciencias

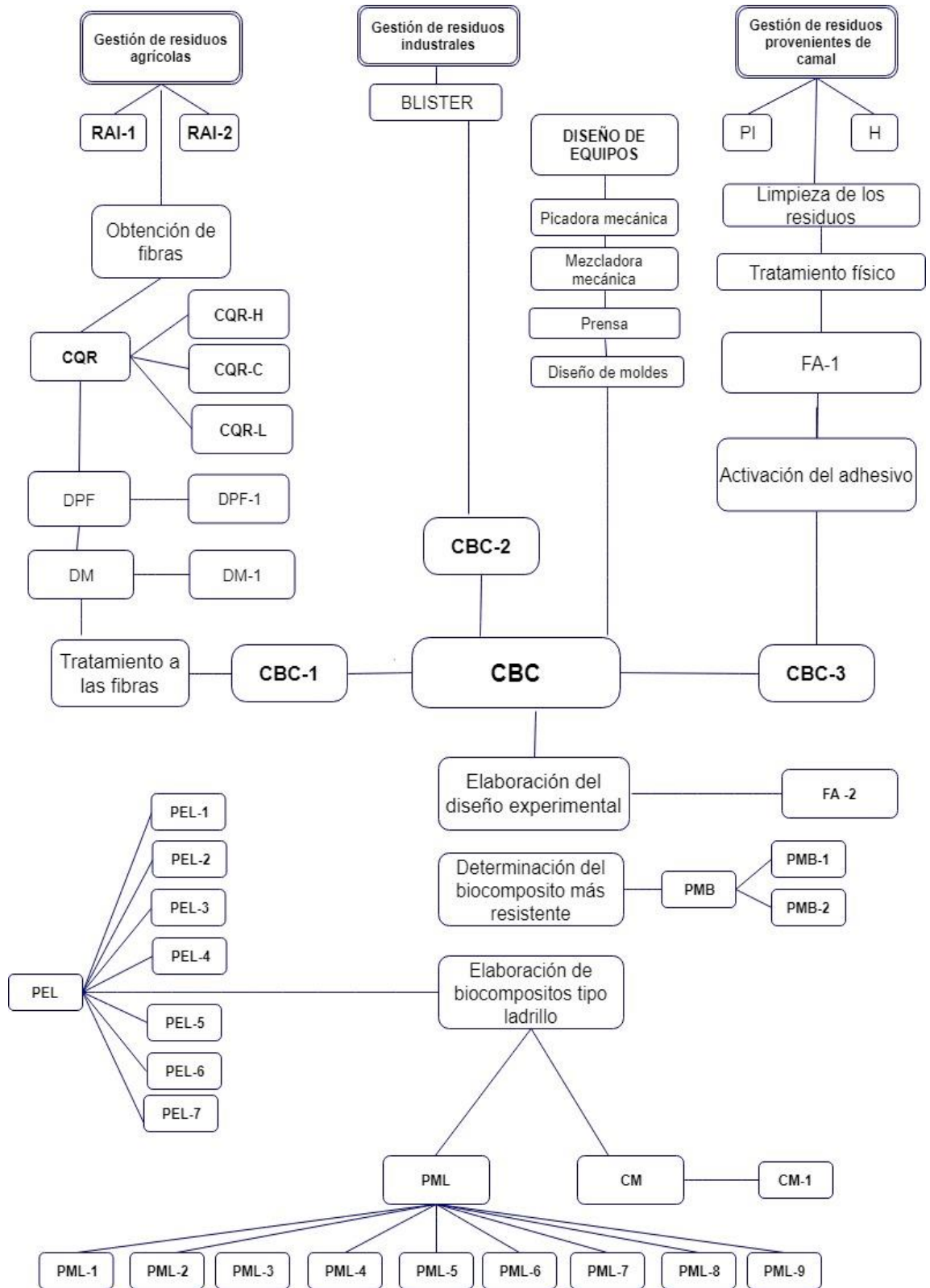
**Ensayo de densidad.** Este ensayo fue realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería en el laboratorio LABICER de la facultad de ciencias

**Ensayo de dureza.** Este ensayo fue realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería en el laboratorio LABICER de la facultad de ciencias

**Microscopía electrónica de barrido.** Este ensayo fue realizado por la Universidad Católica de Santa María en el Laboratorio de Microscopía Electrónica.



#### 4. DIAGRAMA DE FLUJO



## INTERPRETACIÓN DE ABREVIATURAS

RAI: Fuente de residuos agroindustriales que proporcionan fibra estructural	P5: Espesor del biocompósito
RAI-1: Cascarilla de arroz	P6: Tipo de adhesivo
RAI-2: Totora	P7: Tipo de residuo vegetal
FA: Fuente de adhesivo aglomerante	PMB: Propiedades mecánicas del biocompósito
FA-1: Adhesivo natural (colágeno)	PMB -1: Resistencia a la compresión.
FA-2: Adhesivo comercial	PMB-2: Resistencia a la flexión.
CQR: Composición química de los residuos agroindustriales utilizados para la elaboración de biocompósitos	PML: Propiedades mecánicas del biocompósito como ladrillo
CQR-H: Porcentaje de hemicelulosa.	PML-1: Resistencia a la compresión.
CQR-C: Porcentaje de celulosa.	PML-2: Resistencia a la flexión.
CQR-L: Porcentaje de lignina.	PML-3: Ensayo de temperatura de reblandecimiento de VICAT.
CBC: Composición física del biocompósito conformado.	PML-4: Ensayo de resistencia al punzonado a alta velocidad.
CBC-1: Porcentaje de fibra vegetal.	PML-5: Densidad.
CBC-2: Porcentaje de blister.	PML-6: Resistencia a la abrasión.
CBC-3: Porcentaje de adhesivo.	PML-7: Resistencia al desgarro.
P: Parámetros de operación para la elaboración de los ladrillos.	PML-8: Resistencia al desprendimiento axial de tornillos.
P1: Tiempo de mezclado para la conformación del biocompósito.	PML-9: Ensayo de contenido de orgánicos e inorgánicos.
P2: Tamaño de partícula de blister y fibra vegetal.	CM: Caracterización morfológica del biocompósito tipo ladrillo.
P3: Concentración de adhesivo utilizado.	CM-1: Microscopía electrónica de barrido.
P4: Relación de RP/RV.	RP/RV: Relación Residuo plástico/Residuo Vegetal

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Gestión y manejo de residuos tipo blister

Se logró recolectar 20 kg de blister del Hospital Militar de Arequipa y 60 kg de blíster de la Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos. En la Figura 12 se puede observar los blister recolectados de los diferentes puntos de acopio.



**Figura 12.** Blister recolectados de diferentes centros

#### 4.2 Selección de los blister recolectados

Del 100% de blister recolectados solamente el 5% contenían pastillas, estos fueron separados de los demás para poder recolectar las pastillas que se encontraban en su interior, las pastillas fueron almacenadas en bolsas especiales y posteriormente fueron desechadas. En la Figura 13 se puede observar el proceso de selección realizado en el laboratorio.



**Figura 13.** Selección de blíster para ser utilizados en la elaboración de biocompuestos

#### **4.3. Obtención de residuos de camal.**

Se recolectó piel y patas cada uno de estos recursos fueron separados, lavados y almacenados adecuadamente para su posterior uso como adhesivo. En la Figura 14 se puede observar los residuos de camal recolectados, en este caso piel y patas trozadas.



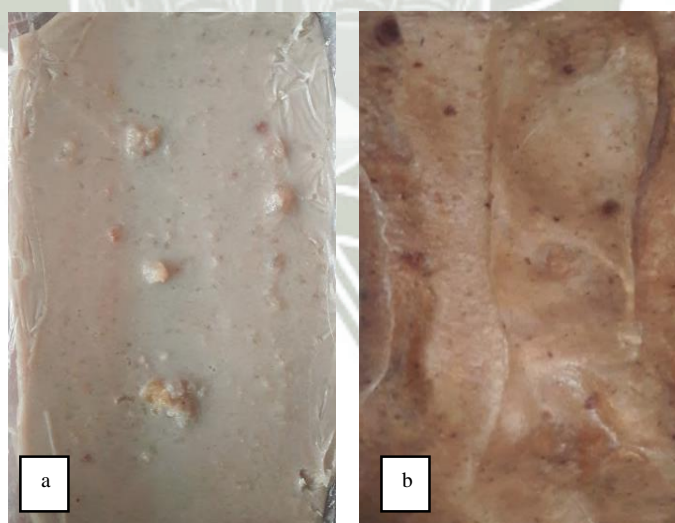
**Figura 14.** Residuos de camal recolectados.

#### 4.4. Obtención de adhesivo a partir de residuos de camal

Se utilizó dos tipos de desechos (patas y piel), como se puede observar en la Tabla 4 se obtuvo un porcentaje mayor utilizando patas, esto debido a que contiene mayor cantidad de colágeno por el peso que representa. A partir de estos resultados, se eligió como materia prima las patas para la elaboración del adhesivo en la fabricación de los biocompuestos. En la Figura 15 se puede observar el proceso de secado del adhesivo elaborado

**Tabla 4.** Porcentaje de adhesivo obtenido

	<b>PESO INICIAL (g)</b>	<b>PESO FINAL (g)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
<b>PIEL</b>	250	82	33
<b>PATAS</b>	250	150	60



**Figura 15.** Adhesivo elaborado a partir de residuos de curtiembre. (a) Adhesivo formulado a las 24 horas. (b) Adhesivo formulado a las 72 horas

#### 4.5. Acopio de residuos agroindustriales

##### Recolección de cascarilla de arroz

Se logró recolectar 5 kg de cascarilla de arroz proveniente de los diferentes molinos de la ciudad de Arequipa, este recurso al encontrarse en forma seca solamente fue necesario su almacenamiento.

##### Recolección de totora

Actualmente existe una gran plantación de totora en la ciudad de Puno, sin embargo, hay sitios en los que este recurso no viene siendo aprovechado en donde la totora se llega a secar, la totora empleada para la elaboración del biocompósito fue recolectada de estos sitios, lográndose acopiar 8 kilos de totora seca en gran parte.

#### 4.6. Caracterización fisicoquímica de las fibras obtenidas.

Se analizó la composición fisicoquímica de cada uno de los residuos vegetales recolectados (totora, cascarilla de arroz). Se determinó el porcentaje de extraíbles, porcentaje de celulosa, porcentaje de lignina y porcentaje de hemicelulosa, estos datos se pueden observar en la Tabla 5. El conocer la composición de las fibras nos brindará información para el uso correcto de las fibras como refuerzo en la elaboración de materiales biocompuestos.

**Tabla 5.** Porcentaje de celulosa, hemicelulosa, lignina y extraíbles en totora y cascarilla de arroz

	%CELULOSA	%HEMICELULOSA	%LIGNINA	%EXTRAIBLES
<b>TOTORA</b>	43.13	17,63	25.32	15.43%
<b>CASCARILLA DE ARROZ</b>	42.22	19,72	22.6	17.46%

En la Tabla 5 se puede observar que en ambos casos la celulosa es el componente que se encuentra en mayor porcentaje 42.22% y 43.13 % respectivamente, este componente es uno de los más importantes ya que aumenta la adhesión de la matriz a las fibras (96) (97). La hemicelulosa al conformar también la pared celular de las plantas cumplen la misma función que la celulosa. La lignina es el segundo componente que se encuentra en mayor cantidad 25.32 % y 22.6% respectivamente, en el caso de la totora la lignina actúa como un excelente refuerzo y relleno, mientras que para la cascarilla de arroz solo actúa como relleno, esto debido a la compatibilidad existente entre la matriz y las fibras (98). En la Tabla 5 se puede observar también que la composición total en ambas fibras excede al 100%, sin embargo, este excedente está considerado dentro del margen de error.

#### 4.7. Determinación de propiedades físicas

##### Determinación de la capacidad de absorción de agua.

La absorción de agua en ambas fibras se debe a la acción capilar de las microceldas presentes en cada una de ellas, en donde esta aumenta respecto al tiempo. En la Tabla 6, se puede observar el porcentaje de absorción de agua de cascarilla de arroz, esta crece rápidamente, pero a las 24 horas se satura y tan solo absorbe el 48.29% de agua.

**Tabla 6.** Porcentaje de absorción de agua en cascarilla de arroz

ABSORCIÓN DE AGUA- CASCARILLA DE ARROZ			
PS (g)	Tiempo	PSSS (g)	% de absorción
0,4571	5 min	0,7256	5,87
0,5046	15 min	1,7062	23,81
0,4768	30 min	1,9296	30,46
0,5391	60 min	2,5315	37,09
0,4864	24 h	2,8354	48,29

La absorción de agua de la fibra de totora se puede observar en la Tabla 7, este es muy alto, teniendo un 64.95% a las 24 horas, esto se puede explicar ya que la porosidad de la fibra de totora es mucho mayor que de la fibra de cascarilla, lo cual lleva a ese tipo de comportamiento (99). Dados estos resultados es muy importante controlar la absorción de agua ya que podría originar una inestabilidad en su volumen que conducirá a una pérdida de adherencia con la matriz, es por ello que ambas fibras fueron secadas para evitar este problema y que puedan ser usadas adecuadamente como refuerzo en la elaboración de biocompuestos. En la Figura 17 se observa el comportamiento de la fibra de totora respecto al ensayo de porcentaje de agua

**Tabla 7.** Porcentaje de absorción de agua en totora

ABSORCIÓN DE AGUA- TOTORA			
PS (g)	Tiempo	PSSS (g)	% de absorción
0,13	5 min	0,59	3.53
0,13	15 min	1,43	10.52
0,23	30 min	3,29	13.30
0,23	60 min	5,82	24.30
0,22	24 h	14,51	64.95

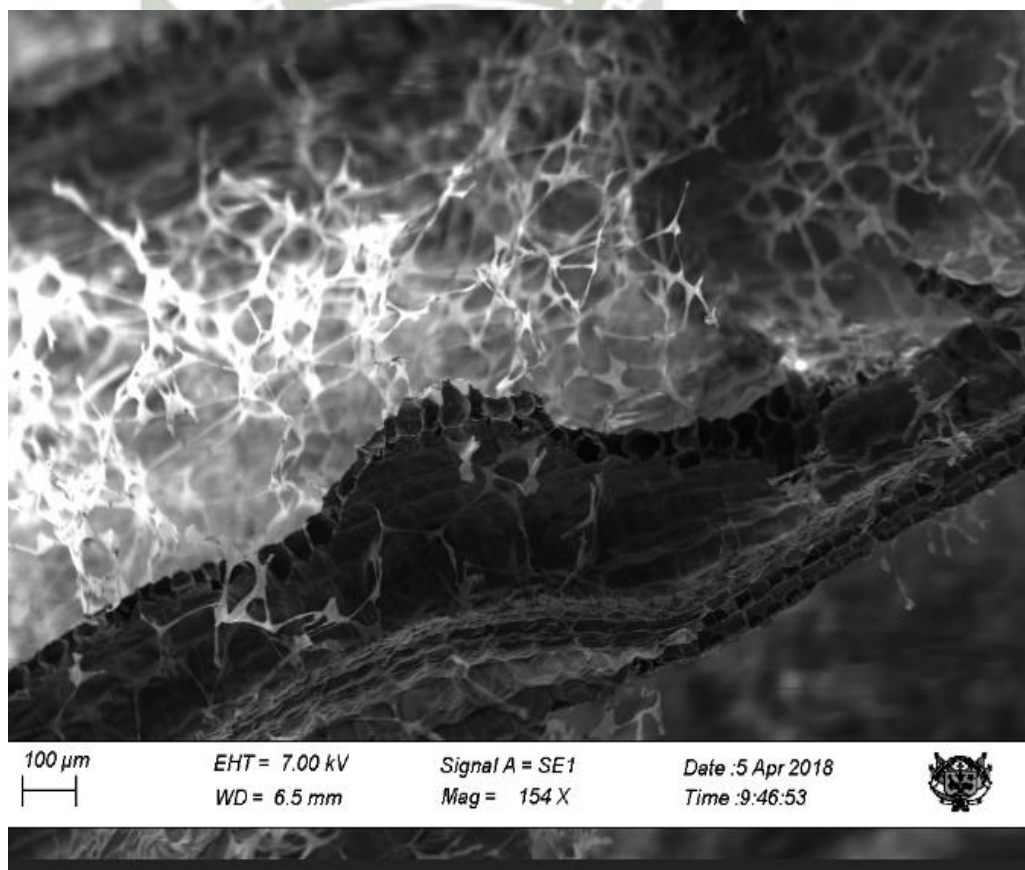


**Figura 16.** Determinación de la capacidad de absorción de agua de fibras naturales

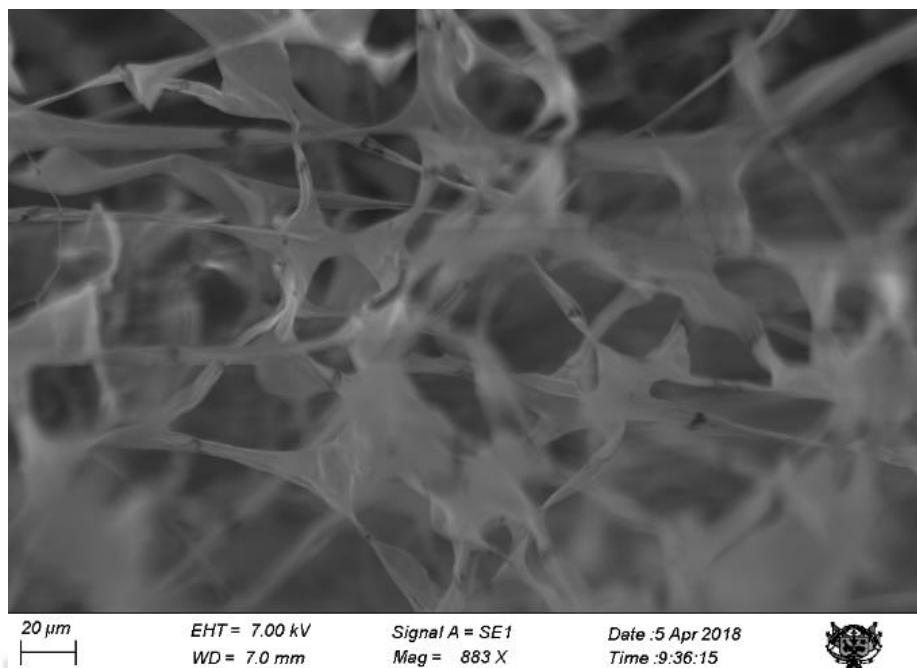
### Observación microscópica de la fibra de totora

Se realizaron tres microfotografías SEM de la fibra natural totora, dos de ellas de su estructura interna (Figura 18, Figura 19) y la última de su estructura interna (Figura 20).

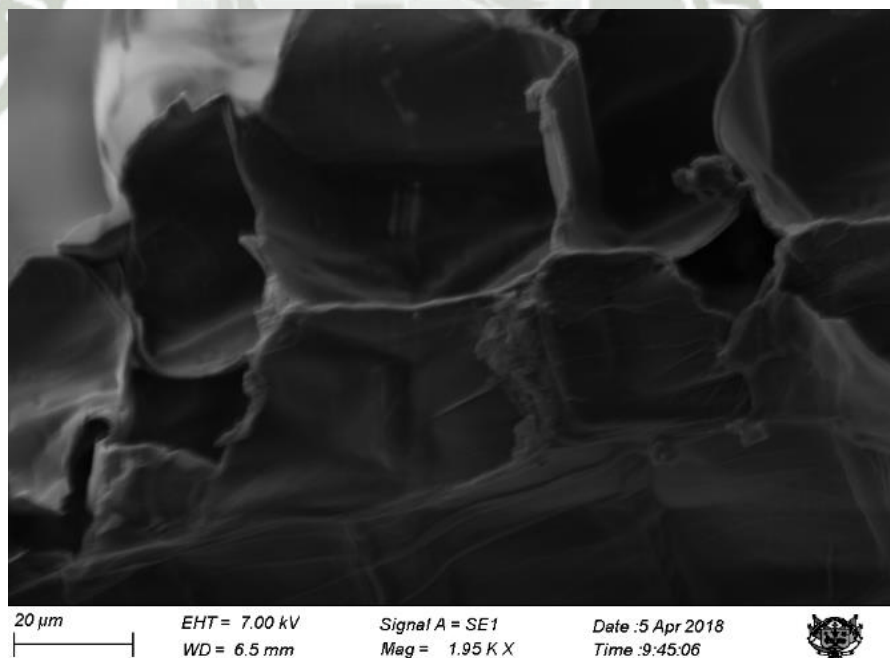
En ellas se puede observar su estructura ramificada que es una característica principal de esta planta lo que hace de la totora una opción ideal para el uso como refuerzo en la elaboración de biocompósito, ya que en estos espacios libres es posible la unión de las fibras con el componente plástico de los blister



**Figura 17.** Micrografía SEM de la estructura interna de totora



**Figura 18.** Microfotografía SEM de la estructura interna de totora



**Figura 19.** Microfotografía SEM de la estructura externa de totora

#### 4.8. Diseño y construcción de equipos

Se construyeron tres equipos para la fabricación de biocompuestos:

##### **Construcción de la picadora mecánica semi-industrial**

La picadora se construyó de tal manera que pueda ser operada en laboratorio, su función es la de reducción de tamaño tanto los blísteres como las fibras vegetales.

Está conformada principalmente por un soporte que tiene la función de sostener la estructura, cuerpo de la picadora en donde se encuentran las cuchillas especiales (cuchilla del rotor, cuchilla estática) y la cubierta por donde se alimenta el material. Esta máquina funciona a corriente trifásica con un motor de 3HP. La picadora ensamblada se puede observar en la Figura 20.

**PARTES:** Chaveta, chumacera, cubierta, cuchilla del rotor, cuchilla estática, cuerpo de la picadora, eje de la picadora, faja o correa, guarda de la polea, guarda del motor, motor de la picadora, polea del eje del motor, polea del eje de la picadora, tapa de la picadora.



**Figura 20.** Máquina picadora ensamblada y en funcionamiento

### **Construcción de la máquina mezcladora**

Se construyó la mezcladora con la finalidad de aunar los blister, las fibras vegetales y el adhesivo natural para la elaboración de los biocompósitos. Está conformada por paletas acopladas a un motorreductor que les confiere un giro especial a 1750 rpm para lograr un adecuado mezclado, posee también un sistema de control de temperatura automático que le brinda la temperatura ideal y constante para un mezclado eficaz ya que el adhesivo empleado funciona eficiente a una temperatura de 30°C. Esta máquina funciona a corriente trifásica con un motor de 4HP. La mezcladora ensamblada se puede observar en la Figura 21.

