

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño y elaboración de prototipo de lámina para techado,
empleando materiales reciclables

Trabajo de graduación presentado por

Jhonatan Josué Duarte Lau

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2018

Diseño y elaboración de prototipo de lámina para techado,
empleando materiales reciclables

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

Diseño y elaboración de prototipo de lámina para techado,
empleando materiales reciclables

Trabajo de graduación presentado por

Jhonatan Josué Duarte Lau

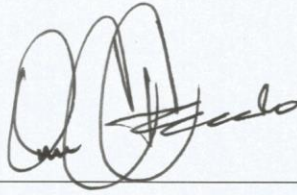
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2018

Vo. Bo. :

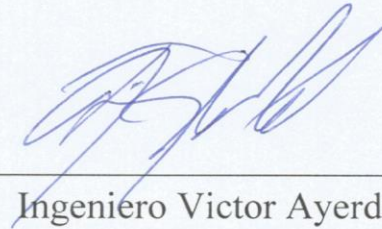
(f)



Licenciado Omar Crespo

Tribunal Examinador:

(f)



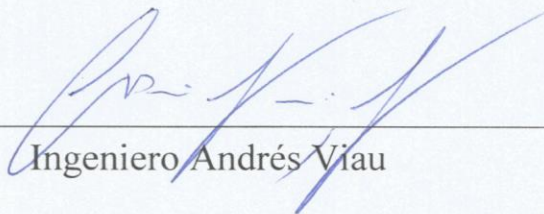
Ingeniero Victor Ayerdi

(f)



Licenciado Omar Crespo

(f)



Ingeniero Andrés Viau

Fecha de aprobación: Guatemala, 22 de junio del año 2018.

PREFACIO

El diseñar y elaborar un prototipo de lámina para techado con materiales reciclables surge de la necesidad de más de 1,2 millones habitantes de guatemaltecos que viven en un déficit de vivienda, como consecuencia de los altos índices de pobreza en el país. La motivación de este trabajo es buscar una alternativa económica y reciclable a las láminas de techado convencional, con el fin de brindarles a todas las personas que forman parte del déficit de vivienda en Guatemala una alternativa que satisfaga un techado en sus hogares.

Los desechos plásticos alrededor del mundo son fuente de contaminación de muchas reservas naturales, ríos, lagos, lagunas, océanos y el medio ambiente en general. El reto en la actualidad es buscar maneras de reutilizar y revalorizar estos desechos para disminuir la contaminación y buscar nuevos productos que tengan una funcionalidad en la vida de las personas.

El reto de este trabajo de graduación fue la búsqueda de soluciones que fuera capaz de solventar dos problemas graves que afectan a Guatemala, el déficit de vivienda y la contaminación de desechos plásticos.

A todos los lectores, quiero demostrarles que por medio de la ingeniería mecánica se puede transformar a Guatemala en un mejor país y ejemplo mundial de lo que se es capaz cuando se tiene convicción.

ACTO QUE DEDICO Y AGRADEZCO A

DIOS

Por ser el guía de este proyecto emprendido, y mi acompañante por el resto de retos por afrontar.

MIS PADRES

Freddy Duarte y Darling Lau por su paciencia, esfuerzo, sacrificio, comprensión, sabiduría y apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria.

MIS HERMANOS

Freddy Duarte, Mauricio Duarte y Darling Duarte por ser ejemplos por seguir.

MIS AMIGOS

Mateo Ortiz, Esteban Echeverría y Gabriel Zaghi por sus constantes comentarios de mejora tanto académicos, laborales y personales.

DON FRANCISCO SOSA

Un amigo que nunca olvidare por demostrarme que todo se puede alcanzar, con una sonrisa por encima de todo y por ser una persona siempre atenta y cordial.

LICENCIADO OMAR CRESPO

Por su acompañamiento y constante motivación en el proyecto.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Por siempre proponerme constantes retos que han servido para comprobar mi capacidad ante los mismos.

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR

Por su pronta respuesta, apoyo y permitirme utilizar el laboratorio de Resistencia de materiales, para realizar pruebas de tensión para este trabajo de graduación.

INGENIERO FRANCISCO DEL CID

Por su atención, apoyo y cordialidad en permitirme apoyarme con las pruebas de laboratorio para pruebas de tensión.

Muchas gracias a todas estas personas e instituciones por hacerme visible lo imposible.

ÍNDICE

Prefacio.....	iv
Listado de figuras	xi
Listado de tablas	xvi
Resumen.....	xviii
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	2
A. Objetivo general.....	2
B. Objetivos específicos.....	2
III. Justificación.....	3
IV. Marco teórico.....	4
A. Tereftalato de polietileno.....	4
1. Clasificación general de los envases plásticos.....	4
a. Termoplásticos.....	4
b. Elastoplásticos.....	5
c. Termoestables.....	5
2. Simbolización de envases.....	6
3. Ventajas del envase PET.....	7
B. Ensayos de resistencia de materiales.....	9
1. Tensión.....	9
2. Relación entre tensiones normales y deformaciones longitudinales.....	10
3. El ensayo de tracción.....	11
4. Componentes principales de una máquina de tensión uniaxial.....	12
5. Resultados del ensayo de tracción.....	14
C. Propiedades físicas del PET.....	16
1. Resistencia al entorno ambiental.....	16
a. Estabilidad térmica.....	16

b.	Conductividad térmica.....	16
c.	Absorción de agua.....	16
d.	Propiedades ópticas.....	16
D.	Mantas vinílicas.....	19
1.	Vinil (PVC).....	19
2.	Peso y trama.....	20
3.	Tipos de mallas.....	21
4.	Procesos de producción.....	21
a.	Extrusión.....	21
b.	Laminado.....	22
c.	Recubierto.....	22
5.	Proceso de impresión.....	23
6.	Unión de mantas vinílicas.....	23
7.	Propiedad de las mantas vinílicas.....	24
E.	Residuos en Guatemala.....	26
F.	Techado.....	29
1.	Materiales de la estructura de techo.....	29
G.	Láminas de acero en Guatemala.....	30
1.	Aplicación de láminas de acero.....	30
2.	Manufactura de láminas de acero.....	31
H.	El techado en Guatemala.....	34
1.	Antecedentes.....	34
I.	Transferencia de calor en láminas de acero.....	36
1.	Modos de transferencia de calor.....	36
2.	Proceso de transferencia de calor a través de una lámina de acero.....	37
3.	Inclinación y orientación del techado.....	38
J.	Filtraciones en techados.....	40
1.	Causas de las filtraciones en techados.....	40

V.	Metodología.....	41
VI.	Resultados.....	42
A.	Identificación de la problemática.....	42
1.	Síntesis del problema.....	44
B.	Diseño y fabricación.....	45
1.	Tejas.....	45
2.	Molde.....	46
3.	Manta vinílica.....	47
4.	Base estructural.....	47
C.	Análisis del prototipo.....	49
1.	Construcción de caseta para la ejecución de ensayos.....	49
2.	Ensayo pluvial.....	49
3.	Comportamiento a la exposición solar.....	50
4.	Ensayo de tracción.....	58
5.	Análisis de costos.....	74
6.	Ventajas y desventajas de Ecolám sobre una lámina galvanizada comercial.....	78
VII.	Discusión.....	79
VIII.	Conclusiones.....	87
IX.	Recomendaciones.....	89
X.	Bibliografía.....	90
XI.	Anexos.....	93
A.	Instructivo.....	93
B.	Tejas.....	120
C.	Molde.....	125
D.	Manta vinílica.....	129
E.	Base estructural de la lámina.....	131
F.	Construcción de caseta para la ejecución de ensayos.....	134
G.	Ensayo pluvial.....	136

H.	Comportamiento a la exposición solar.....	137
I.	Ensayo de tracción.....	141
J.	Cotizaciones.	143
XII.	Glosario.....	146

LISTADO DE FIGURAS

Figura No.1 Tensión en un punto de un sólido elástico plano.....	9
Figura No.2 Tensiones normales y tangenciales.....	9
Figura No.3 Contracción lateral.....	11
Figura No.4 Componentes principales de una maquina de tensión uniaxial.....	13
Figura No.5 Ensayo de tracción.....	14
Figura No.6 Estricción.....	15
Figura No.7 Tejido Masterfabric.....	20
Figura No.8 Impresora HP Latex 360.....	23
Figura No.9 Unión de mantas vinílicas.....	24
Figura No.10 Tipos de perfil de lámina.....	33
Figura No.11 Corrugación de lámina.....	33
Figura No.12 Vivienda del hogar según el material de construcción del techo de la vivienda.....	34
Figura No.13 Hogar de 6 personas en Pueblo Nuevo, Suchitepéquez.....	35
Figura No.14 Formas geométricas y estructuras de techo.....	35
Figura No.15 Pasó de calor por un techado ventilado y cielo falso.....	38
Figura No.16 Incidencia del son en un techo de dos aguas.....	39
Figura No.17 Línea de pobreza total nacional.....	42
Figura No.18 Techado en hogares guatemaltecos.....	43
Figura No.22 Teja rectangular posterior.....	45
Figura No.23 Teja rectangular frontal	45
Figura No.24 Vista isométrica cara frontal.....	46
Figura No.25 Vista isométrica cara posterior.....	46

Figura No.26 Un módulo de tejas.....	47
Figura No.27 Nueve módulos en paralelo tensado y ensamblados.....	48
Figura No.28 Producto final, Ecolám.....	48
Figura No.29 Producto final posición vertical, Ecolám.....	48
Figura No.30 Dispositivo de medición de temperatura.....	50
Figura No.31 Comportamiento solar de lámina galvanizada día uno.....	51
Figura No.32 Comportamiento solar de lámina galvanizada día dos.....	52
Figura No.33 Comportamiento solar de lámina galvanizada día tres.....	53
Figura No.34 Comportamiento solar de Ecolám día uno.....	54
Figura No.35 Comportamiento solar de Ecolám día dos.....	55
Figura No.36 Comportamiento solar de Ecolám día tres.....	56
Figura No.37 Gráfica esfuerzo-deformación probeta uno (sin proceso térmico).....	58
Figura No.38 Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta uno (sin proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.....	59
Figura No.39 Gráfica esfuerzo-deformación probeta dos (sin proceso térmico).....	60
Figura No.40 Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta dos (sin proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.....	61
Figura No.41 Gráfica esfuerzo-deformación probeta tres (sin proceso térmico).....	62
Figura No.42 Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta tres (sin proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.....	63

Figura No.43 Gráfica esfuerzo-deformación probeta cuatro (sin proceso térmico).....	64
Figura No.44 Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta cuatro (sin proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.....	65
Figura No.45 Gráfica esfuerzo-deformación probeta uno (con proceso térmico).....	66
Figura No.46 Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta uno (con proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.....	67
Figura No.47 Gráfica esfuerzo-deformación probeta dos (con proceso térmico).....	68
Figura No.48 Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta dos (con proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.....	69
Figura No.49 Gráfica esfuerzo-deformación probeta tres (con proceso térmico).....	70
Figura No.50 Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta tres (con proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.....	71
Figura No.51 Gráfica esfuerzo-deformación probeta cuatro (con proceso térmico).....	72
Figura No.52 Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta cuatro (con proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.....	73
Figura No.53 Formación de “montañas” en tejas.....	81
Figura No.54 Botella plástica ingresada al molde para iniciar su proceso térmico.....	120
Figura No.55 Temperatura de transición vítrea del plástico PET.....	120
Figura No.56 Temperatura máxima alcanzada.....	121
Figura No.57 Formación de teja rectangular posterior en el molde de madera.....	121
Figura No.58 Formación de teja rectangular frontal en el molde de madera.....	122
Figura No.59 Doblés en una de las pestañas laterales de la teja.....	122
Figura No.60 Ingresó de la botella al molde.....	125
Figura No.61 Reglas de madera verticales para la formación de acople entre tejas.....	125
Figura No.62 Tapaderas de botellas PET para la formación de acople entre tejas.....	126
Figura No.63 Viga de madera rectangular para la formación de acople entre tejas.....	126

Figura No.64 Tornillos con cabeza 13 mm para la formación de acople entre tejas.....	127
Figura No.65 Reglas de madera horizontales para la formación de acople entre tejas..	127
Figura No.66 Estructura de techado de caseta provisional.....	129
Figura No.67 Orientación de la impresión de la manta vinílica sobre la estructura de techado.....	129
Figura No.68 Sujeción de la manta vinílica a la estructura de techado.....	130
Figura No.69 Tensado de la manta vinílica a ,a estructura del techado.....	130
Figura No.70 Sujeción de la manta vinílica lateralmente a la estructura del techado....	131
Figura No.71 Unión de tejas horizontalmente.....	131
Figura No.72 Acople de tejas frontales.....	132
Figura No.73 Ensamble de tejas sobre una viga rectangular de madera de pino rústico.....	132
Figura No.74 Tres módulos de tejas en paralelo.....	133
Figura No.75 Instalación de láminas lisas.....	134
Figura No.76 Vista frontal de la caseta.....	134
Figura No.77 Vista lateral izquierda de la caseta.....	134
Figura No.78 Vista lateral derecha de la caseta.....	134
Figura No.79 Vista de planta de la caseta.....	135
Figura No.80 Vista lateral de la caseta.....	135
Figura No.81 Inclinación de la caseta.....	136
Figura No.82 Papel Kraft Instalado en el interior de la caseta.....	136
Figura No.83 Lluvia natural con una precipitación de 0.1 cm.....	137
Figura No.84 Termocupla uno en el exterior del techado de lámina galvanizada.....	138
Figura No.85. Termocupla uno instalada en el exterior del techado de lámina galvanizada.....	138
Figura No.86 Termocupla dos en el interior de la caseta con techado de lámina galvanizada.....	139
Figura No.87 Termocupla uno en el exterior del techado Ecolám.....	139

Figura No.88 Termocupla uno instalada en el exterior del techado Ecolám.....	140
Figura No.89 Termocupla dos instalada en el interior del techado Ecolám.....	140
Figura No.90 Dimensiones de las probetas.....	141
Figura No.91 Máquina INSTRON-HP 1295.....	142
Figura No.92 Probeta en tensión.....	142

LISTADO DE TABLAS

Tabla No.1 Simbología de polímeros.....	6
Tabla No.2 Propiedades del PET.....	17
Tabla No.3 Propiedades del PET # 2.....	18
Tabla No.4 Especificaciones de mantas de 13 oz.....	25
Tabla No.5 Generación de desechos sólidos domiciliarios urbanos y rurales, 2002.....	26
Tabla No.6 Reflectancia para diferentes materiales de techo sin y con acabado blanco.....	37
Tabla No.7 Resultado de ensayo pluvial.....	49
Tabla No.8 Comportamiento solar de lámina galvanizada día uno	51
Tabla No.9 Comportamiento solar de lámina galvanizada día dos.....	52
Tabla No.10 Comportamiento solar de lámina galvanizada día tres	53
Tabla No.11 Comportamiento solar de Ecolám día uno.....	54
Tabla No.12 Comportamiento solar de Ecolám día dos.....	55
Tabla No.13 Comportamiento solar de Ecolám día tres.....	56
Tabla No.14 Comparación de valores máximos y mínimos de temperatura en °C entre lámina Ecolám y lámina galvanizada comercial.....	57
Tabla No.15 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta uno (sin proceso térmico).....	59
Tabla No.16 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta dos (sin proceso térmico).....	60
Tabla No.17 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta tres (sin proceso térmico).....	62
Tabla No.18 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta cuatro (sin proceso térmico).....	64

Tabla No.19 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta uno (con proceso térmico)	66
Tabla No.20 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta dos (con proceso térmico).....	68
Tabla No.21 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta tres (con proceso térmico).....	70
Tabla No.22 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta cuatro (con proceso térmico)	72
Tabla No.23 Comparación de valores de módulo de elasticidad entre probetas con y sin proceso térmico.....	73
Tabla No.24 Costo de la inversión inicial del equipo.....	74
Tabla No.25 Costo de materiales de fabricación para una Ecolám de 1.80 metros de ancho por 1.82 metro de largo.....	75
Tabla No.26 Tiempo de Manufactura para una Ecolám de 1.80 metros de ancho por 1.82 metros de largo (9 módulos)	76
Tabla No.27 Tiempo de manufactura para un módulo de 1.82 metros (6 pies) de largo.....	77
Tabla No.28 Ventajas y desventajas de la lámina Ecolám.....	77
Tabla No.29 Componentes electrónicos.....	137
Tabla No.30 Espesor de la probeta.....	141

RESUMEN

Este trabajo de graduación consistió principalmente en el diseño y elaboración de un prototipo funcional de una lámina para techado utilizando botellas PET y mantas vinílicas de posconsumo que se desechan en la Ciudad de Guatemala, como materia prima de producción. Se realizaron pruebas pluviales que determinó que el prototipo evita las filtraciones pluviales.

Asimismo, se realizaron ensayos de tracción lo que determinó que las botellas de plástico PET aumentan en un 64.22% el módulo de Young tras haber recibido un proceso térmico, por lo que se logró aumentar la rigidez inicial de las botellas plásticas PET.

Este prototipo concluyó tener varias ventajas y desventajas sobre las láminas acanaladas comerciales como lo fue el uso de materiales reciclables, ensamble modular que permitió un techado a la medida y las desventajas principales fueron que la transparencia del material que facilitó el paso de calor y se requirió de una inclinación mínima de 25° de inclinación para su instalación; entre otros descritos en el trabajo.

Se hizo un análisis de costos de la Ecolám con dimensiones de 1.82 metros (6 pies) de largo por 1.81 metros de ancho, para lo cual se tuvo un costo de materiales de fabricación de Q55.24 y Q6.13 por módulo. El costo de la inversión inicial del equipo fue de Q520.97; el tiempo de manufactura para una Ecolám de estas dimensiones fueron de 22.5 horas, y 2.5 horas para un módulo de 6 pies de largo.

La exposición solar de las láminas determinó que el 50.91% del calor absorbido por la lámina galvanizada comercial en la cara exterior fue disipado, antes de ingresar a la caseta,

mientras que la Ecolám tuvo un valor de 30.92%, lo cual permitió un mayor ingreso de calor a la caseta a comparación de una lámina galvanizada comercial.

Finalmente, se realizó un instructivo detallado del proceso de elaboración de esta lámina, para que todas las personas interesadas en fabricarlas puedan hacerlo.

I. INTRODUCCIÓN

El diseñar y elaborar un prototipo de lámina para techado con materiales reciclables fue una idea innovadora en consecuencia a la gran cantidad de guatemaltecos que viven en un déficit de vivienda, como resultado de los altos índices de pobreza en el país. Se buscó también que por medio de proyectos como, Ecolám, se pueda incentivar a las nuevas generaciones a ser conscientes con el medio ambiente, y que busquen innovar en nuevos productos que puedan solventar una problemática y a su vez, utilizar todo este material que generan un daño a todo el ecosistema, para un uso de mucho provecho para la comunidad

Es importante elaborar proyectos que tengan un impacto social y que a su vez pueda solventar problemas de crisis mundial, como lo que causa la gran cantidad de desechos que se generan diariamente. Los desechos plásticos alrededor del mundo son fuente de contaminación de muchas reservas naturales, ríos, lagos, lagunas, océanos y el medio ambiente en general. La invitación de este trabajo de graduación es a explorar con estos materiales reciclables, que parecen ser obsoletos, y utilizarlos para diseñar y elaborar un bien común que pueda ser de mucho beneficio para todas las personas.

Es por esto que en el presente trabajo se presenta la información necesaria para el diseño y elaboración de un prototipo funcional de una lámina para techado utilizando botellas PET y mantas vinílicas de posconsumo que se desechan en la Ciudad de Guatemala, como materia prima principal de producción, así como también un análisis del producto en base a ensayos pluviales, de tracción, a la exposición solar y finalmente un análisis de costos para que sea de referencia para todos los interesados en el proyecto.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Elaborar un prototipo funcional de una lámina para techado, utilizando botellas PET y mantas vinílicas de posconsumo que se desechan en la Ciudad de Guatemala.

B. Objetivos específicos

- Elaborar un prototipo de lámina para techado que evite las filtraciones pluviales.
- Realizar ensayos de resistencia de materiales y al comportamiento a la exposición solar.
- Analizar los costos de manufactura del prototipo, en términos de longitud y anchura.
- Determinar las ventajas y desventajas principales que presenta este prototipo para ser utilizado como una lámina de techado.
- Elaborar instructivo, especificando los pasos necesarios para elaborar un prototipo de lámina para techado, empleando botellas PET y mantas vinílicas.

III. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con los datos propuestos por el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda de Guatemala, en el año 2015 se registró un déficit de vivienda que alcanza la cifra de más de 1,2 millones de habitantes. De esta cifra se desprenden dos rubros importantes, el déficit cuantitativo de vivienda, definido como la situación donde la persona carece absolutamente de una vivienda, representando el 39% y el restante 61% se encuentra en el déficit cualitativo, definido como el número de personas que poseen una vivienda, pero no reúne las condiciones mínimas de habitualidad.

Una de las razones por la cual el déficit de vivienda es considerable en Guatemala, es la pobreza que caracteriza al país. La prioridad principal en la base de la pirámide económica es la alimentación, que de por sí es un reto diario al que se enfrentan miles de familias en Guatemala, dejando así la vivienda y otros aspectos importantes para la calidad de vida a un lado. Tal es el caso de las viviendas, que con el alto costo que representan la adquisición de material y construcción de varios elementos vitales de la misma, la mayoría de estas familias se ven forzadas a vivir en condiciones no idóneas.

Debido a esto, surge la idea de crear un prototipo de lámina para techado elaborado con botellas PET y mantas vinílicas de posconsumo que se generan en la Ciudad de Guatemala, siendo estas opciones que logren disminuir el costo de elaboración del prototipo y a la vez incentivar la reutilización y valorización de estos materiales, brindándole a todos los habitantes que se encuentran en déficit de vivienda, una alternativa económica al techado de sus viviendas.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Tereftalato de Polietileno (PET)

Los polímeros (plásticos) son materiales derivados del petróleo, siendo de los materiales con mayor crecimiento en la industria actual, debido a sus ventajas respecto a otros materiales como lo es el vidrio. El tereftalato de polietileno, PET, conocido principalmente en el mercado por sus siglas en inglés (Polyethylene terephthalate), es un poliéster de alto peso molecular, siendo este el material más utilizado en la fabricación de botellas plásticas para bebidas, ideal para la distribución masiva y moderna. (Colomo, 2013)

1. Clasificación general de los envases plásticos. Los polímeros, siendo el material más común para la fabricación de envases, se dividen en tres grandes grupos, en función de la dependencia de las cadenas de polímeros. La clasificación es la siguiente:

- Termoplásticos
- Elastoplásticos
- Termoestables

a. Termoplásticos. Son polímeros lineales que pueden o no ser ramificados, además de ser polímeros solubles en algunos disolventes orgánicos. Los plásticos que pertenecen a esta categoría son: PET, PP, PS, Y PVC. Tienen como característica principal que pueden ser fundidos para ser reciclados. (Colomo, 2013)

Esta clasificación de plásticos son los que abarcan la mayor cantidad de productos fabricados en la industria, porque más de la mitad de las cifras procesadas por las plantas en nuestro país corresponden a los plásticos mencionados anteriormente. (Colomo, 2013)

La definición de un termoplástico es un polímero que posee una transición vítrea T_g (si corresponde a un material amorfo) o a una temperatura de fusión T_m (si corresponde a un material cristalino) superior a la temperatura ambiente. Los termoplásticos se ablandan al calentarse (estando en un punto intermedio entre el estado fundido y el estado rígido del

material) y pueden ser moldeados para darles distintas formas, sabiendo que al enfriarse volverán a endurecerse manteniendo sus características iniciales. El PET cuando alcanza su temperatura T_g (que oscila entre los 100°C - 110°C), el polímero disminuye su densidad, dureza y rigidez (Colomo, 2013)

Al elevar la temperatura, las moléculas adquieren energía necesaria para que puedan distanciarse entre ellas, y esto les brinda libertad en movilidad y le da lugar a una nueva forma cuando son sometidos a presión. Este conjunto de polímeros ofrece buenas propiedades mecánicas, fácil procesamiento, reciclables y económicamente producibles. (Colomo, 2013)

La desventaja que representa este grupo de polímeros es el hecho que puede llegar a fundirse a temperaturas muy elevadas, por lo que la aplicación en ambientes de temperaturas superiores a su temperatura de transición vítrea causaría un cambio en sus propiedades mecánicas. (Colomo, 2013)

b. Elastoplásticos. Son polímeros compuestos de pocas cadenas de moléculas en forma de hilos, que al no estar sometidos a carga se presentan en forma de ovillo. Se caracterizan por tener una elevada elasticidad y su gran alargamiento. Soportan alargamientos de varias veces su longitud inicial, y al contrario de los termoplásticos, estos no pueden fundirse de nuevo. (Colomo, 2013)

c. Termoestables. Al elevar la temperatura por primera vez en el polímero se ablanda y se le puede dar forma bajo presión. Sin embargo, inicia una reacción química, causando que las moléculas se enlacen permanentemente, recibiendo el nombre de degradación. Esto genera la rigidez permanente, y al calentarse no se ablanda sino que se destruye. (Colomo, 2013)

Estos materiales no son muy comunes en la industria debido a que los métodos de transformación y acabados finales no son de la misma eficiencia que los termoplásticos.

2. Simbolización de envases. Existe una identificación para los polímeros, para facilitar la clasificación al momento de reciclar los envases. Este código es conocido como Código Internacional (SPI), desarrollado por la Sociedad de la Industria de Plásticos en 1988. Son reconocidos por un símbolo conformado por un triángulo de flechas con un número dentro, normalmente ubicados en el fondo de los recipientes.