**Partes:** Acople del eje, chumacera, cobertor del rodamiento, cuerpo de la mezcladora, eje de la mezcladora, eje del motor, guarda del acople, motorreductor, paletas del medio y del costado, rodamiento, tapa.



**Figura 21.** Máquina mezcladora ensamblada

### **Construcción de la prensa manual**

Se construyó una prensa manual con la finalidad de obtener moldes de diferentes tamaños desde pequeños que sirven para realizar estudios hasta unos de mayor

tamaño que serán empleados en la construcción de mobiliario, adornos, módulos de vivienda demostrativos, etcétera. La prensa hidráulica manual funciona empleando una gata hidráulica que está acoplada a un medidor de presión que permite calcular la fuerza necesaria para esta etapa. La prensa ensamblada se puede observar en la Figura 22.

**Partes:** Gata hidráulica, soporte, moldes



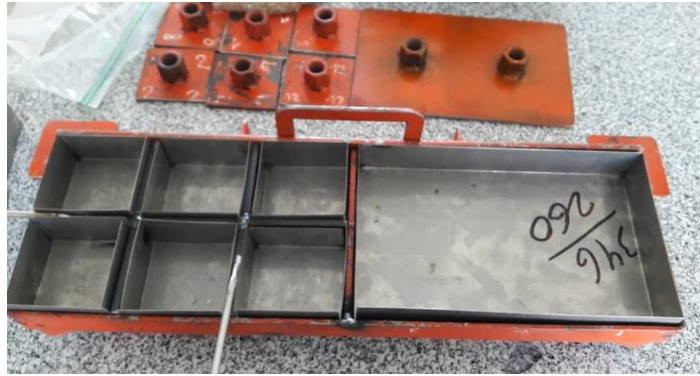
**Figura 22.** Prensa ensamblada

Los diseños detallados de cada máquina se pueden observar en el Anexo 2.

### **Construcción de los moldes**

El molde externo fue elaborado de fierro grueso con la finalidad de soportar la presión en el momento de prensado, este tiene como medidas 20 cm de ancho y 60 cm de largo. También se elaboraron seis moldes internos de 10 cm de ancho y 10 cm de largo con la finalidad de obtener moldes de tamaño no considerable para poder ser estudiados.

Los moles internos son desmontables y fueron elaborados con acero inoxidable de 1 mm de espesor, con el objetivo de permitir un tiempo menor de secado. Estos se pueden observar en la Figura23.



**Figura 23.** Moldes contruidos para un mejor secado

#### **4.3.Conformación del biocompósito**

##### **Pretratamiento a las fibras vegetales.**

Se logró retirar el 98% de agua presente en la fibra natural de totora.

##### **Trituración de materias primas.**

Tanto las fibras y los blister fueron reducidos de tamaño. En el caso de las fibras el tamaño de corte fue uniformizado, a diferencia de los blister que se obtuvo un tamaño de partícula pequeña y grande, para evaluar su comportamiento

##### **Proceso de mezclado.**

Se determinó que el proceso de mezclado podría durar entre los 40 a 80 minutos.

##### **Proceso de prensado.**

Se evaluaron diferentes tiempos de prensado, donde el ideal fue de 24 horas.

##### **Proceso de secado.**

Se determinó que el tiempo de secado ideal se encuentra entre 5 a 7 días.

#### **4.4.Optimización de la elaboración del biocompósito a partir del diseño experimental**

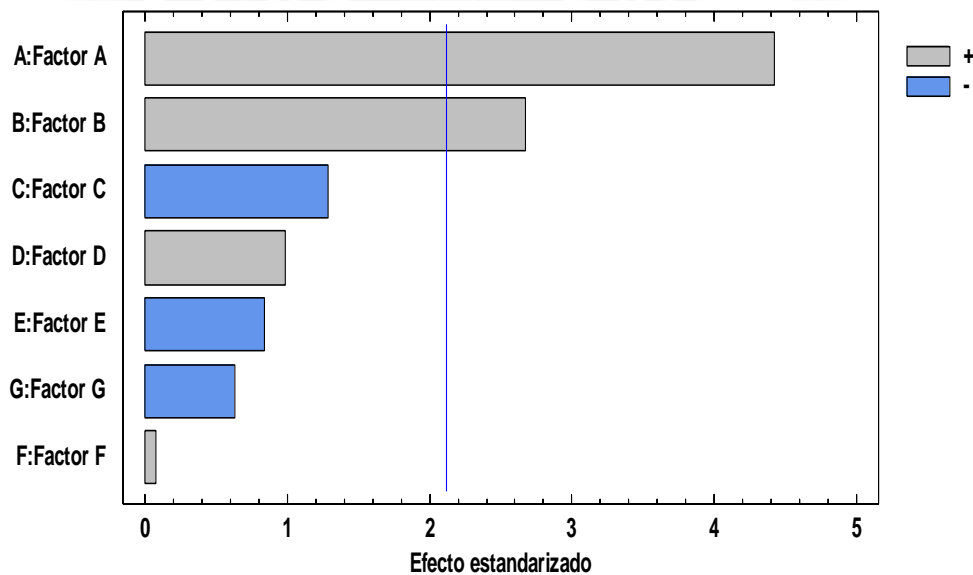
Se puede observar en la Tabla 8 los resultados obtenidos del ensayo a la resistencia a la compresión y flexión utilizando las diferentes variables.

**Tabla 8.** Matriz de resultados para la evaluación efectos significativos en el proceso de optimización de biocompósitos

TRATAM IENTO	VARIABLES REALES							RCN	RF
	A	B	C	D	E	F	G		
T1	CA	75	S	500	2	80	PE	15.79	77.18
T2	T	75	S	900	2	80	PE	73.2	689.54
T3	T	95	S	500	2	40	GR	9.86	45.32
T4	T	95	S	900	3	80	GR	60.19	438.67
T5	T	95	N	500	2	80	PE	15.24	33.19
T6	T	95	N	900	2	40	PE	22.38	226.76
T7	T	75	N	500	3	80	GR	62.22	515.17
T8	CA	95	N	500	3	40	GR	7.23	26.13
T9	CA	75	S	500	3	80	GR	20.36	220.34
T10	CA	75	N	500	2	40	PE	44.36	280.87
T11	T	75	N	900	2	80	GR	17.3	88.95
T12	T	95	S	500	3	80	PE	16.74	90.19
T13	CA	75	S	900	3	40	GR	25.78	107.85
T14	CA	95	S	500	3	40	PE	34.14	210.45
T15	CA	75	N	900	3	80	PE	10.65	52.98
T16	T	95	N	900	3	40	GR	11.8	64.83
T17	CA	95	S	900	2	40	PE	53.43	376.98
T18	CA	95	N	500	2	80	GR	6.32	33.19
T19	CA	95	S	900	2	80	GR	10.89	57.87
T20	CA	75	N	900	2	40	GR	6.98	23.54
T21	T	75	S	500	2	40	GR	56.57	390.65
T22	T	75	N	500	3	40	PE	16.23	34.23
T23	T	75	S	900	3	40	PE	50.73	360.35
T24	CA	95	N	900	3	80	PE	40.15	254.72

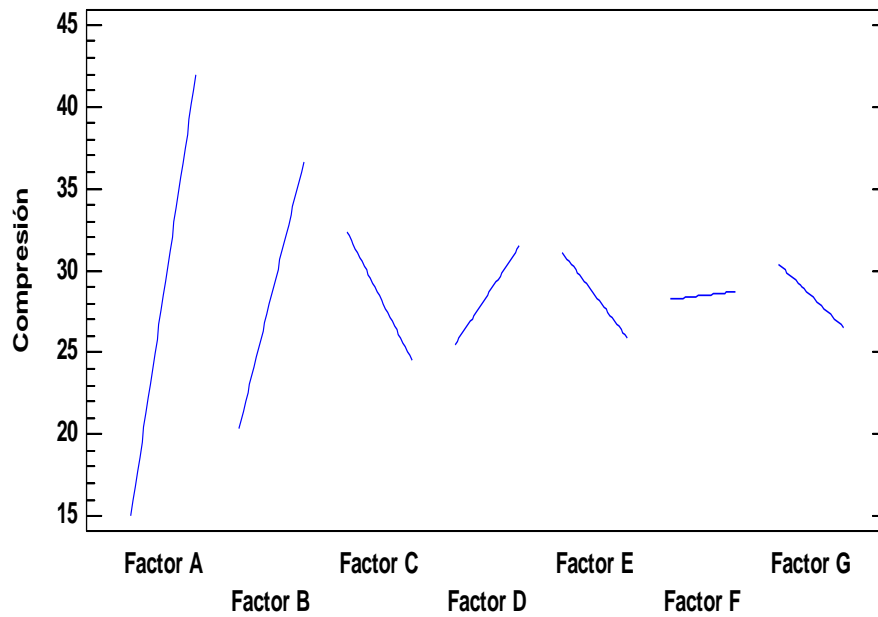
Según al diagrama de Pareto se logró determinar la magnitud y la importancia de los efectos. Como se observa en la figura 24 las barras del factor A (tipo de residuo vegetal empleado) y el factor B (relación RV/RP) cruzan la línea de referencia, esto quiere decir que son estadísticamente significativas.

Sin embargo, el factor C (Tipo de pegamento), factor D (Concentración de pegamento), factor E (espesor), factor F (Tiempo de mezclado), factor G (tamaño de partícula), están agrupadas en casi los mismos valores, estos factores cumplen un papel importante en la optimización, el factor G (Tamaño de partícula) no juega un papel muy importante en la elaboración del biocompósito.



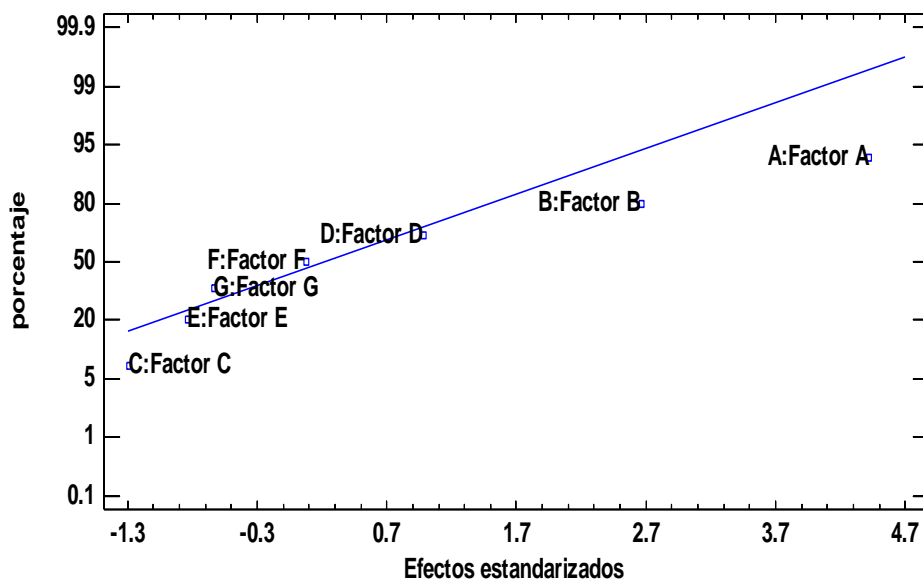
**Figura 24.** Diagrama de Pareto estandarizada para la respuesta compresión

Según la Gráfica de efectos principales, los factores de mayor impacto son el factor A y B, los factores C, D, F, G, tienen un efecto no significativo, mientras que el factor F no tiene ningún tipo de efecto.



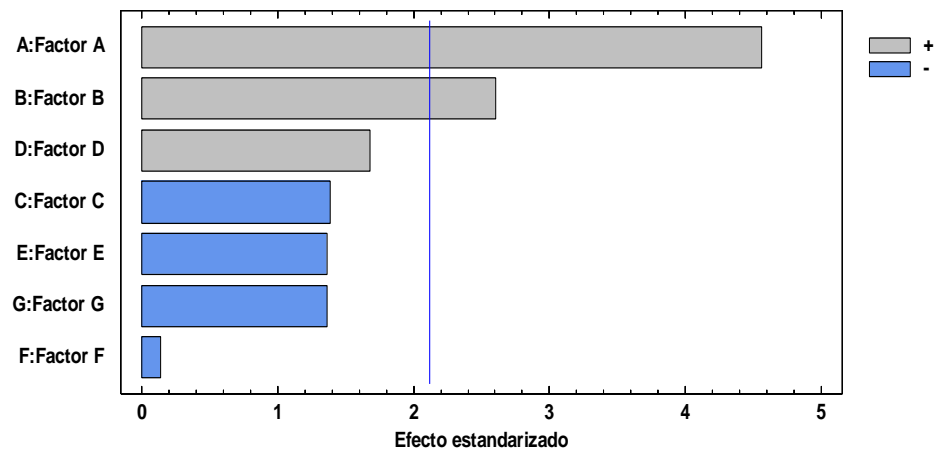
**Figura 25.** Gráfica de Efectos Principales para compresión

Según la gráfica de probabilidad, los efectos más distanciados de la recta son los que pueden ser significativos. Los efectos que parecen ser los significativos, son el factor A y B, los factores menos relevantes son el factor D, F, G, E, C



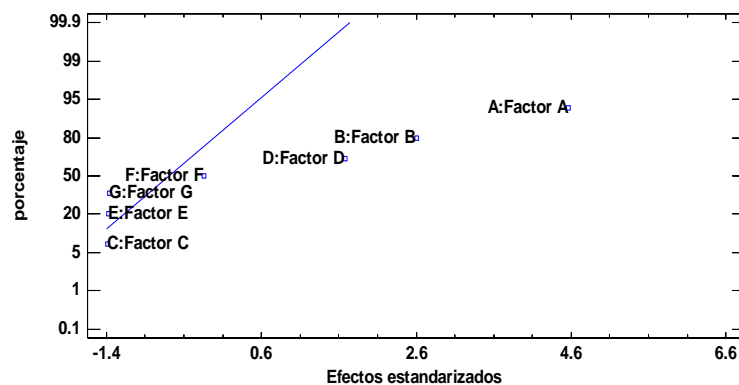
**Figura 26.** Gráfica de probabilidad normal para compresión

Como se observa en la figura 27 las barras del factor A (tipo de residuo vegetal empleado) y el factor B (relación RV/RP) cruzan la línea de referencia, esto quiere decir que son estadísticamente significativas. El factor D (Concentración de pegamento) tiene cierto grado de significancia. Mientras que el factor C (Tipo de pegamento), factor E (espesor), factor G (tamaño de partícula), están agrupadas en casi los mismos valores, estos factores cumplen un gran papel en la optimización, el factor F (Tiempo de mezclado) tiene un nivel de significancia bajo



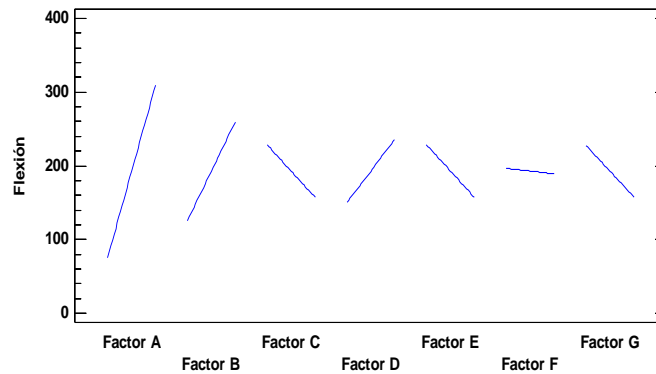
**Figura 27.** Diagrama de Pareto estandarizada para flexión

Según la gráfica de efectos principales, los factores de mayor impacto son el factor A y B, los factores C, D, F, G, tienen un efecto no significativo, mientras que el factor F no tiene ningún tipo de efecto.



**Figura 28.** Gráfica de efectos principales para flexión.

Según la gráfica de probabilidad, los efectos más distanciados de la recta que pasa por el son los que pueden ser significativos. Los efectos que parecen ser los significativos, son el factor A, B y D, los factores menos relevantes son el factor, F, G, E, C



**Figura 29.** Gráfica de probabilidad normal para flexión.

#### 4.5. Elaboración de los ladrillos tipo II base biocompuestos.

Dados los resultados según el análisis obtenido, se determinó el tipo de fibra a utilizar que es el caso de la totora, este es uno de los factores fundamentales en la elaboración del biocompuesto, por lo tanto, se utilizó la fibra como refuerzo en la fabricación del ladrillo a base biocompuesto ya que aporta mayores propiedades por su composición química lo que confieren una mayor resistencia a los ensayos mecánicos de compresión y flexión.

Se empleó como relación Residuo Plástico (blíster) Residuo Vegetal en un 85%, es decir, 25% de Residuo vegetal y un 75% de blíster ya que presenta un mejor acoplamiento de ambos componentes dejando menos espacios vacíos lo que también llevan a un mejor comportamiento.

El adhesivo empleado fue de origen natural en una cantidad de 900 mL que representa una mejor unión entre los componentes del biocompuesto, además de ello al ser elaborado a partir de desechos se utilizan menos recursos económicos haciendo que el

precio final del biocompósito sea menor y de esta forma esté al alcance de poblaciones de recursos bajos.

El espesor ideal fue de 2 cm ya que este tamaño permitió que el proceso de secado del biocompósito se de en una menor cantidad de tiempo lo que permitiría obtener mayor número de biocompósitos en el mercado.

El tiempo de mezclado es un factor importante puesto que este permite una mayor compenetración de los componentes utilizados para la elaboración del biocompósito, se determinó como tiempo ideal de mezcla 40 minutos ya que se vio si se utilizaba tiempos mayores la unión de los componentes se debilita haciendo más propenso su rompimiento.

El tamaño ideal de corte del blíster es pequeño, este tipo de corte permite que se genere menos espacios vacíos y una mayor unión incrementando su resistencia a diversas propiedades mecánicas, además de ello al utilizar este tamaño se logró obtener un biocompósito más uniforme y de mayor atracción visual.

Se elaboraron biocompósitos de tres tamaños diferentes: uno de 10 x 10 cm, que fue usado para determinas su propiedad mecánica, otro de 30 x 30 cm y el ultimo de 60 x 60 cm, con la finalidad de demostrar la factibilidad de su elaboración en tamaños mayores

#### **4.6. Caracterización de ladrillos tipo II base biocompósitos**

##### **Resistencia a la compresión.**

El resultado del ensayo de compresión nos brinda información para saber si el biocompósito elaborado logrará soportar grandes cargas, en la Tabla 9 se puede observar

que la carga máxima de soporte es de 75.06 Kg/cm<sup>2</sup>, indicándonos de esta manera que, si logra soportar un peso determinado de carga, aunque este no sea tan elevado.

Se tiene como resultado también que el valor de resistencia a la compresión es de 7.36 MPa, por lo que puede este material puede ser utilizado como un ladrillo tipo II para la construcción tipo lego, ya que estos tienen una resistencia a la compresión promedio de 6.92 MPa según la norma E 070 del registro Nacional de Edificaciones.

Los biocompósitos pueden ser usados también como un drywall modificado, ya que este presenta una resistencia a la compresión de 10.76 MPa. (100)

**Tabla 9.** Resistencia a la compresión de biocompósitos

ELEMENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
	(MPa)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
M-1	6.47	65.91
M-2	7.36	75.06
M-3	6.47	65.92

**Resistencia a la flexión.**

Se realizaron tres repeticiones al ensayo de flexión d teniendo como promedio 53.76 MPa, como se puede observar en la Tabla 10, este es un valor relativamente alto comparado al reportado en una investigación sobre la obtención de drywall que arroja un resultado de e 4,78 MPa.

Esto nos indica que el material tiene la de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente

**Tabla 10.** Resistencia a la flexión de biocompósitos

ELEMENTO	MODULO DE ROTURA	
	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
M-1	36.66	373.66
M-2	69	703.37
M-3	52.63	536.48

### Ensayo de contenido de orgánicos e inorgánicos

Según los resultados que se pueden observar en la Tabla 11, se puede indicar que a una temperatura de 600°C la degradación del material es de un 78.21%, teniendo como residuo un 21.79%, esto indica que por la capacidad autoignifuga que tiene el PVC el material no logra desintegrarse a su totalidad.

**Tabla 11.** Contenido de compuestos orgánicos e inorgánicos de biocompósitos

Muestra	Masas de ensayo (g)			Contenido de orgánicos (%)	Contenido de Inorgánicos (%)
	Crisol "m"	Muestra "mL"	C+M 600°C "m2"		
biocompósito	9.1261	1.0058	9.3453	78.21	21.79

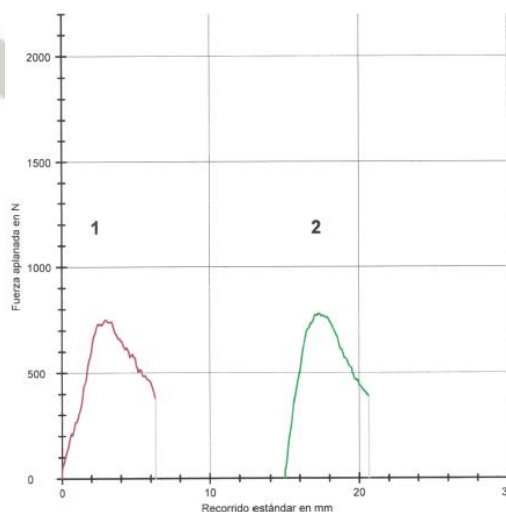
**Ensayo de resistencia al punzonado a alta velocidad.**

Este tipo de ensayo nos permitió conocer el comportamiento del material en presencia de las condiciones que provocan la rotura del mismo (101). Teniendo en cuenta que hay dos grandes clasificaciones según el comportamiento puede ser frágil o dúctil (102) Dados los valores del ensayo que se pueden observar en la Tabla 12, se determinó que es un material de comportamiento frágil, esto quiere decir que el nuevo material no admitirá ningún tipo de deformación antes de la ruptura.

**Tabla 12.** Ensayo de resistencia al punzonado a alta velocidad de biocompósitos

Muestras	Altura de caída (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima Registrada	Tipo de Fractura
1	566	11.5	750	<b>Frágil</b> Sin propagación a grieta
2	11.7	11.5	750	<b>Frágil</b> Sin propagación a grieta

Durante el ensayo se recogieron valores de fuerza aplicada y valores de desplazamiento del punzón, mediante un tratamiento de los datos se logró obtener la curva carga-desplazamiento del punzón, donde se puede observar que a 750 N en la curva 1 y a 777 N en la curva 2 , esto se puede observar en la Figura 30.



**Figura 30.** Curva carga-desplazamiento del punzón

**Ensayo de temperatura de reblandecimiento de VICAT.**

Los ensayos se trabajaron con una gradiente de temperatura de 50 °C con una carga de ensayo de 10 N y un recorrido de 1.0 mm.

**Tabla 13.** Ensayo de temperatura de reblandecimiento de VICAT de biocompósitos

MUESTRA	ESPESOR DE LA MUESTRA (mm)	TEMPERATURA DE RESBLANDECIMIENTO (°C)	TEMPERATURA DE RESBLANDECIMIENTO PROMEDIO (°C)
1	6.44	66.63	64.21
2	6.48	61.56	
3	6.27	64.44	

Con el efecto de la temperatura la mayoría de propiedades mecánicas de diversos materiales tienden a disminuir, en especial aquellos que están conformados por plástico ya que son sensibles a cambios de temperatura (103). Es por ello que el resultado de temperatura de reblandecimiento de VICAT da como resultado 64.21°C, por lo que se pudo concluir que dada la conformación porosa del material hace que la temperatura disminuya de 86°C, que es la temperatura de reblandecimiento de VICAT de PVC sin ningún tipo de tratamiento. Este descenso de temperatura se puede explicar dada la conformación del biocompósito ya que además de PVC contiene fibra de totora.

**Resistencia a la abrasión.**

El ensayo de abrasión, permitió conocer la durabilidad y la resistencia del material, como se observa en la Tabla 14 se tiene una masa inicial promedio de 38.32 g y una masa final promedio de 37.29 g, gracias a ello se puede decir que el material ensayado

se conserva en un 97 %, teniendo un volumen promedio de pérdida es de 1.395 mm<sup>3</sup>.

El biocompósito elaborado tiene una alta resistencia al desgaste.

**Tabla 14.** Resistencia a la abrasión de biocompósitos

REPETICIÓN	N° DE VUELTAS	MASA INICIAL (g)	MASA FINAL (g)	VOLUMEN (mm <sup>3</sup> )
1	94	18.7074	17.9091	1.077
2	94	57.9409	56.6718	1.713
PROMEDIO	94	38.3242	37.2905	1.395

**Resistencia al desgarro.**

Con los datos obtenidos se puede determinar que el biocompósito tiene una resistencia al aplicar una fuerza de 210.9 N, como se puede observar en la Tabla 15, en donde se puede observar su punto de rotura, entonces el formulado posee una resistencia media al desgarro.

**Tabla 15.** Resistencia al desgarro de biocompósitos

REPETICIÓN	Resistencia a la tracción (N)
1	277.7
2	144.0
PROMEDIO	210.9

**Ensayo de densidad.**

Según este valor se puede deducir que el material elaborado será de un peso bajo a cualquier tamaño. La densidad obtenida es también menor que la densidad del PVC puro

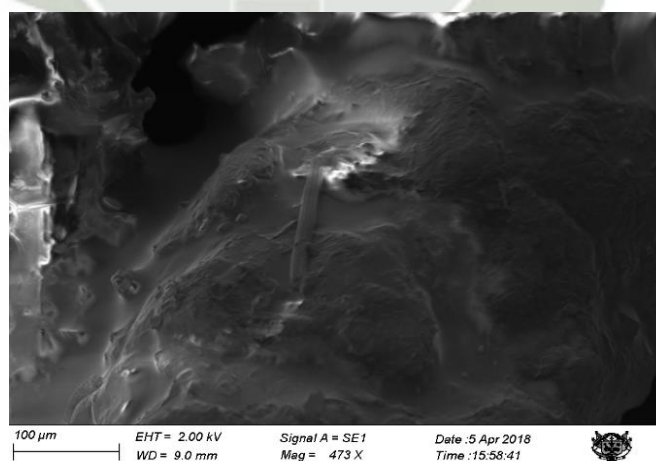
que es de 1.4 g/cm<sup>3</sup>, esto es un indicador que el plástico PVC presente en los blísteres llega a complementarse adecuadamente con la fibra natural de totora.

**Tabla 16.** Ensayo de densidad de biocompósito

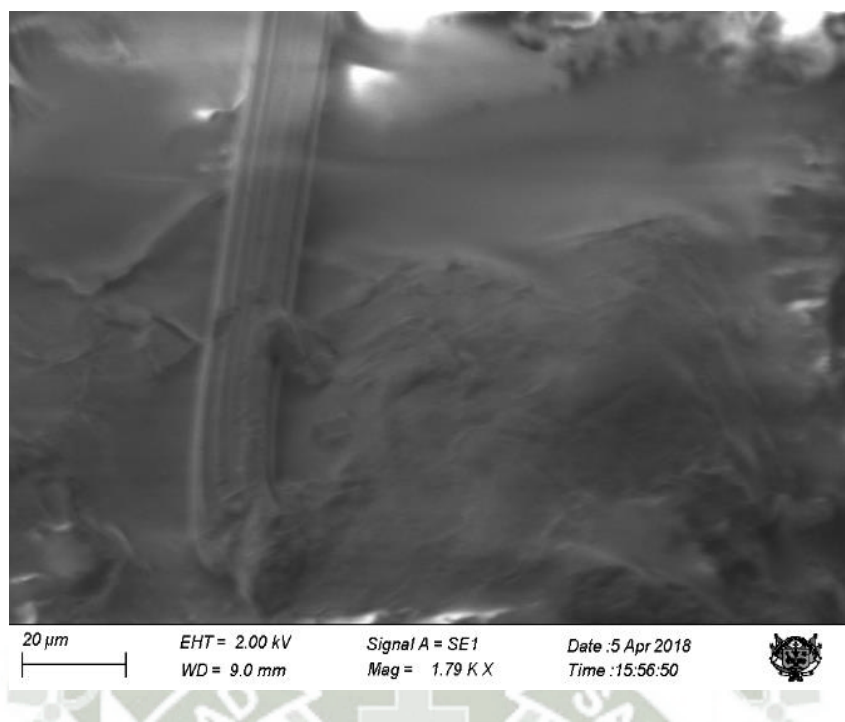
REPETICIÓN	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
1	0.732
2	0.720
3	0.720
4	0.765
5	0.770
PROMEDIO	0.741

### Microscopía electrónica de barrido.

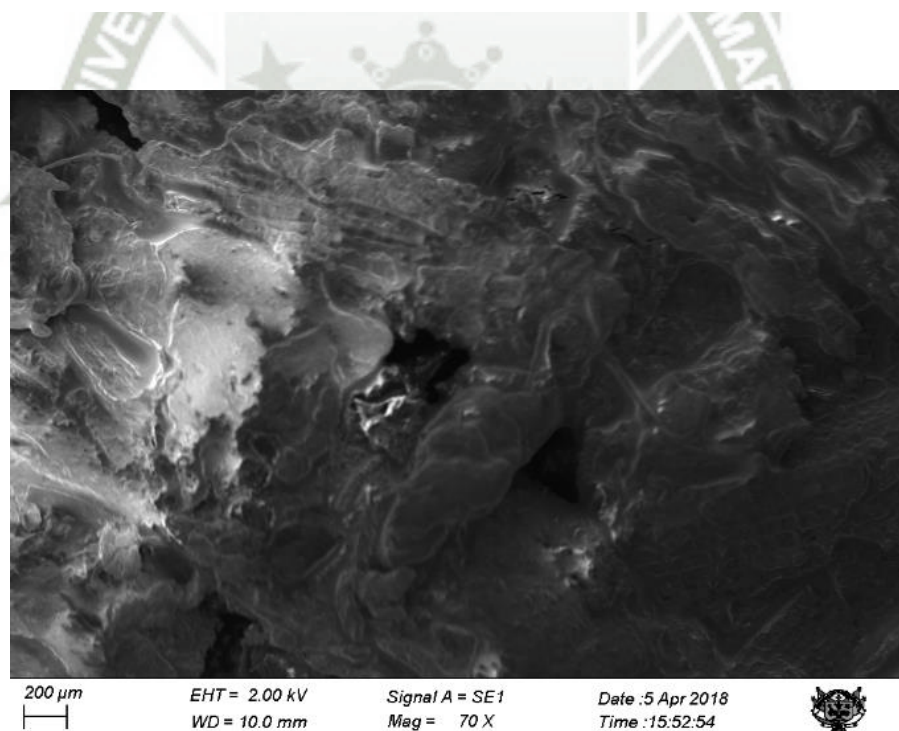
Mediante al ensayo de microscopia se puede observar el tipo de unión que se da entre la fibra natural y los blíster, estos materiaLES llegan a complementarse, la fibra llena los espacios vacíos que se forman entre los blíster (Figura 32, Figura 33). Se puede observar que el material es rugoso y que pese al uso de las fibras naturales aún se generan espacios vacíos (Figura 32)



**Figura 31.** Microfotografía SEM de la estructura interna del biocompósito



**Figura 32.** Microfotografía SEM de la estructura interna del biocompósito



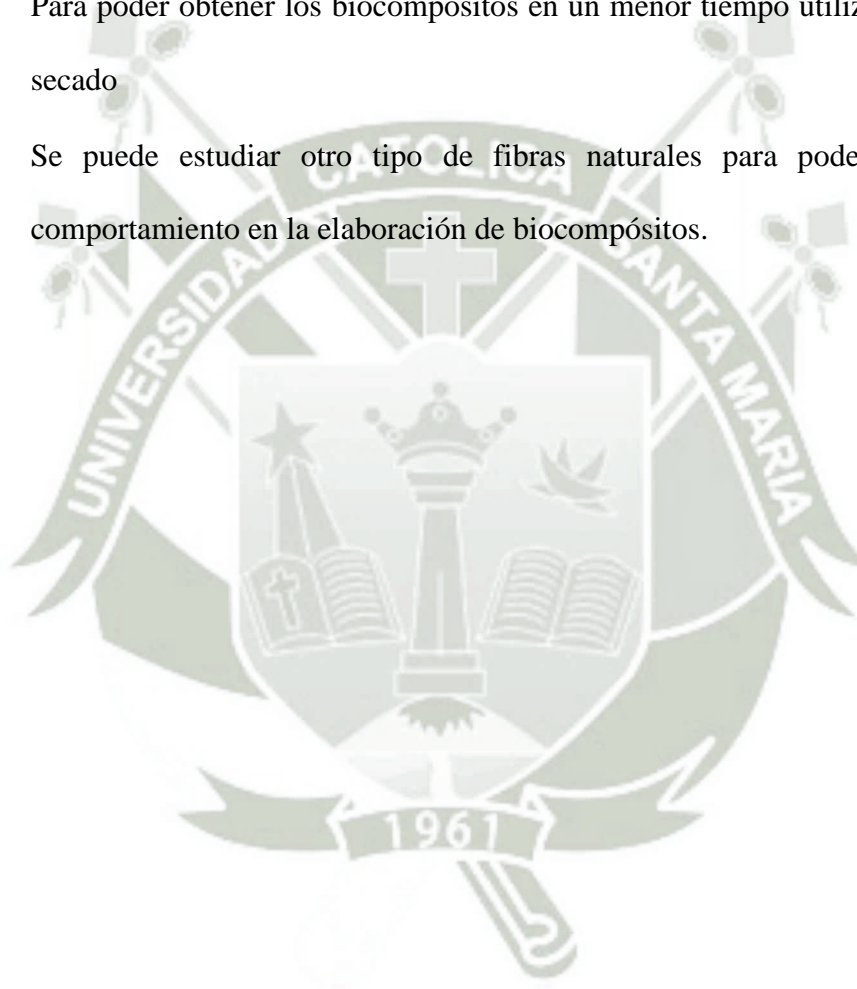
**Figura 33.** Microfotografía SEM de la estructura interna del biocompósito

## CONCLUSIONES

- Se logró elaborar biocompósitos para ser utilizados como ladrillos tipo II con buena resistencia a la compresión y flexión a partir de desechos farmacéuticos blíster, fibras naturales de totora y residuos de camal como adhesivo.
- Se caracterizó estructural y funcionalmente biocompósitos optimizados para su uso como ladrillos tipo II en la industria de la construcción.
- Se construyó máquinas (picadora mecánica, mezcladora y prensa), que en conjunto conforman la tecnología para la elaboración de los biocompósitos, además de ello estas pueden ser utilizadas para otro tipo de procesos.
- Se logró optimizar el proceso utilizando un diseño estadístico del cual se obtuvo la mezcla y parámetros ideales para el proceso de elaboración de biocompósitos para ser utilizados como ladrillo tipo II.

## RECOMENDACIONES

- Para el caso de la elaboración de biocompósitos, si se desea obtener planchas de mayor tamaño es posible incluir una estructura interna, de esta manera se puede obtener un biocompósito con mejores propiedades.
- En el caso de la elaboración de ladrillos, se pueden realizar un número mayor de pruebas para que este tipo de material tenga un mayor sustento
- Para poder obtener los biocompósitos en un menor tiempo utilizar otro tipo de secado
- Se puede estudiar otro tipo de fibras naturales para poder observar su comportamiento en la elaboración de biocompósitos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Oksman K, Skrifvars M, Selin JF. Composite Science and Technology. Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. 2003; 63(1317–1324).
2. Bajpai PK, Singh I, Madaan J. Frictional and adhesive wear performance of natural fibre reinforced polypropylene. Proceedings of the Institution of. 2013; 227(385–392).
3. Huda MS, Drzal LT, Mohanty AK, Misra M. The effect of silane treated- and untreated-talc on the mechanical and physico-mechanical properties of poly(lactic acid)/newspaper fibers/talc hybrid composites. Composites Part B: Engineering. ; 38(3): p. 367-379.
4. Oksman K, Skrifvars M, Selin JF. Natural fibers as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. Composite Science and Technology. 2003; 63: p. 1317-1324.
5. Singh I, Bajpai PK, Malik D, Madan J, Bhatnagar N. Microwave Joining of Natural Fiber Reinforced Green Composites. Advanced Material Research. 2012; 410(102–105).
6. Rao R, Davim J. A decision-making framework model for material selection using a combined multiple attribute decision-making method. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2008; 35: p. 751-760.
7. Liu Y, Hu H. X-ray diffraction study of bamboo fibers treated with NaOH. Fibers and Polymers. 2008; 9(6): p. 735–739.
8. Miao M, Finn N. Conversion of Natural Fibres into Structural Composites. Journal of Textile Engineering. 2008; 6: p. 165–177.
9. Dalalah D, Al-Oqla FM F, Hayajneh M. Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in MultiCriteria Analysis of the Selection of Cranes. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. 2010; 5: p. 567-578.
10. Ashby M, Johnson K. Materials and design: the art and science of material selection in product design. In.: Elsevier; 2013.
11. Arias T. Glosario de medicamentos: desarrollo, evaluación y uso. In Leon J, editor.. Washington, D.C; 1999. p. 30.
12. Flores R, Ocola J. Contaminación y Gestión Ambiental de la Bahía Interior de Puno – Lago Titicaca: Realidad Crítica y Aportes. Universidad Nacional del Altiplano P, editor.; 2007.

13. Masuelli M. Fiber Reinforced Polymers The Technology Applied for Concrete Repair: InTech, Rijeka; 2013.
14. Fowler PA, Hughes JM, Elias RM. Biocomposites: Technology, environmental, credentials and market forces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2006; 86(1781–1789).
15. AL-Oqla F, Sapuan S. Enhancement selecting proper natural fiber composites for industrial applications. In *Postgraduate symposium on composites science and technology 2014 & 4th postgraduate seminar on natural fibre composites*; 2014; Putrajaya, Selangor, Malaysia.
16. Jacob M, Thomas S, Varughese KT. Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fiber reinforced natural rubber composites. *Composites Science and Technology*. 2004; 64(955-965).
17. Mohanty A, Misra M, Drzal L. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*. 2002; 10(1): p. 19-26.
18. John MJ, Thomas S. Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*. 2008; 71(3): p. 343-364.
19. Ashori A, Nourbakhsh A. Bio-based composites from waste agricultural residues. *Waste Management*. 2010; 30(4): p. 680-684.
20. Majeed K, Jawaid M, Hassan A, Abu Bakar A, Abdul K. Potential materials for food packaging from nanoclay/natural fibres filled hybrid composites. *Materials & Design*. 2013; 46: p. 391-410.
21. AL-Oqla F, Sapuan SM S, Anwer T, Jawaid M, Hoque M. Natural fiber reinforced conductive polymer composites as functional materials: A review. *Synthetic Metals*. 2015; 206: p. 42-54.
22. Ho MP, Wang H, Lee JH, Ho CK, Lau KT, Leng J. Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. *Composites Part B: Engineering*. 2012; 43(8): p. 3549–3562.
23. Satyanarayana KG, Arizaga GC, Wypych F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. *Progress in Polymer Science*. 2009; 34(982–1021).
24. Mohanty AK, Misra M, Hinrichsen G. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2000; 276(1-24).

25. Netravali AN, Chabba S. Composites get greener. *Materials Today*. 2003; 6(22-29).
26. Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. Sustainable bio-composites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*. 2002; 10.
27. Misnon MI, Islama MM, Epaarachchi JA, Lau KT. Potentiality of utilising natural textile materials for engineering composites applications. *Materials and desing*. 2014; 59(359-368).
28. Lee JT, Kim MW, Song , Kang TJ, Youn JR. Mechanical properties of denim fabric reinforced poly(lactic acid). *Fibers Polymers*. 2010; 11: p. 60-66.
29. Yong CAO, Yi-qiang WU. Evaluation of statistical strength of bamboo fiber and mechanical properties of fiber reinforced green composites. *Journal of Central South University of Technology*. 2008; 15: p. 564-567.
30. Huda MS, Drzal LT, Mohanty AK, Misra M. Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibers in injection molded poly(lactic acid) (PLA) composites: A comparative study. *Composites Science and Technology*. 2006; 66: p. 1813-1824.
31. O'dell JL. Natural fibers in resin transfer molded composites. In *The Fourth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*; 1997. p. 280-285.
32. Kalia S, Avérous L, James Njuguna J, Alain Dufresne A, Cherian B. Natural fibers, bio and nanocomposites. In *International Journal of Polymer Science*; 2011. p. 2.
33. Faruk O, Bledzki A, Fink HP, Sain M. Biocomposites reinforced with natural fibers. *Progress in Polymer Science*. 2012; 37(11).
34. Khalid Rehman H, Mohammad J, Rashid U. *Biomass and bioenergy: processing and properties*. 1st ed.: Springer International Publishing, Cham; 2014.
35. Alves C, Ferrão P, Silva A, Reis L, Freitas M. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*. 2010; 18(4): p. 313-327.
36. Mir A, Zitoune R, Collombet F, Bezzazi B. Study of Mechanical and Thermomechanical Properties of Jute/Epoxy Composite Laminate. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2009; 29(11): p. 1669-1680.
37. Sarikanat M. The Influence of Oligomeric Siloxane Concentration on the Mechanical Behaviors of Alkalized Jute/Modified Epoxy Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2009; 29(6): p. 807-817.

38. Mohanty AK, Misra M, Drza. Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview. *Chemical Engineering and Materials Science*. 2001; 8(5): p. 313-343.
39. Bismarck A, Mishra S, Lampke T. Plant fibers as reinforcement for green composites. In Mohanty AK, Misra M, Drzal , editors. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. Boca Raton: Taylor & Francis Group; 2005. p. 37.
40. Susheel K. Natural Fibers as Enzyme Substrates. In *Biodegradable Green Biocomposites*.; 2016. p. 47-50.
41. Ciechanska D, Wesolowska E, Wawro D. An introduction to cellulose fibres. In Eichhorn SJ, Hearle JWS, Jaffe M, Kikutani T, editors.. Cambridge: Woodhead Publishing Limited; 2009. p. 3.
42. Nevell TP T, Zeronian S. *Cellulose chemistry and its applications*: New York: Wiley; 1985.
43. Müssig J. *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*. In.: John Wiley & Sons; 2010.
44. Fink H, Ganster J, Fraatz J. *Viskose chemistry seminar challenges in cellulosic man-made fibres*.; 1994.
45. Gibson LJ. The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of the royal society interface*. 2012; 9.
46. Focher B. Physical characteristics of flax fibre. In Sharma HSS, van Sumere CF. *The Biology and Processing of Flax*. Belfast: M Publications; 1992. p. 11.
47. Bledzki , Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in polymer science*. 1992; 24(221-274).
48. Tejado A, Peña C, Labidi J, Echeverria JM J, Mondragon I. Physico-chemical characterization of lignins from different sources for use in phenol-formaldehyde resin synthesis. *Bioresource Technology*. ; 98(1655-63).
49. Doherty WOS, Mousavioun P, Fellows CM. Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. In *Industrial Crops and Products*.: Ind. Crop; 201. p. 259–276.
50. Agarwal K, Prasad M, Sharma R, Setua D. Novel bio-degradable lignin reinforced NBR. *International Journal of Energy Engineering (IJEE)*. 2014; 4(2): p. 47-62.
51. González Sánchez C, Alvarez L. Micromechanics of lignin/polypropylene composites suitable for industrial applications. *Macromolecular materials and engineering*. 2000.

52. Satheesh Kumar M, Mohanty A, Erickson L, Misra M. Lignin and Its Applications with Polymers. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*. 2009.
53. Stiubianu G, Cazacu M, Cristea M, Vlad A. Polysiloxane-lignin composites. *Journal of Applied polymer science*. 2009.
54. Dias O, Negrão D, Silva R, Funari C, Cesarino I, Leao A. Studies of lignin as reinforcement for plastics composites. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2016; 68.
55. Kai D, Tan M, Chee P, Chua Y, Yap Y, Loh X. Towards lignin-based functional materials in a sustainable world. *Green Chemistry*. 2016; 5.
56. Mohanty AK, Misra, M M, Drzal LT, Selke SE. Natural fibers, biopolymers and biocomposites. 1st ed.; 2005.
57. Niska KO, Sain M. *Wood-Polymer Composites* Cambridge: Woodhead Publishing Limited; 2008.
58. Windham WR, Petersen JC, Terrill TH. Tannins as anti-quality factors in forage. In Akin DE, Ljungdahl LG, Wilson JR, Harri PJ. *Microbial and Plant Opportunities to Improve Lignocellulose Utilization by Ruminants*. New York: Elsevier; 1990. p. 127.
59. Morrison H, Holser R, Akin DE. Cuticular wax from flax processing waste with hexane and super critical carbon dioxide extractions. *Industrial Crops and Product*. 2016; 24(119-122).
60. Ren X, Qiu R, Li K. Modifications of kenaf fibers with N-methylol acrylamide for production of kenaf-unsaturated polyester composites. *Applied polymer science*. 2012; 125(4): p. 2846–2853.
61. Ren X, Qiu R, Fifield L, Simmons K, Li K. Effects of Surface Treatments on Mechanical Properties and Water Resistance of Kenaf Fiber-Reinforced Unsaturated Polyester Composites. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2012 26; 18-19: p. 2277–2289.
62. Qiu R, Ren X, Li K. Effect of fiber modification with a novel compatibilizer on the mechanical properties and water absorption of hemp-fiber-reinforced unsaturated polyester composites. *Polymer Engineering and Science*. 2012; 52(6): p. 1342–1347.
63. Fuqua M, Huo S, Ulven C. Natural fiber reinforced composites. *Polymer Reviews*. 2012; 52: p. 259-320.
64. Bledzki A, Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*. 1999; 24(2): p. 221-274.