Tabla No. 1 Simbología de polímeros

Simbología	Siglas	Nombre completo	Usos comerciales
	PET	Tereftalato de polietileno	Botellas de bebidas carbonatadas, jugos, jarabes, medicamentos.
	PEAD	Polietileno de alta densidad	Envases de leches, detergentes, champú, tanques de agua.
	PVC	Cloruro de polivinilo	Tubería de agua, desagües, aceites, mangueras, cables, bolsas de sangre.
	PEBD	Polietileno de baja densidad	Bolsas para uso agrícola.
	PP	Polipropileno	Tapaderas para alimentos, bolsas de uso agrícola, tubería de agua caliente, films de protección alimenticia.
	PS	Poliestireno	Envases de alimentos congelados, aislante de hieleras.
	Otros	Resinas epoxídicas, Resinas fenólicas, Resinas amídicas, Poliuretano	Adhesivos e industria plástica, elementos moldeados como enchufes, espuma de colchones.

Fuente: Colomo, 2013

Las categorías establecidas por el SPI son las siguientes: 1. Tereftalato de polietileno (PET); 2. Polietileno de alta densidad (PEAD); 3. Cloruro De polivinilo (PVC); 4. Polietileno de baja densidad (LDPE); 5. Polipropileno (PP); 6. Poliestireno (PS); 7. Otros, incluyendo materiales elaborados con más de una de las resinas de las categorías 1 a la 6. (Colomo, 2013)

3. Ventajas del envase PET. Los materiales poliméricos son caracterizados por su alto peso molecular, baja densidad, alta resistencia a la corrosión y baja conductividad térmica y eléctrica. Siendo totalmente opuesto a los materiales metálicos. (Colomo, 2013)

Específicamente el material PET ofrece una resistencia, conocido como factor barrera, al paso de agentes del exterior al interior del mismo. Entre los agentes contaminantes más comunes se encuentran los siguientes: humedad, gases ofensivos para el consumo humano y otros gases que puedan afectar el sabor de los alimentos y bebidas dentro del envase. Tiene la propiedad de ser un material claro y transparente, en su estado natural es alta por lo que ofrece un alto brillo y excelente estética. (Colomo, 2013)

Además, ofrece una consistencia aceptable para protección del producto y sensación de seguridad al consumidor. Su escaso peso con relación al del producto adquirido, es aproximadamente 50 veces menos que el líquido contenido, siendo un significativo ahorro en transporte. (Colomo, 2013)

La temperatura que puede soportar el PET sin deformarse ni degradarse, es otra ventaja importante. Este material pasa por un proceso de extrusión a temperaturas superiores a 250°C. Su punto de fusión se ubica alrededor de los 260°C (Colomo, 2013)

Una lista de las ventajas que presenta los envases son los siguientes:

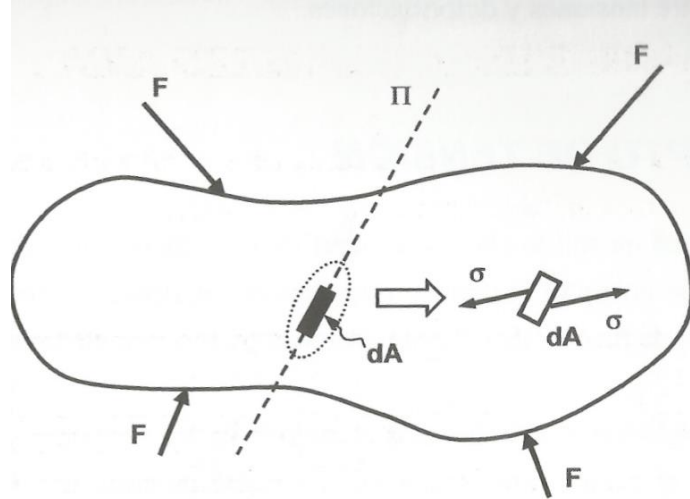
- Producto reciclable
- Buena resistencia mecánica
- Buena resistencia a los productos químicos
- Gran versatilidad en tamaños y formas
- Excelente brillo, transparencia y claridad
- Menor energía en su proceso de fabricación
- Envase ligero, comparado con envases de vidrio o metal.
- Bajo costo para el consumidor.
- Buena barrera a gases y vapores.
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- Buen coeficiente de deslizamiento
- Alta resistencia al desgaste
- Alta rigidez y dureza
- Estabilidad a la intemperie
- Gran indeformabilidad al calor
- Aceptación para ser compactado
- Muy buenas características eléctricas y dieléctricas
- Baja absorción de humedad.

(Colomo, 2013)

B. Ensayos de resistencia de materiales

1. Tensión

Figura No. 1. Tensión en un punto de un sólido elástico plano.

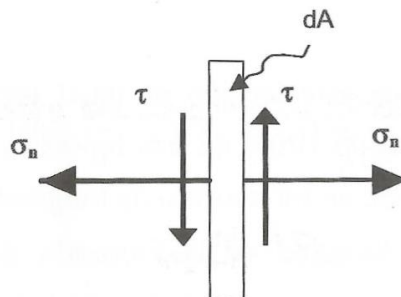


Fuente: Jiménez, *et al*, 2015

Si se toma una diferencial del sólido en cualquier punto, sucede que cuando se tiene una tensión σ en una de las caras, en la cara posterior, la tensión tendrá que ser igual y de sentido contrario para que el elemento se encuentre en equilibrio. (Jiménez, *et al*, 2015)

A la tensión σ_n se le denomina tensión normal y a la tensión τ , tensión tangencial.

Figura No.2. Tensiones normales y tangenciales.



Fuente: Jiménez, *et al*, 2015

La tensión normal σ_n se define como:

$$\sigma_n = \frac{N}{A}$$

La tensión es igual para todos los puntos de una sección perpendicular. En efecto, asociada a esta tensión normal σ_x , el sólido sufre un incremento de longitud ΔL debido a la suma de los infinitésimos incrementos de longitud de todas las rebanadas que conforman el sólido. (Jiménez, *et al*, 2015)

Así, si se define la deformación normal ϵ_x como el incremento de longitud dividido por la longitud inicial dx de la rebanada. (Jiménez, *et al*, 2015)

$$\epsilon_x = \frac{\Delta dx}{dx}$$

La deformación longitudinal ϵ_x de los puntos de una sección sometida a tracción será la misma para todos los puntos de dicha sección. Por tanto, si admitimos que entre las deformaciones y las tensiones existe una relación lineal, de acuerdo a la *Ley de Hooke*, se puede concluir que todos los puntos de la sección soportan la misma tensión normal σ_x . (Jiménez, *et al*, 2015)

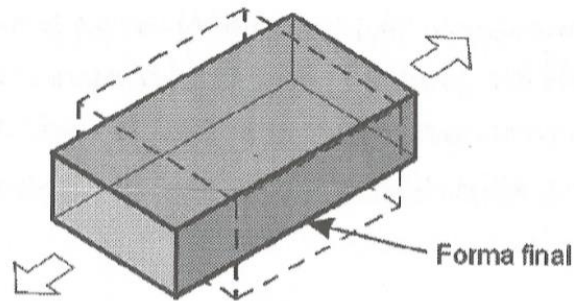
2. Relación entre tensiones normales y deformaciones longitudinales: Ley de Hooke. Existe una relación lineal entre tensiones y deformaciones representadas por la siguiente fórmula:

$$\sigma_x = E \cdot \epsilon_x$$

La constante que de proporcionalidad E entre tensiones y deformaciones es una propiedad característica propia del material y se conoce como el *módulo de elasticidad longitudinal* o *módulo de Young*. (Jiménez, *et al*, 2015)

Hay que tener en cuenta que además de la deformación longitudinal ϵ_x del material en la dirección de la fuerza aplicada N , existen también otras deformaciones transversales que se manifiestan como una contracción lateral. (Jiménez, *et al*, 2015)

Figura No. 3. Contracción Lateral.



Fuente: Jiménez, *et al*, 2015

Esta deformación lateral se denomina transversal y es proporcional a la deformación longitudinal ϵ_x . La constante de proporcionalidad entre ambas es otra propiedad característica del material, igual que lo era el módulo de Elasticidad E , y se denomina *coeficiente de Poisson* ν . (Jiménez, *et al*, 2015)

$$\nu = -\frac{\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{longitudinal}}$$

3. El ensayo de tracción. El conocimiento de las propiedades de los materiales es útil para el diseño de cualquier producto que estará sometido a un tipo de carga en su funcionamiento. Un ensayo de tracción nos brinda información sobre las propiedades del material, para que sean consideradas en el diseño. La operación consiste en someter varias probetas a una carga uniaxial gradualmente creciente, hasta que ocurra la falla. (Jiménez, *et al*, 2015)

Previo a elaborar un ensayo de tensión es de suma importancia tomar las respectivas medidas dimensionales de la probeta, con una herramienta de exactitud como lo es el pie de rey o vernier. Posteriormente, se debe medir nuevamente la probeta para comparar las dimensiones iniciales con las finales, ya que con estos datos se puede calcular la deformación de la probeta. (García, 2008)

Subsiguientemente, con la ayuda del encargado del Laboratorio de materiales donde se vaya a efectuar el ensayo, se debe determinar si la máquina cumple con estos requisitos:

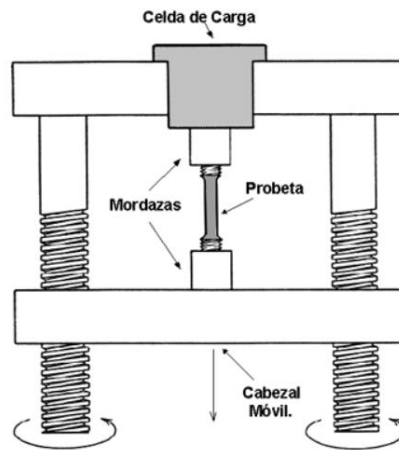
- Fuerza necesaria para romper la probeta.
- Controlar la velocidad de deformación de la probeta.
- Registrar la fuerza aplicada
- Registrar la deformación de la probeta.

Si cumple todos estos requisitos, se ejecuta el proceso operativo del ensayo que consiste en tres pasos esenciales:

- Colocar la probeta entre las mordazas fijamente.
- Aplicar una velocidad de estiraje adecuada.
- Registrar la fuerza y el alargamiento de la probeta.

4. Componentes principales de una máquina de tensión uniaxial. Los principales componentes de una máquina de tensión uniaxial están constituidos de dos mordazas/tenazas, una fija y otra móvil. Ambas deben sujetar la probeta fijamente, y en el caso de los plásticos se agregan algún elemento adicional (un pedazo de caucho o algún material que contenga un alto coeficiente de fricción) evitar que la probeta se escurra de la mordaza. La celda de carga es una estructura, en cuyo interior se encuentran varios sensores que registran la fuerza y deformación al que se somete la probeta. Al mover a una velocidad constante la cabeza móvil de la máquina, es como se van obteniendo los diferentes datos que conforman la gráfica esfuerzo-deformación. (García, 2008)

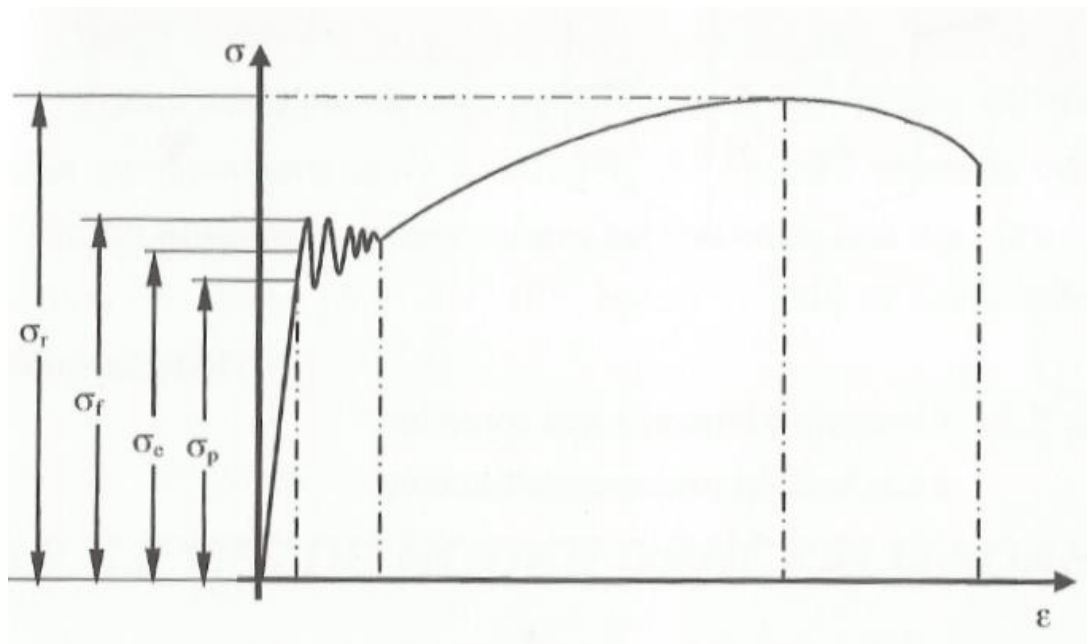
Figura No.4. Componentes principales de una máquina de tensión uniaxial.



Fuente: García, 2008

5. Resultados del ensayo de tracción

Figura No. 5. Ensayo de tracción.



Fuente: Jiménez, *et al*, 2015

Las variables que se muestran en esta figura se definen de la siguiente manera:

- σ_r = límite de rotura
- σ_f = límite de fluencia
- σ_e = límite de elasticidad (el material recupera la forma inicial al descargarse)
- σ_p = límite de proporcionalidad (el material cumple la Ley de Hooke)

(Jiménez, *et al*, 2015)

A partir de los datos de un ensayo de tensión, se puede realizar el diagrama de la gráfica anteriormente descrita; es útil para analizar el valor del esfuerzo contra la deformación unitaria del material para determinar el valor de las variables que componen esta gráfica.

El porcentaje de elongación o de estiramiento es el valor de la ductilidad de un material. Esto se puede calcular de la siguiente manera (García, 2008):

$$\%elongacion = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\%$$

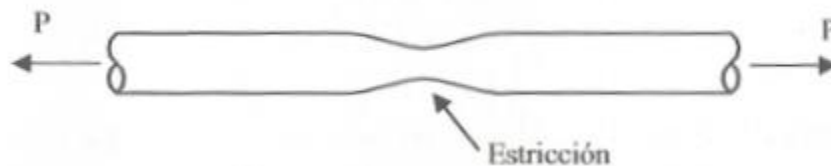
El porcentaje de reducción de área también es un parámetro que indica la ductilidad del material, utilizando como referencia el área inicial y final. La ecuación para este porcentaje se define así (García, 2008):

$$\%reduccion\ de\ Area = \frac{A_f - A_0}{A_0} * 100\%$$

Durante el ensayo de tracción, se manifiesta una estricción debido a la plastificación que sufre la sección, indicando que el material se encuentra en la zona plástica. El coeficiente de Poisson del material es representado por el símbolo ν , siendo la relación entre las contracciones laterales con las principales.

(Jiménez, *et al*, 2015)

. Figura No. 6. Estricción



Fuente: Jiménez, *et al*, 2015

C. Propiedades físicas del PET.

1. Resistencia al entorno ambiental. Este material se deteriora con el paso del tiempo, al igual que muchos otros materiales, en forma irreversible, debido a los factores externos que se encuentran en el medio ambiente. Algunas variables que causan la degeneración del material son: temperatura ambiental, radiación solar, humedad, contaminantes atmosféricos etc. Estos factores podrían causar modificaciones en las siguientes propiedades estéticas: color, desecación, variación en dimensiones, debilitamiento de las propiedades mecánicas, aparición de fisuras. Sin embargo, debido a la cristalinidad y transparencia que caracteriza este material, ayuda a que su resistencia al entorno ambiental sea mayor. (Elías, *et al*, 2012)

a. Estabilidad térmica. La mayoría de los polímeros, especialmente los poliésteres, al estar sometidos a temperaturas mayores a los 70°C, inician procesos químicos que provoca cambio en sus propiedades. La temperatura máxima que el PET presenta es de 71°C, y el PET cristalizado tiene una resistencia a temperaturas de hasta 230°C (Suasnavas, 2017)

b. Conductividad térmica. La cantidad de calor que transmite el PET a través del mismo está definida por la variable de conductividad térmica. Si se tiene un valor cercano a cero, se considera un buen aislamiento térmico, y siendo lo inverso para valores lejanos de cero. Para este material en específico, se tiene un valor de 0.15 W/K*m. (Floral, *et al*, 1996)

c. Absorción de agua. Esta propiedad se define por la capacidad del material en retener agua dentro de su estructura, luego de estar en contacto por un largo periodo de tiempo a un ambiente húmedo. Esta variable influye directamente en el peso del material. El PET presenta un valor de absorción de agua menor al 0.7% en un ensayo que duro 24 horas. (Muñoz, 2012)

d. Propiedades ópticas. Estas propiedades son relacionadas con la morfología y estructura del material, las principales son: índice de refracción y transmisión de la luz. Los

valores de estas dos variables están directamente relacionados con la turbidez, brillo y transparencia del material. En el caso de los materiales amorfos, cuando no contienen impurezas poseen una mayor transparencia; En estructuras cristalinas pueden interferir el paso de luz. El valor del PET en transmisión de luz es de un 89% y posee un índice de refracción de 1.576. (Suasnavas, 2017)

Tabla No.2. Propiedades del PET.

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	–	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	–	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	–	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	–	Excelente
Calidad óptica	–	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: Richardson, *et al*, 2000

Otras propiedades físicas del PET mencionadas con anterioridad, y que no están presentes en la tabla anterior, se resumen en esta tabla a continuación:

Tabla No.3. Propiedades del PET # 2.

Propiedades físicas		
<u>Propiedad</u>	<u>Unidad</u>	<u>Valor</u>
Absorción de agua ASTM	%	0.16
Índice refractivo	-	1.58-1.64
Inflamabilidad	-	Auto extingible
Propiedades mecánicas		
Coefficiente de fricción	-	0.2-0.4
Propiedades térmicas		
Calor específico	J/Kg*K	1170
Coefficiente de expansión térmica	(* 10 ⁻⁶ /K)/ (* 10 ⁻⁶ /°C)	20-80/ 117
Conductividad térmica	W/ k*m	0.15
Temperatura máxima de utilización	°C	115-170
Temperatura mínima de utilización	°C	-40 a -60
Propiedades de resistencia de materiales		
Módulo de elasticidad	GPa/10 ⁶ psi	2.76 - 4.14
Coefficiente de Poisson	-	0.33
Resistencia a la tracción	MPa/ksi	48.3-72.4/(7-10.5)
Límite elástico	MPa/ksi	59.3/(8.6)
Porcentaje de elongación	%	30-300

Fuente: Toro, 2004. Floral, *et al*, 1996

D. Mantas vinílicas (lonas vinílicas)

Las mantas vinílicas están diseñadas para uso mediano, ya que resiste a los vientos y al medio ambiente. Es un producto utilizado ampliamente en el área publicitaria, en carteleras, anuncios, impresiones en tinta, banners e impresión “heat transfer”. (Ballesteros, 2001)

Usualmente existen dos tipos comunes de mantas vinílicas en el mercado, las lonas de 13 onzas y de 10 onzas. La primera se caracteriza por ser una manta de buena calidad ideal para impresiones frontales de alta resistencia, con excelente recepción anclaje de tinta obteniendo una calidad de impresión superior, logrando colores brillantes. Las de 10 onzas, son consideradas de menor calidad, teniendo una capacidad de impresión frontal de baja resistencia usualmente utilizadas para trabajos muy económicos y de pequeñas dimensiones, este tipo de lona no es comúnmente utilizada en Guatemala. (Novocolor, S.A. Lonas. 2017).

Una manta vinílica consiste generalmente, en una malla de poliestireno recubierta de vinil. Hay diferentes métodos para incrementar las propiedades superficiales y propiedades físicas de esta malla. El recubrimiento comúnmente utilizado, se destaca el siguiente:

1. Vinil (PVC). La resina de policloruro de vinilo es el elemento principal para el recubrimiento superficial de las mantas vinílica. Debido a sus propiedades inherentes e impermeables, su resistencia a la abrasión, impacto y fuego son notables de mencionar. Es térmicamente inestable y difícil de procesar por sí solo, por lo que este material debe de estar acompañado de aditivos como estabilizantes, plastificantes y otros, para convertir de la resina de PVC en un material rígido o flexible. (Ballesteros, 2001)

Las propiedades de las mallas utilizadas en el recubrimiento para la fabricación de lonas y mantas vinílicas dependen en gran medida del tipo y forma de las fibras utilizadas. Una fibra es denominada un filamento plegable parecido a un cabello, cuyo diámetro es muy

pequeño respecto a su longitud. Esta serie de unidades son fundamentales para la fabricación de hilos y mallas. Existen fibras naturales y sintéticas. (Ballesteros, 2001)

La finura de las fibras se mide en Denier. El denier es el peso en gramos de 1000 metros de hilo o fibra.

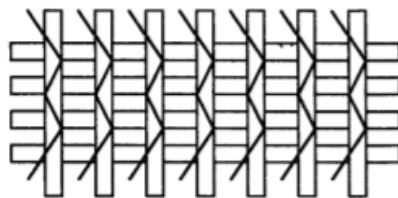
Las fábricas sintéticas que se utilizan para la fabricación de mallas son de Poliéster. Sus propiedades principales del poliéster son:

- Resistencia en humedad y en seco
- Estabilidad dimensional
- Resistencia a la degradación por la luz solar
- Durable y resistente a la abrasión
- Buen aspecto estético

(Ballesteros, 2001)

2. Peso y trama. La estructura típica de estos tejidos, consiste en dos tipos de hilos, de alta y baja densidad, arreglados de manera que, los hilos de baja densidad se encuentran a lo largo de la malla (hilos al pie) y los de alta densidad cruzan la tela a lo ancho (hilos a la trama). (Ballesteros, 2001)

Figura No.7. Tejido Masterfabric



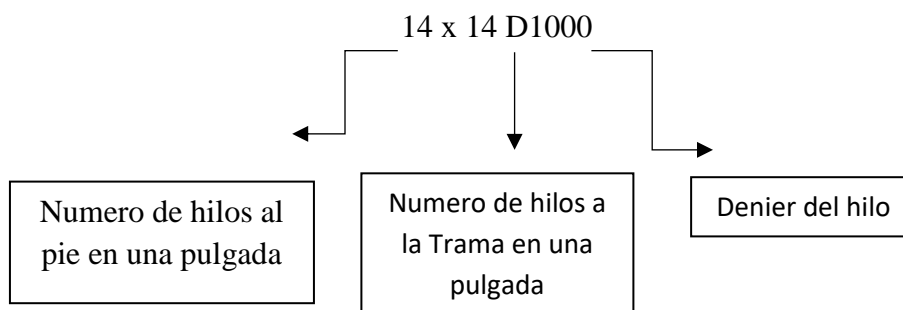
Fuente: Ballesteros, 2001

Esta estructura permite que los hilos a la trama y al pie permanezcan rectos, esto tiene como propósito una superficie más lisa de la manta y mejor transferencia de las propiedades mecánicas de los hilos a la malla. (Ballesteros, 2001)

3. Tipos de mallas. Las mallas abiertas (menor densidad), es decir, con menor número de hilos por pulgada cuadrada, permiten obtener niveles de adhesión mayor, ya que el recubrimiento puede penetrar más a través de los hilos para lograr un buen amarre con la capa posterior de recubrimiento.