65. C T, Paredes C, Simbaña A, Bermúdez J. Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. *Revista Tecnológica ESPOL*. 2006; 19(113-120).
66. Koronis G, Silva A, Fontul M. Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Compos Part B Engineering*. 2013; 44(1): p. 120-127.
67. AL-Oqla F, Sapuan S, Ishak M, Nuraini A. A novel evaluation tool for enhancing the selection of natural fibers for polymeric composites based on fiber moisture content criterion. *BioResources*. 2014; 10(1).
68. AL-Oqla FM F, Sapuan S, Ishak M, Nuraini A. Predicting the potential of agro waste fibers for sustainable automotive industry using a decision making model. *Comput Electron Agric*. 2015; 113: p. 116-127.
69. Sapuan S, Pua FI, El-Shekeil Y, AL-Oqla F. Mechanical properties of soil buried kenaf fibre reinforced thermoplastic polyurethane composites. *Materes Des*. 2013; 50: p. 467–470.
70. AL-Oqla F, Sapuan S, Ishak M, Nuraini A. A novel evaluation tool for enhancing the selection of natural fibers for polymeric composites based on fiber moisture content criterion. *BioResources*. 2014; 10(1): p. 299–312.
71. M J, Abdul Khalil H. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers*. 2011; 86(1): p. 1-18.
72. AL-Oqla F, Sapuan S, Ishak M, Nuraini A. Decision making model for optimal reinforcement condition of natural fiber composites. *Fibers and Polymers*. 2015; 16(1): p. 153-163.
73. Azwa Z, Yousif B, Manalo A, Karunasena W. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Materials & Design*. 2013; 47.
74. Thakur V, Singha A, Thakur M. Biopolymers Based Green Composites: Mechanical, Thermal and Physico-chemical Characterization. *Journal of Polymers and the Environment*. 2012; 20(2).
75. Reyes J, Saez C. La Totorá: Un recurso de uso múltiple de los humedales alto andinos. RNT. In. Puno-Perú; 2004. p. 103-118.
76. Honaine MF, Borrelli NL, Osterrieth M. Amorphous silica biomineralizations in *schoenoplectus californicus* (cyperaceae): their relation with maturation stage and silica availability. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 4. 2013; 48(247–259).

77. Hidalgo-Cordero JF, García-Navarro J. Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material. *Industrial Crops & Products*. 2018; 112(467-480).
78. PELT-ADESU. Evaluación de la Totora Puno; 2000.
79. Prieto G. Balsas de totora en la costa norte del Perú: Una aproximación etnográfica ú: Una aproximación etnográfica. 2nd ed.: Quingnam; 2016.
80. Ninaquispe L, Weeks S, Huelman. Totora: a sustainable insulation material for the andean parts of Peru. In LEA2012 – 28th Conference, Opportunities Limits & Needs Towards an Environmentally Responsible Architecture.; 2012.
81. Pilchik R. Pharmaceutical Blister Packaging, Part I: Rationale and Materials. *Pharmaceutical Technology*. 2000.
82. Al-Achi A, Craig W, Ram M. *Integrated Pharmaceutics: Applied Preformulation, Product Design, and Regulatory Science*. 1st ed. New Jersey, Estados Unidos; 2013.
83. Rodríguez Sepúlveda LJ. Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales, Colombia; 2014.
84. Briscoe B, Sinha S. Wear of polymers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 2002; 216(6): p. 401-413.
85. Parro C. *Diccionario de Arquitectura y Construcción*. 2015. (Definición).
86. Dibyendu S, Bhanu N, Sarfaraz A, Kandpal L, Manthur L. Density measurements of plastics - A simple standard test method. *Indian Journal of Chemical Technology*. 2003; 10: p. 561-563.
87. Espezua Leiva E, Ponce Orellana E. Preparación de un compuesto de maiz termoplástico de ácido poliláctico (PLA) reforzado con fibra de yute. tesis. Universidad Católica de Santa María, Arequipa; 2015.
88. Redondo Herrero. Caracterización de laminados de fibra de carbono-epoxi reforzados con óxido de grafeno. Tesis master. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia; 2014.
89. Acosta Iborra B. Desarrollo y validación de una nueva técnica de ensayo no destructivo, basada en el potencial termoeléctrico, para el conocimiento del envejecimiento de los aceros de vasija de reactores nucleares. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid; 2001.

90. Lulichac Sáenz FC. Determinación de las propiedades físico - mecánicas de las unidades de albañilería en la provincia de Cajamarca. Tesis. Cajamarca: Universidad priva del norte; 205.
91. Barbáchano Dehesa H. Aplicación del ensayo miniatura de punzonado para la determinación de los parámetros de fractura de aceros. Burgos: Universidad de Burgos; 2012.
92. Bouza Padín R. Diseño y caracterización de nuevos materiales compuestos polipropileno y madera: estudio del viniltrimetoxisilano como agente de acoplamiento. Universidad de a Coruña; 2008.
93. Barranzuela J. Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura. Tesis de pregrado. ; 2014.
94. Alvarez A, Pizarro C, Folgueras M. Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico. Tesis. ; 2013.
95. Withdrawn. Method of test for holocellulose in wood. 1985. norm.
96. Li X, Tabil L, Panigrahi S. Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review. Journal of Polymers and the Environment. 2007; 15(1): p. 25-33.
97. Rayung M, Ibrahim N, Zainuddin N, Saad W, Razak N. The Effect of Fiber Bleaching Treatment on the Properties of Poly(lactic acid)/Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Composites. International Journal of Molecular Sciences. 2014; 15(8): p. 14728–14742.
98. Arshanitsa A, Ponomarenko J, Dizhbite T, Andersone A, Gosselink R, Van der Putten J, et al. Fractionation of technical lignins as a tool for improvement of their antioxidant properties. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. ; 2013(103): p. 78-85.
99. César J, Pedro V, Alejandro D. Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción. Tesis. México: Universidad Autónoma de Nuev, Facultad de Ingeniería Civil; 2003.
100. Oliver-Ramírez , García-Santos A, Neila-González FJ. Caracterización física y mecánica de placas de yeso con materiales de cambio de fase incorporados para almacenamiento de energía térmica mediante calor latente. Materiales de Construcción. 2011; 61(303).
101. Barbáchano Dehesa HL. Aplicación del ensayo miniatura de punzonado para la determinación de los parámetros de fractura de aceros. Tesis doctoral. ; 2012.

102. Aponte Rodríguez J, Villazón Amaris H. Aspectos básicos de los materiales usados en ingeniería. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 2001; 11: p. 35-40.
103. Yanai HS, Freund WJ, Carter OL. Determination of the deflection temperature under load, vicat softening temperature, and clash-berg tf of plastics by a new method. Thermochemica Acta. 1972; 4.



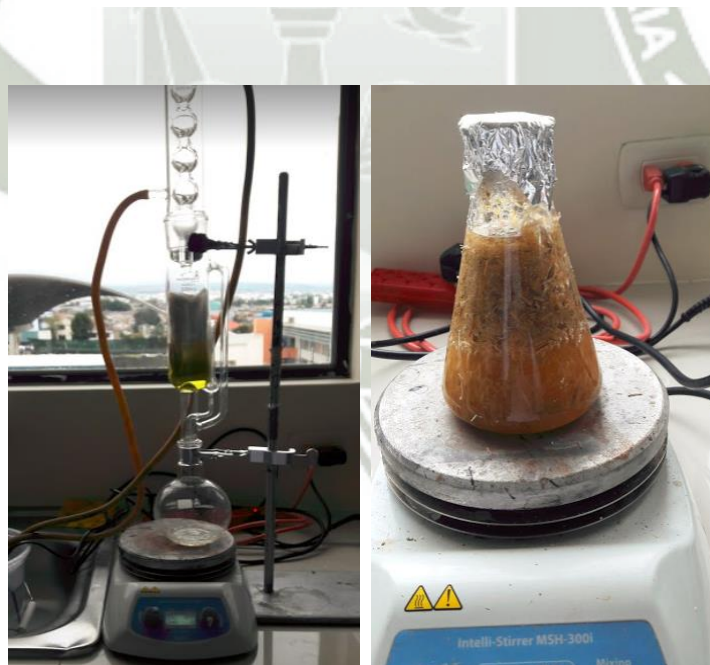
## ANEXOS

### ANEXO 1. GALERÍA FOTOGRÁFICA

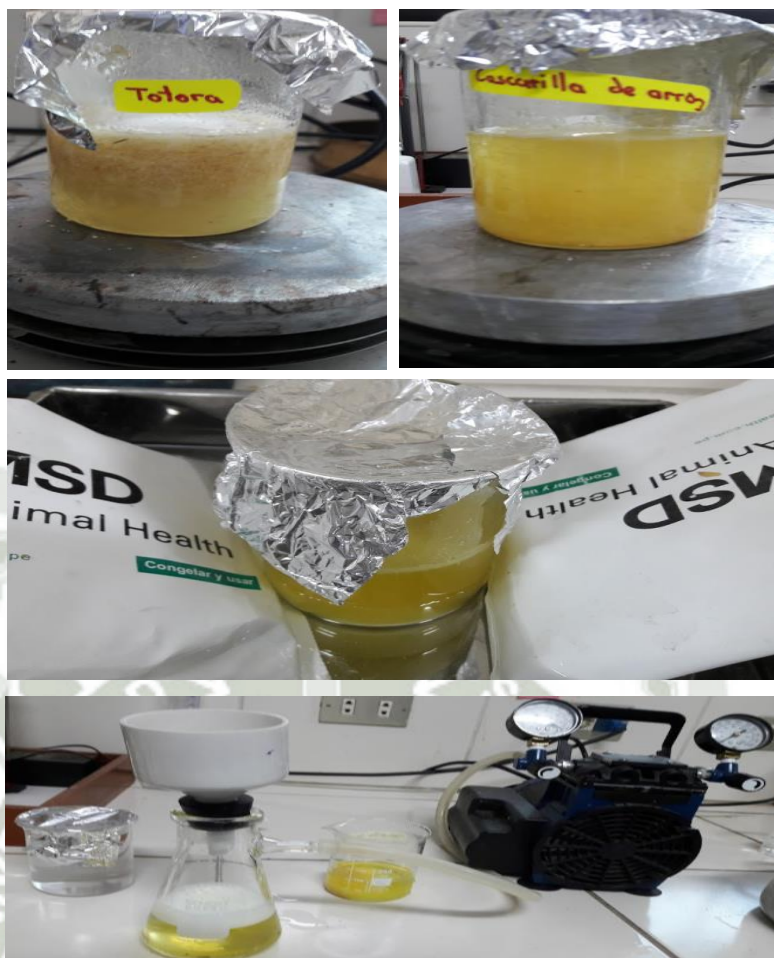
Este anexo presenta una galería fotográfica de todo el procedimiento para la obtención de ladrillos tipo II a base de biocompuestos.



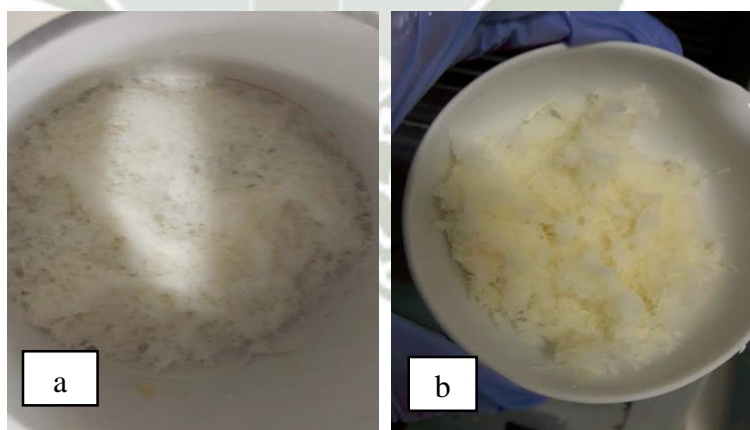
**Figura 34.** Procedimiento para la determinación de extraíbles



**Figura 35.** Procedimiento para la determinación de extraíbles



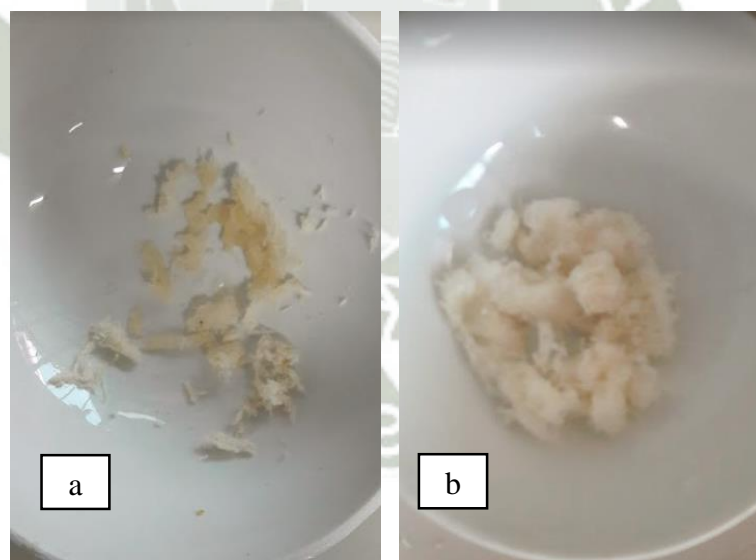
**Figura 36.** Procedimiento para la determinación de hemicelulosa



**Figura 37.** Hemicelulosa obtenida. (a) cascarilla de arroz. (b) totora.



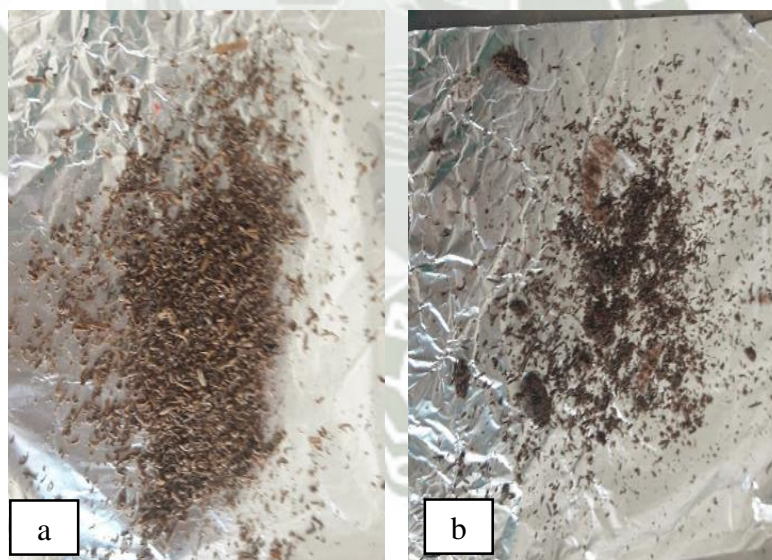
**Figura 38.** Procedimiento para la determinación de celulosa



**Figura 39.** Celulosa obtenida (a) cascarilla de arroz. (b) totora.



**Figura 40.** Procedimiento para la obtención de lignina



**Figura 41.** Lignina obtenida (a) cascarilla de arroz. (b) totora.



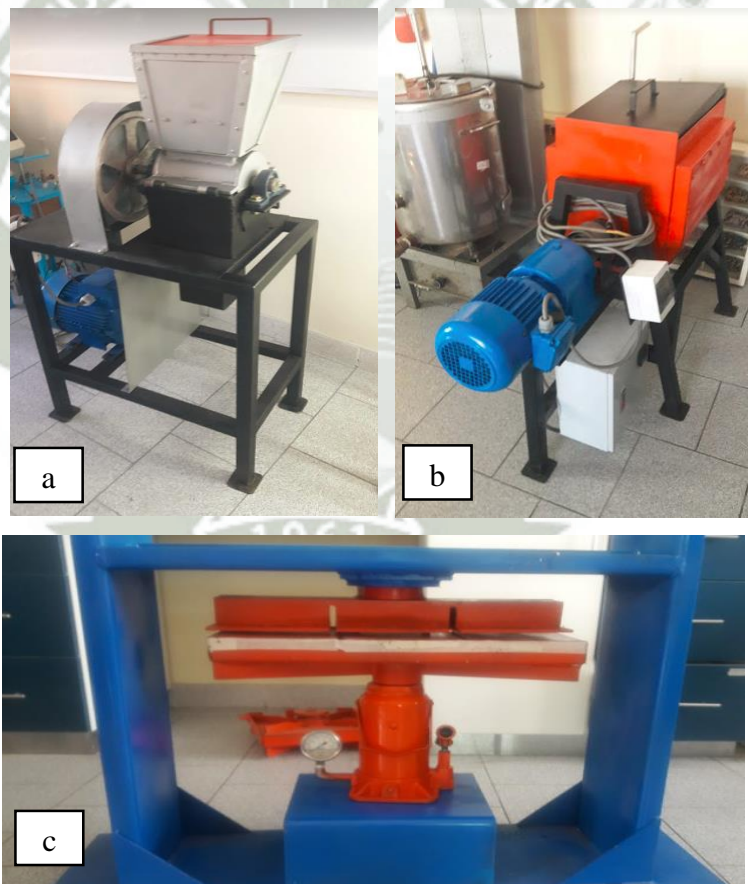
**Figura 44.** Procedimiento para la elaboración del adhesivo a base de residuos de camal.



**Figura 45.** Construcción inicial del sistema tecnológica para la elaboración de los biocompósitos.



**Figura 46.** Proceso de mezclado en la elaboración del biocomposito



**Figura 47.** Construcción final del sistema tecnológica para la elaboración de los biocompositos. (a) picadora mecánica, (b) mezcladora mecánica, (c) prensa



**Figura 48.** Moldes con diferentes mezclas listas para el proceso de secado

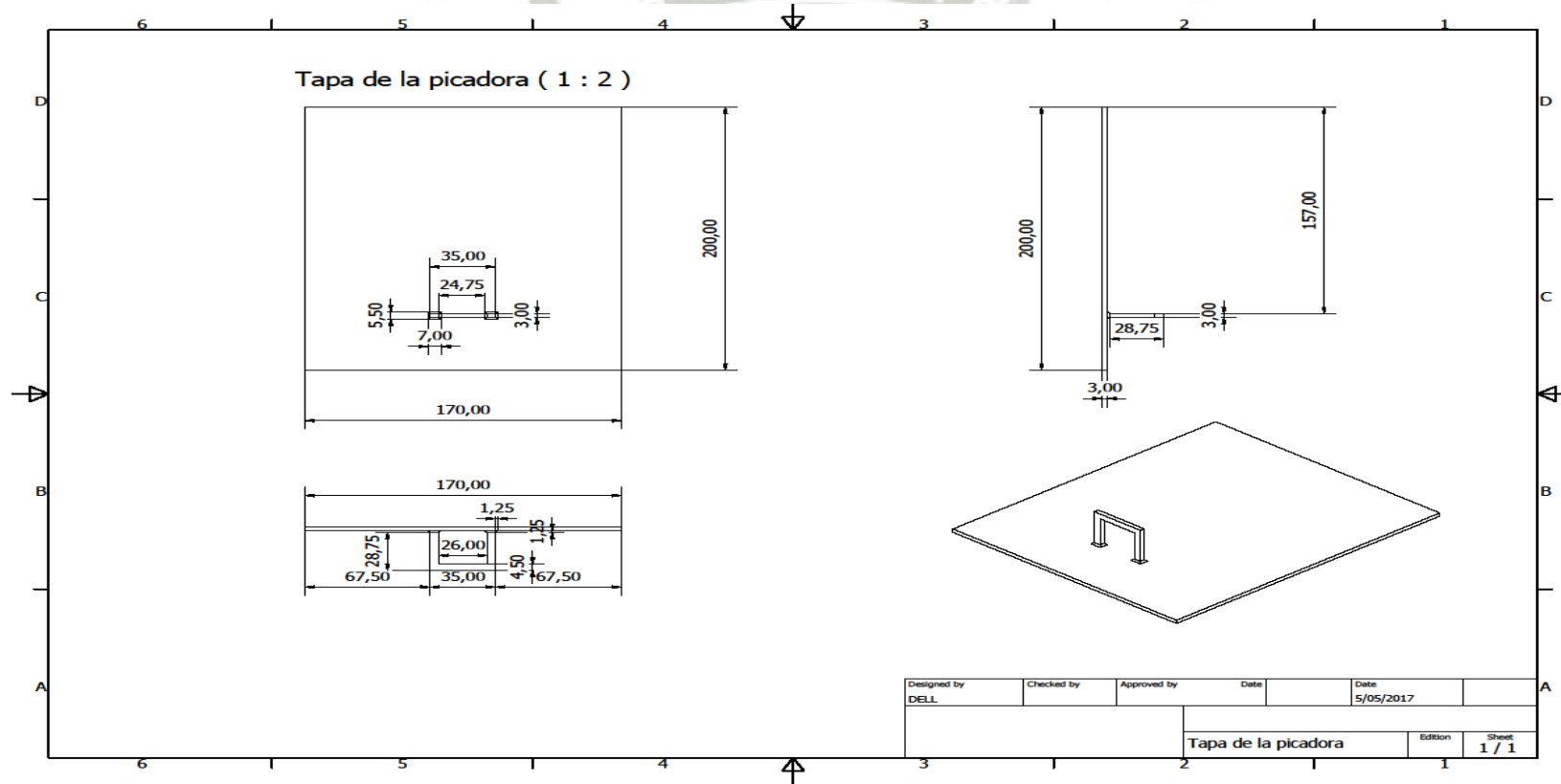


**Figura 49.** Biocompuestos elaborados

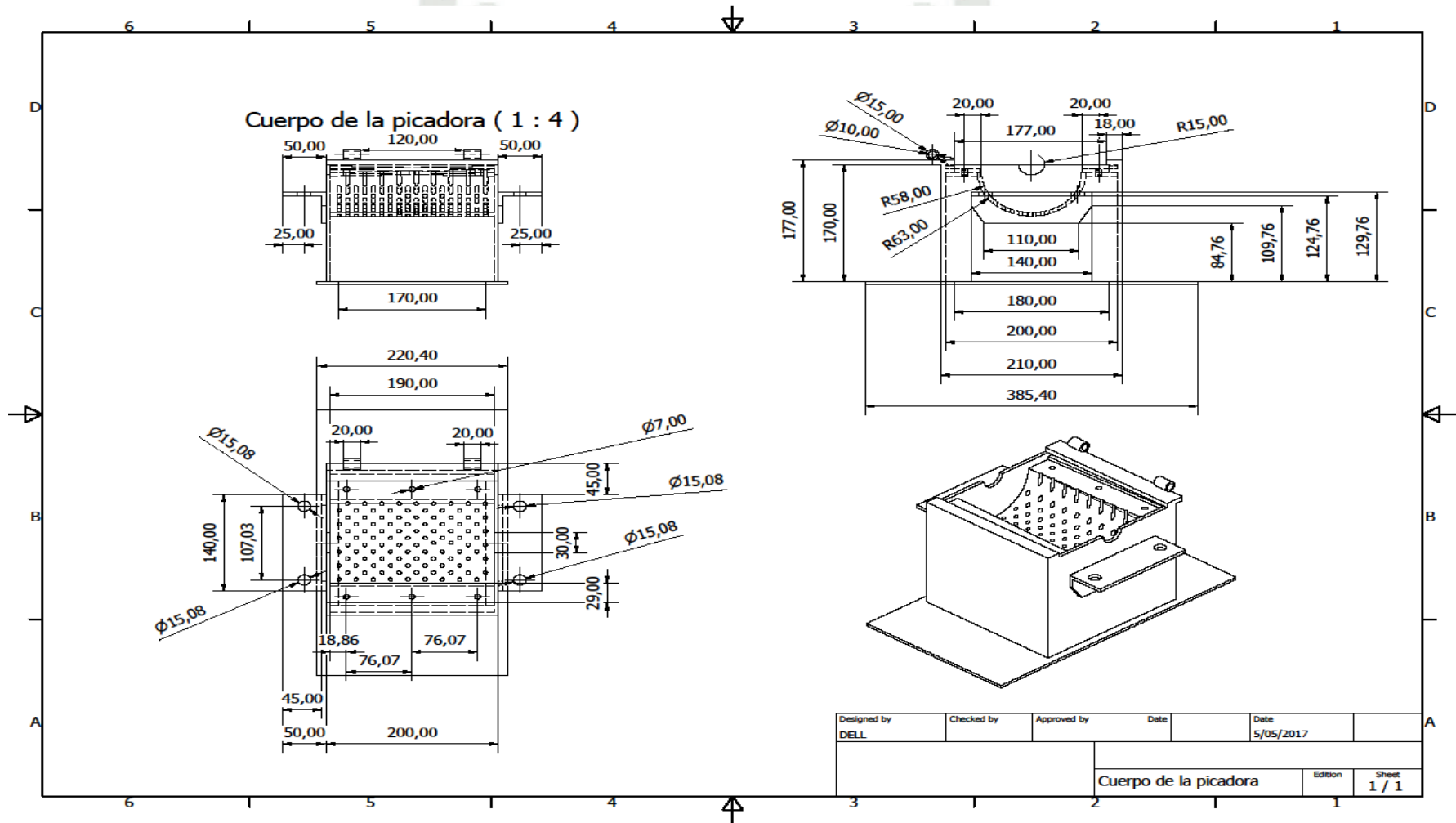
## ANEXO 2. PLANOS DE LA ELABORACIÓN DE LAS MÁQUINAS PLANOS DE LAS MÁQUINAS

En este anexo se muestran los planos para el diseño de cada uno de los equipos utilizados para la elaboración de los ladrillos tipo II base biocompuestos.

### TAPA DE LA PICADORA

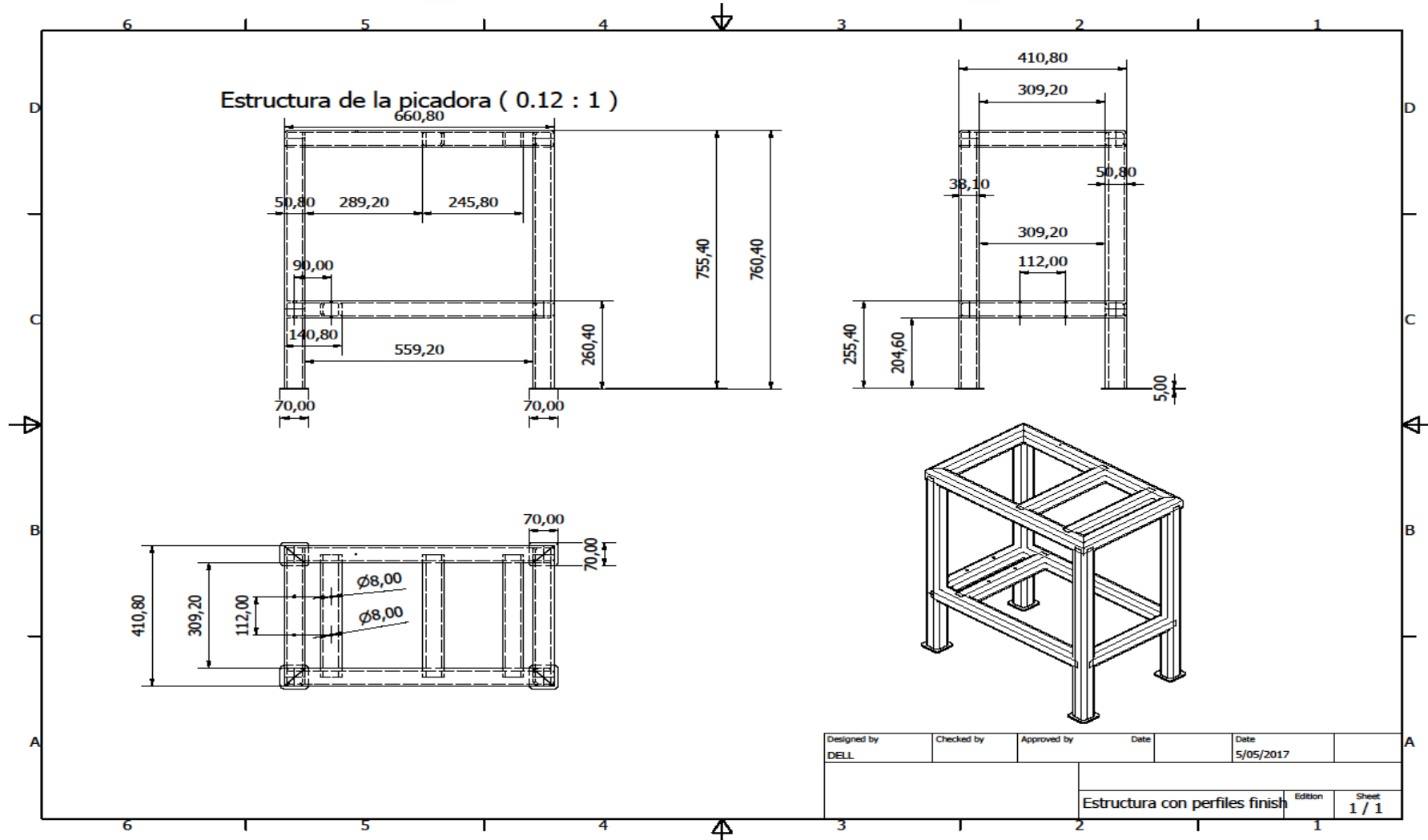


# CUERPO DE LA PICADORA

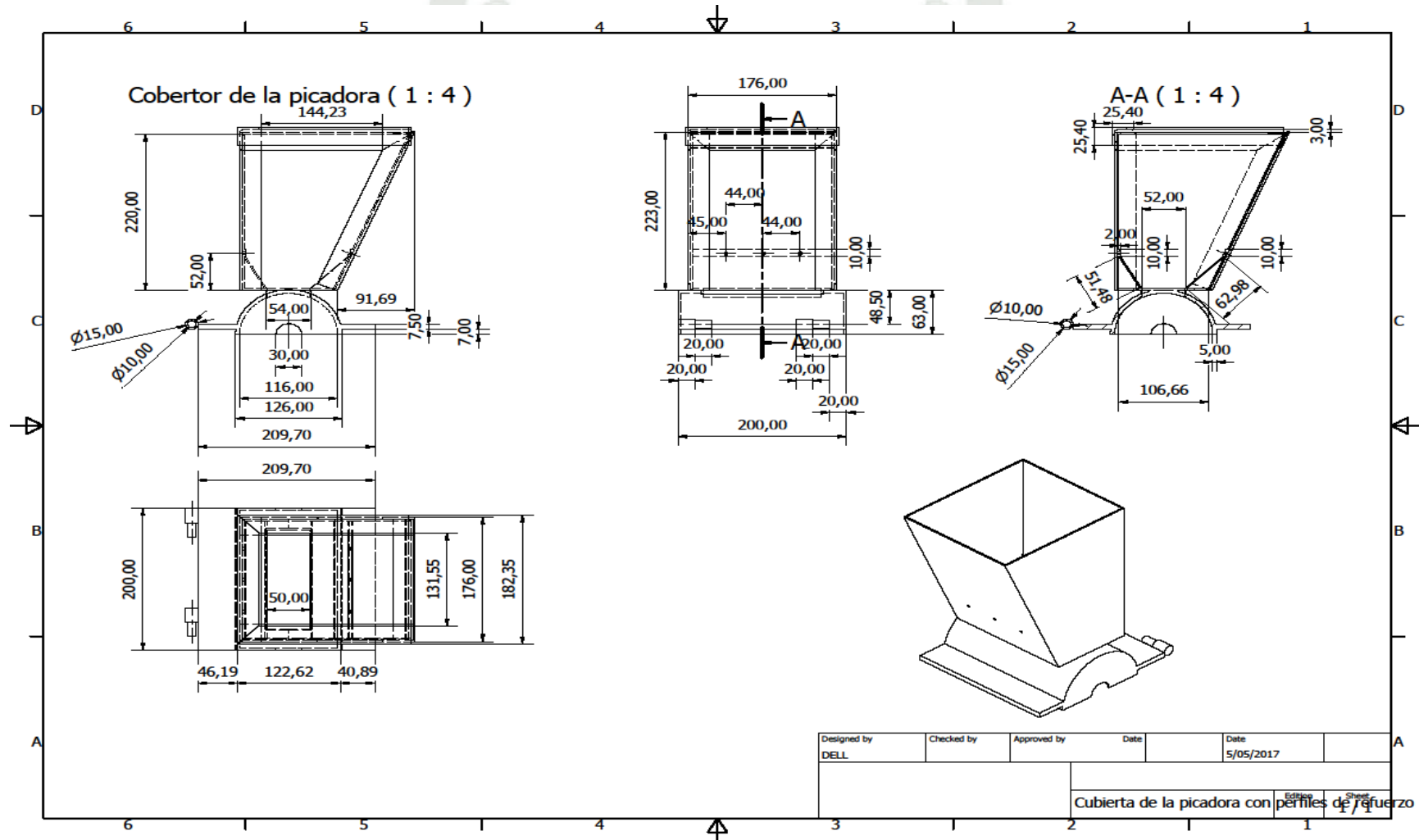


Designed by DELL	Checked by	Approved by	Date	Date 5/05/2017
Cuerpo de la picadora			Edition	Sheet 1 / 1

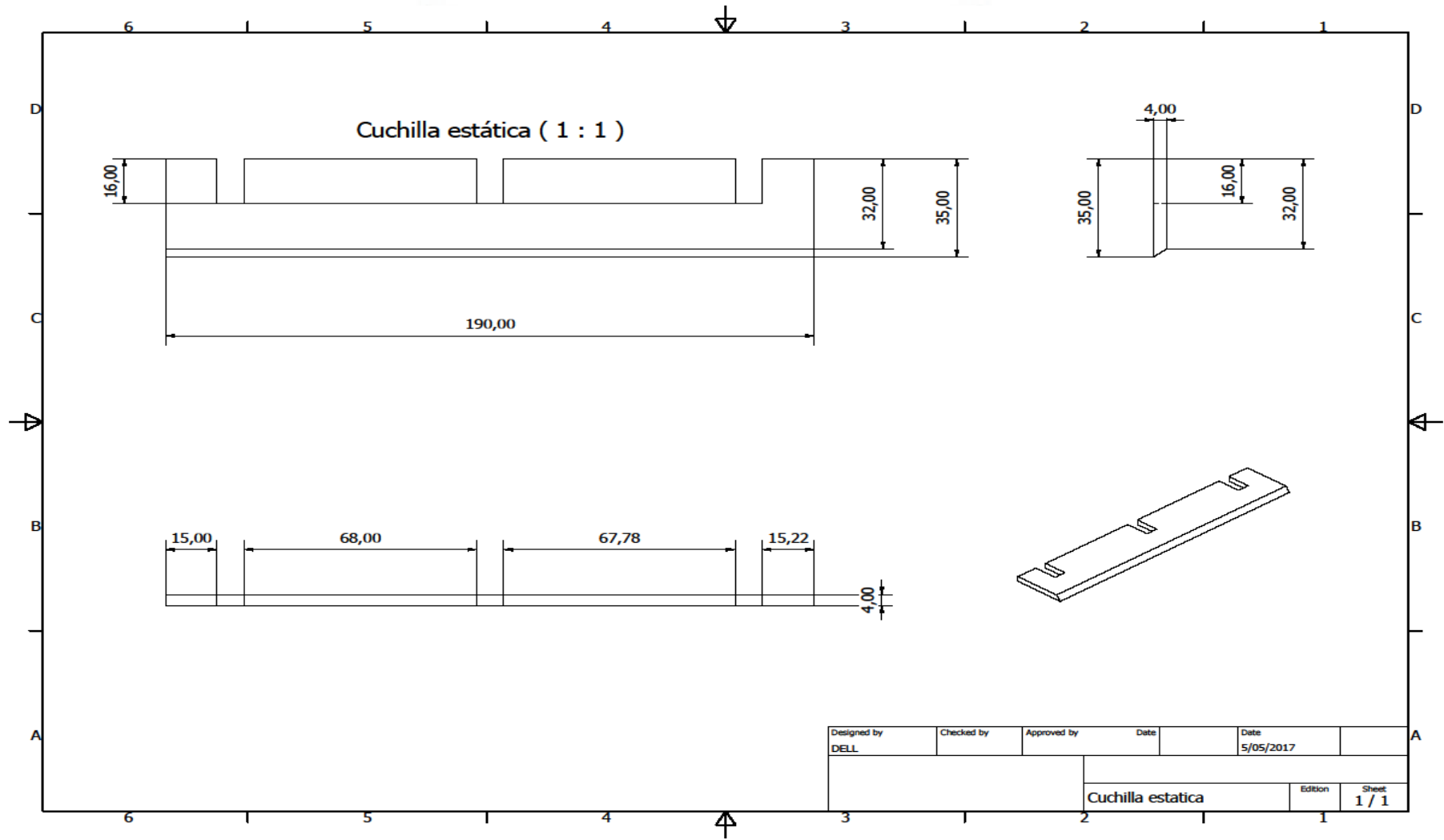
# ESTRUCTURA DE LA PICADORA



# COBERTOR DE LA PICADORA

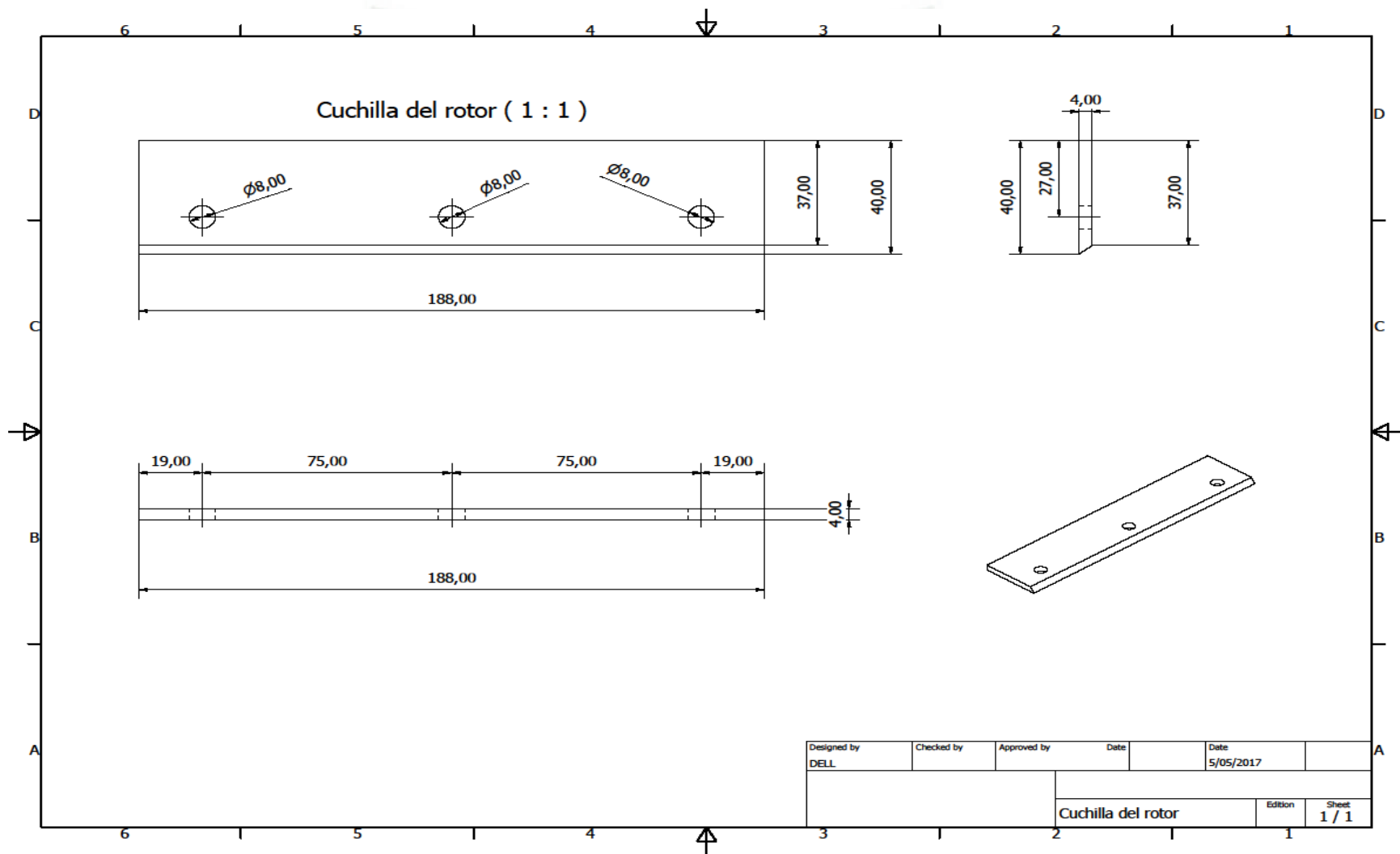


# CUCHILLA ESTÁTICA



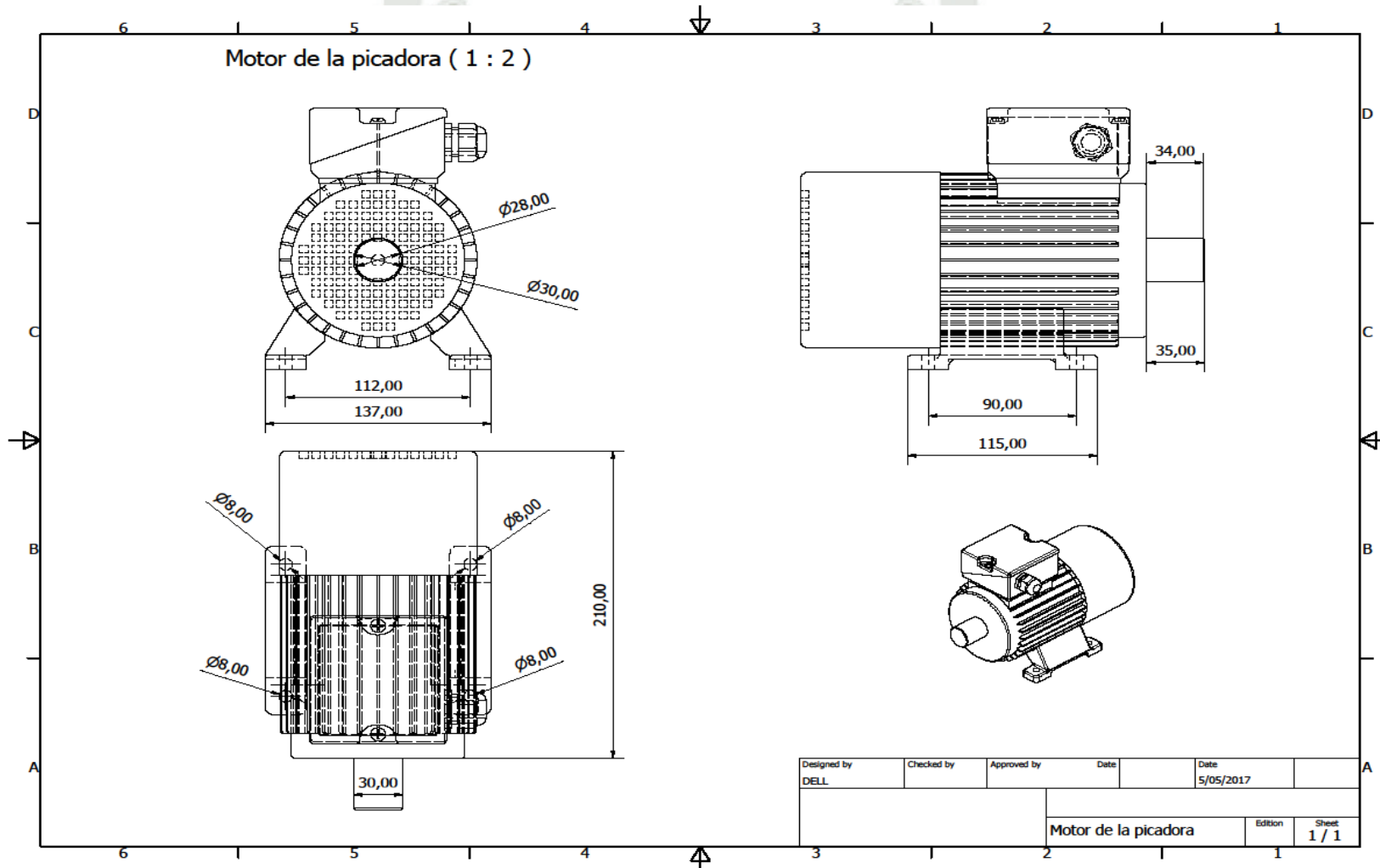
Designed by DELL	Checked by	Approved by	Date	Date 5/05/2017
Cuchilla estática			Edition 1	Sheet 1 / 1