Las mallas cerradas (mayor densidad) son utilizadas en recubrimientos líquidos y pastas viscosas, logrando una menor adhesión que las mallas abiertas, pero mayor resistencia al rasgado, debido a la mayor densidad de las telas. (Ballesteros, 2001)

Para caracterizar el tipo de tejido, que tan cerrado o abierto esta, se contabiliza el número de hilos al pie y a la trama en una pulgada cuadrada. Y además se especifica el denier del hilo utilizado. Así una forma de representar un tipo de malla es:



(Ballesteros, 2001)

4. Procesos de producción

a. Extrusión. Las mantas vinílicas fabricadas bajo el proceso de extrusión tienen la característica de ser muy brillantes, baratas y de un espesor bajo, utilizado principalmente en superficies planas. Este proceso no es el más común de fabricación de mantas vinílicas ya que tiene aplicaciones más específicas, reduciendo su mercado. El proceso inicia con la mezcla de vinilo y plastificantes que mejoran las propiedades físicas de la manta, por medio de altas temperaturas se fusionan todos estos materiales para

obtener un nuevo elemento. Esta mezcla pasa por unos rodillos metálicos que ejercen presión y con calor en el proceso se genera una mezcla homogénea y la forma de una lámina plana. Obteniendo esta lámina, debe pasar por otros rodillos de ser necesario, para obtener la uniformidad y dimensiones deseadas. Finalmente, se adhiere la capa superficial a la lámina, con el objetivo de mejorar la resistencia y el brillo de esta lámina. Pasa por control de calidad, donde supervisan que todas las orillas imperfectas han sido removidas, y se procede a empacar el producto. (Tekra. Tek Tip – Cast vs. Calendered Vinyl. 2018.)

b. Laminado. Este proceso se considera más simple que la extrusión, ya que el proceso inicia al someter una malla de poliéster en una serie de rodillos, donde por medio de presión y calor se adhiere la capa de vinilo en ambos lados de la malla y la manta vinílica esta lista para ser empacada. Es el proceso de fabricación más económico, por ende, el proceso más común en la industria. La capa de vinilo, formada principalmente por policloruro de vinilo y aditivos plastificantes que sirven como agentes que proveen flexibilidad y otras propiedades importantes a las mantas vinílicas. Existen dos tipos de plastificantes, poliméricos y monoméricos, que su composición química tiene como característica mejorar las propiedades físicas y mecánicas. Lo más recomendable es utilizar plastificantes poliméricos ya que resisten al entorno climático de una mejor manera. (Sign & Digital Graphics. Anatomy of a Vinyl Banner.2018)

c. Recubierto. Este proceso consiste en aplicar una capa líquida de vinilo a altas temperaturas en la manta de poliéster, a diferencia del laminado, la capa de vinilo se encuentra en un estado líquido y no en un estado “laminado”. El flujo de vinilo debe ser cuidadosamente controlado para lograr un espesor de capa aplicado entre 1 y 2 milésimas de pulgada de espesor. Este espesor constante se logra a través del control de la temperatura del vinilo líquido. Los parámetros de temperatura promedios del líquido fluctúan entre 450°F y 650°F. Luego de aplicar la capa de vinilo se pasa por un horno, cuyas temperaturas se ubican entre los 350°F y los 700°F, para terminar de asegurar la debida adhesión del material a la malla del poliéster, y a la vez evaporar todos los solventes de la mezcla aplicada, para obtener el producto terminado de una manta vinílica. Este proceso garantiza

una calidad de adhesión y de acabado superficial de excelente. (*Sign & Digital Graphics. Anatomy of a Vinyl Banner.2018*)

5. Proceso de impresión. El método actual de impresión en mantas vinílicas comerciales es por medio de impresoras digitales, siendo un proceso más práctico a comparación del método antiguo de la serigrafía. Estas impresoras de gran dimensión, utiliza tintas eco solventes, látex u tintas de alta gama para colores metálicos. Estas tintas no son toxicas, no inflamables y son solubles con el agua. Tienen como característica proteger contra rasguños, la habilidad de adherirse a las superficies de vinilo y otras propiedades importantes que den una impresión de buena calidad. Luego de imprimir se debe tomar un tiempo prudente de “curación” donde la tinta ha sido totalmente absorbida y el agua sobrante ha sido evaporada para evitar dañar la imagen impresa. (*HP. HP Latex Printers. 2018*)

Figura No.8. Impresora *HP Latex 360*



Fuente: Web HP

6. Unión de mantas vinílicas. Las mantas vinílicas, no solo deben tener un buen acabado de impresión sino también es importante tener un buen acabado en cuanto al sellado de la lona. El proceso de vulcanización, conocido como sellado, requiere que se logre un sello por medio de calor. Existen varias herramientas como pistolas de calor, cuña caliente y otros que permiten la unión de las mantas. Se debe tener cuidado de no exceder la temperatura, evitando quemar la lona. Este método es sumamente eficiente y comúnmente utilizado para la unión y sujeción de mantas vinílicas. (*Sagaró. Consejos para lograr un buen acabado de lona. s.f.*)

Figura No.9. Unión de mantas vinílicas



Fuente: Web Avance y Tec

7. Propiedad de las mantas vinílicas. Las mantas vinílicas más comunes en el mercado Guatemalteco, son las de 13 onzas, debido al poco uso que tienen las mantas vinílicas de 10 onzas, la información es escasa en cuanto a sus propiedades. La película de PVC ofrece una gran estabilidad dimensional optimizando el termo-sellado y el anclaje de tintas de impresión, garantizando la calidad de reproducción para imágenes de larga vida útil. (Resplander. Lona Frontlit 400 gr. s.f)

Contiene un peso de:

440 g/ m^2

13 oz/ yd^2

Las propiedades características de esta lona se describen en la tabla a continuación:

Tabla No.4. Especificaciones mantas de 13 oz.

ESPECIFICACIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDICIÓN
TELA BASE	Poliéster	NA
HILADO	500x500	D
NÚMERO DE HILOS	9x9	Hilos / pulg ²
PESO TOTAL	440	g / m ²
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (L)	640	N / 5cm
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (A)	406	N / 5cm
RESISTENCIA AL RASGADO (L)	72	N / 5cm
RESISTENCIA AL RASGADO (A)	40	N / 5cm
RESISTENCIA AL DESPRENDIMIENTO	34	N / 5cm
RESISTENCIA A LA TEMPERATURA	-30 a 70	°C
TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO	22 - 26	°C

Fuente: (Resplander. Lona Frontlit 400 gr. s.f)

E. Residuos en Guatemala.

De acuerdo con el Perfil Ambiental publicado en el 2006, en el país diariamente se generaban desechos sólidos entre 6,000 y 7,000 toneladas, el 60% generado en área urbana y el restante 40% en área rural. Este número en la actualidad es aún más grande debido a que la generación de desechos sólidos está fuertemente ligada al crecimiento poblacional, urbanización y los patrones de producción y consumo de la sociedad. La sociedad y entes gubernamentales buscan solventar la problemática de los desechos, ya que es un tema que para cualquier ciudadano guatemalteco que camina por las calles puede observar la falta de cultura de reciclaje y conciencia ambiental.

Uno de los mayores problemas en Guatemala, es la presencia de botaderos ilegales; Se estima que en el país hay aproximadamente 6,000 basureros clandestinos. Esto se debe a la falta del servicio municipal para la recolección de desechos, y falta de concientización ambiental en la población. (IARNA, *et al*, 2006)

Normalmente los depósitos clandestinos se ubican en barrancos, cañadas o áreas cercanas a ríos, fuentes de agua o zonas de recarga hídrica, que producen como consecuencia lixiviados que provocan la proliferación de plagas incendios y enfermedades bioinfecciosas. En área rural, el servicio de recolección de basura no tiene cobertura por razones de la dispersión que tienen los hogares en área rurales, y por la costumbre de enterrar o quemar la basura.

Tabla No.5. Generación de desechos sólidos domiciliarios urbanos y rurales, 2002.

Departamento	ZONAS URBANAS			ZONAS RURALES			TOTAL
	Población	Generación		Población	Generación		%
		t/día	t/año		t/día	t/año	
Guatemala	2,186,669	1091.77	398,494.98	354,912	158.87	57,988.80	29.48
Quetzaltenango	344,858	148.33	54,140.95	279,858	85.95	31,372.28	5.52
Escuintla	256,972	110.61	40,372.92	281,774	100.51	36,684.59	4.98
Chimaltenango	217,922	90.83	33,152.71	228,211	75.94	27,717.59	3.93
Sacatepéquez	208,876	98.27	35,869.46	39,143	17.04	6,218.50	2.72
Huehuetenango	192,099	71.98	26,272.27	654,445	193.03	70,454.61	6.25
San Marcos	173,332	61.65	22,501.16	621,619	171.61	62,639.38	5.50
Suchitepéquez	165,871	68.16	24,877.33	238,074	76.75	28,013.92	3.42
Alta Verapaz	163,012	59.47	21,706.32	613,234	174.37	63,646.33	5.51
Quiché	161,591	52.00	18,978.90	493,919	127.12	46,398.81	4.22
Sololá	150,134	50.31	18,362.94	157,527	41.52	15,154.82	2.16
Totonicapán	121,617	36.49	13,317.06	217,637	54.41	19,859.38	2.14
Petén	110,399	50.42	18,404.76	256,336	90.64	33,081.92	3.33
Jutiapa	105,648	45.29	16,529.82	283,437	102.20	37,304.45	3.48
Santa Rosa	105,061	44.31	16,172.48	196,309	70.20	25,621.38	2.70
Izabal	90,508	40.44	14,759.79	223,798	79.83	29,139.13	2.84
Retalhuleu	87,749	41.39	15,106.96	153,662	57.33	20,925.41	2.33
Chiquimula	78,631	30.30	11,058.58	223,854	68.99	25,181.78	2.34
Zacapa	77,935	37.02	13,511.01	122,232	49.62	18,111.03	2.04
Jalapa	76,689	28.77	10,502.24	166,237	52.85	19,291.89	1.92
Baja Verapaz	58,962	25.12	9,169.80	156,953	55.08	20,104.23	1.89
El Progreso	50,300	22.25	8,119.93	89,190	32.76	11,958.08	1.30
Total	5,184,835	2,305.16	841,382.37	6,052,361	1,936.63	706,868.31	100.00

Fuente: IARNA, *et al*, 2006

Se estima que en el país hay aproximadamente 6,000 basureros clandestinos. Normalmente los depósitos clandestinos se ubican en barrancos, cañadas o áreas cercanas a ríos, fuentes de agua o zonas de recarga hídrica, que producen como consecuencia lixiviados que provocan la proliferación de plagas incendios y enfermedades bioinfecciosas. En área rural, el servicio de recolección de basura no tiene cobertura por razones de la dispersión que tienen los hogares en área rurales, y por la costumbre de enterrar o quemar la basura.

(IARNA, *et al*, 2006)

El lugar donde se realiza el mayor consumo de desechos es en el hogar de cada familia guatemalteca, por lo que la importancia de disminuir los desechos sólidos debe ser propiciada en cada hogar.

Sin embargo, existen recolectores de basura de forma independiente que han utilizado los desechos como un ingreso económico y una forma de vida, ya que encontraron valor en la basura ya que empresas en el país se interesan por comprar producto reciclado como en el caso de los envases PET.

El objetivo principal por el que existen recolectores de desechos sólidos es su precio, y debido a que esto puede ser variable, se considera el factor decisivo de la existencia del recolecto. Si el precio es muy bajo, los recolectores dejarían de recolectar este material debido a su poco ingreso económico, mientras que lo contrario pasaría si se aumentara el precio por libra del producto a reciclar entre ellos cartón, vidrio, PET, latas y otros materiales.

Una de las empresas que incentiva la recolección de botellas plásticas PET, es *Europet Guatemala C.A*, ubicada en el kilómetro 21 lote no. 7 carretera antigua a Amatitlán ubicada en el municipio de Villa Nueva, Guatemala. Esta empresa utiliza las botellas PET, de posconsumo, para la fabricación de preformas con un mínimo de 20% material PET reciclado, mezclado con resina virgen. (Colomo, 2013)

Esta empresa genera beneficios al incentivar la recolección del PET, ya que se obtiene la limpieza en vertederos actuales, disminuye la contaminación, se crea una cultura de reciclaje y se generan empleos. El utilizar botellas PET de posconsumo, ha significado la reducción de costo en su proceso, por lo que ha incentivado a muchas otras empresas a tomar en consideración, material de posconsumo dentro de sus procesos. (Colomo, 2013)

Se estima que 20 botellas de 600 mL, hacen una libra masa de PET. El número de botellas que componen una libra masa dependerá del contenido volumétrico de las botellas. (Colomo, 2013)

El valor de la libra de PET oscila entre Q1.75 si es PET cristalino, Q1.35 celeste y Q0.60 el verde acorde a los datos consultados vía telefónica el día 7/03/2018 con la empresa

Europet, siendo la empresa la responsable de pesar con una báscula la cantidad de material transportado y establecer el precio por el mismo.

Este precio es variable dependiendo de la planta procesadora, pero regularmente se mantiene cercano a estos precios para evitar que todos los recolectores acudan a una sola planta. (Colomo, 2013)

F. Techado

El techado es un elemento vital de cualquier construcción de viviendas, edificios, instalaciones deportivas y otros. Para la correcta elaboración de un techado es importante tener en consideración la estructura de soporte del y el material ideal para el techado, dependiendo del área geográfico y poder adquisitivo que se tenga para adquirir el material ideal para realizar la construcción.

1. Materiales de la estructura de techo. Las estructuras de techo junto a la cubierta deben de ser de buena calidad para la construcción para garantizar un techo seguro y duradero. Hay dos materiales frecuentemente utilizados en la construcción de estas estructuras.

- Madera: Este material orgánico tiene un buen comportamiento ante la flexión y compresión, ambas características deseadas para la estructura de un techado. En la actualidad, en muchas de las viviendas que pertenecen al déficit de vivienda en Guatemala, es el material que comúnmente se utiliza, debido a la abundancia del material y la diversidad del mismo.
- Acero: Este material metálico, es confiable debido a sus propiedades físicas y mecánicas. Su aplicación, es normalmente aplicable en grandes estructuras industriales o en aplicaciones donde se quiera lograr una estructura estable y con un tiempo de vida prolongado.

Desde años atrás, los materiales del techado pueden ser de diferentes materiales desde productos procesados de la casa como las pieles de animales, hojas de algunas plantas y árboles. Estos dos materiales se utilizan en menor escala en la actualidad, sin embargo, todavía se utiliza la paja y cubiertas forestales para aquellos que lo desean por solicitud arquitectónica o disponibilidad de material. (Cruz, *et al*, 2012)

Conforme la tecnología fue avanzando, se dio lugar a materiales más sólidos, como lo es la arcilla. Este material por medio de un proceso artesanal no necesitaba de un conocimiento técnico muy avanzada para su fabricación. Este material, requiere una estructura de soporte más resistente debido a su peso. La cubierta de teja en la actualidad es muy demandada, debido a su uso arquitectónico. (Cruz, *et al*, 2012)

El concreto tiene la posibilidad de crear losas de techo, siendo una forma de techado con mayor duración y para techados o características arquitectónicas más complejas.

Finalmente, el material metálico para el techado tiene una mayor demanda en las viviendas, edificaciones y otras instalaciones. Las láminas de acero poseen características físicas, de forma, bajo peso, durabilidad y otros aspectos que se buscan en un techado lo ha posicionado como el material más usado en la cubierta de techos de vivienda en Guatemala. (Cruz, *et al*, 2012)

G. Láminas de acero en Guatemala.

1. Aplicación de láminas de acero. De los diferentes tipos de techos metálicos disponibles, se encuentran las cubiertas simples de acero galvanizada, definido como chapas de este material nervadas y fijadas sobre la estructura de soporte que puede ser metálica o de madera. Este material de construcción generalmente utilizado en la mayoría de los hogares, se le conoce como lamina acanalada, lámina galvanizada o lamina de acero galvanizada.

Es muy común encontrar este tipo de cubiertas en edificios industriales, instalaciones deportivas, hogares y otras instalaciones. Usualmente, se utilizan de manera temporal en construcciones para la ampliación y rehabilitación de espacios, pero también de manera

permanente en viviendas, debido a su simplicidad, bajo costos de manufactura e instalación, y la facilidad de mantenimiento a las mismas ya que las reparaciones no son complicadas y las láminas pueden ser reemplazadas fácilmente, al igual que los elementos de sujeción como los clavos y tornillos. (Díaz, 2012)

El acero como material estructural lo hace conveniente por su economía, resistencia ductilidad y otras propiedades que resultan ventajosos en un techado. Dentro de las numerosas ventajas, destaca la elasticidad, de manera que las deformaciones bajo carga son pequeñas; su ductilidad, haciéndolo capaz de tener grandes deformaciones antes de fallar; la resistencia por unidad es elevada, logrando un peso más ligero en los elementos, siendo una característica deseada en las estructuras de techo. En la instalación, las láminas son ensambladas rápidamente y fácilmente por medio de dispositivos simples de conexión, atribuyéndole una reducción de costos en mano de obra; además se adaptan fácilmente a posibles extensiones, ampliaciones o reemplazos. El tiempo de vida de estas láminas se encuentra entre los 15-30 años, mientras que un techado de madera tiene un tiempo de vida entre 8 y 25 años. (Cruz, *et al*, 2012)

Sin embargo, este material también presenta desventajas estructurales como la susceptibilidad a la corrosión por agua y productos químicos y elevadas temperaturas dentro del techado. Estos problemas, se pueden solucionar aplicando pinturas o aislantes térmicos, pero generan un costo adicional, siendo una desventaja. (Cruz, *et al*, 2012)

2. Manufactura de láminas de acero. La elaboración de láminas de acero consiste en varios procesos de producción, divididos en tres grupos grandes: Corte, galvanizado, corrugación.

El proceso de corte inicia al tener una bobina de materia prima, generalmente de acero, y se ingresa la lámina por la cizalla para obtener la longitud programada por el departamento de control de calidad, y se apilan todas las láminas cortas para ser inspeccionadas. Estos fardos de láminas se transportan hacia la cama de lanzamiento para dar inicio al proceso de galvanizado. (Gonzales, 2005)

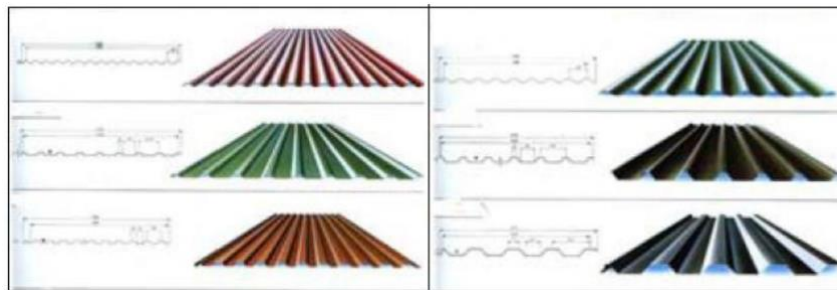
El proceso de galvanizado inicia ingresando las láminas una por una a los tanques de limpieza, donde reciben un baño de desengrase para remover cualquier residuo o suciedad presente y la grasa que recubre la bobina de acero. Luego se enjuagan con agua fría para remover el desengrasante y son sometidos a dos tanques con ácido clorhídrico para remover cualquier impregnación del óxido en la lámina. Es necesario un último tanque con agua caliente para remover el óxido previamente removido. Luego de haber pasado por todos los tanques de limpieza, se transportan las láminas hacia un proceso de calentamiento de láminas, a un horno con temperatura de $450^{\circ}\text{C} - 470^{\circ}\text{C}$. Al alcanzar estas temperaturas, se traslada a un tanque con flux que permite mayor adherencia al zinc, donde por medio de inmersión en un baño de zinc fundido recubre la lámina de ambos lados. Se agrega ácido crómico como un sellador a la lámina con zinc, y se procede a secar con aire de ventilador. El resultado de este proceso es un recubrimiento de zinc unido metalúrgicamente al acero base mediante capas de aleaciones zinc-hierro. (Gonzales, 2005)

Finalmente, ya con las dimensiones adecuadas y el recubrimiento de zinc se transportan la cama de la corrugadora, donde se inicia el proceso de corrugación de la lámina para brindarle el perfil y conformado a estas láminas. (Gonzales, 2005).

Esta chapa lisa puede obtener una amplia gama de colores, texturas y formas. Dentro de los tipos de láminas o chapas que comúnmente se encuentran en el mercado son las siguientes:

- Lamina ondulada
- Lamina acanalada
- Lamina trapezoidal

Figura No.10. Tipos de perfil de lámina



Fuente: Díaz, 2012

Finalizando el proceso de corrugación, las láminas están listas para ser transportadas a bodega.

Figura No.11. Corrugación de lámina.

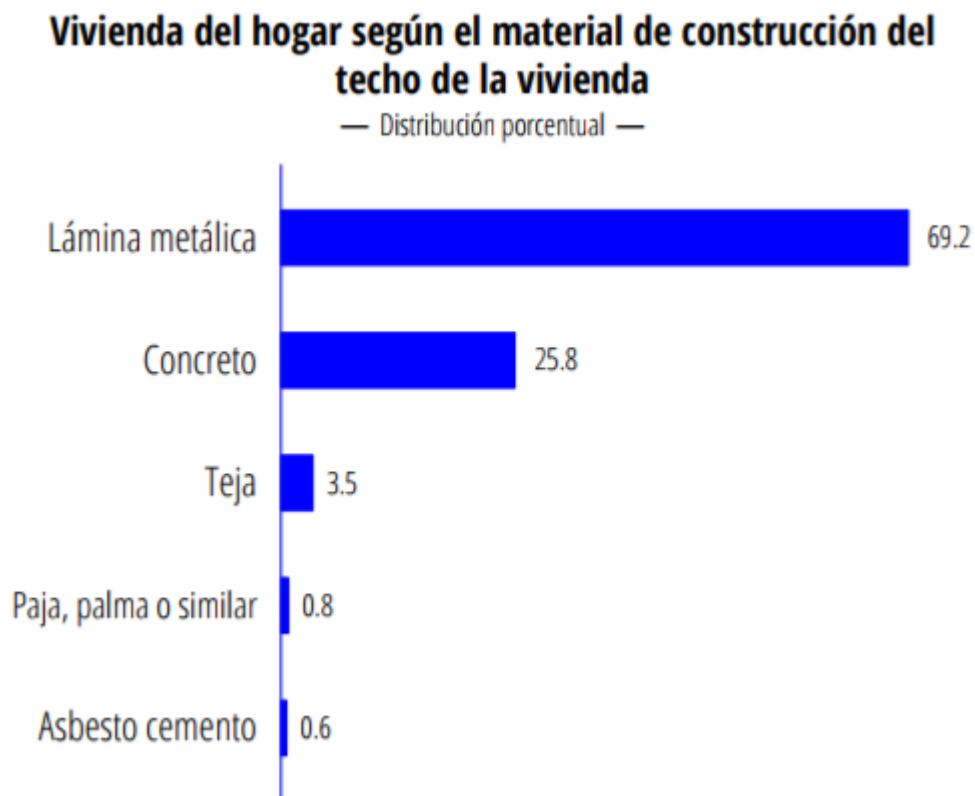


Fuente: Díaz, 2012.

H. El techado en Guatemala

1. Antecedentes. Según datos estadísticos, a nivel nacional, la mayoría de los hogares cuentan con una vivienda con techo de lámina metálica conformando 69.2% del total de viviendas, mientras que los techos de concreto representaban un 25.8% para el año 2015. Esta tendencia es muy probable que continúe el día de hoy, siendo la lámina el techado más común de la población guatemalteca. (Instituto Nacional de Estadística Guatemala, 2015)

Figura No.12. Vivienda del hogar según el material de construcción del techo de la vivienda.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística Guatemala, 2015.

La tendencia de este tipo de cubierta está directamente ligada a la realidad socioeconómica de Guatemala. Estas cubiertas sencillas de metal, son una opción económica y de fácil instalación, lo que explica en esencia su fuerte presencia en los hogares guatemaltecos, aunque en cuanto a comodidad, no es la mejor opción a comparación de otros materiales debido a la elevada sensación térmica que genera, el sonido y poca iluminación.

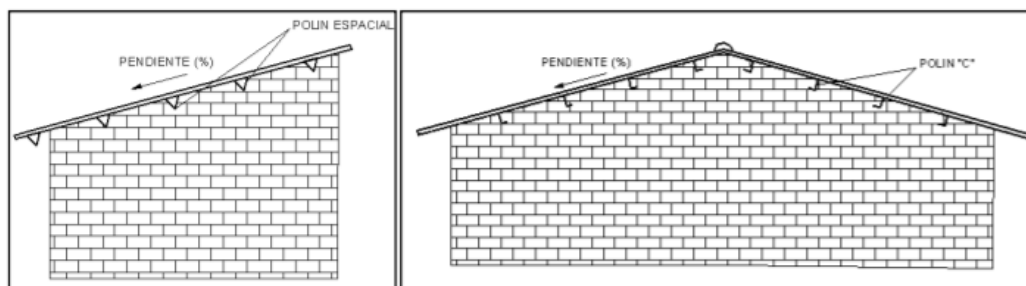
Figura No.13. Hogar de 6 personas en Pueblo Nuevo, Suchitepéquez.



Fuente: Elaboración propia.

Las formas geométricas y estructurales más comunes de techo en Guatemala para las viviendas básicas son cubiertas de un agua, aunque también se encuentran hogares de dos aguas.

Figura No.14. Formas geométricas y estructurales de techo



Fuente: Cruz, 2012.

I. Transferencia de calor en láminas de acero

1. Modos de transferencia de calor. El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. La conducción y convección comparten el mismo requerimiento para que ocurra el flujo de calor, y este es la existencia de una diferencia de temperatura. Al existir este diferencial, el flujo de calor ocurre desde la temperatura más elevada hacia la temperatura más baja del elemento. En las láminas de techado ocurren simultáneamente estos tres mecanismos de transferencia de calor.

El techado ideal cuando el clima es cálido por su ubicación geográfica o cuando se encuentra en estación de verano en climas templados, debe absorber la menor cantidad posible de calor y ofrecer una resistencia casi total a la corriente calórica. Esto no puede ser una cualidad de las cubiertas metálicas de zinc, ya que propician todo lo contrario por ser un metal, teniendo como principal debilidad la rápida conducción de calor desde el exterior al interior del techado. (Diaz, 2012)

A pesar de esta gran desventaja, se buscaron nuevas alternativas para conciliar el calor dentro de los hogares. El uso de aislantes en el techo reduce sustancialmente las ganancias de calor, y son instalados por el lado exterior o en el interior. Por el lado exterior, es común observar el recubrimiento del techado con acrílicos de color blanco, ya que estos techos reflejan la luz solar y pueden ayudar a mejorar el confort interior, ya que los colores claros pueden reflejar entre el 25% y 30% de la energía radiante del sol. Las superficies claras, lisas y brillantes suelen tener reflectancia elevada en relación con una superficie blanca teórica de perfecta reflectora, la cual absorbería 0% y refleja el 100% de la radiación. (Diaz, 2012)

Las láminas de acero galvanizado reflejan muy bien la radiación, siempre y cuando no se envejecen y se opaquen. En la siguiente tabla se observa como aumenta el % de reflectancia en los diferentes materiales de techo al aplicarle un acabado blanco a cada uno de ellos. Lo importante para una lámina, es mantener niveles de reflectancia alta para que rechace un alto porcentaje de radiación antes de que atraviese el material, ya que su

reducido espesor entre 1 y 2 mm es insignificante en términos de transmisión de calor ya que en cuestión de minutos la temperatura en la cara exterior es prácticamente la misma a la cara interior. (Díaz, 2012)

Tabla No. 6. Reflectancia para diferentes materiales de techo sin y con acabado blanco.