# CUCHILLA DEL ROTOR

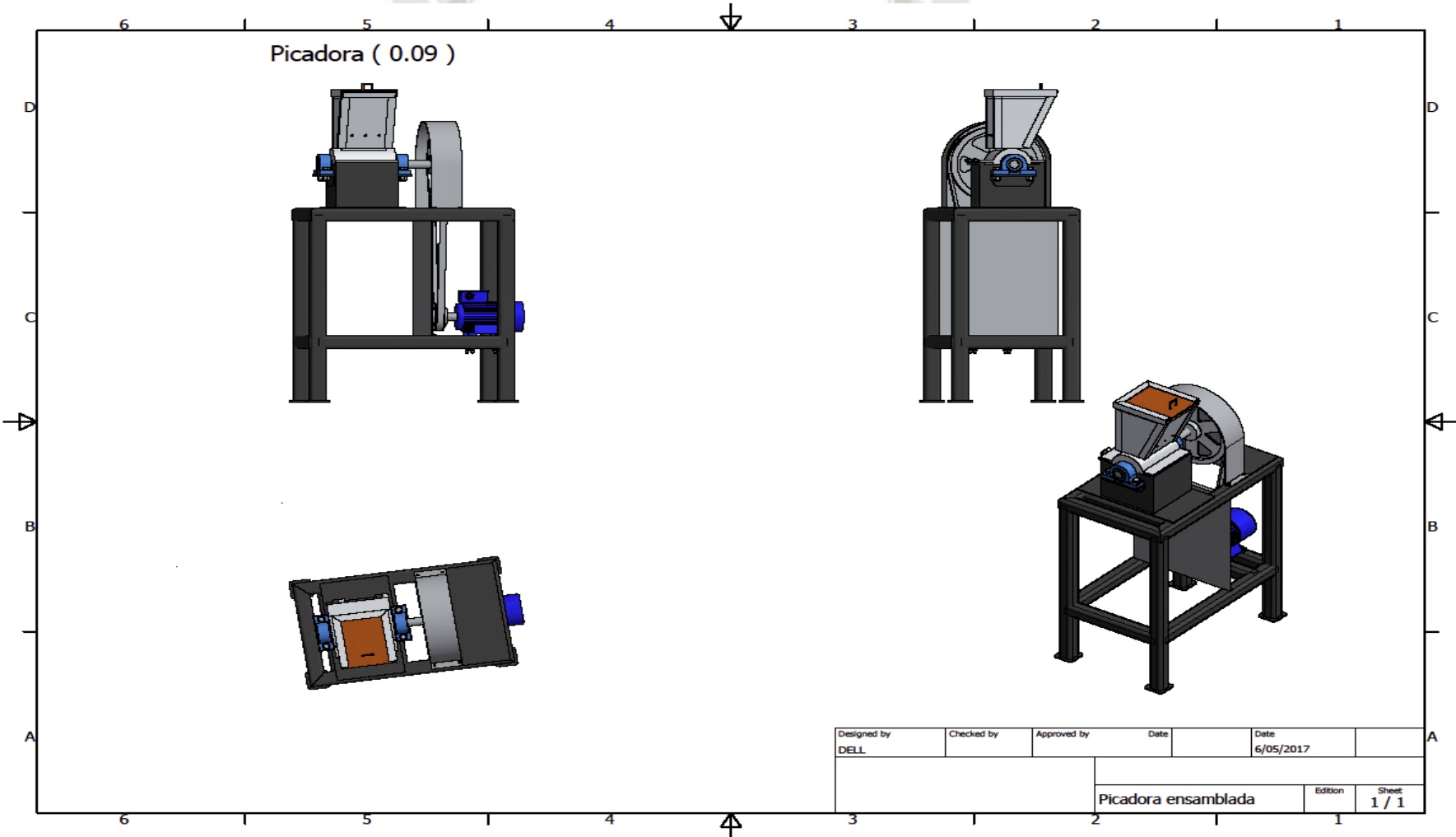


Designed by DELL	Checked by	Approved by	Date	Date 5/05/2017
Cuchilla del rotor			Edition	Sheet 1 / 1

# MOTOR DE LA PICADORA

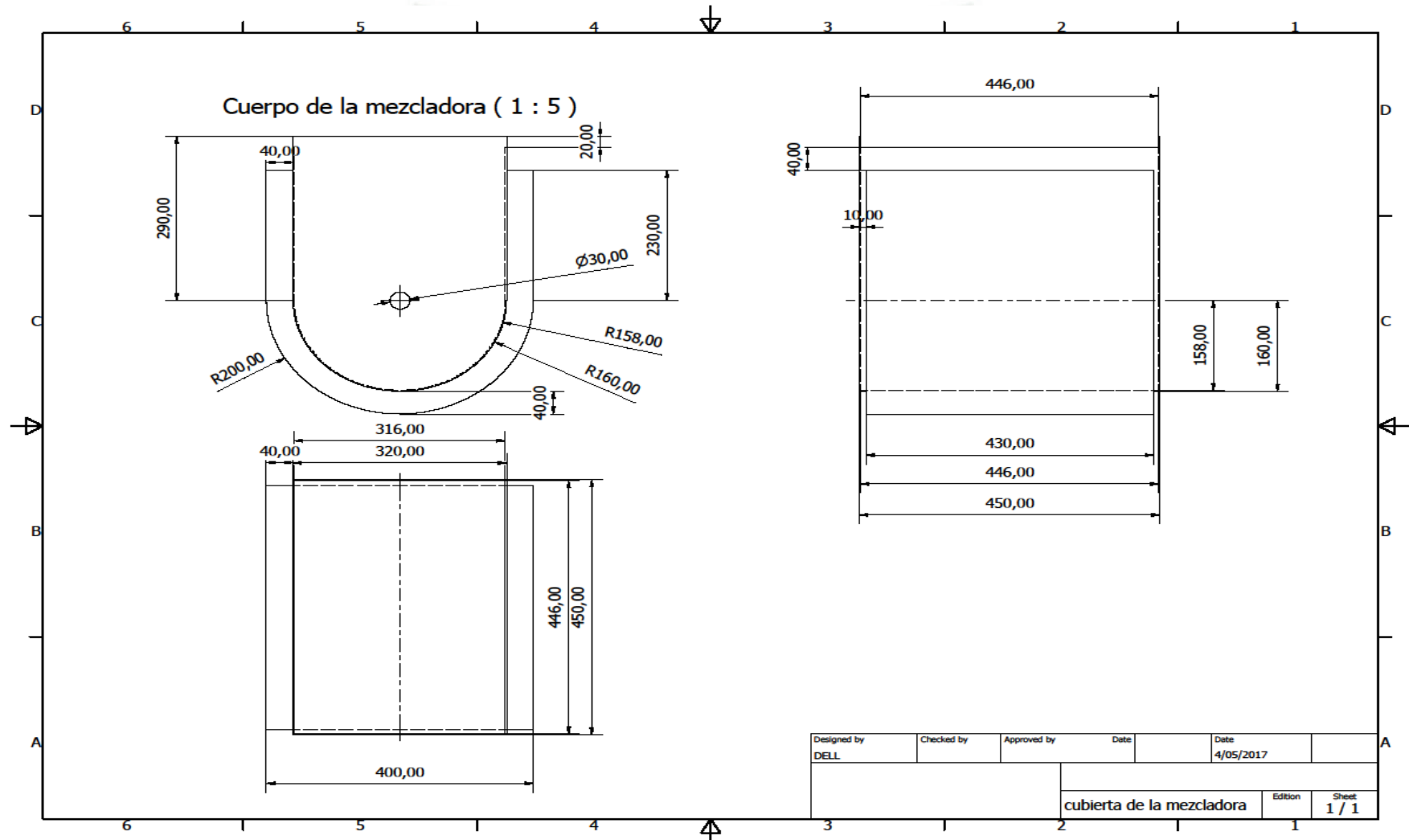


**PICADORA ENSAMBLADA**



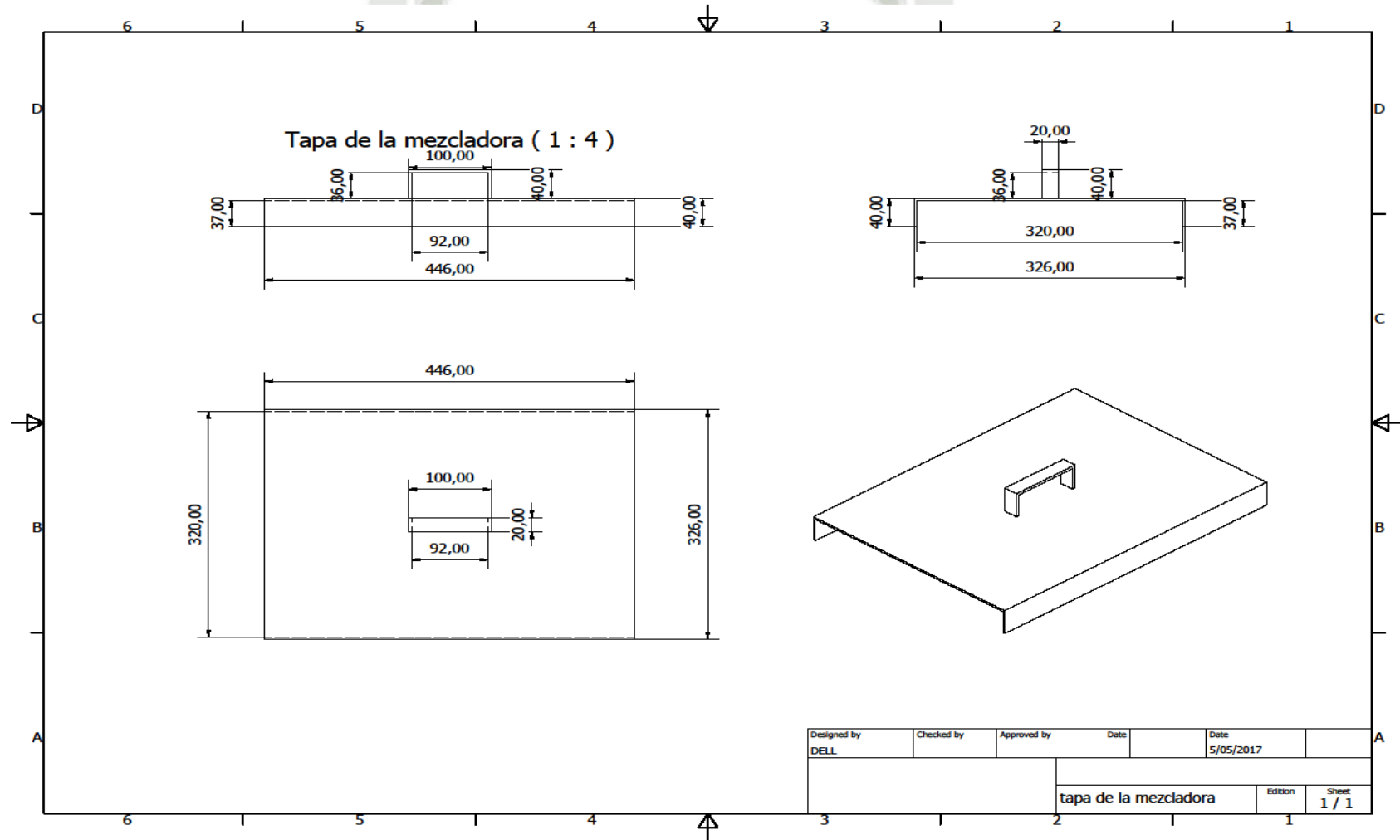


# CUERPO DE LA MEZCLADORA

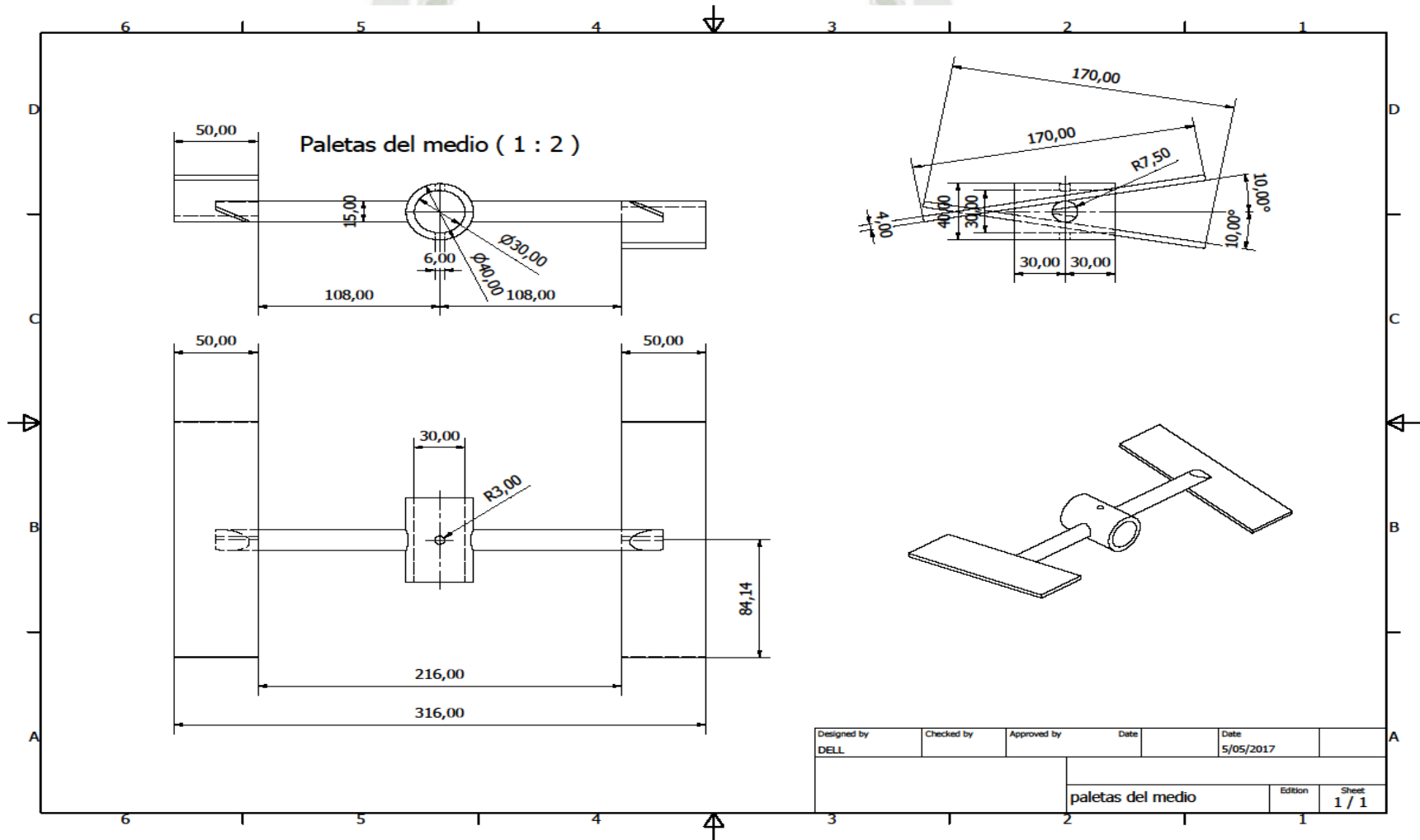


Designed by DELL	Checked by	Approved by	Date	Date 4/05/2017
			cubierta de la mezcladora	
			Edition	Sheet 1 / 1

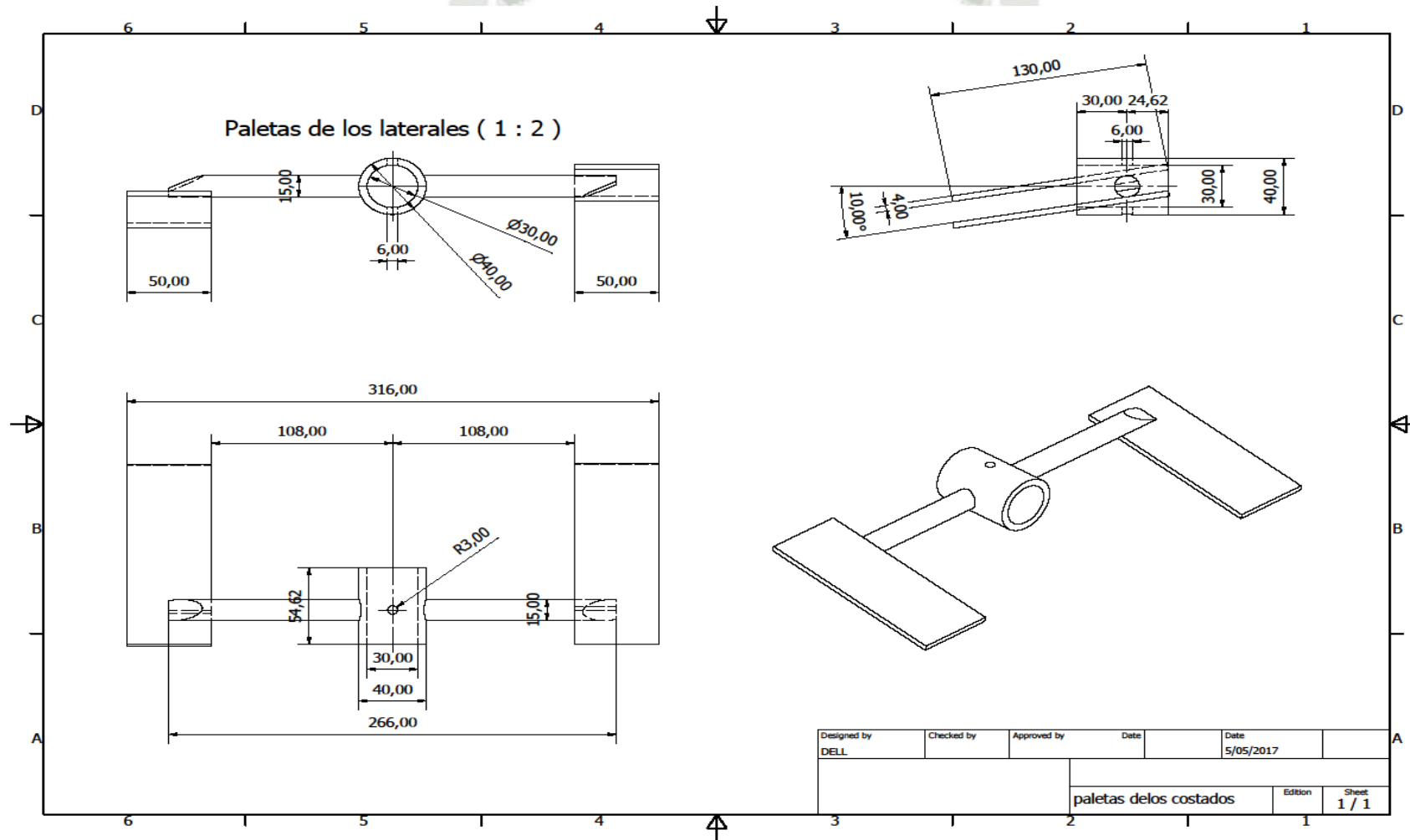
# TAPA DE LA MEZCLADORA



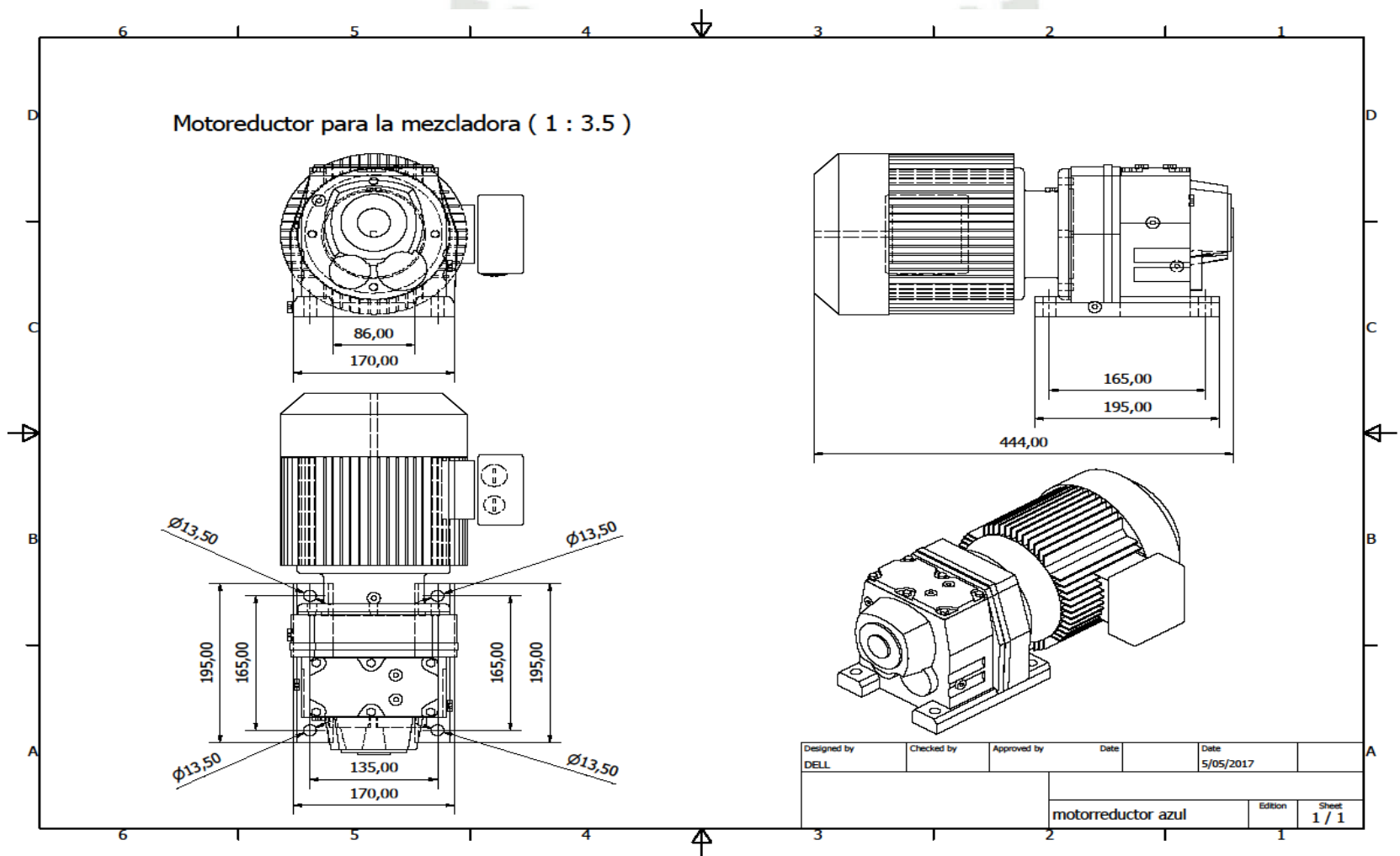
# PALETAS DE LA MEZCLADORA



# PALETAS DE LOS LATERALES

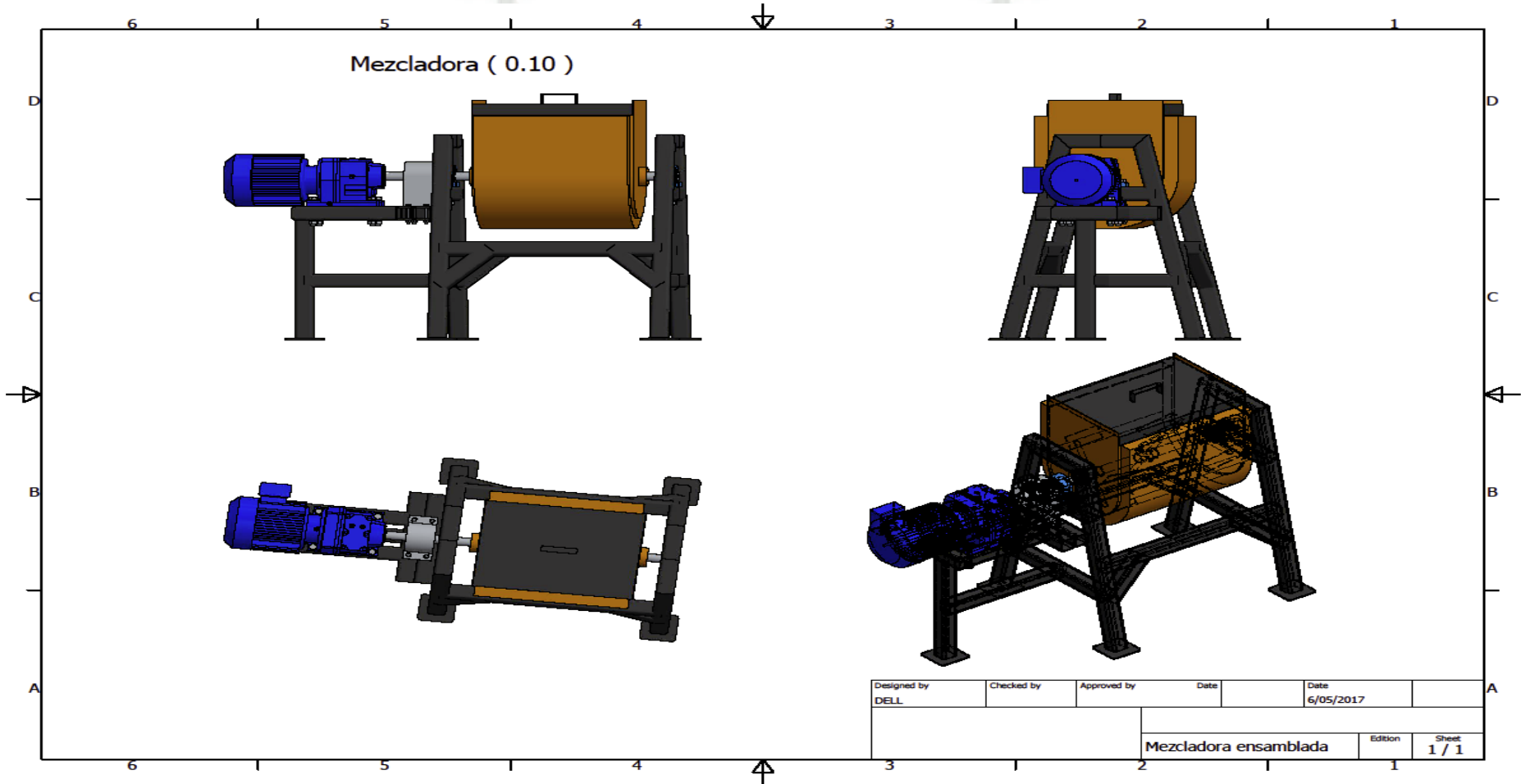


# MOTORREDUCTOR PARA LA MEZCLADORA

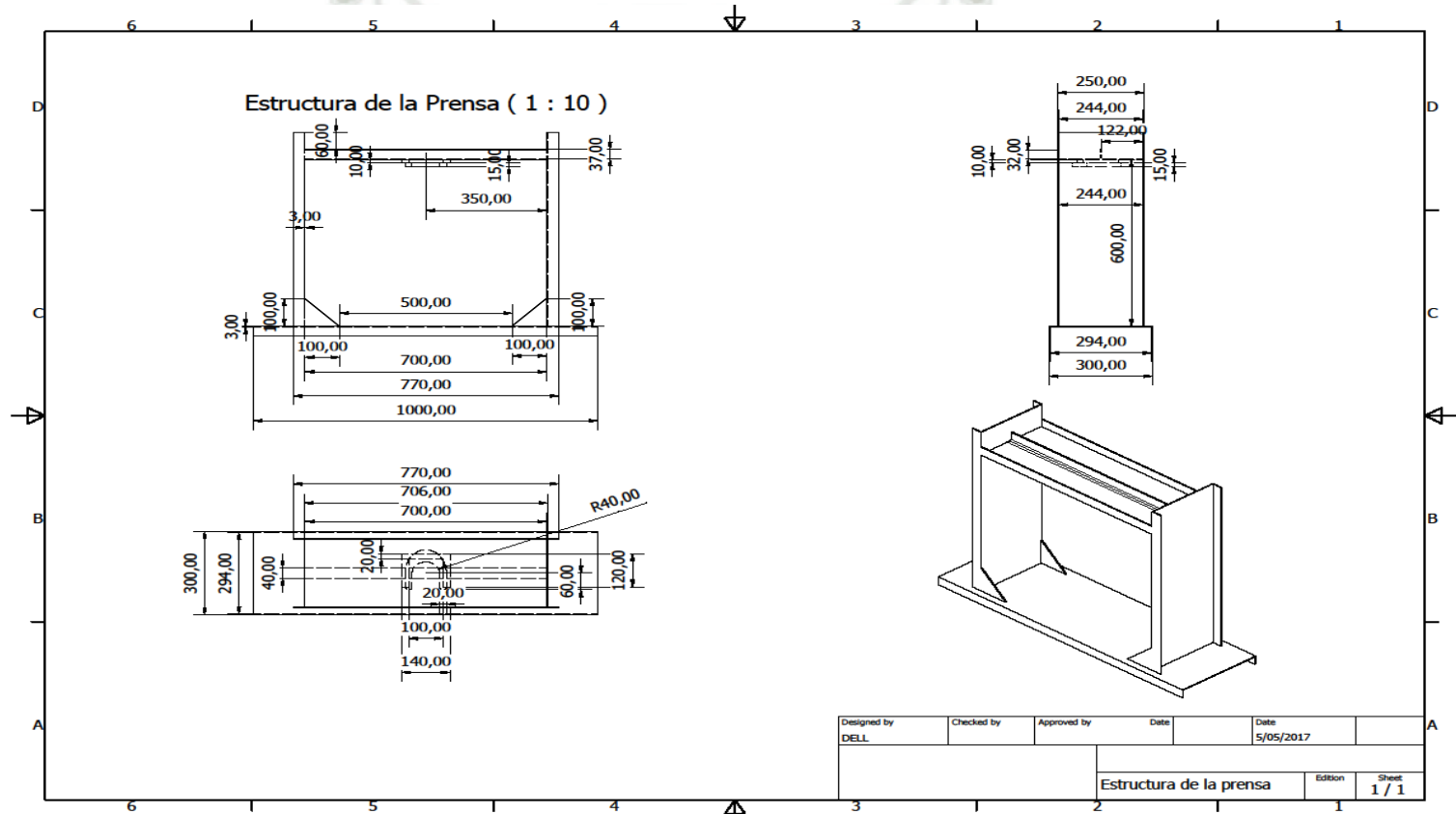


# MEZCLADORA ENSAMBLADA

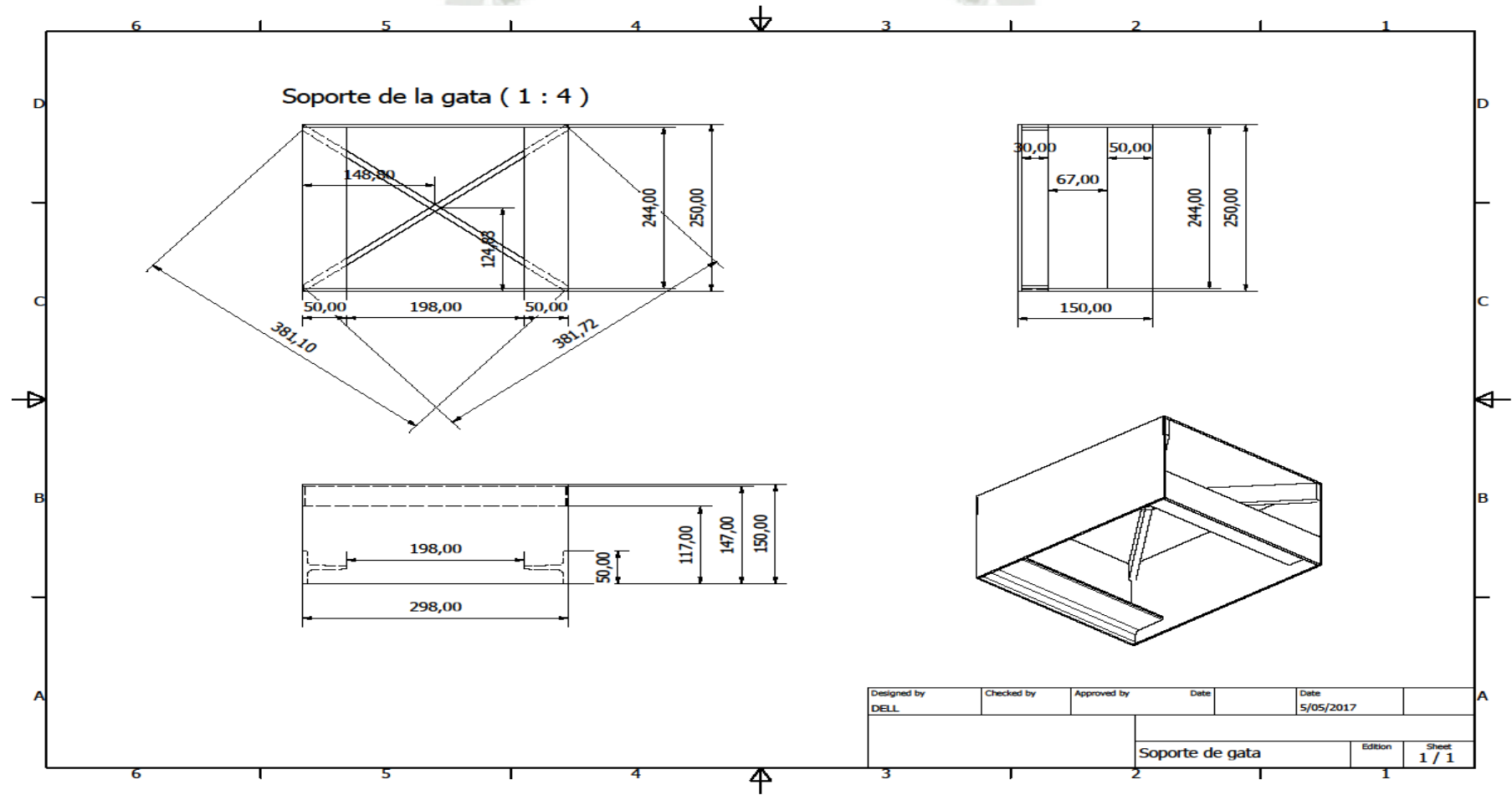
Mezcladora ( 0.10 )