Material de techo	Reflectancia con acabado original %	Reflectancia con acabado blanco %
Capa de asfalto	5-15	31-35
Teja de arcilla	25-35	70-80
Teja de concreto	10-30	70-80
Capa o lámina de metal	70	70-80

Fuente: Díaz, 2012

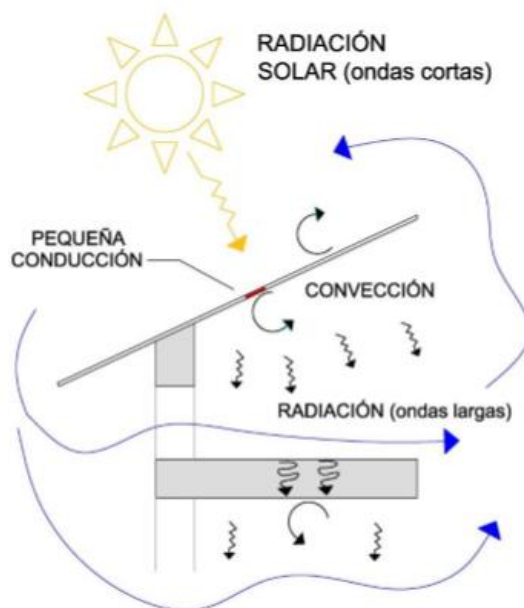
2. Proceso de transferencia de calor a través de una lámina de acero. Los principales mecanismos de transferencia de calor que actúan sobre una lámina de acero son principalmente la radiación y convección, aunque también ocurre el proceso de conducción.

Cuando la radiación solar incide sobre el techado, dependiendo de las características superficiales de la lámina (reflectancia, absorptividad, emisividad) parte de esta energía en forma de radiación solar denominada onda corta, será reflejada y otra parte será absorbida. Parte de esta energía acumulada luego de la absorción es irradiada nuevamente hacia el exterior denominada onda larga, y la otra parte continua su paso a través del sólido hasta llegar al interior. Ocurre un intercambio de energía entre el sólido y el aire, que depende de la variable convectiva superficial (h), que dependerá a la vez de la velocidad del fluido, ya sea impulsado o por agentes externos. El proceso convectivo influye en la resistencia que enfrentara la radiación a ser absorbida, como en la facilidad para luego ser reemitida. La lámina al tener un espesor muy delgado, carece de masa apreciable para acumular el calor, por lo que cede rápidamente de forma casi directa al ambiente. Este proceso de

conducción es muy insignificante en relación con los procesos convectivos y radiativos. (Díaz, 2012)

Si el hogar o lugar donde se encuentra el techado de lámina no está debidamente sellado entre el exterior e interior, ocurre que la temperatura del aire interior es la misma que el exterior por lo que la importancia de la conducción pierde más importancia. (Díaz, 2012)

Figura No.15. Paso de calor por un techado ventilado y cielo falso.



Fuente: Díaz, 2012

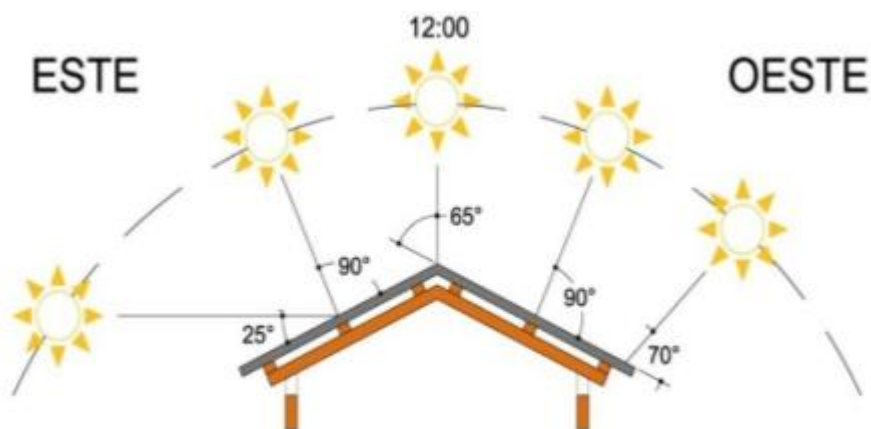
Es importante mencionar que por muy buena que sea el material o la solución para evitar la transferencia de calor en el techado, la temperatura interior no será inferior a la temperatura ambiente.

3. **Inclinación y orientación del techado.** Estas dos variables tienen implicaciones grandes en el comportamiento térmico del techo, ya que las ganancias de calor por radiación solar son mayores a lo largo del año debido a la perpendicularidad de los rayos del sol. Las láminas de acero acanaladas deben tener un ángulo de inclinación mínimo de 10° para permitir el deslizamiento del agua. Muchas viviendas optan por tener un nivel de inclinación mínimo, ya que disminuyen los costos de material e instalación, pero en cuanto

a la ganancia de calor no es muy aconsejable ya que los techos que tienden a ser planos tienden a recibir una intensidad solar mayor a aquellos con inclinación más pronunciada. (Díaz, 2012)

Los techos planos o casi planos disponen de un ángulo horizontal de incidencia muy cercano a la perpendicularidad de la superficie durante un gran número de horas al día. Se aconseja tener una mayor inclinación, si se busca obtener menor transferencia de calor en el techado.

Figura No.16. Incidencia del sol en un techo de dos aguas.



Fuente: Díaz, 2012

La orientación de la cubierta también merece ponerle mucha atención. Para los techos de una sola agua deben inclinarse hacia el norte pues el sol incidirá con un ángulo muy pequeño en esta orientación la mayor parte de año, mientras que con dos aguas deberá orientarse preferiblemente en dirección norte-sur. (Díaz, 2012)

J. Filtraciones en techados.

1. Causas de las filtraciones en techados. Hay muchos factores que provocan filtraciones de agua y de humedad en los techados, esto es inevitable debido a que cualquier techado con el pasar del tiempo se va degradando de manera genérica, los factores principales son los siguientes:

- Mecánicas: asentamientos, grietas, roturas.
- Térmicas: Dilataciones, empujes, deslizamientos.
- Atmosféricas: lluvias, granizos, nieve, viento.
- Agua/hielo: aumento de volumen en capas.
- Soleamiento: Efectos a la exposición solar por los rayos UV
- Químicas: Ataque de organismos vivos, productos químicos.
- Tiempo: Envejecimiento de los materiales.

(Escola Politècnica Superior de Edificació de Barcelona, s.f.)

Debido a estos factores mencionados con anterioridad, se producen fisuras, poros y/o brechas ocasionadas. Cuando se produce una de estas fallas, se permite la penetración de agua por las causas a continuación descritas:

- Gravedad: Si el orificio/grieta es lo suficientemente grande pueden ingresar gotas directamente.
- Presión hidrostática: En los puntos donde existe estancamiento o el agua detenida.
- Efecto negativo que ejerce la presión del viento: El agua puede ser empujada contra la pendiente y facilitar su penetración en ciertos casos.
- Energía cinética: Impacto del agua en su discurrir por la cubierta.
- Capilaridad: Si el material a utilizar tiene como propiedad alta porosidad.

(Escola Politècnica Superior de Edificació de Barcelona, s.f.)

V. METODOLOGÍA

Se elaboró un prototipo funcional de una lámina para techado, utilizando botellas PET y mantas vinílicas de posconsumo que se desechan en la Ciudad de Guatemala, realizando los pasos a continuación:

1. Se determinaron los problemas principales que existen en los techados convencionales, e identificaron los principales requerimientos para el diseño de un prototipo de techado.
2. Posteriormente se diseñó el prototipo de lámina, utilizando botellas PET y mantas vinílicas.
3. Tras concluir el diseño, se fabricó el prototipo especificando cada pasó del proceso en un instructivo.
4. Luego, se construyó una instalación provisional de una caseta de madera y lámina galvanizada lisa, recreando un ambiente cercano al que se somete una lámina de techado.
5. Posteriormente, se realizaron ensayos de resistencia de materiales, comportamiento a la exposición solar y ensayo pluvial.
6. Tras realizar los ensayos, se determinaron las ventajas y desventajas principales del prototipo a las de una lámina galvanizada.
7. Finalmente, se realizó un análisis de costos del prototipo.

VI. RESULTADOS

Los resultados de este trabajo se dividen en tres secciones: Identificación de la problemática, diseño y fabricación y por último el análisis del prototipo.

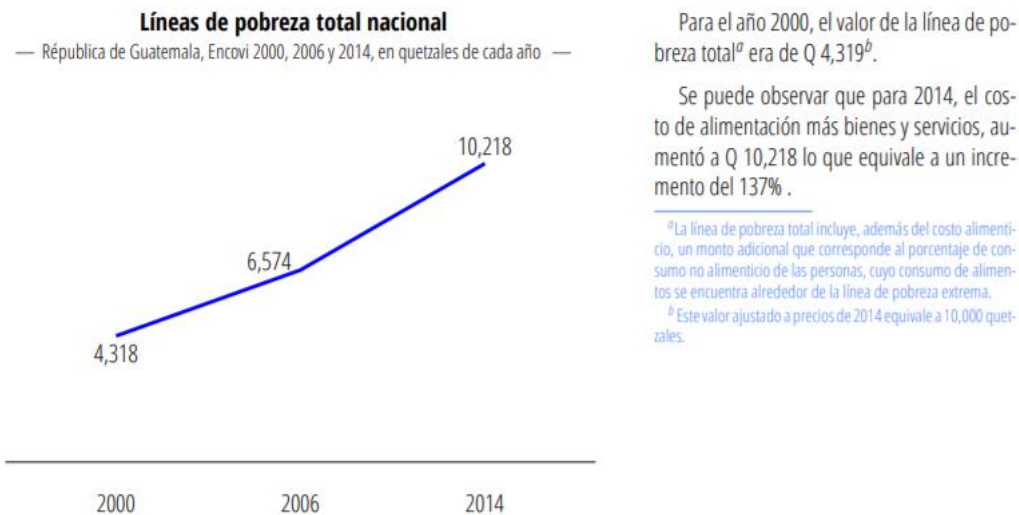
A. Identificación de la problemática.

Se realizó un proceso de investigación sobre los “usuarios de escasos recursos”, quienes utilizan la lámina de acero galvanizada como material principal para el techado de sus hogares.

Se define a los “usuarios de escasos recursos”, como todos los ciudadanos guatemaltecos, mayores de 18 años, que residen del área metropolitana y cuyos gastos anuales son iguales o menores a Q10,218. Cabe mencionar que línea de “pobreza total nacional” es definida por la Encuesta Nacional de Condiciones de vida de 2,104 (ENCOVI), como una de las formas de definir la pobreza general.

Con base en estos datos, se puede deducir que el ingreso de una familia denominada como “pobre” es aproximadamente de Q851.50 al mes.

Figura No.17 Línea de pobreza total nacional



Fuente: Instituto Nacional de Estadística de Guatemala

Siendo la pobreza un fenómeno multidimensional, uno de los factores en los cuales repercute de manera directa, es el tipo de vivienda en el que habita este nicho poblacional. Las características de estas viviendas son las siguientes:

- Viviendas improvisadas: uso de materiales como madera, cartón, pedazos de lámina y piso de tierra.
- Hacinamiento: todos los miembros familiares viven y conviven en un solo ambiente.
- Deficiencia de servicios básicos: acceso a electricidad, agua potable y urbanización.

Figura No 18. Techado en hogares guatemaltecos.



Fuente: El Periódico.

Los usuarios de escasos recursos por medio de entrevistas destacaron que al utilizar láminas de acero galvanizadas como techo para sus viviendas, enfrentan diversos escenarios a raíz del costo que representa para ellos mantener en condiciones óptimas este recurso. Entre los principales retos a enfrentar resaltan:

- La lámina de acero galvanizada cuyo costo oscila entre los Q42.00 a Q67.00 (Ver Anexo J, Cotizaciones) es en la actualidad la opción más económica de techado formal en el mercado; aun así, la adquisición de la misma representa una alta inversión para los usuarios de escasos recursos cuyo ingreso mensual aproximado es de Q851.50.

- Dadas las condiciones climáticas a las que la lámina galvanizada es expuesta, esta sufre daños tales como corrosión, fisuras y golpes, lo cual lleva al usuario de escasos recursos a adquirir de manera continua nuevas piezas de lámina galvanizada para el mantenimiento de su techo.

1. Síntesis del problema. Problemas principales de la lámina de acero galvanizada:

- Precio poco accesible para los usuarios de escasos recursos.
- Durabilidad.
- Generan una sensación de calor y frío, elevada dentro de los hogares.

En este punto salta a la vista la necesidad de generar un producto alternativo para que los usuarios de escasos recursos que puedan adquirir y satisfacer las necesidades que presenta en la actualidad el techo de sus viviendas. De esta forma se debe tomar en consideración el limitado poder adquisitivo de las familias guatemaltecas pertenecientes al déficit de vivienda.

Con base a la problemática, los requerimientos más importantes a tomar en consideración para el diseño de un prototipo de sustituto de lámina galvanizada son:

- Un prototipo que evite la filtración de agua pluvial al interior de la vivienda. El prototipo debe evitar el paso de 0 ml de agua al interior del hogar.
- Un prototipo que contenga las propiedades mecánicas necesarias para soportar las condiciones ambientales a los que es expuesto un techado.
- Un prototipo que pueda evitar el flujo de calor dentro de un recinto, en por lo menos un 30% del calor absorbido por el mismo.

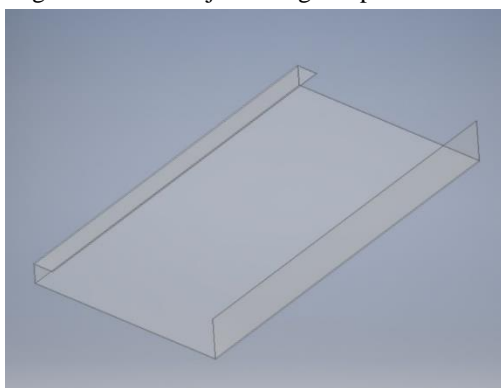
B. Diseño y fabricación.

Con los requerimientos establecidos, se inició el desarrollo de una propuesta que solventara esta problemática. Adicionalmente, se tomaron en consideración el costo del producto y su funcionalidad. Puesto que estas dos variables se relacionan de forma directa con la accesibilidad del producto; en vano sería el desarrollo de un producto perfecto estéticamente y funcionalmente, si no la pueden adquirir estas familias de escasos recursos que pertenecen al déficit de vivienda.

Siendo la accesibilidad, el principal enfoque de este prototipo, se decidió utilizar botellas plásticas PET y mantas vinílicas para la elaboración de “Ecolám” (prototipo de sustituto de lámina galvanizada para techado), gracias a su accesibilidad, provisión y bajo costo.

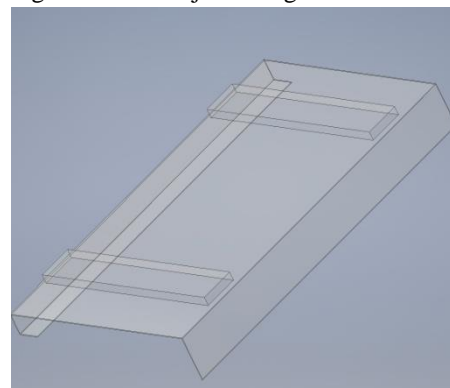
1. Tejas. Se diseñaron tejas rectangulares para evitar el estancamiento de agua en el techado. Para lograr esto se elevó la temperatura de las botellas plásticas PET (entre 105°C a 135°C), utilizando una pistola de calor de 1800 watts, para alcanzar su transición vítrea y así se logró obtener que se ablandaran y tomaran la forma del molde, diseñado específicamente para tejas rectangulares. (Planos de las tejas se encuentran en el Anexo B)

Figura No. 22 . Teja rectangular posterior.



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.23. Teja rectangular frontal

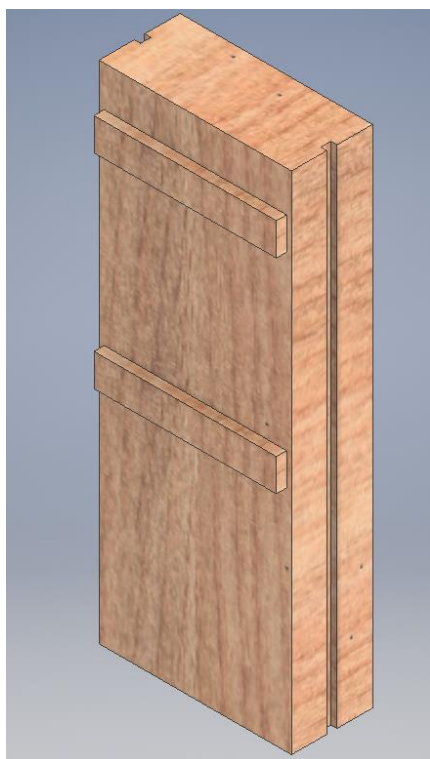


Fuente: Elaboración propia

El proceso detallado de la elaboración de las tejas se encuentra en el instructivo. Ver anexo A.

2. Molde. Para la fabricación de las tejas rectangulares, fue necesario utilizar un molde de madera, diseñado de tal manera que las botellas plásticas PET previamente recortadas, rodearan completamente el molde y que fueran capaz de moldear botellas mayores o igual a 2 litros. Luego de varias iteraciones de diseños (Ver Anexo C, Molde) donde se buscó obtener un acople entre tejas para mayor rigidez y sujeción, fue en el molde con reglas de madera horizontales donde se obtuvieron estos resultados (Ver Anexo C, Figura # 65)

Figura No. 24 . Vista isométrica cara frontal



Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 25 . Vista isométrica cara posterior.



Fuente: Elaboración propia.

El proceso detallado de la elaboración del molde se encuentra en el instructivo. Ver anexo A; Planos del molde se encuentra en el anexo C.

3. Manta vinílica. Se determinaron las dimensiones del techado y se instaló la manta vinílica por encima de las vigas que forman la estructura del techado, de tal forma que la imagen impresa con el recubrimiento brillante de PVC estuviera orientada al cielo, dejando la parte inversa, blanca sin impresión, orientada al interior de la caseta.

Luego que la manta fue tensada y colocada por encima de la estructura del techado, se pudo proceder a instalar la Ecolám. (Ver Anexo D, Manta vinílica)

El proceso detallado de la instalación de la manta vinílica se encuentra en el instructivo. Ver anexo A

4. Base estructural. Se utilizó vigas de madera cuadradas de 1 pulgada de alto por 1 pulgada de ancho por 6 pies de largo de pino rustico como base de anclaje de las tejas, que al ser traslapadas una tras otra se generó un módulo de Ecolám.

Un módulo consistió en vigas de madera de 6 pies (1.82 metros) con tejas ensambladas sobre ellas.

Figura No.26. Un módulo de tejas.



Fuente: Elaboración propia.

Se unieron y tensaron 9 módulos entre sí, con los cuales se obtuvo una Ecolám de 1.82 metros (6 pies) de largo por 1.80 metros de ancho, que luego se usó como techado en la caseta de madera provisional construido con fines de análisis.

Figura No.27. Nueve módulos en paralelo tensados y ensamblados.



Fuente: Elaboración propia.

El proceso detallado del ensamble de módulos se encuentra en el instructivo. Ver anexo A.

La unión entre módulos creó finalmente el producto final, al que se le llamo Ecolám.

Figura No.28. Producto final, Ecolám



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.29. Producto final posición vertical, Ecolám



Fuente: Elaboración propia.

C. Análisis del prototipo

1. Construcción de caseta para la ejecución de ensayos. Para ejecutar los ensayos pluviales y a la exposición solar, se construyó una pequeña caseta de madera (2.75 m², 1.88 metros de altura y 25° de inclinación en el techado) cubierta con lámina galvanizada lisa en los alrededores, siendo estos materiales utilizados por los usuarios de escasos recursos. Esta construcción fue el lugar para instalar y analizar Ecolám, como a su vez, laminas galvanizadas onduladas, como un parámetro de comparación. (Ver Anexo F, Construcción de caseta para la ejecución de ensayos)

2. Ensayo pluvial. Se expuso la Ecolám a lluvia natural el día 4 de abril del año 2018, teniendo una precipitación de 0.1 cm y duro aproximadamente un lapso de 35 minutos. Para la recopilación de datos, instaló papel Kraft por debajo de toda el área del techado y se realizó una observación visual dentro de la caseta para la detección de cualquier filtración dentro del techado; esto facilitó la detección visual de las filtraciones y se comparó el peso inicial con el final. La relación del peso con el volumen de agua es la siguiente: 1 ml = 1 g. (Ver Anexo G, Ensayo pluvial)

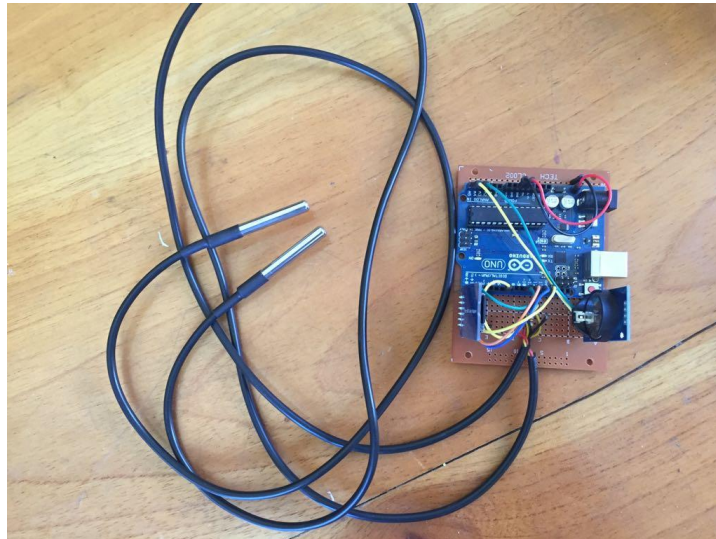
Tabla No.7. Resultado de ensayo pluvial.

Peso inicial de papel kraft	Peso final de papel kraft	Diferencia de peso final y peso inicial del papel kraft	Filtración
235.00 gr ± 0.5gr	235.00 gr ± 0.5gr	0.00 gr	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

3. Comportamiento a la exposición solar. Se utilizó una placa electrónica *Arduino Uno* como dispositivo de medición de temperatura, para determinar el comportamiento a la exposición solar sobre las láminas galvanizadas onduladas de 28 mm y de la Ecolám. Se recopiló la temperatura exterior y la temperatura interior del recinto al paso de un minuto por un lapso de 72 horas continuas por lámina. Los componentes utilizados para la fabricación del dispositivo y la ubicación de cada termocupla en la caseta de madera se encuentran en el Anexo H, Comportamiento a la exposición solar.

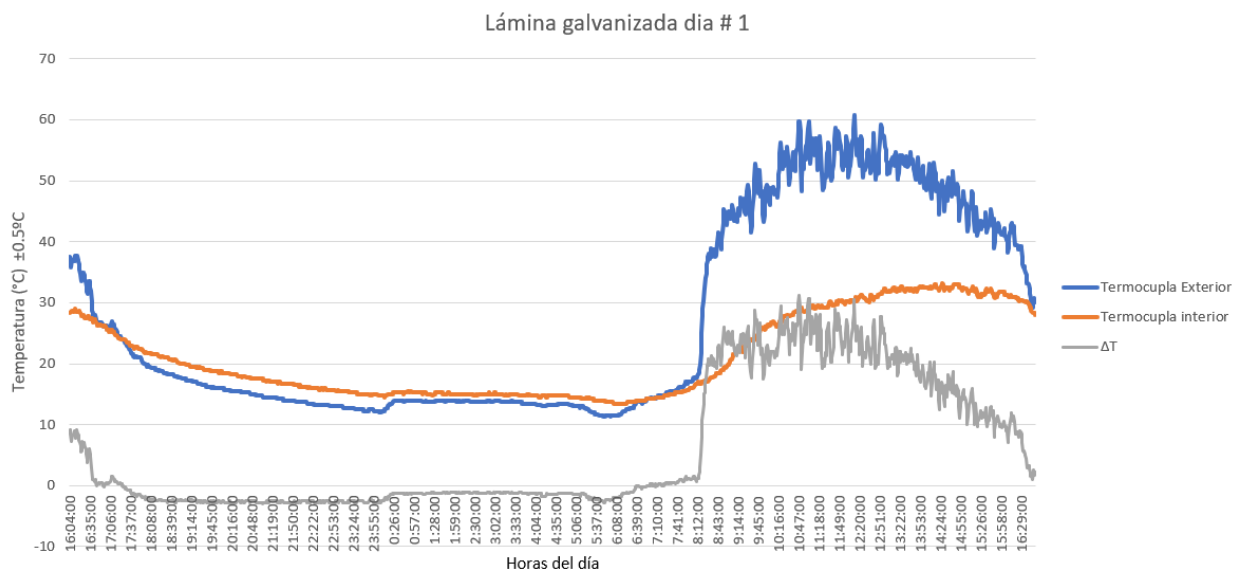
Figura No. 30 Dispositivo de medición de temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados por día para la lámina galvanizada se pueden observar en las siguientes figuras y tablas:

Figura No.31 Comportamiento solar de lámina galvanizada día uno



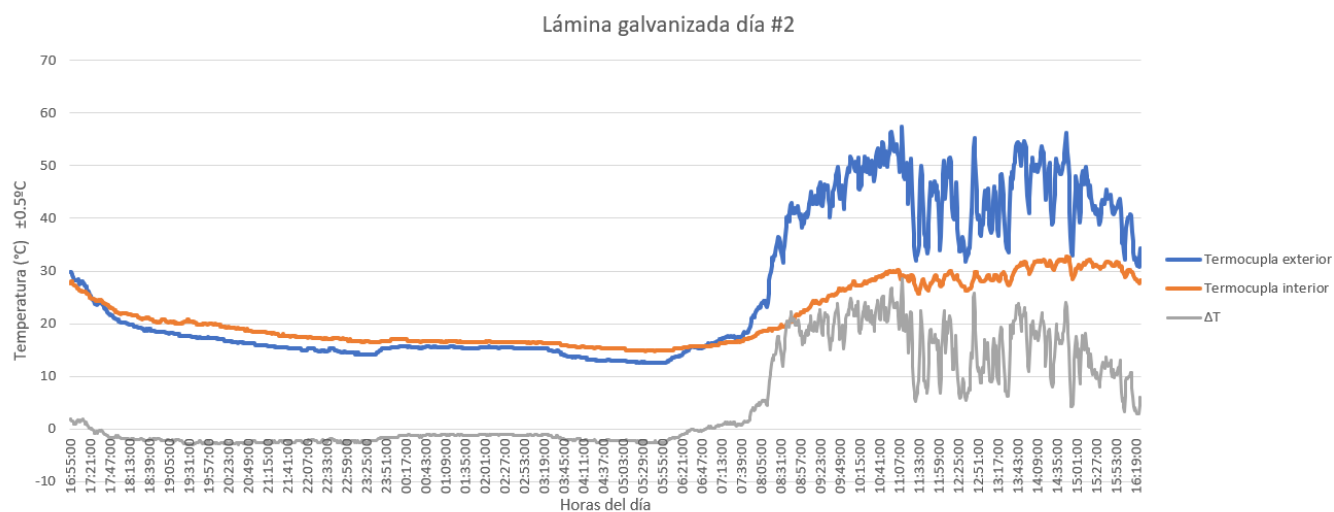
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.8 Comportamiento solar de lámina galvanizada día uno

Valores máximos		Valores mínimos	
Termocupla exterior	$59.75^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Termocupla exterior	$14.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Termocupla interior	$28.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Termocupla interior	$17.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
ΔT	$31.25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	ΔT	$-3^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Fuente: Elaboración propia.

Figura No.32 Comportamiento solar de lámina galvanizada día dos



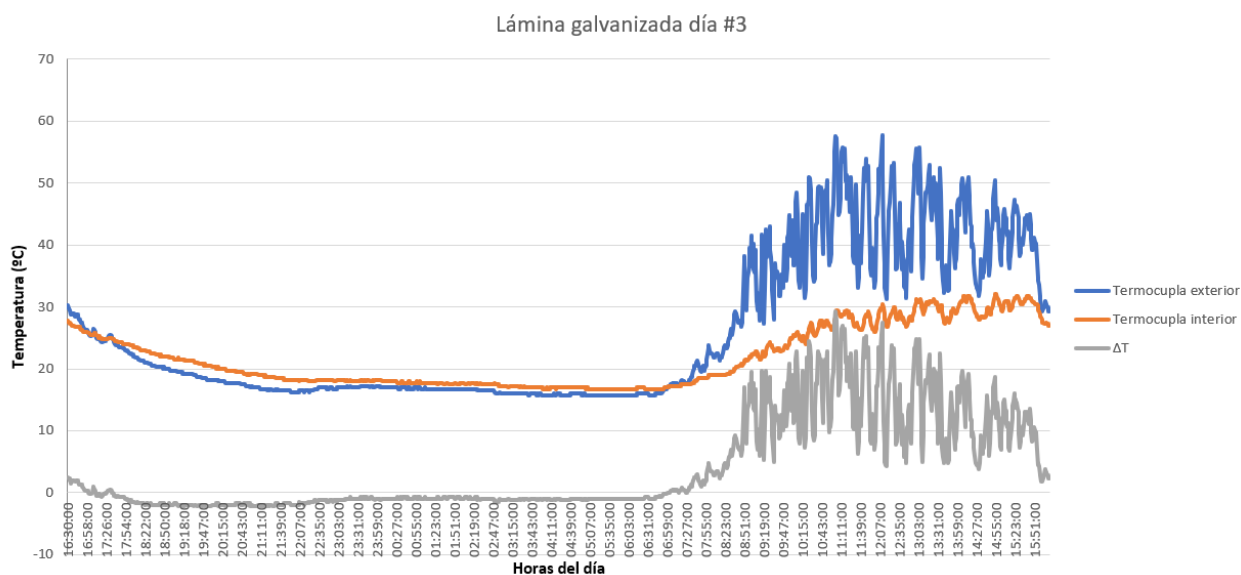
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No. 9 Comportamiento solar de lámina galvanizada día dos

Valores máximos		Valores mínimos	
Termocupla exterior	$57.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Termocupla exterior	$17.75^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Termocupla interior	$29^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Termocupla interior	$20.75^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
ΔT	$28.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	ΔT	$-3^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 33 Comportamiento solar de lámina galvanizada día tres



Fuente: Elaboración propia.

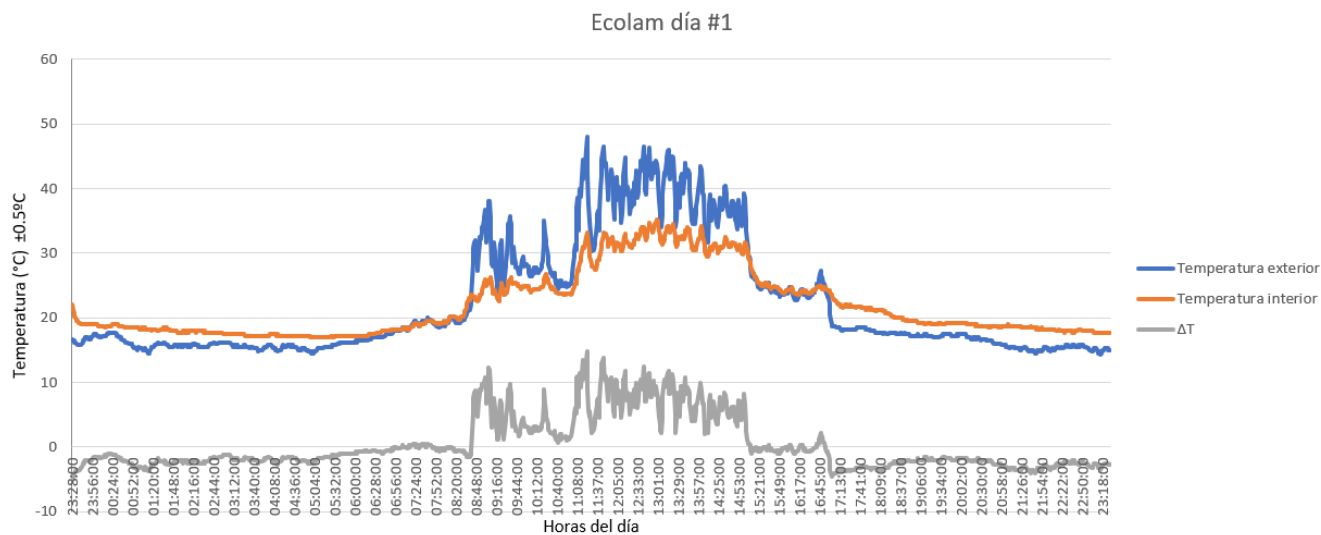
Tabla No.10. Comportamiento solar de lámina galvanizada día tres

Valores máximos		Valores mínimos	
Termocupla exterior	57.5°C ± 0.5°C	Termocupla exterior	19.5°C ± 0.5°C
Termocupla interior	28.25°C ± 0.5°C	Termocupla interior	21.75°C ± 0.5°C
ΔT	29.25°C ± 0.5°C	ΔT	-2.25°C ± 0.5°C

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados por día para la Ecolám se pueden observar en las siguientes figuras y tablas:

Figura No.34. Comportamiento solar de Ecolám día uno



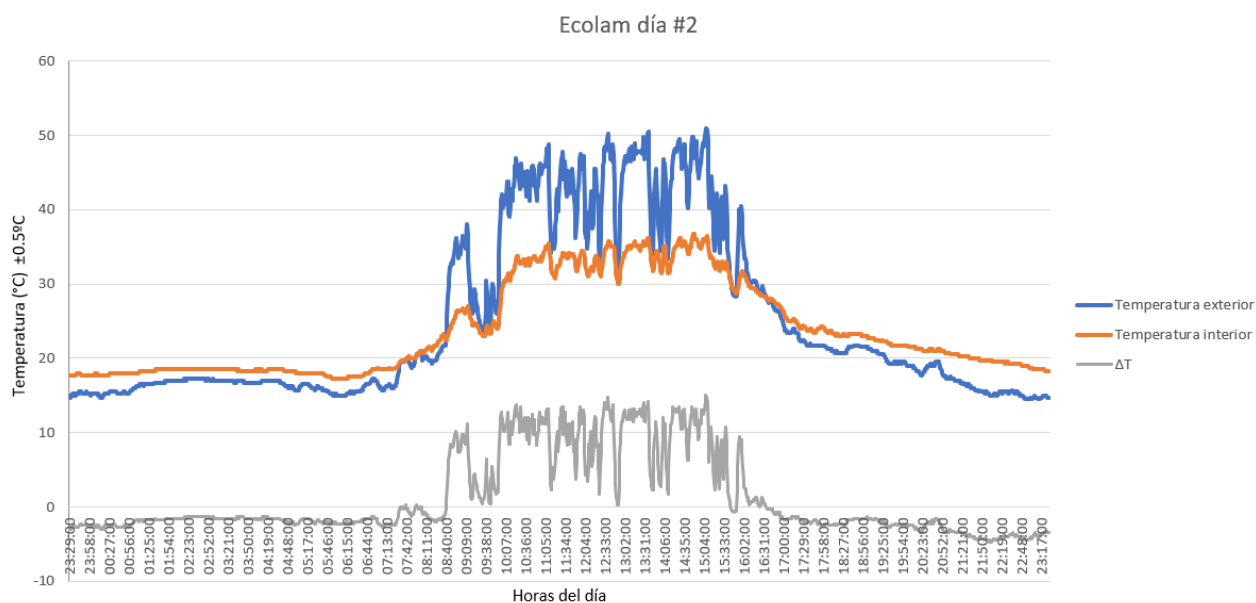
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.11. Comportamiento solar de Ecolám día uno

Valores máximos		Valores mínimos	
Termocupla exterior	48°C ± 0.5°C	Termocupla exterior	16.75°C ± 0.5°C
Termocupla interior	33.25°C ± 0.5°C	Termocupla interior	22°C ± 0.5°C
ΔT	14.75°C ± 0.5°C	ΔT	-5.25°C ± 0.5°C

Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 35. Comportamiento solar de Ecolám día dos



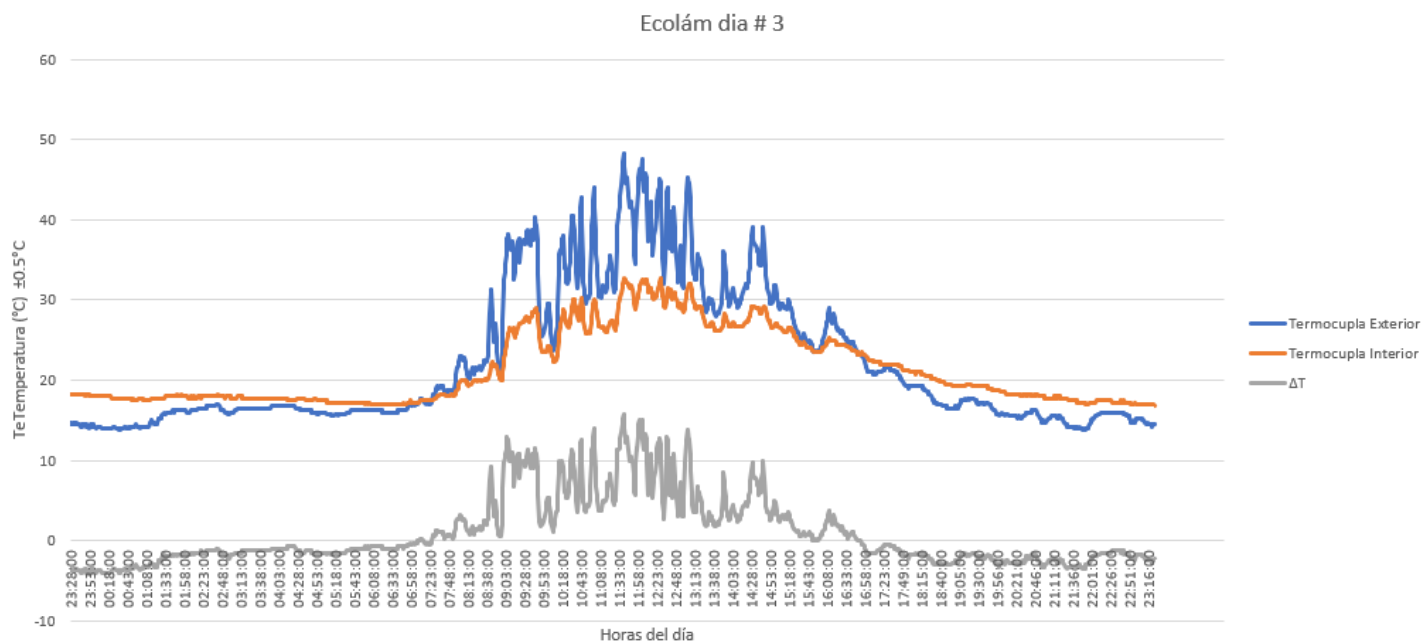
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.12. Comportamiento solar de Ecolám día dos

Valores máximos		Valores mínimos	
Termocupla exterior	51°C ± 0.5°C	Termocupla exterior	15°C ± 0.5°C
Termocupla interior	36°C ± 0.5°C	Termocupla interior	19.75°C ± 0.5°C
ΔT	15°C ± 0.5°C	ΔT	-4.75°C ± 0.5°C

Fuente: Elaboración propia.

Figura No.36. Comportamiento solar de Ecolám día tres



Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.13. Comportamiento solar de Ecolám día tres

Valores máximos		Valores mínimos	
Termocupla exterior	48.25°C ± 0.5°C	Termocupla exterior	14°C ± 0.5°C
Termocupla interior	32.5°C ± 0.5°C	Termocupla interior	18.25°C ± 0.5°C
ΔT	15.75°C ± 0.5°C	ΔT	-4.25°C ± 0.5°C

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.14. Comparación de valores máximos y mínimos de temperatura en °C entre lámina Ecolám y lámina galvanizada comercial

Valores máximos						
Día	Lámina Ecolám			Lámina galvanizada comercial		
	Termocupla exterior	Termocupla interior	ΔT	Termocupla exterior	Termocupla interior	ΔT
1	48°C ± 0.5°C	33.25°C ± 0.5°C	14.75°C ± 0.5°C	59.75°C ± 0.5°C	28.5°C ± 0.5°C	31.25°C ± 0.5°C
2	51°C ± 0.5°C	36°C ± 0.5°C	15°C ± 0.5°C	57.5°C ± 0.5°C	29°C ± 0.5°C	29°C ± 0.5°C
3	48.25°C ± 0.5°C	32.5°C ± 0.5°C	15.75°C ± 0.5°C	57.5°C ± 0.5°C	28.25°C ± 0.5°C	29.25°C ± 0.5°C
Valores mínimos						
Día	Lámina Ecolám			Lámina galvanizada comercial		
	Termocupla exterior	Termocupla interior	ΔT	Termocupla exterior	Termocupla interior	ΔT
1	16.75°C ± 0.5°C	22°C ± 0.5°C	-5.25°C ± 0.5°C	14.5°C ± 0.5°C	17.5°C ± 0.5°C	-3°C ± 0.5°C
2	15°C ± 0.5°C	19.75°C ± 0.5°C	-4.75°C ± 0.5°C	17.75°C ± 0.5°C	20.75°C ± 0.5°C	-3°C ± 0.5°C
3	14°C ± 0.5°C	18.25°C ± 0.5°C	-4.25°C ± 0.5°C	19.5°C ± 0.5°C	21.75°C ± 0.5°C	-2.25°C ± 0.5°C

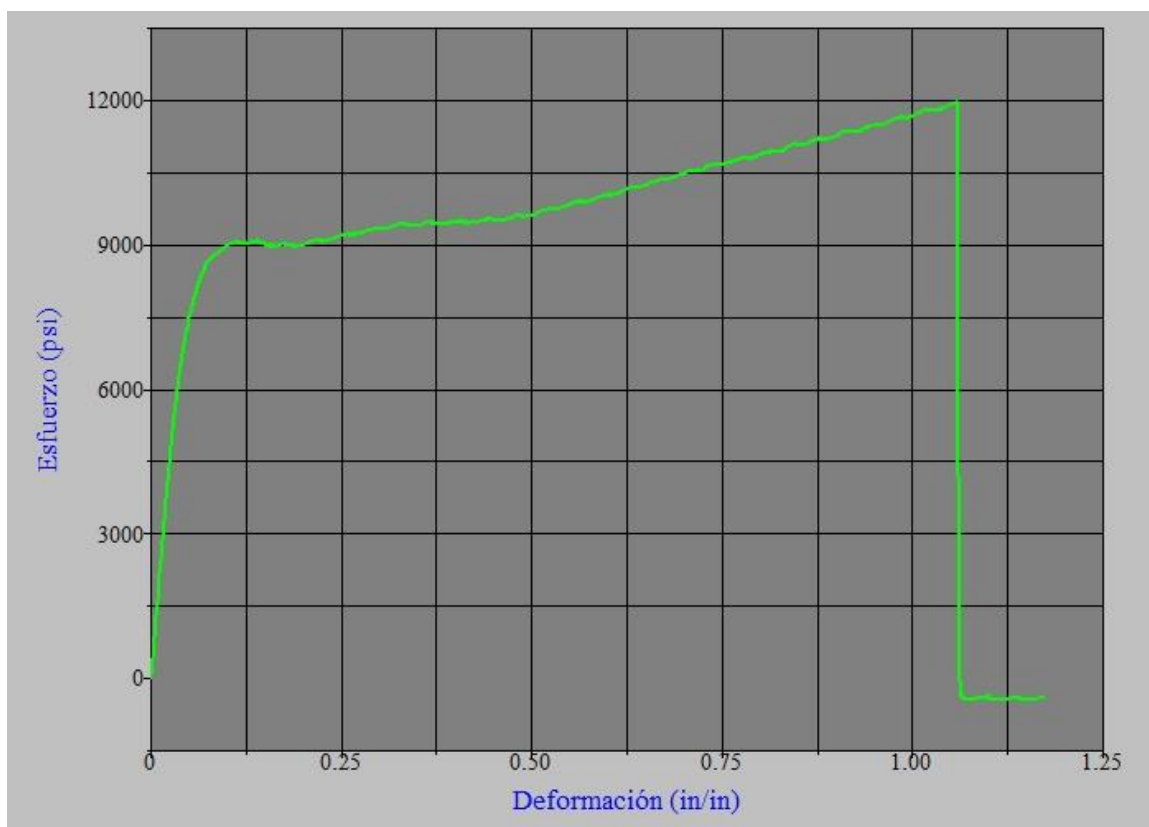
Fuente: Elaboración propia.

4. Ensayo de tracción. Se realizó ensayos de tensión a 4 probetas rectangulares de botellas de plástico PET de 2 litros sin haber recibido proceso térmico y 4 probetas rectangulares de las tejas plásticas tras haber recibido un proceso térmico. Se buscó comparar ambas probetas, para analizar algún cambio en sus propiedades mecánicas. Las medidas de las probetas se encuentran en el Anexo I, Ensayo de tracción.

Posteriormente, se realizó una regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de cada probeta, para determinar su Módulo de Young o de elasticidad, y así determinar la rigidez de cada probeta.

Los resultados de los ensayos de tensión de las 4 probetas rectangulares de botellas de plástico PET de 2 litros sin haber recibido proceso térmico se pueden observar en las siguientes figuras y tablas:

Figura No.37. Gráfica esfuerzo-deformación probeta uno (sin proceso térmico)



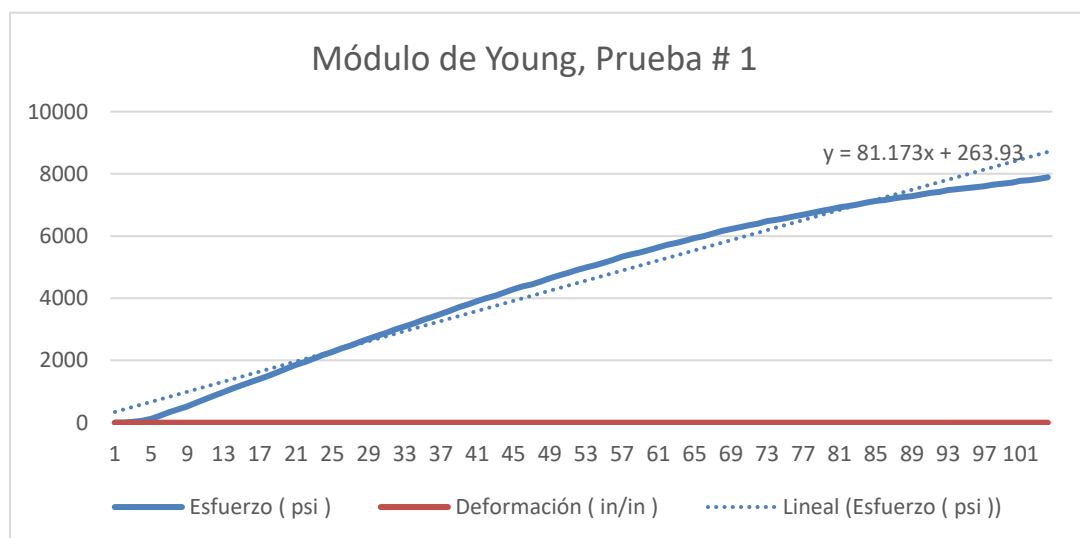
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.15. Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta uno (sin proceso térmico)

Datos de la prueba	
Punto máximo de carga	75.40 lbf
Longitud final en el eje Y	6.17 pulgadas
% de elongación	$\frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 = \frac{6.1758 - 3.00}{3.00} * 100$ = 105.86%
Límite de ruptura	11920.64 lbf/ <i>pulgada</i> ²
Módulo de elasticidad	81.17 lbf/ <i>pulgada</i> ²

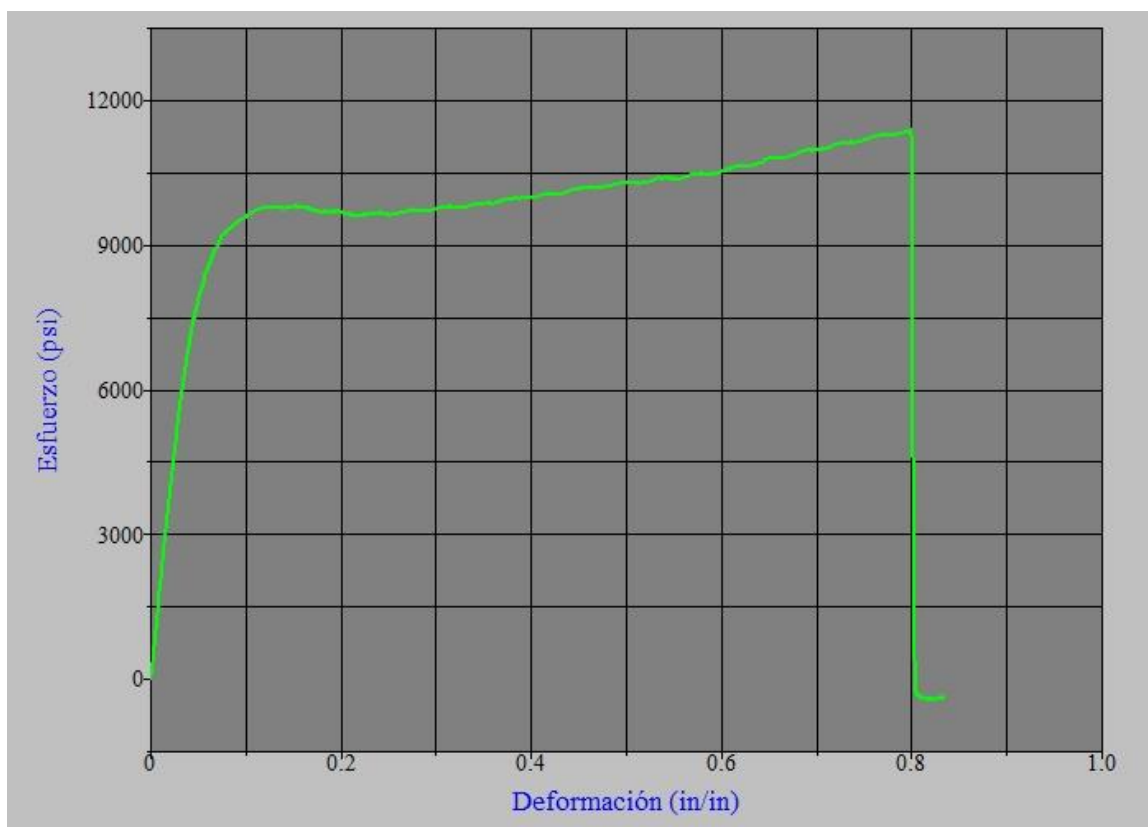
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.38. Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta uno (sin proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.39. Gráfica esfuerzo-deformación probeta dos (sin proceso térmico)