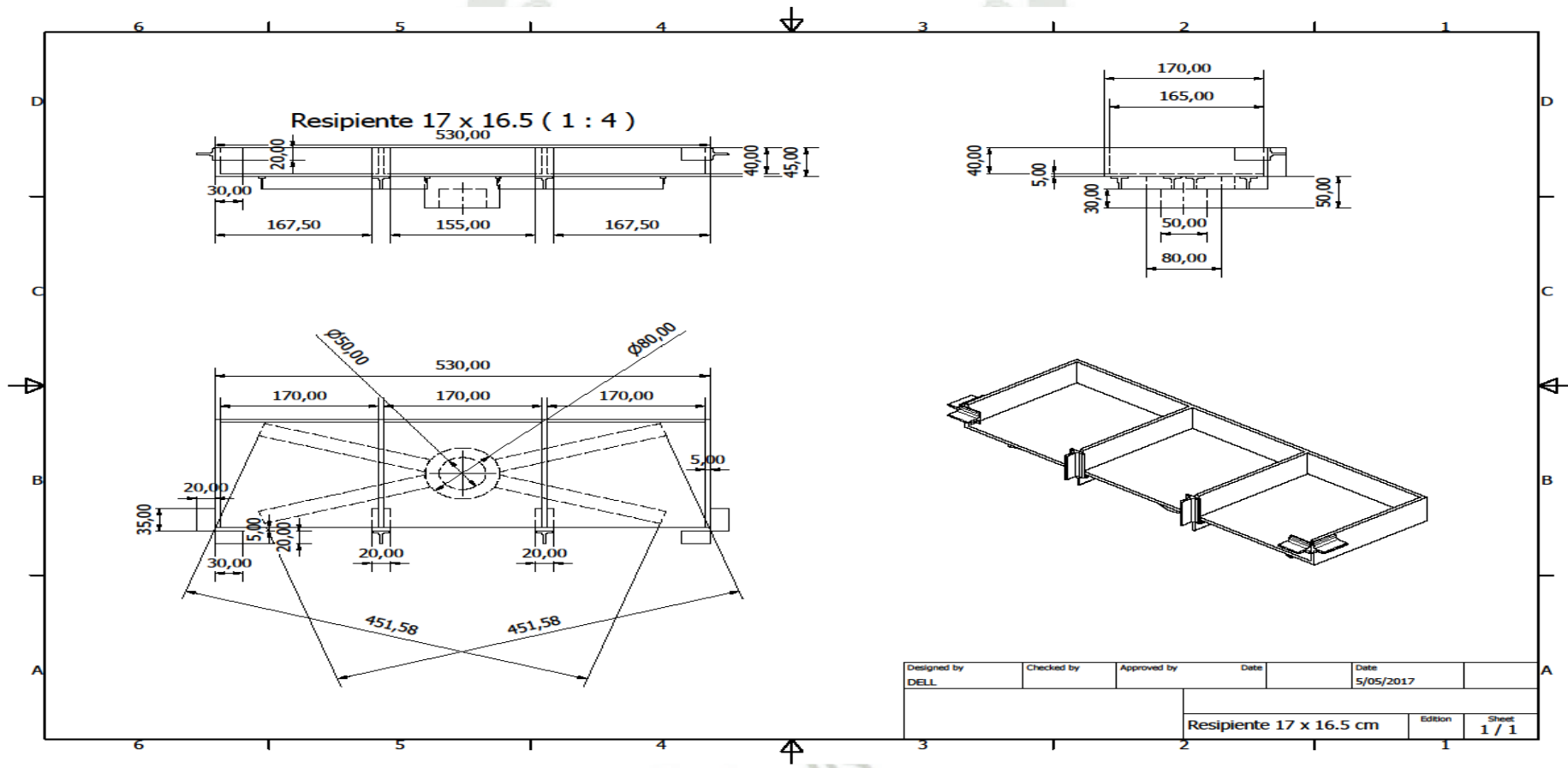
# ESTRUCTURA DE LA PRENSA



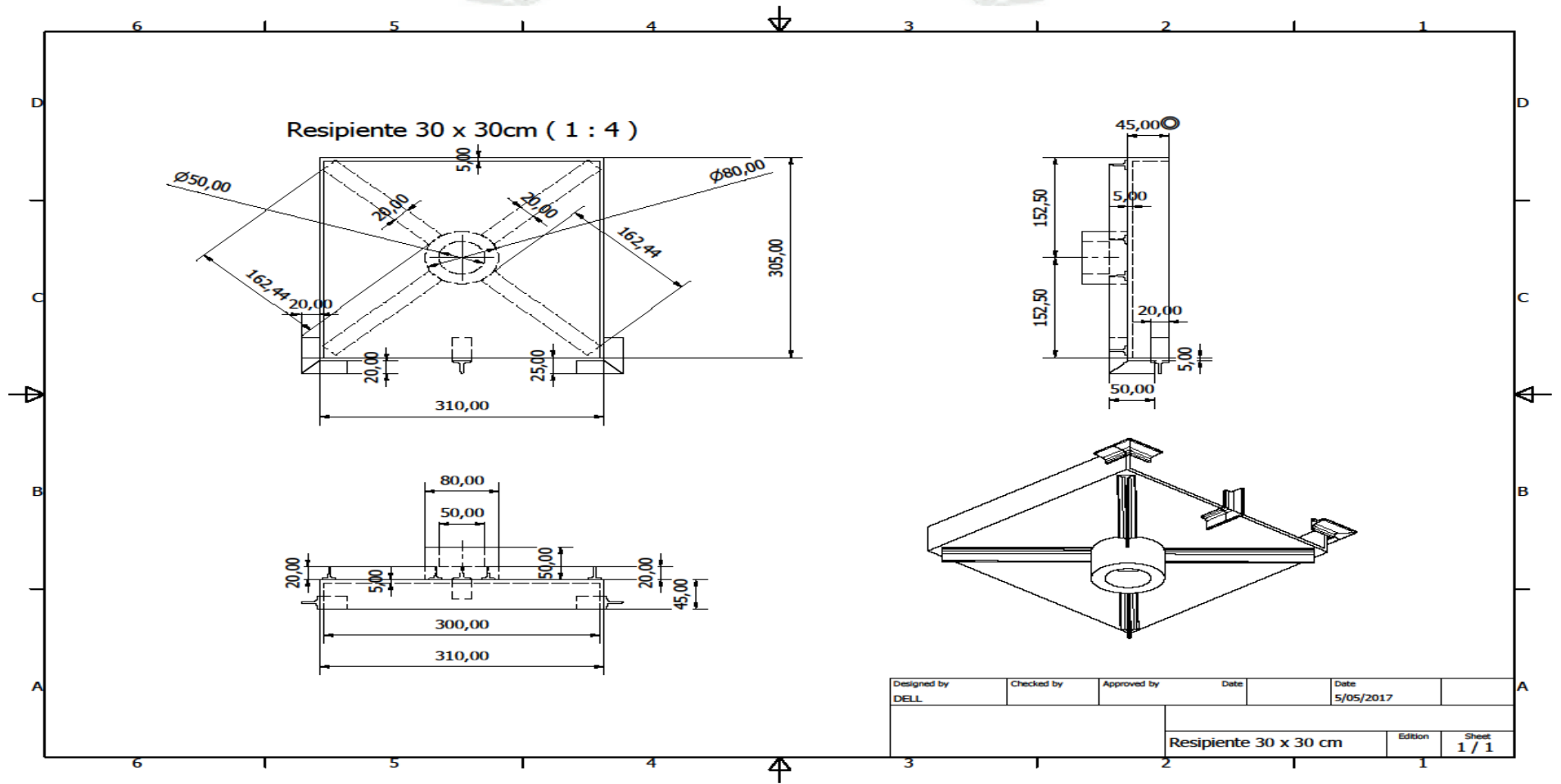
# SOPORTE



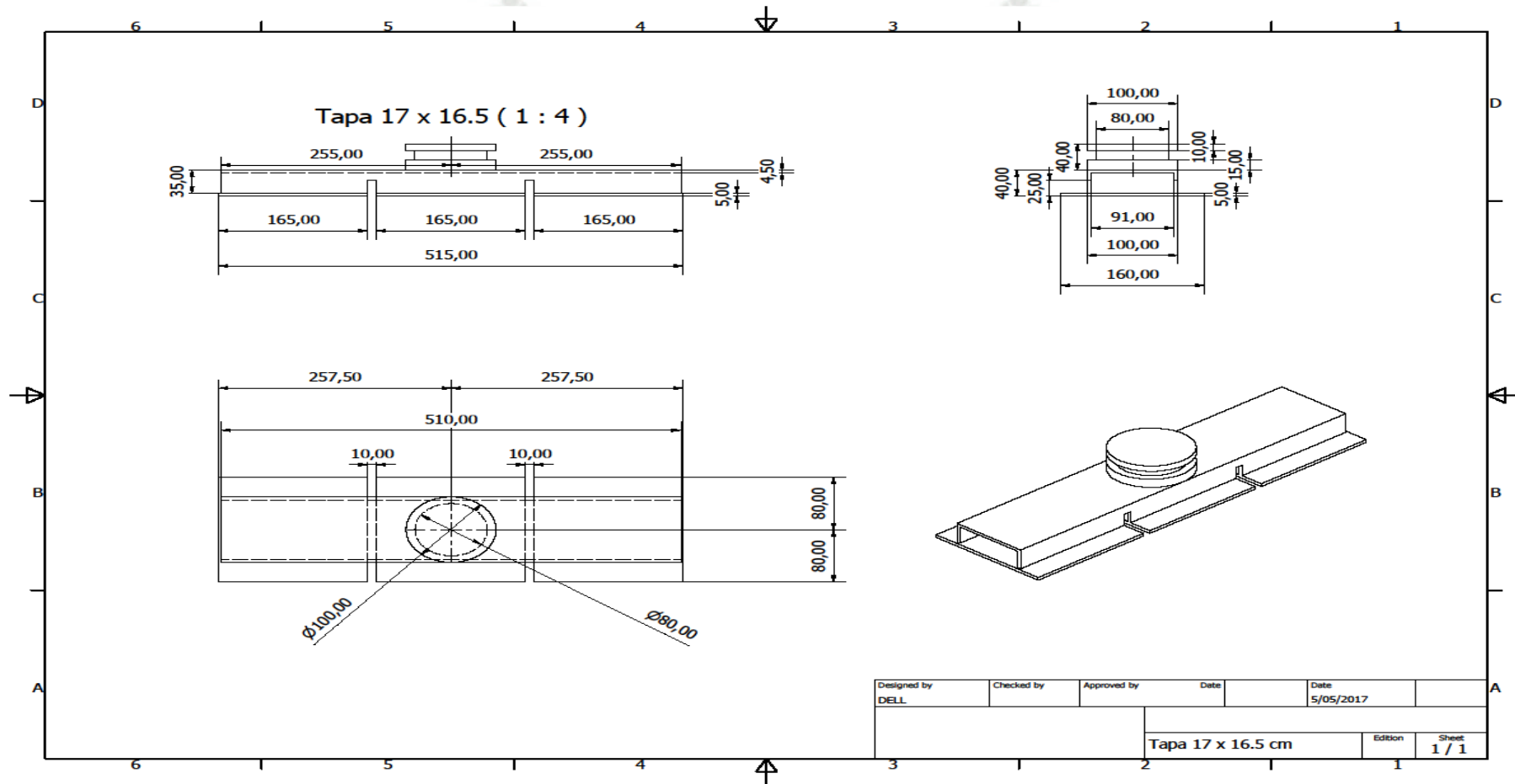
# RECIPIENTE 17x16.5 cm



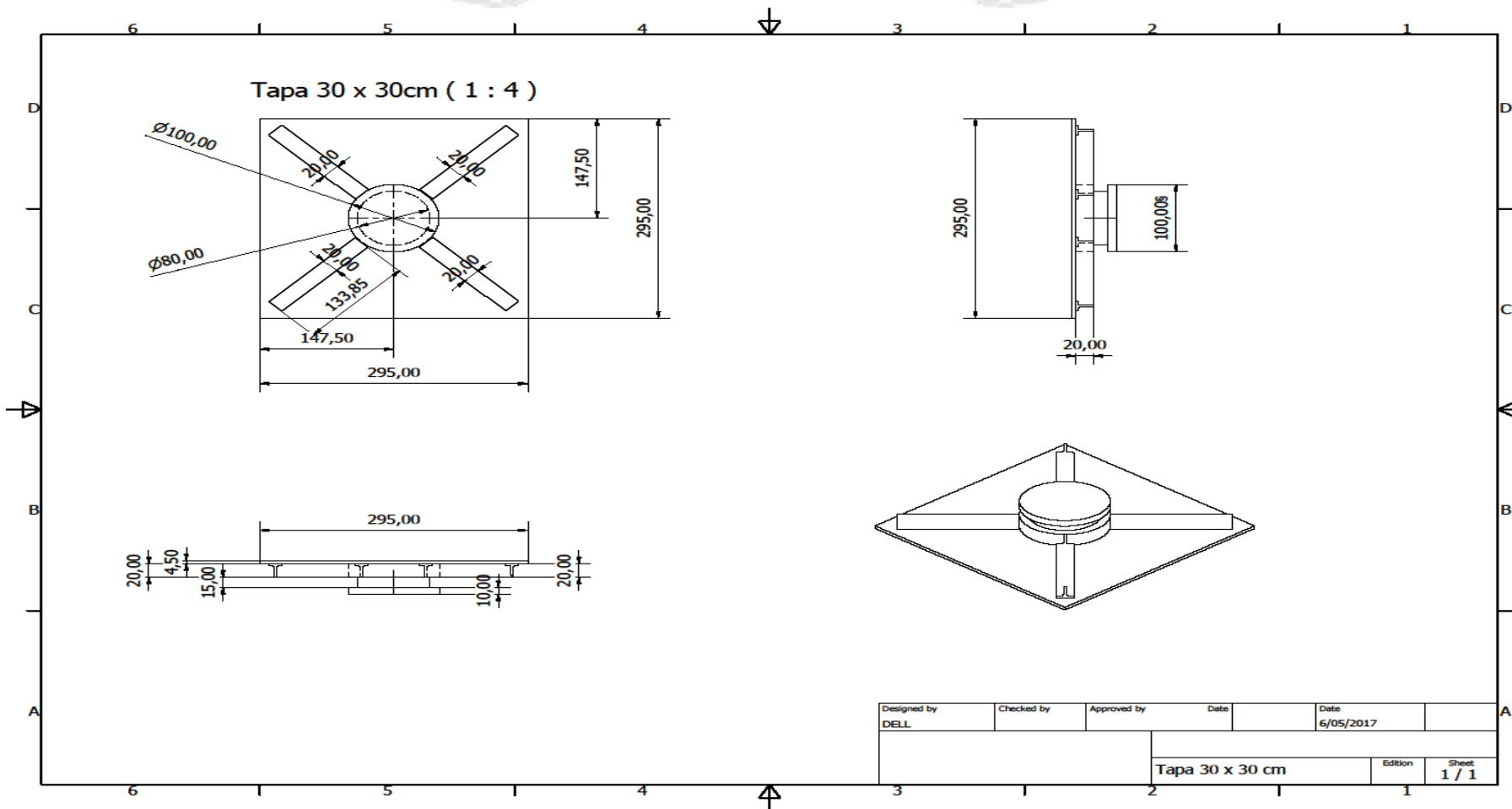
# RECIPIENTE 30 x 30 cm



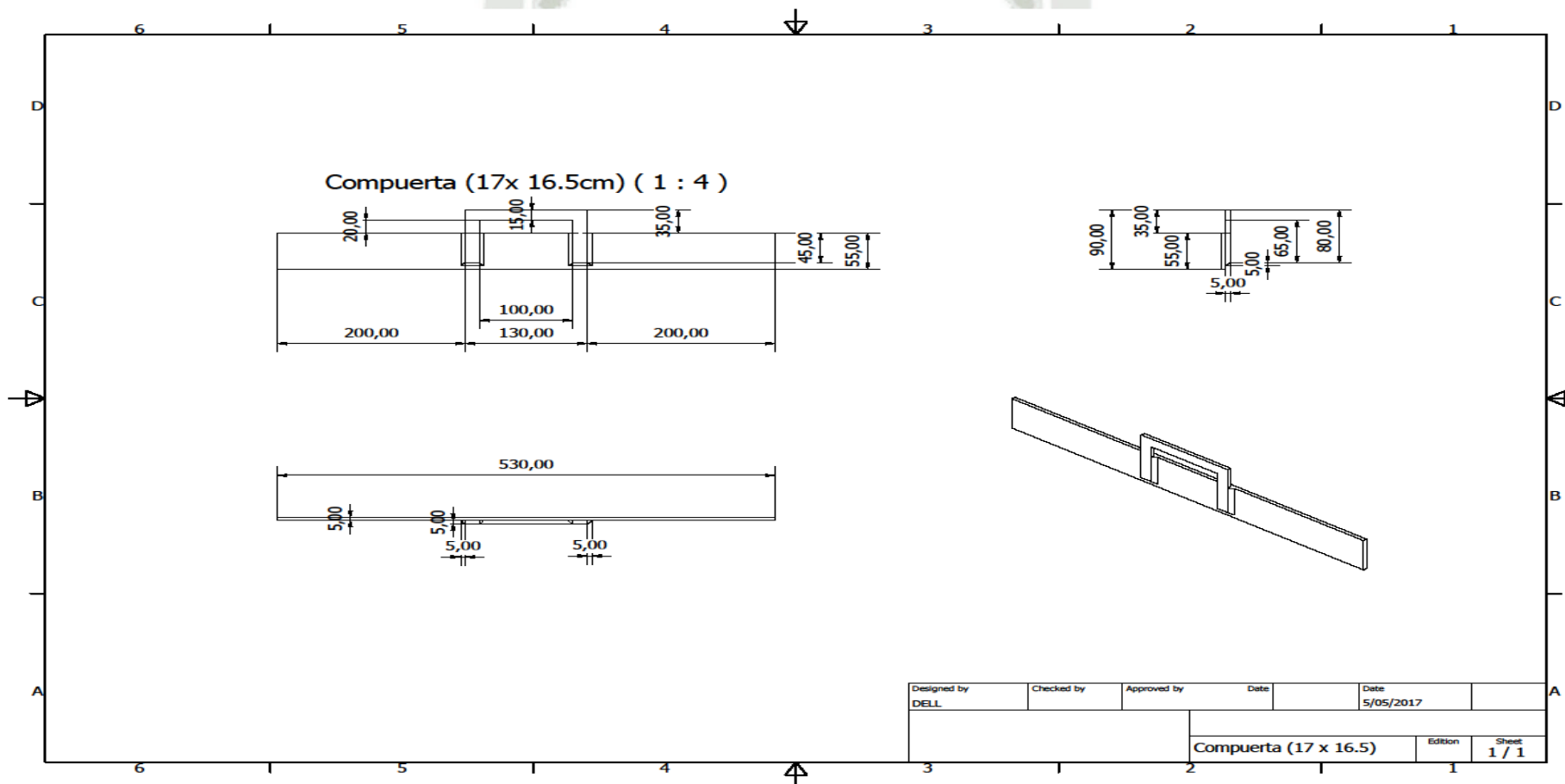
# TAPA 17x16.5 cm



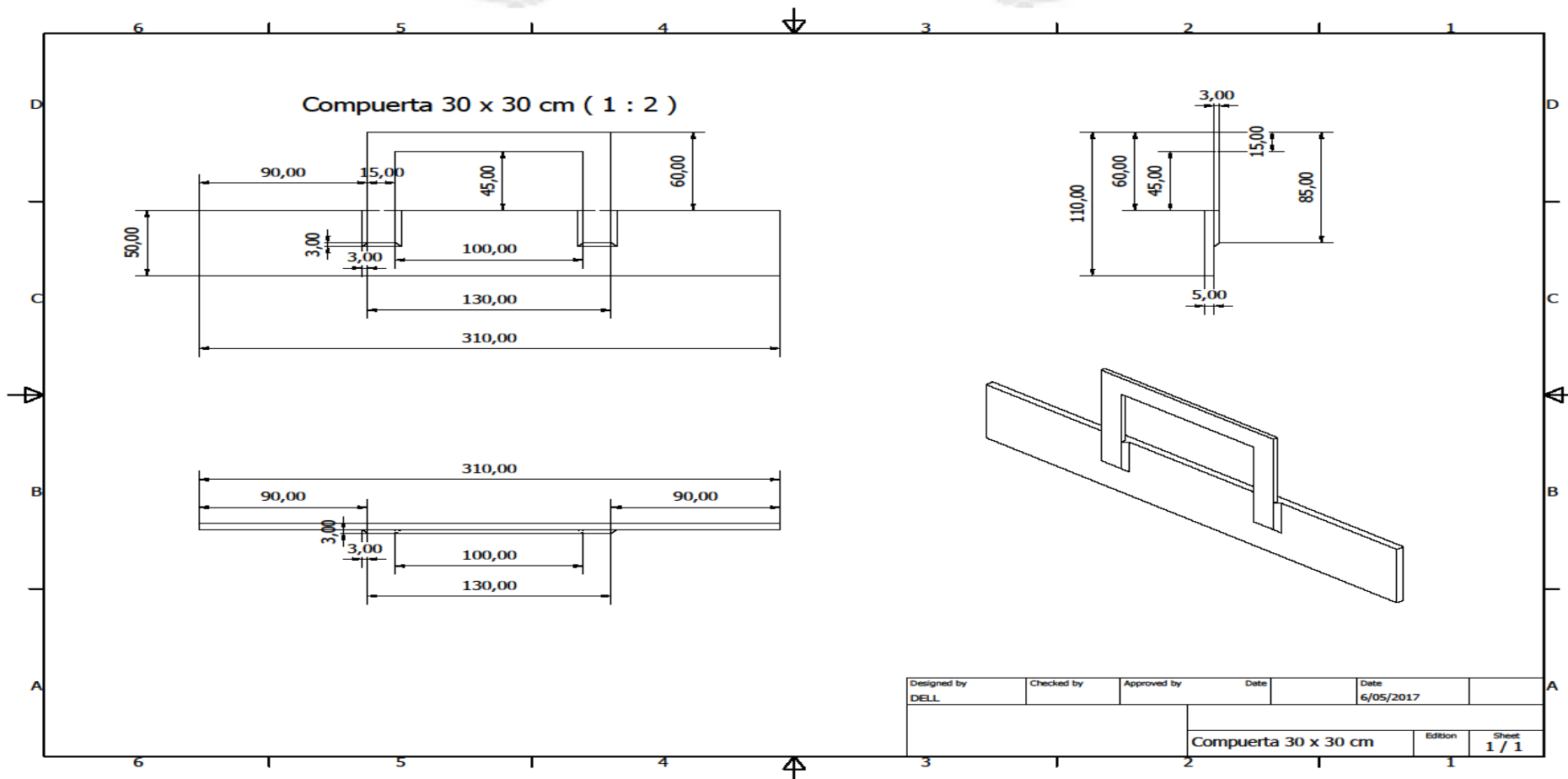
**TAPA 30 x 30 cm**



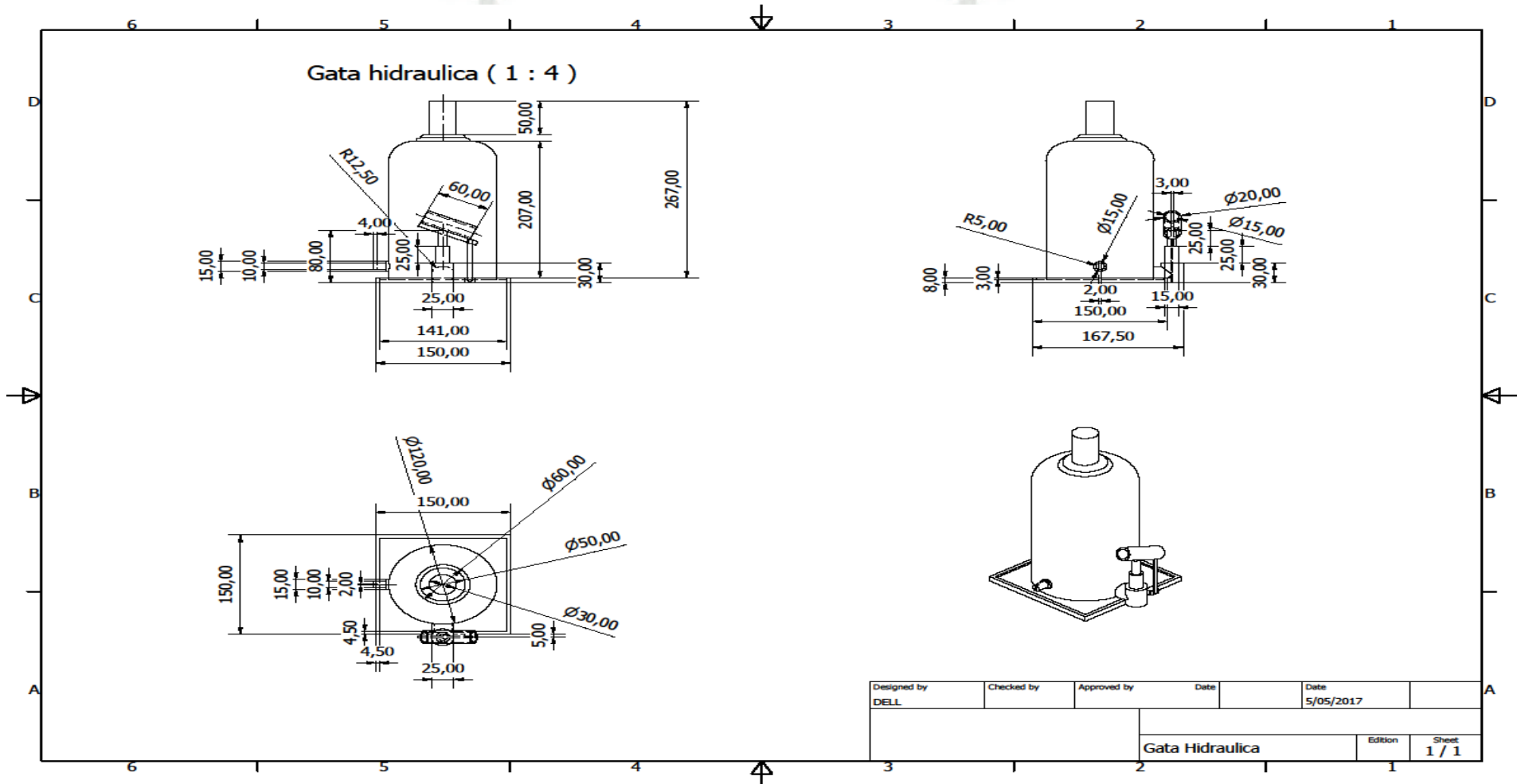
COMPUERTA 16x17.5 cm



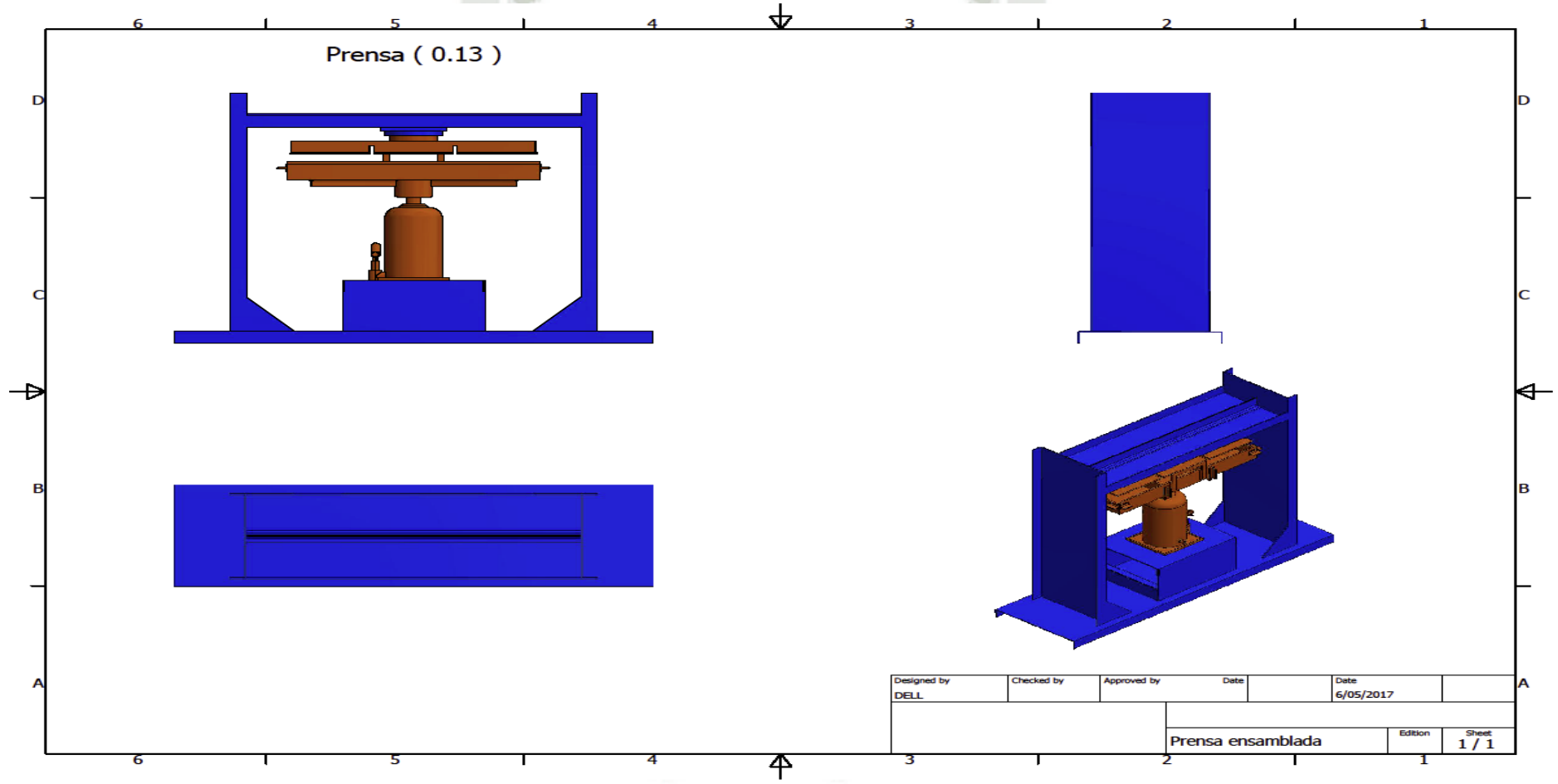
# COMPUERTA 30x30 cm



# GATA HIDRAULICA



# PRENSA ENSAMBLADA



### ANEXO 3. NORMA LEGAL E-70

En este anexo se muestra un extracto de la norma E-70, en donde se da a conocer sobre el tipo de ladrillos

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- a) Se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo.
- b) Las unidades de albañilería a las que se refiere esta norma son ladrillos y bloques en cuya elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, como materia prima.
- c) Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial.
- d) Las unidades de albañilería de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica. Para el caso de unidades curadas con agua, el plazo mínimo para ser utilizadas será de 28 días.

#### CLASIFICACIÓN PARA FINES ESTRUCTURALES

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la siguiente tabla.

**TABLA 1  
CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES**

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f_b$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P <sup>(1)</sup>	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP <sup>(2)</sup>	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

### LIMITACIONES EN SU APLICACIÓN

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la Tabla 2. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTE E.030 Diseño Sismo resistente.

<b>TABLA 2 LIMITACIONES EN EL USO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES</b>			
<b>TIPO</b>	<b>ZONA SÍSMICA 2 Y 3</b>		<b>ZONA SÍSMICA 1</b>
	<b>Muro portante en edificios de 4 pisos a más</b>	<b>Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos</b>	<b>Muro portante en todo edificio</b>
<b>Sólido Artesanal *</b>	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
<b>Sólido Industrial</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Alveolar</b>	Sí Celdas totalmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout
<b>Hueca</b>	No	No	Sí
<b>Tubular</b>	No	No	Sí, hasta 2 pisos