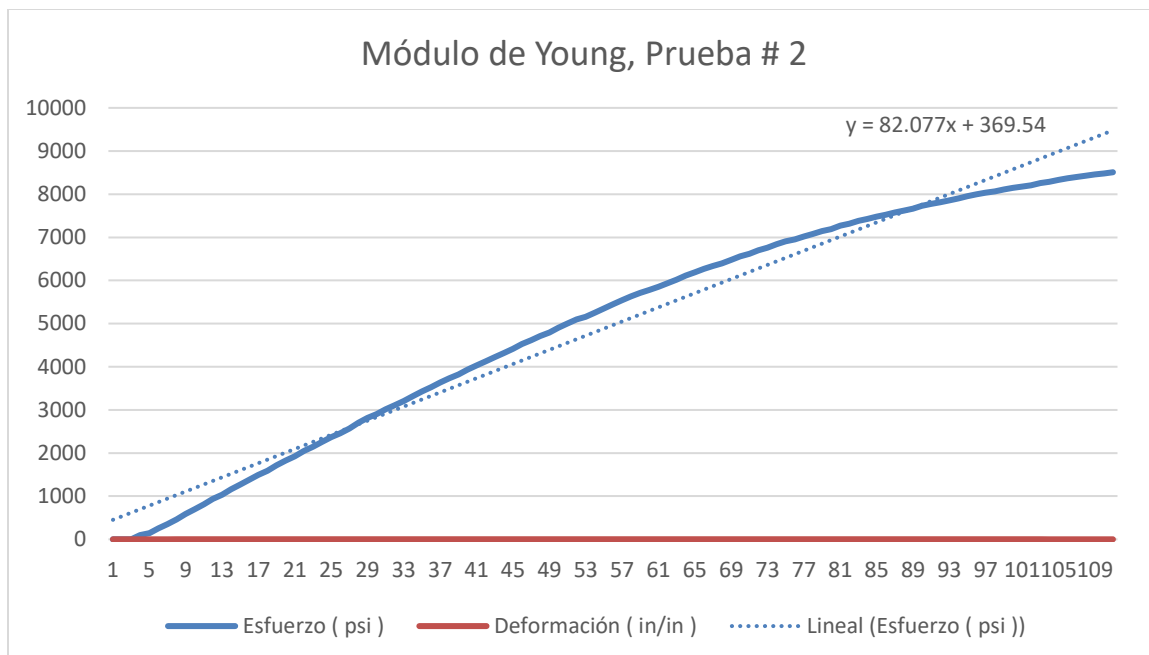
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.16. Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta dos (sin proceso térmico)

Datos de la prueba	
Punto máximo de carga	71.80 lbf
Longitud final en el eje Y	5.39 pulgadas
% de elongación	$\frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 = \frac{5.397 - 3.00}{3.00} * 100$ $= 79.90\%$
Límite de ruptura	11396.83 lbf/ <i>pulgada</i> ²
Módulo de elasticidad	82.07 lbf/ <i>pulgada</i> ²

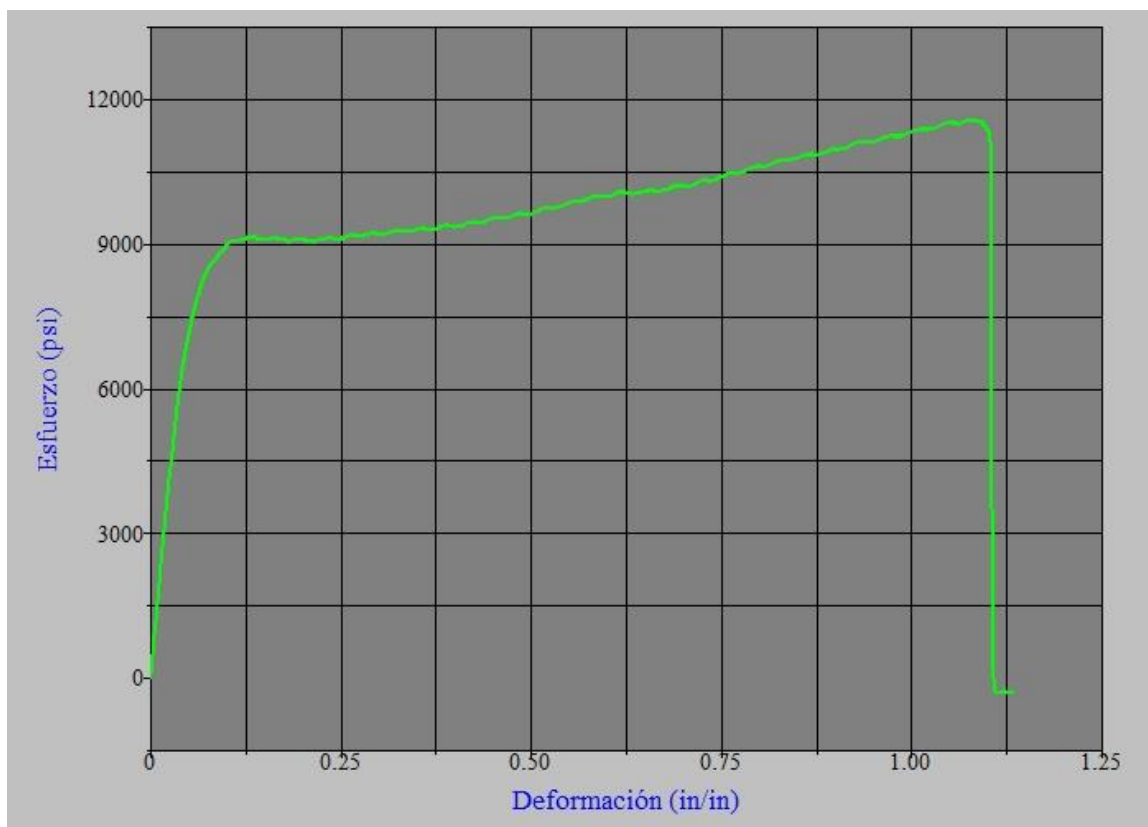
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.40. Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta dos (sin proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.41. Gráfica esfuerzo-deformación probeta tres (sin proceso térmico)



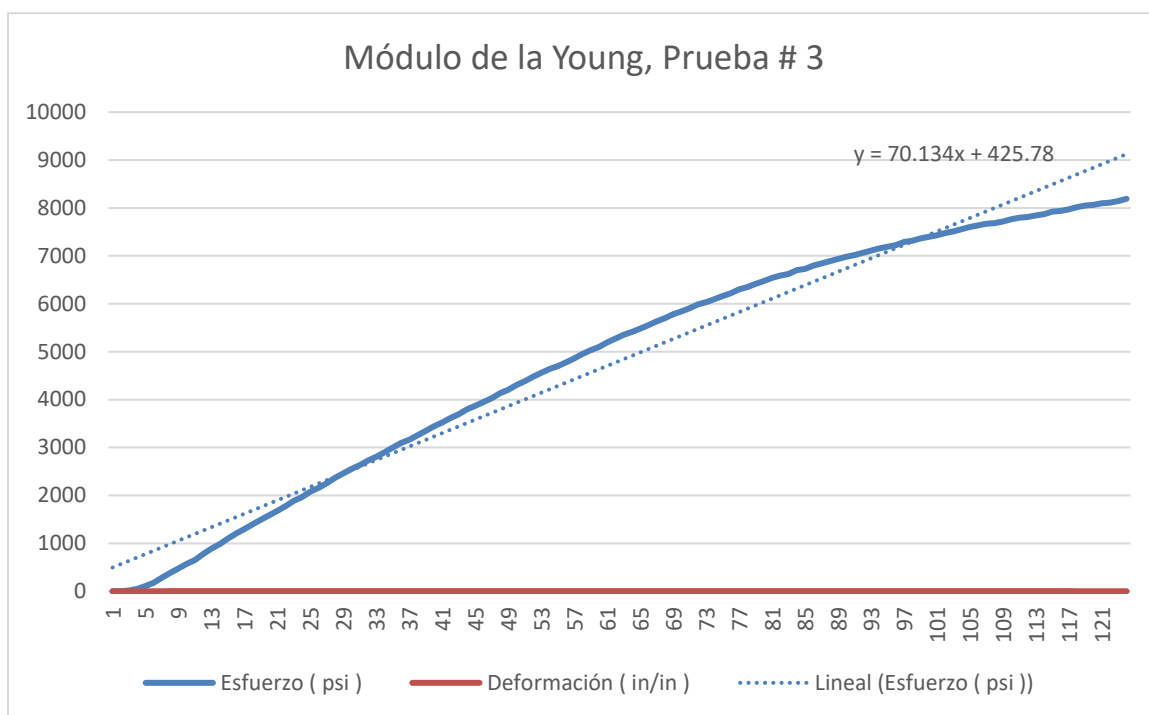
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.17. Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta tres (sin proceso térmico)

Datos de la prueba	
Punto máximo de carga	72.90 lbf
Longitud final en el eje Y	6.29 pulgadas
% de elongación	$\frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 = \frac{6.2928 - 3.00}{3.00} * 100$ $= 109.76\%$
Límite de ruptura	11428.57 lbf/ <i>pulgada</i> ²
Módulo de elasticidad	70.13 lbf/ <i>pulgada</i> ²

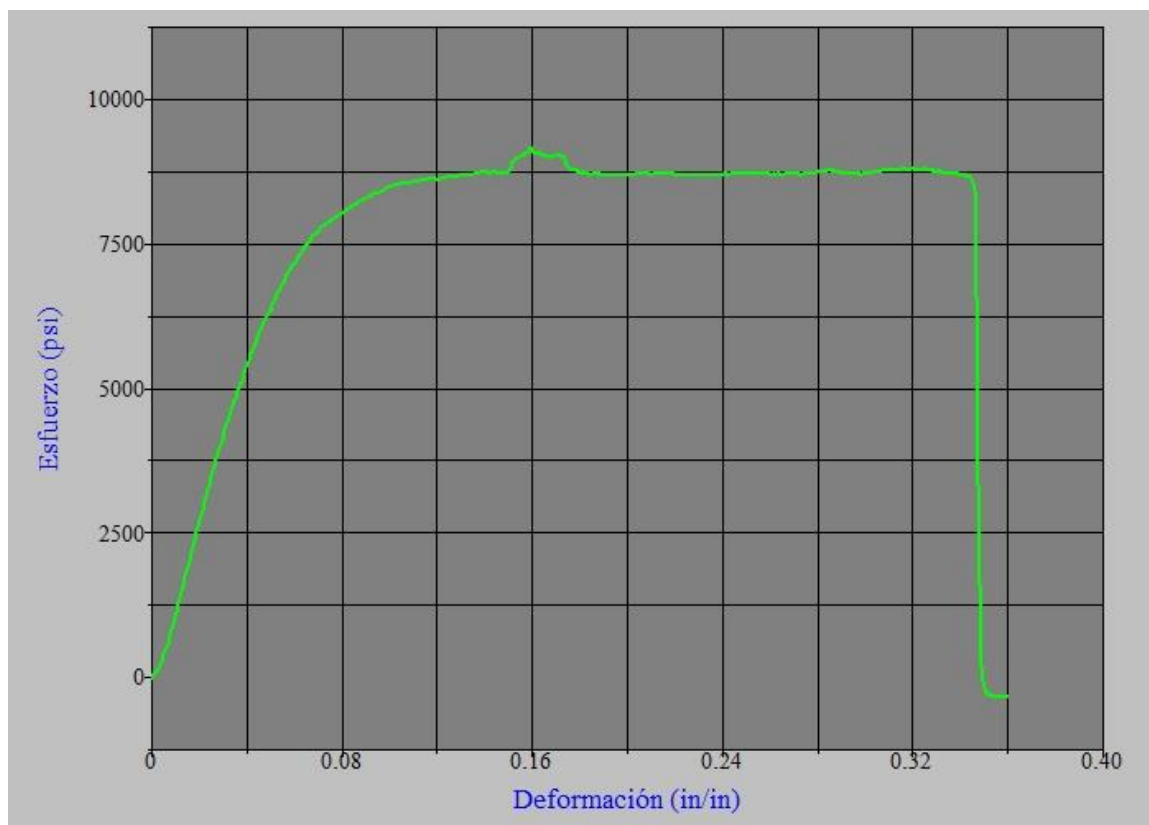
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.42. Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta tres (sin proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.43. Gráfica esfuerzo-deformación probeta cuatro (sin proceso térmico)



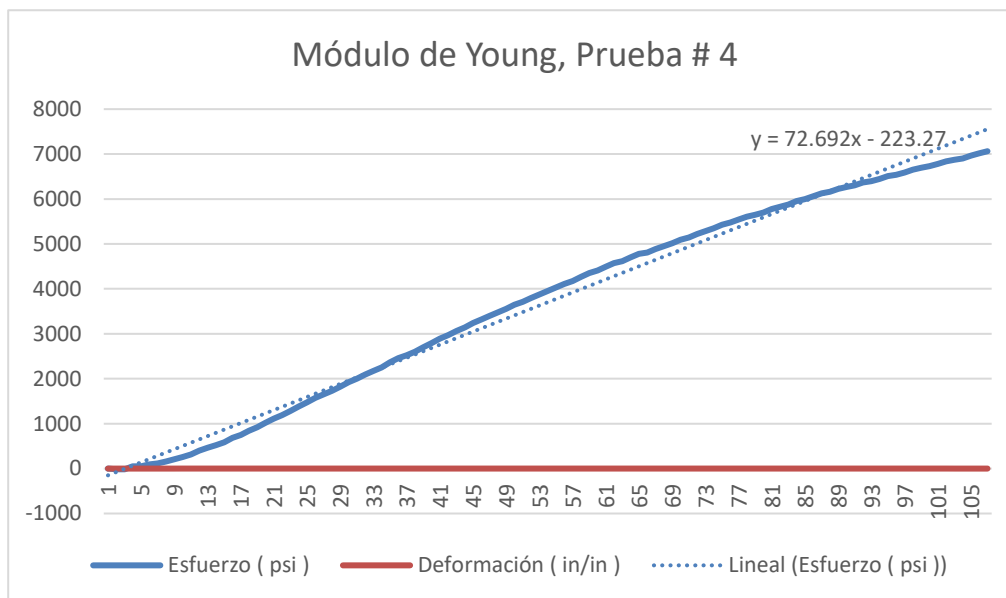
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.18. Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta cuatro (sin proceso térmico)

Datos de la prueba	
Punto máximo de carga	57.70 lbf
Longitud final en el eje Y	4.03 pulgadas
% de elongación	$\frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 = \frac{4.0305 - 3.00}{3.00} * 100$ $= 34.35\%$
Límite de ruptura	8666.66 lbf/ <i>pulgada</i> ²
Módulo de elasticidad	72.69 lbf/ <i>pulgada</i> ²

Fuente: Elaboración propia.

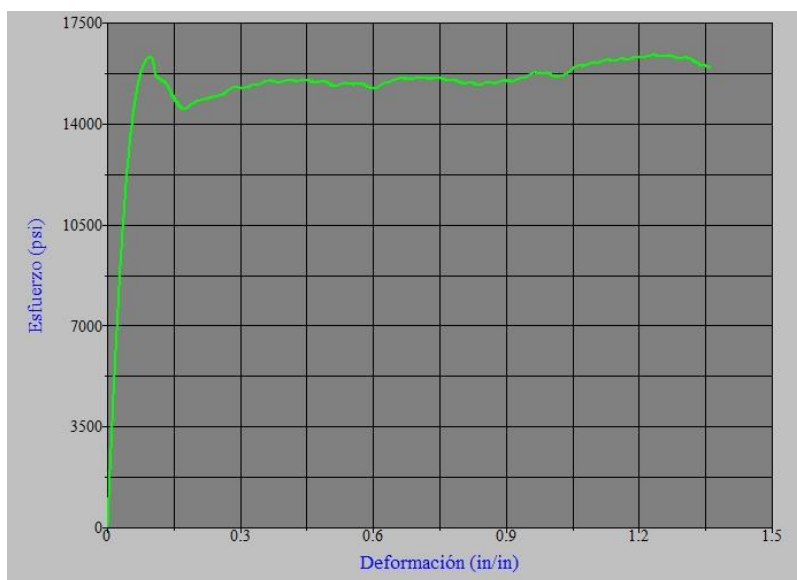
Figura No. 44. Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta cuatro (sin proceso térmico) para determinar el Módulo de Young.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los ensayos de tensión de las 4 probetas rectangulares de las tejas plásticas tras haber recibido un tratamiento térmico se pueden observar en las siguientes figuras y tablas:

Figura No.45. Gráfica esfuerzo-deformación probeta uno (con proceso térmico)



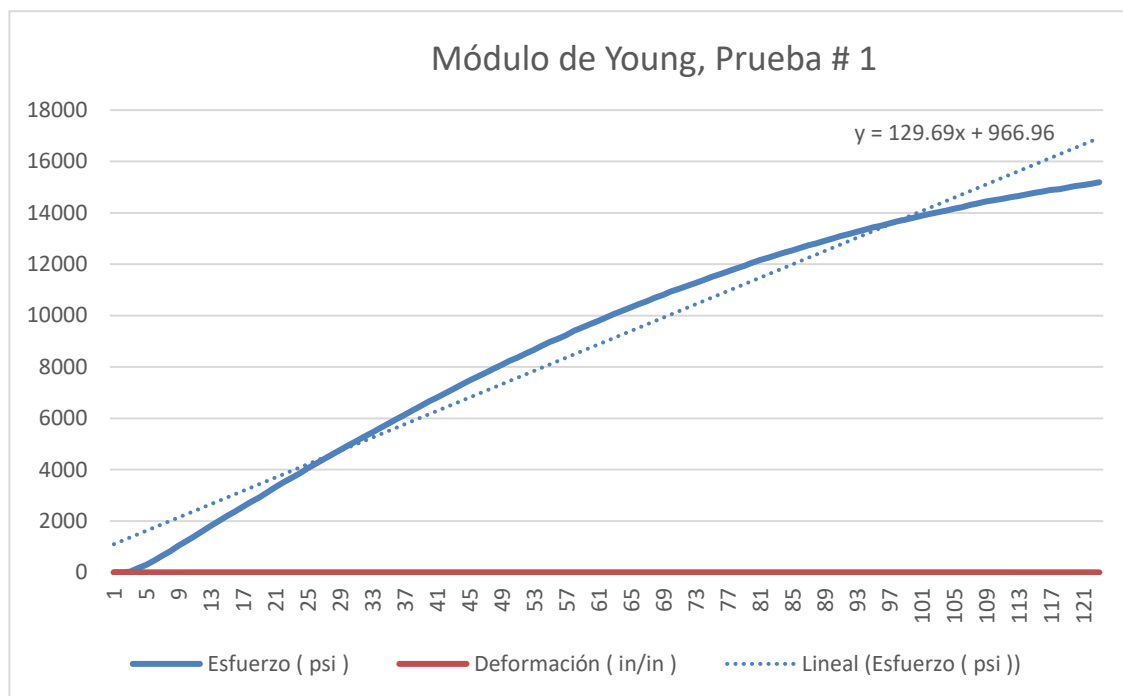
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.19. Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta uno (con proceso térmico)

Datos de la prueba	
Punto máximo de carga	103.40 lbf
Longitud final en el eje Y	7.07 pulgadas
% de elongación	$\frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 = \frac{7.0778 - 3.00}{3.00} * 100$ $= 135.92\%$
Límite de ruptura	15952.38 lbf/ <i>pulgada</i> ²
Módulo de elasticidad	129.69 lbf/ <i>pulgada</i> ²

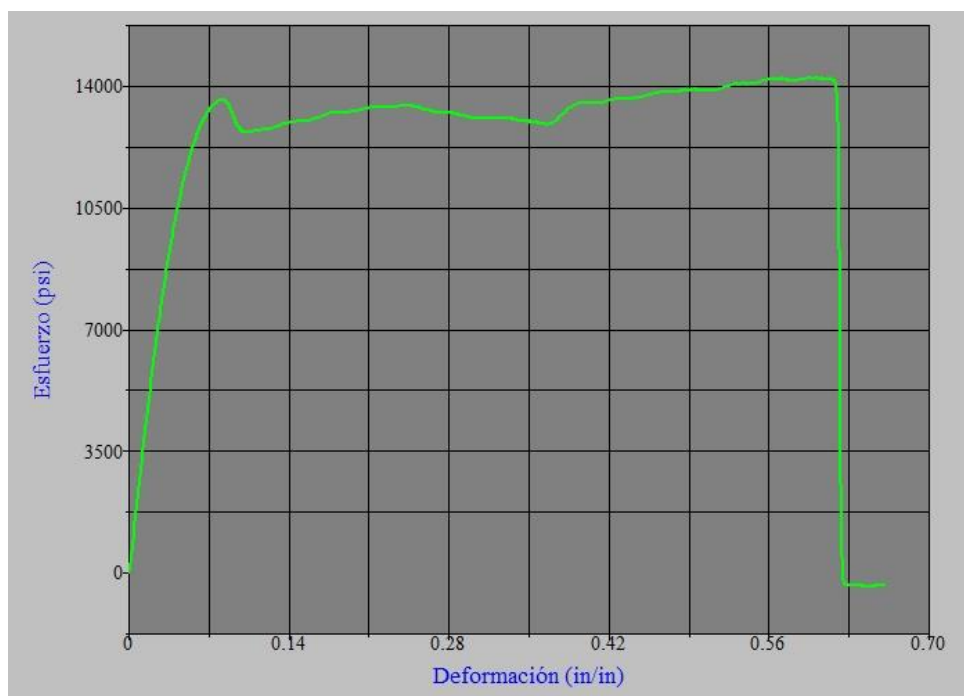
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.46. Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta uno (con proceso térmico) para determinar el Módulo de Young



Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 47. Gráfica esfuerzo-deformación probeta dos (con proceso térmico)



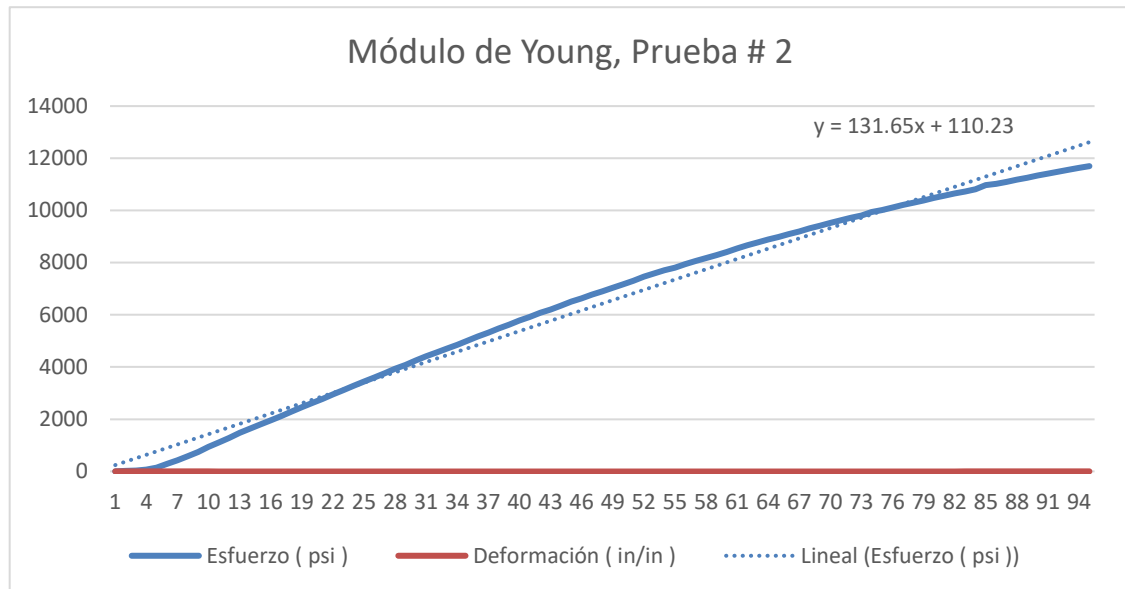
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.20. Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta dos (con proceso térmico)

Datos de la prueba	
Punto máximo de carga	89.70 lbf
Longitud final en el eje Y	4.85 pulgadas
% de elongación	$\frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 = \frac{4.8583 - 3.00}{3.00} * 100$ $= 61.94\%$
Límite de ruptura	14222.22 lbf/ <i>pulgada</i> ²
Módulo de elasticidad	131.65 lbf/ <i>pulgada</i> ²

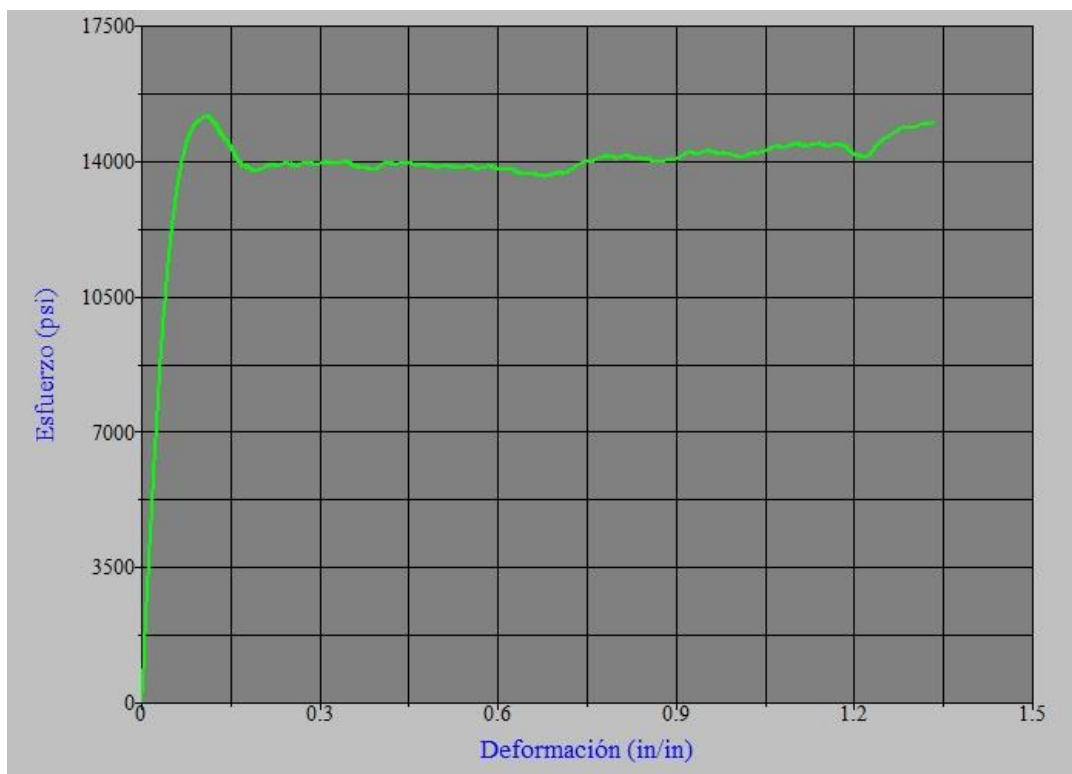
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.48. Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta dos (con proceso térmico) para determinar el Módulo de Young



Fuente: Elaboración propia.

Figura No 49. Gráfica esfuerzo-deformación probeta tres (con proceso térmico)



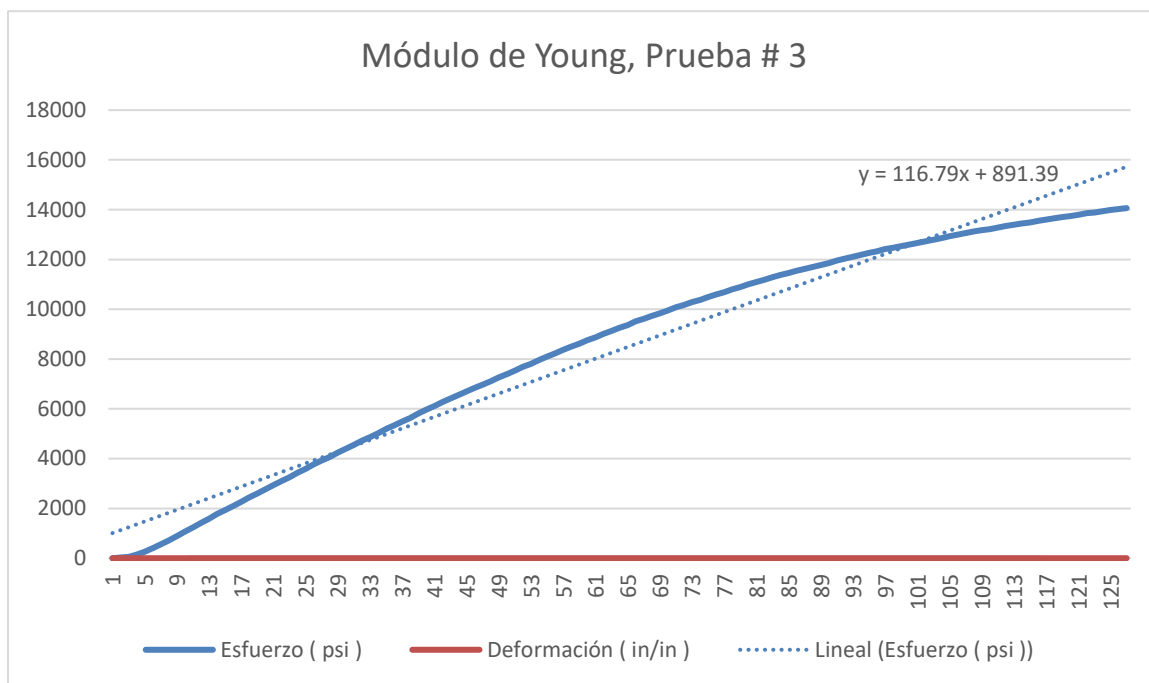
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No. 21 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta tres (con proceso térmico)

Datos de la prueba	
Punto máximo de carga	95.60 lbf
Longitud final en el eje Y	7.00 pulgadas
% de elongación	$\frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 = \frac{7.0005 - 3.00}{3.00} * 100$ $= 133.35\%$
Límite de ruptura	15000 lbf/ <i>pulgada</i> ²
Módulo de elasticidad	116.79 lbf/ <i>pulgada</i> ²

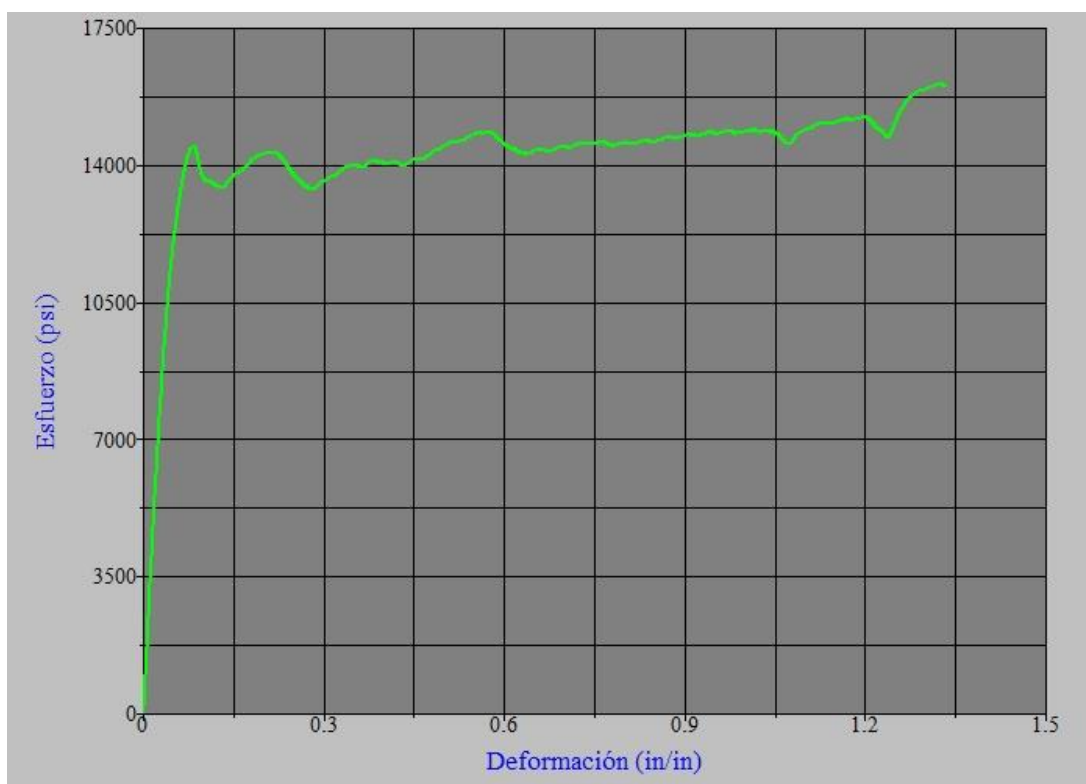
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.50. Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta tres (con proceso térmico) para determinar el Módulo de Young



Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 51 Gráfica esfuerzo-deformación probeta cuatro (con proceso térmico)



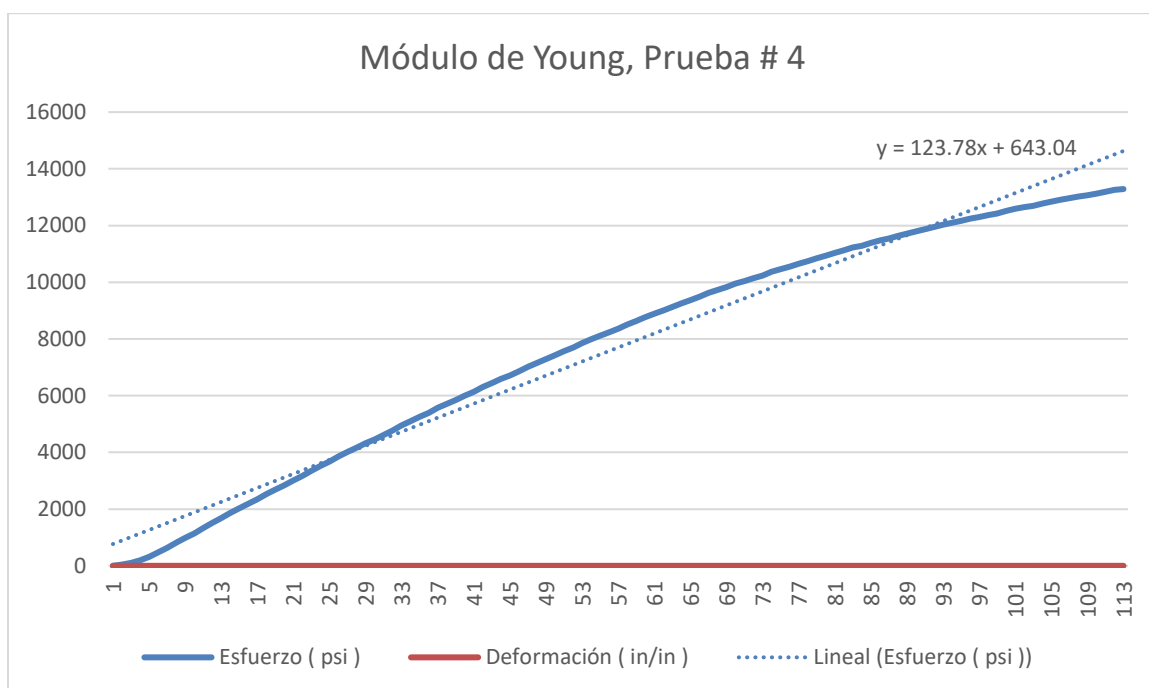
Fuente: Elaboración propia.

Tabla No. 22 Datos de la gráfica esfuerzo-deformación probeta cuatro (con proceso térmico)

Datos de la prueba	
Punto máximo de carga	101.30 lbf
Longitud final en el eje Y	7.00 pulgadas
% de elongación	$\frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 = \frac{7.0015 - 3.00}{3.00} * 100$ $= 133.38\%$
Límite de ruptura	16063.49 lbf/ <i>pulgada</i> ²
Módulo de elasticidad	123.78 lbf/ <i>pulgada</i> ²

Fuente: Elaboración propia.

Figura No.52 Regresión lineal en la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación de la probeta cuatro (con proceso térmico) para determinar el Módulo de Young



Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.23 Comparación de valores de módulo de elasticidad entre probetas con y sin proceso térmico.

Módulo de elasticidad				
(No sometido a proceso térmico)		(Sometido a proceso térmico)		% de incremento del Módulo de Young
Prueba uno	81.17 lbf/ <i>pulgada</i> ²	Prueba uno	129.69 lbf/ <i>pulgada</i> ²	$\frac{129.69 - 81.17}{81.17} * 100$ = 59.77%
Prueba dos	82.07 lbf/ <i>pulgada</i> ²	Prueba dos	131.65 lbf/ <i>pulgada</i> ²	$\frac{131.65 - 82.07}{82.07} * 100$ = 60.41%
Prueba tres	70.17 lbf/ <i>pulgada</i> ²	Prueba tres	116.79 lbf/ <i>pulgada</i> ²	$\frac{116.79 - 70.17}{70.17} * 100$ = 66.43%
Prueba cuatro	72.69 lbf/ <i>pulgada</i> ²	Prueba cuatro	123.78 lbf/ <i>pulgada</i> ²	$\frac{123.78 - 72.69}{72.69} * 100$ = 70.28%

Fuente: Elaboración propia.

5. Análisis de costos. El análisis de costos se divide en tres categorías importantes. El primero siendo el costo inicial de la adquisición del equipo, luego el costo de materiales de fabricación de una lámina de 1.80 metros de ancho por 1.82 metros de largo (6 pies) y finalmente el tiempo que se requiere para elaborar una lámina de las dimensiones anteriormente descritas.

Tabla No.24 Costo de la inversión inicial del equipo.

Equipo	Marca	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Proveedor	Total
Pistola de Calor, 1500 Watts	<i>Black & Decker</i>	1	Equipo	Q225.00	<i>NOVEX</i>	Q299.99
Cuchilla Retráctil 18 mm	<i>Truper</i>	1	Equipo	Q 15.99	<i>CEMACO</i>	Q 15.99
Engrapadora industrial	<i>Truper</i>	1	Equipo	Q179.99	<i>CEMACO</i>	Q179.99
Molde de madera	<i>Carpintería</i>	1	Equipo	Q25.00	<i>La Bendición</i>	Q25.00
GRAN TOTAL						Q520.97

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No. 25. Costo de materiales de fabricación para una Ecolám de 1.80 metros de ancho
por 1.82 metros de largo

Material	Marca	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Proveedor	Total
Grapas industriales 5/16"	<i>Truper</i>	1	Caja de 1000 grapas	Q13.99	<i>CEMACO</i>	Q13.99
Viga rectangular de pino rustico de 1" plg x 1" plg x 6 pies de largo	<i>MYMSA</i>	11	Vigas	Q3.75	<i>MYMSA</i>	Q41.25
Botellas PET (2 litros, 2.5 litros, 3 litros, 3.3 litros)	<i>Varias</i>	162	Botellas	Q0.00	N/A	Q0.00
Manta vinílica de 1.75 metros x 1.90 metros	<i>Varias</i>	1	Manta	Q0.00	N/A	Q0.00
Clavo con cabeza de 2 pulgadas	<i>N/A</i>	1	Libra	Q6.25	<i>NOVEX</i>	Q6.25
GRAN TOTAL						Q55.24
PRECIO POR MÓDULO						Q6.13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.26 Tiempo de manufactura de para una Ecolám de 1.80 metros de ancho por
1.82 metros de largo (9 módulos)

Proceso	Unidades	Tiempo por unidad (Minutos)	Número de unidades	Tiempo total
Lavado de botellas	Botella	0.85	162	137.7
Secado de botellas	Botella	0.5	162	81
Recorte de botellas	Botella	0.5	162	81
Proceso térmico	Botella	2	162	324
Recorte de las tejas	Botellas	2	162	324
Doblado de las tejas	Tejas	0.75	324	243
Ensamble de las tejas	Tejas	0.5	324	162
TIEMPO TOTAL EN MINUTOS				1352.7
TIEMPO TOTAL EN HORAS				22.5
DÍAS LABORALES (8 horas diarias)				2.8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.27 Tiempo de manufactura para un módulo de 1.82 metros (6 pies) de largo.

Proceso	Unidades	Tiempo por unidad (Minutos)	Número de unidades	Tiempo total
Lavado de botellas	Botella	0.85	18	15.3
Secado de botellas	Botella	0.5	18	9
Recorte de botellas	Botella	0.5	18	9
Proceso térmico de las tejas	Botella	2	18	36
Recorte de las tejas	Botella	2	18	36
Doblado de las tejas	Tejas	0.75	36	27
Ensamble de las tejas	Tejas	0.5	36	18
TIEMPO TOTAL EN MINUTOS				150.3
TIEMPO TOTAL EN HORAS				2.5

Fuente: Elaboración propia.

6. Ventajas y desventajas de Ecolám, sobre una lámina galvanizada comercial.

Tabla No.28. Ventajas y desventajas de la lámina Ecolám

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad de materiales. • Uso de materiales reciclables. • PET fácil de moldear para la fabricación de tejas. • No presenta filtraciones pluviales • Ensamble modular, permite la construcción de láminas a la medida. • Se puede generar un proceso industrial para la fabricación de Ecolám. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transparencia del material PET, facilita el paso de calor. • Requiere una inclinación de techado mínima de 25° • Es un proceso de fabricación totalmente artesanal. • Contiene un doblez, que brinda una sujeción poco estable y segura para el techado.

Fuente: Elaboración propia.

VII. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo fue elaborar un prototipo funcional de lámina para techado, utilizando botellas PET y mantas vinílicas de posconsumo que se desechan en la Ciudad de Guatemala, lo cual se cumplió por medio de un diseño modular de tejas plásticas PET fabricadas en un molde de madera sometido a un proceso térmico con una pistola de calor de 1,500 Watts; luego se ensamblaron sobre vigas rectangulares de 1 pulgada de alto por 1 pulgada de ancho por 6 pies de largo; finalizando la instalación con una manta vinílica en la estructura de una pequeña caseta de madera con dimensiones de $2.75 m^2$, 1.88 metros de altura y 25° de inclinación en el techado, en la ciudad de Guatemala. (Ver Anexo F, Construcción de caseta para la ejecución de ensayos)

Con base en el objetivo principal se trazaron como objetivos específicos: la realización de ensayos de tracción, ensayo pluvial y al comportamiento a la exposición solar para analizar la funcionalidad de la “lámina Ecolám”, nombre con el cual se designó al prototipo de lámina para techado empleando botellas PET y mantas vinílicas. Además, se analizaron los costos de manufactura de una lámina Ecolám con dimensiones de 1.80 metros de ancho por 1.82 metros para determinar los costos de elaboración de este. Finalmente, se realizó un instructivo (Ver Anexo A, Instructivo) detallado de los pasos necesarios para la elaboración de Ecolám, para todas las personas interesadas en fabricar este prototipo.

Se inicio el diseño y fabricación de la Ecolám, con la recopilación de información preliminar por medio de la investigación y entrevistas con algunos “usuarios de escasos recursos”, denominando así a ciudadanos guatemaltecos mayores a 18 años que residen en el área metropolitana y cuyos gastos anuales son iguales o menores a Q10,218 según la Línea de Pobreza Total Nacional documentada en la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) en el año 2014. En base a estos datos, se puede deducir que el ingreso mensual de estos ciudadanos es aproximadamente de Q851.50 al mes. La pobreza es un fenómeno multidimensional, siendo las condiciones de vivienda uno de los factores en el que repercute de manera directa, a este nicho poblacional. Estas viviendas son

improvisadas con materiales como madera, cartón, pedazos de lámina y con piso de tierra. A su vez, son hacinamientos que tienen la deficiencia de servicios básicos como lo es el acceso a electricidad, agua potable y urbanización. Es debido a los bajos ingresos económicos de estas familias, que reemplazar y mantener las láminas de acero galvanizada en óptimas condiciones se complica ya que el costo de una unidad oscila entre los Q42.00 a Q67.00 (ver Anexo J, Cotizaciones). Por lo tanto, se decidió tomar en consideración el costo y funcionalidad en el diseño del producto, siendo dos variables relacionadas directamente con la accesibilidad del producto; en vano sería el desarrollo de un producto perfecto estéticamente y funcionalmente, si no la pueden adquirir estas familias de escasos recursos que pertenecen al déficit de vivienda.

Luego de la investigación, se seleccionaron materiales que pudieran cumplir con los requerimientos establecidos por los usuarios de escasos recursos y a su vez solventar los problemas principales que presenta el uso de la lámina de acero galvanizada (Ver capítulo VI Resultados, Apartado A, inciso 1). Se decidió utilizar botellas plásticas de 2 litros, o de mayor capacidad volumétrica, por ser un material que puede ser recolectado en varios depósitos de basura formales e informales, en hogares, recicladoras, empresas e industrias. Cabe mencionar que se eligen botellas plásticas para bebidas carbonatadas, conocidas como botellas PET, las cuales pertenecen a la clasificación de los termoplásticos, cuya definición es: polímero que posee una transición vítrea (a temperaturas que oscilan entre los 100-135°C), que le otorga la característica de poder ablandarse y moldearse para obtener distintas formas y geometrías, entendiéndose que al enfriarse el material vuelve a endurecerse. Es debida a esta propiedad, que se procedió a transformar las botellas cilíndricas PET a tejas rectangulares, para lo cual se utilizó una pistola de calor de 1500 W para alcanzar esta temperatura (Ver Anexo B, Tejas).

Para estandarizar la forma y tamaño de la teja, se utilizó un molde de madera, siendo este un material con un bajo costo de adquisición y fabricación. Adicionalmente, permitió soportar temperaturas de 135°C, sin deformarse, ni alterar su geometría inicial. Las dimensiones están descritas en el Anexo A, Instructivo; estas medidas fueron diseñadas permitiendo que las botellas de 2 litros, 2.5 litros, 3 litros, y 3.3 litros, pudieran envolver

el molde. La principal razón de moldear las botellas plásticas a tejas con forma rectangular fue el de proveer mayor rigidez al material y tener la función de drenar el agua pluvial.

Cabe mencionar, que se diseñaron cinco moldes de madera (Ver Anexo C, Molde) para determinar el más adecuado, para la fabricación de las tejas; se eligió el molde con reglas de madera horizontales para la formación de acople entre tejas (Figura # 63), ya que logró su función de acoplar las tejas correctamente (Figura # 70). Los moldes restantes, dieron como producto tejas frontales que no acoplaban debidamente porque se formaba una especie de “montaña” causado por la falta de homogeneidad en la geometría, lo cual impidió que las tejas se logaran acoplaran debidamente una encima de otra.

Figura No.53. Formación de “montañas” en tejas



Una de las mayores ventajas de la lámina Ecolám, es que posee un diseño para ser ensamblada modularmente, ya que persiguió el propósito de construir láminas con medidas variables por medio de la unión de uno o varios módulos. Los módulos (vigas de madera de 6 pies (1.82 metros) con tejas ensambladas sobre ellas) requirió de 15 tejas rectangulares posteriores y 18 tejas rectangulares frontales para formar un módulo. La razón por la que se requirió más tejas rectangulares frontales que posteriores, es debido al acople que poseen estas tejas; aumentando la distancia de traslape entre las mismas. El acople entre tejas debe ser idéntico, es decir, la extrusión que poseen las tejas frontales debe cazar con su par idéntico (ver Anexo A, Instructivo). Este ensamble en las tejas frontales excedió el traslape diseñado de 3 cm entre tejas, por lo que se perdió mucha longitud útil.

El ensamble entre módulos presentó el reto de diseñar una forma de unión y sujeción segura entre los mismos por lo que se diseñó un doblez fabricado manualmente en una de las pestañas de ambas tejas (Ver Anexo A, Instructivo). Este doblez generó un ensamble lateral entre tejas, que, al tensar un módulo con otro, se lograba una correcta adherencia entre tejas. Sin embargo, esta forma de sujeción lateral aun presenta una unión débil en algunos puntos de adherencia ya que el doblez no posee uniformidad y homogeneidad, limitando el área de contacto entre las pestañas de las tejas y abre la posibilidad a filtraciones en el techado, y al desprendimiento de módulos lateralmente.

Una de las desventajas que presentaron las tejas plásticas PET, fue la transparencia del material, ya que facilita el paso de los rayos ultravioleta solares; se recordó que el PET permite la transmisión de luz en un 89%, lo cual aumenta la transferencia de calor por radiación y convección. Además, por no ser una superficie brillante ni de color blanco, permite que los rayos ultravioletas atraviesen con la facilidad este material. En consecuencia, a esta problemática, se buscó una solución para obstaculizar el paso de los rayos ultravioleta y se implementó la colocación de una manta vinílica sobre la estructura del techado.

El recubrimiento brillante de PVC que contienen las mantas vinílicas permitió reflejar parte de los rayos del sol que incidieron en la lámina Ecolám. La manta vinílica, no sólo resolvió parte de la transferencia de calor sino se convirtió en una protección ante las posibles filtraciones pluviales. La manta vinílica fue tensada y engrapada a la estructura provisional de techado construida. La tensión fue vital para la instalación de esta manta vinílica, para evitar estancamiento de agua en el techado y evitar el colapso de estas sobre la estructura donde sea colocada; a su vez permite el deslizamiento de agua, tomando la misma inclinación que la estructura del techado. Se utilizaron grapas para disminuir el costo de materiales de fabricación, ya que cumplen con una debida sujeción y asemejan la funcionalidad de clavos metálicos.

Posteriormente, se realizó el análisis del prototipo, por lo que se construyó una caseta de madera provisional que simulara (Ver Anexo F, Construcción de caseta para la ejecución de los ensayos). Fue de suma importancia garantizar la inclinación y dirección del techado, ya que el traslape entre tejas fue diseñado para una inclinación de 25° o mayor. Fue cubierta con láminas galvanizadas para recrear condiciones iguales o similares a las viviendas improvisadas en el Guatemala.

En esta caseta de madera, se realizaron los ensayos de comportamiento a la exposición solar, y de pluvialidad. En los ensayos de comportamiento a la exposición solar, se recopilaron los datos de temperatura en el exterior de ambas láminas (galvanizada y Ecolám – Ver Sección C, Apartado 3 en el Capítulo IV Resultados) y en el interior de las casetas. Para la obtención de estos datos, se utilizó un *Arduino Uno* con dos termocuplas que registraban las temperaturas a cada minuto. La instalación de estas termocuplas se puede observar en el Anexo H, Comportamiento a la exposición solar.

El comportamiento de la lámina Ecolám durante tres días de monitoreo indica que, el prototipo permite mayor transferencia de calor a comparación de una lámina galvanizada comercial, debido a su baja propiedad de reflectividad. El principal mecanismo de transferencia de calor que incide sobre ambas láminas es la radiación y convección. Se obtuvo un rango de diferencial de temperatura de 14.75 a $15.75 \pm 0.5^\circ\text{C}$ a temperaturas máximas del día, siendo estas de $48^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ en la parte exterior y en el interior fue de $33.25 \pm 0.5^\circ\text{C}$; estos valores representan que el 30.92% del calor absorbido por la lámina fue disipado antes de ingresar a la caseta (Ver Tabla #14, Sección C, Apartado 3 en el Capítulo IV Resultados). Por otro lado, la lámina galvanizada durante los tres días que estuvo bajo análisis presentó en promedio un diferencial de temperatura de $29.66^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ al haber estado expuesta a las temperaturas máximas del día (10 am – 12 del medio día). La temperatura máxima en el día uno fue de $60^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ en el exterior y de $30^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ en el interior, representando que el 50.91% del calor absorbido por la lámina en la cara exterior fue disipado, antes de ingresar a la caseta. Esto se debe principalmente porque gran parte de la radiación solar que incide sobre el techado es reflejada en un 70% (Ver tabla # 6) y el resto es absorbida por la lámina galvanizada, debido a la reflectancia que posee las láminas galvanizadas. Es importante resaltar que el diferencial de temperatura en

la Ecolám en horas de la madrugada fue mayor que la lámina galvanizada comercial ($-5.25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ versus $-3^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$). Esto representa que a bajas temperaturas, cuando el sol no incide sobre las láminas, la Ecolám fue capaz de mantener temperaturas mayores a las del exterior de la caseta. Este dato abre la posibilidad a considerar la Ecolám para ser utilizada como un techado de invernadero, en donde se busca mantener temperaturas mayores a las del ambiente para la preservación de cultivos. Es importante mencionar las posibles fuentes de error en esta etapa; la primera siendo el hecho de que se utilizaron láminas nuevas, y estas no presentaban óxido, ni falta de brillo en la superficie, lo cual influye directamente en la transferencia de calor y no asemeja exactamente el estado en el que se encuentran las viviendas de los usuarios de escasos recursos. A su vez, la caseta de madera no era hermética, por lo que el paso de flujo de aire en algunas áreas de la caseta pudo haber influido en el dato exacto de la temperatura.

No se presentó filtración en el techado, se determinó este dato a través de la diferencia de peso de papel Kraft que se colocó en el interior del techado de la caseta de madera antes y después de la lluvia que tuvo una duración aproximada de 35 minutos, con una precipitación de 0.1 cm. Se planteó, que, de existir filtración el papel Kraft aumentaría de peso por la humedad que ganaría al momento de caer las gotas sobre él, previendo que las gotas se secaran. Se realizó una inspección visual durante la simulación de lluvia sobre el papel Kraft, donde se buscó rastros de las gotas que pudieron llegar a existir sobre el papel Kraft, lo cual indicaría filtración; sin embargo, éste no fue el caso durante y después de la lluvia. La razón por la cual se utilizó el papel Kraft, es debido a la facilidad visual de detectar humedad en el mismo.

Se procedió a realizar pruebas de tensión, para determinar la resistencia y propiedades de Ecolám. Se pretendió mejorar la rigidez del PET, por lo que se analizaron sus propiedades mecánicas antes y después de ser sometido a un proceso térmico. La máquina utilizada para estas pruebas fue una INSTRON-HP 1295, la cual fue programada con una velocidad de avance de 1" pulgada por minuto. Los resultados de los ensayos de tensión de las 4 probetas rectangulares de tejas plásticas tras haber recibido un tratamiento térmico (Ver Sección C, Apartado 4 en el Capítulo IV Resultados) indicaron un aumento de un 64.22% en el módulo de Young en probetas rectangulares de las tejas plásticas tras haber recibido un proceso

térmico, por lo que se logró aumentar la rigidez inicial de las botellas plásticas PET. (Ver tabla #23) Lo cual añade una ventaja al moldear las tejas por medio de un proceso térmico.

Finalmente, se realizó un análisis de costos (Ver Sección C, Apartado 5, en el Capítulo IV Resultados) donde se obtuvo un costo de materiales para la elaboración de una Ecolám de 1.80 metros de ancho por 1.82 metros de largo (6 pies), (9 módulos) de Q55.24 (Ver tabla # 25). Algo de suma importancia resaltar fue la dificultad que se presentó al adquirir 162 botellas plásticas en buen estado, no fue fácil, debido a los limitados centros de reciclaje en el país. Conjuntamente, el tiempo de fabricación que requiere limpiar botellas, cortar las botellas, crear las tejas y finalmente ensamblarlas es de aproximadamente 19 horas para estas medidas de prototipo, lo que también alarga el proceso de adquisición de este prototipo. Sobre esto, también es importante destacar que se debe tener el equipo para la elaboración de Ecolám. Por estas razones, a pesar de haber logrado disminuir costos en los materiales de fabricación, equipo y proceso, el objetivo a largo plazo de fabricar una lámina alternativa de menor costo no se cumplió en esta etapa. Muy difícilmente un prototipo supera a una producción masiva de cualquier producto si se toma en cuenta que la industria de acero es una industria establecida por más de 100 años, el impacto de la tecnología, maquinaria y estandarización del proceso de la fabricación de láminas de acero ha generado el manejo de cantidades enormes de producción; adicionando los estudios y agregados que actualmente se utilizan para mejorar las propiedades de las láminas de acero, por lo que los precios que destinan para el mercado resultan ser accesible, debido a estas ventajas de fabricación y experiencia que ha adquirido esta industria. Sin embargo, Ecolám no se encuentra aún en esta fase comparativa, ya que aún es un producto que buscaba probar la funcionalidad. Por lo que no se debe descartar Ecolám, ya que propone una alternativa para la adquisición de láminas con un 0.00% de filtración con un proceso artesanal, empleando materiales reciclables, el cual a través del instructivo puede ser fabricada por los interesados de este proyecto, y abre la posibilidad a realizar más estudios de este prototipo para determinar la viabilidad de crear un proceso semi-industrial o incluso industrial que pueda disminuir costos de producción, luego de tener suficientes pruebas y estudios que validen la funcionalidad de este. Por lo que se comprobó en esta

investigación que es un prototipo en fases de desarrollo, que presenta un alcance prometedor con mejoras de proceso, fabricación y material.

VIII. CONCLUSIONES

- Se cumplió el objetivo general de Elaborar un prototipo funcional de una lámina para techado, utilizando botellas PET y mantas vinílicas de posconsumo que se desechan en la Ciudad de Guatemala.
- Se cumplió con el objetivo específico de lograr elaborar un prototipo de lámina para techado que evitó las filtraciones pluviales.
- Se logro el objetivo de ejecutar ensayos de exposición solar a las láminas (Ecolám y galvanizado de acero comercial) lo que determinó que el 50.91% del calor absorbido por la lámina galvanizada comercial en la cara exterior fue disipado, antes de ingresar a la caseta, mientras que la Ecolám tuvo un valor de 30.92%; Ecolám permitió un mayor ingreso de calor a la caseta a comparación de una lámina galvanizada comercial.
- Se logro ejecutar ensayos de tracción en cuatro probetas rectangulares de botellas de plástico PET de 2 litros sin haber recibido un proceso térmico y en cuatro probetas rectangulares de las tejas plásticas tras haber recibido un proceso térmico y se determinó que debido al aumento de un 64.22% en el módulo de Young en probetas rectangulares de las tejas plásticas tras haber recibido un proceso térmico, se logró aumentar la rigidez inicial de las botellas plásticas PET.
- Se realizó un análisis de costos de la Ecolám con dimensiones de 1.82 metros (6 pies) de largo por 1.81 metros de largo, para lo cual se tuvo un costo de materiales de fabricación de Q55.24 y Q6.13 por módulo. El costo de la inversión inicial del equipo fue de Q520.97; el tiempo de manufactura para una Ecolám de estas dimensiones fueron de 22.5 horas, y 2.5 horas para un módulo de 6 pies de largo.

- Se determinaron las principales ventajas y desventajas que presenta el prototipo, siendo las que se muestran a continuación:

Las ventajas principales de Ecolám son:

- Accesibilidad de materiales.
- Uso de materiales reciclables.
- PET fácil de moldear para la fabricación de tejas.
- No presenta filtraciones pluviales
- Ensamble modular, permite la construcción de láminas a la medida.

Y sus principales desventajas son:

- Transparencia del material PET, facilita el paso de calor.
 - Requiere una inclinación de techado mínima de 25°
 - Es un proceso de fabricación totalmente artesanal.
 - Se puede generar un proceso industrial para la fabricación de Ecolám.
Contiene un doblez, que brinda una sujeción poco estable y segura para el techado.
- Se realizó un instructivo, especificando los pasos necesarios para la elaboración de Ecolám (prototipo de lámina para techado, empleando botellas PET y mantas vinílicas) para todas las personas interesadas. (Ver Anexo A)

IX. RECOMENDACIONES

- Se recomienda fabricar bajo una norma estandarizada las probetas plásticas PET.
- Se recomienda realizar ensayos de tensión del PET, bajo una norma ASTM, en un laboratorio que cumpla con los requerimientos necesarios que exige la norma.
- Se recomienda incentivar en varios centros educativos, empresas y viviendas la recolección de estas botellas concientizando a todas las personas sobre el potencial que poseen estos desechos para ser utilizados en proyectos como lo es Ecolám.
- Se recomienda realizar ensayos y pruebas que determinen el tiempo de vida de este prototipo.
- Se recomienda analizar, alternativas a la madera de pino rustico, como soporte para las tejas.
- Se recomienda analizar la mejor forma de cubrir una estructura de techado con secciones de mantas vinílicas con medidas inferiores a las del total del techado.
- Se recomienda elaborar un análisis detallado de transferencia de calor para la Ecolám y las láminas galvanizadas.
- Se recomienda emplear otros materiales reciclables, como el tetra pack y empaques de frituras, y analizar su comportamiento a la exposición solar.
- Se recomienda realizar pruebas de la Ecolám en invierno, donde las temperaturas son menores, para analizar su comportamiento ante este clima también.
- Se recomienda realizar pruebas que determinen si es viable emplear estas tejas como paredes de vivienda.
- Se recomienda diseñar un método de tratamiento térmico para la fabricación de tejas plásticas utilizando las estufas de leña.
- Se recomienda elaborar un modelo de negocios para la fabricación de Ecolám.
- Se recomienda realizar pruebas que determinen el tiempo de vida de Ecolám.
- Se recomienda analizar la sensación térmica que genera Ecolám al ser expuesta al sol.

X. BIBLIOGRAFÍA

Ballesteros, G. 2001. *Análisis de resistencia a la ruptura en lonas confeccionadas*. Universidad de Sonora, Sonora, México.

Beltrán, M. y Marcilla A. 2012. *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. Universidad de Alicante, España. Pgs.276.

Cámara Guatemalteca De La Construcción. 2014. *Guatemala con altos índices de déficit habitacional*. Ciudad de Guatemala, Guatemala. Cámara Guatemalteca De La Construcción.

Colomo, N. 2013. *Ingeniería del reciclado en envases de Tereftalato de Polietileno (PET)* Guatemala, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Cruz, C. Figueroa, P. y Hernandez, C. 2012. *Estructuración, análisis y diseño estructural de elementos de techo con perfiles metálicos utilizando el método LRFD*. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador.

Diaz, O. 2012. *La cubierta metálica en el clima cálido húmedo: análisis del comportamiento térmico del techo de zinc de la vivienda vernácula dominicana*. Cataluña, España. Universidad Politécnica de Cataluña.

Elias, X. y Jurado, L. 2012. *Reciclaje de residuos industriales*. Madrid, España. Díaz de Santos S.A.

Floral, F. y Peters, T. 1996. *Modern Plastic Encyclopedia*. New York, United States. The McGraw-Hill Companies.

García, D. 2008. *Ensayo de tracción UPV*, Valencia, España. Universitat Politècnica de València.

Gonzales, H. 2005. *Implementación de un sistema de control de calidad en una planta de lámina galvanizada corrugada de acero*. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.

Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambientes. 2006. *Perfil Ambiental de Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala. Universidad Rafael Landívar.

Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. 2015. *Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos 02-2014*. Ciudad de Guatemala, Guatemala. [08/03/2018]

Jimenez, A. Lapuebla, A. Romero, M. e Ivorra, S. 2015. *Elasticidad y Resistencia de Materiales Apuntes de clase para las titulaciones de grado en ingeniería*. Valencia, España. Universitat Politècnica de València.

Muñoz, L. 2012. *Estudio del uso del polietileno tereftalato como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga*. Ciudad de México, México. Universidad Nacional Autónoma de México.

NBM, Inc. 2018, *Anatomy of a Vinyl Banner*. United States. SIGN & Digital graphics. <https://sdgmag.com/features/anatomy-vinyl-banner> [08/02/2018]

Novocolor S.A. 2017. LONAS. Guatemala. NOVOCOLOR GUATEMALA. www.novocolor.com.gt/index.php/lonas [02/02/2018]

Richardson, T. y Lokensgard, E. 2000. *Industria del plástico: plástico industrial*, Paraninfo, pgs 584

Sagaró. 2013. *8 Consejos para lograr un buen acabado de lona*. Ciudad de México, México. Distribuidora Sagaró de México S.A. de C.V.

<http://sagaro.com.mx/sagaro2/filesFck/file/BAK/8%20Consejos%20para%20lograr%20un%20Buen%20Acabado%20de%20Lona.pdf> [21/01/2018]

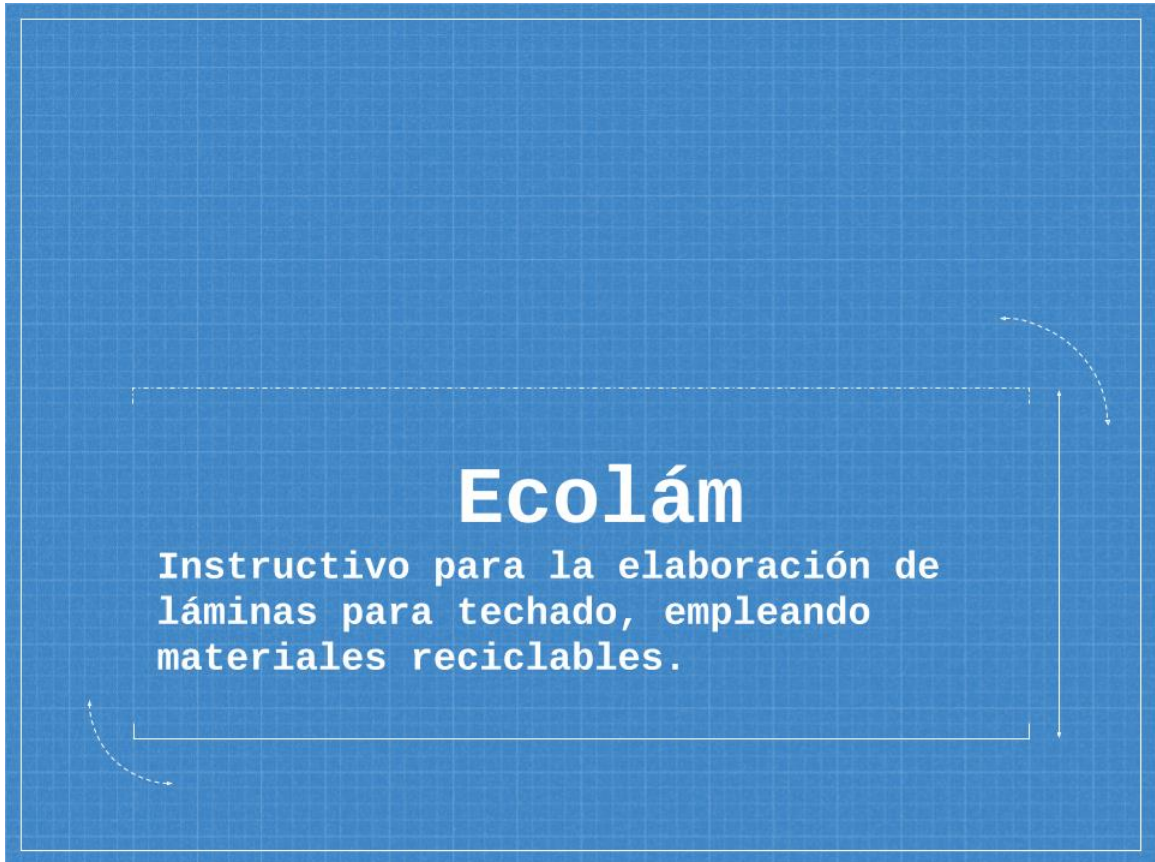
Suasnavas, D. 2017. *Degradación de materiales plásticos “PET” (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE), como alternativa para su gestión*. Quito, Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

TEKRA, A división of EIS, Inc, Tekra. 2018. *Tek Tip – Cast vs. Calendered Vinyl*. New Berlin. TEKRA A DIVISION OF EIS, INC. <https://www.tekra.com/resources/tek-tip-white-paper/tek-tip-cast-vs-calendered-vinyl> [20/03/2018].

Toro, J. 2004. *Aplicación para polietileno tereftalato reciclado*, Espol, Guayaquil, Colombia.

X. ANEXOS

A. Instructivo.



1

¿Qué es Ecolám?

Te explicamos a detalle en qué consiste este proyecto innovador.

¿Qué es Ecolám?

- ★ Es una lámina para techado empleando materiales reciclables y proceso de manufactura simple.
- ★ Las botellas de doble litro y triple litros son el material principal de esta lámina.
- ★ Las mantas vinílicas también son parte de la instalación de esta lámina.





PRODUCTO FINAL

2

¿Por qué es conveniente utilizarlo?

Los beneficios de utilizar esta lámina.

¿Por qué es conveniente utilizarlo?

- ★ Es una opción de un techado básico.
- ★ Reciclamos y reutilizamos los desechos plásticos.
- ★ Requiere poca herramienta y proceso de manufactura para su elaboración.
- ★ Podemos crear nuestras propias medidas de lámina.



3

¿Qué herramientas necesito?

Las herramientas que utilizarás para lograr construir tu propia Ecolám



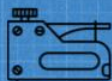
Cuchilla



Molde de madera



Pistola de calor

Engrapadora
industrial

Martillo



Clavos de 2"



Metro

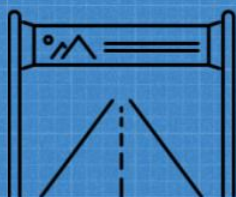
4

¿Qué materiales necesito?

Los materiales que utilizarás para lograr hacer tu propia Ecolám.



Botellas PET
de 2L o mayor
Capacidad volumetrica.



Mantas Vinilicas



Vigas de madera
1" x 1"
Rectangulares

¿Cuántas botellas necesito recolectar?

Una teja ecolam, en promedio tiene 12-13 cm de largo útil, es decir, el largo que se obtiene al descontar el traslape entre tejas.

Tabla de botellas por módulo.

	6 pies x 20 cm de ancho	10 pies x 20 cm de ancho	12 pies x 20 cm de ancho
Número de botellas	18	30	38

Si se desea un ancho mayor, se deben hacer los módulos necesarios de estas secciones.

Ejemplo: Se requiere una lámina de 6 pies por 1.80 metros de ancho:

$$180 \text{ cm} / 20 \text{ cm} = 9 \text{ módulos}$$

$$9 * 18 \text{ botellas} = 162 \text{ botellas.}$$

Son necesarias 162 botellas plásticas PET para la fabricación de una lámina de 1.80 metros de ancho por 1.80 metros de largo.



Un módulo es una viga de madera con tejas ensambladas sobre ella, por medio de grapas industriales.



¡ INICIEMOS !

Teniendo todas las herramientas y material necesario, estas listo para empezar a construir tu propia Ecolám.

Los procesos de transformación de las botellas plásticas a lámina de techado.



Recolección y
separación



Limpieza



Transformación en
tejas



Ensamblaje final a
una lámina de techado



Recolección y separación

Te explicamos a detalle
la información necesaria
para recolectar tu
material.

Tipos de plástico: Existen diferentes tipos de plásticos, debido a esto existe un sistema universal para identificar los tipos de plásticos. Regularmente se encuentran en el fondo de la botella, una figura con un triángulo y un número dentro del mismo.



→ *Para la elaboración de láminas Ecolám, utilizaremos solamente botellas PET, con el símbolo:*



INFORMACIÓN IMPORTANTE DE RECOLECCIÓN

- 1) Recomendamos recolectar botellas PET cilíndricas (ej: de gaseosas) con un contenido de 2 Litros o mayor.
- 2) No importa el color de las botellas PET, ni la marca. Solamente la forma y volumen.
- 3) Deben estar en buenas condiciones.
- 4) No deben estar aplastadas, ni rotas.
- 5) Deben seleccionar las botellas más limpias y en mejor estado posible.
- 6) No importa que no contengan tapadera las botellas o etiqueta.



Botellas en buen estado, sin abolladuras, rajaduras o suciedad extrema.



Limpieza

Te explicamos a detalle la limpieza previo a utilizar las botellas plásticas.



1. Detectar si hay manchas o suciedad dentro y fuera de las botellas. Lo más común son residuos de gaseosas.



2. Retirar la etiqueta y tapadera.



3. Rellene la botella con agua.



4. Agite la botella, tapando el agujero con el dedo pulgar o tapadera de una botella plástica.



5. Si las manchas persisten, aplique un poco de jabón en polvo/líquido.



6. Vuelva agitar y desengajar con agua.



7. Limpie todo el exceso de agua en el exterior de la botella, con una toalla.



8. Recorte la parte inferior de la botella plástica con la cuchilla.



9. Limpie el exceso de agua en el interior de la botella.

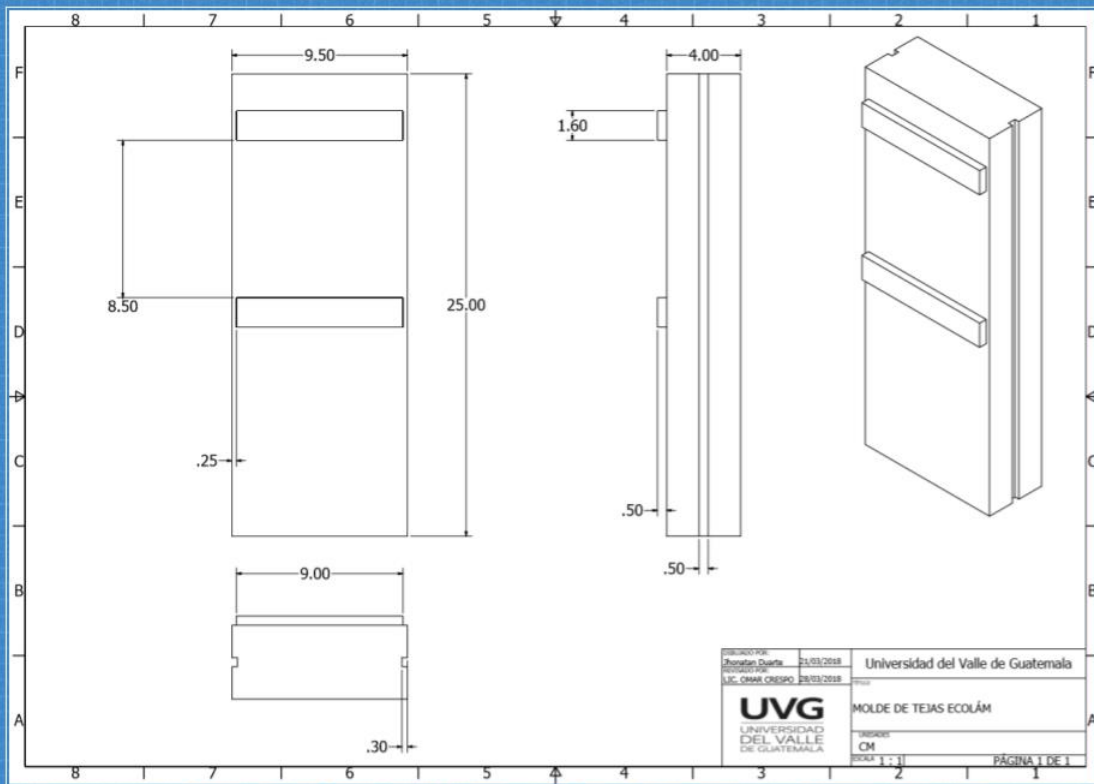


Transformación en tejas

Te explicamos a detalle el proceso para convertir tus botellas plásticas en tejas.



Este es el molde que utilizaremos para crear nuestras tejas.



Estas son las medidas del molde expresadas en cm



Se debe proceder a recortar las botellas plásticas del extremo superior, dado que el extremo inferior ya ha sido recortado para el secado de botellas.



1. La parte inferior de la botella, ya se cortó en el proceso de secado, por lo que ya no es necesario realizar el corte.



2. Se debe ingresar la botella al molde, hasta que la botella ya no pueda bajar más. En este punto se corta la parte superior, a 1 cm de distancia de la parte superior del molde.



3. Ingresar la botella al molde, dejando un espacio entre 2-3 cm de distancia entre la parte superior del molde y de la botella. Esta distancia compensa la contracción del PET, y logra que la botella pueda rodear por completo el molde.



4. Se enciende la pistola de calor y se aplica en diferentes áreas de la botella, logrando ser lo más homogéneo posible. De manera que el plástico empieza ablandarse, se debe controlar su dirección con una varilla, para evitar traslapos. Esta varilla normalmente viene incluida en la compra de la pistola de calor. De no ser así, se debe utilizar cualquier otra varilla con un mango aislado.



5. Recortar rebabas de plástico fuera del molde con la cuchilla.

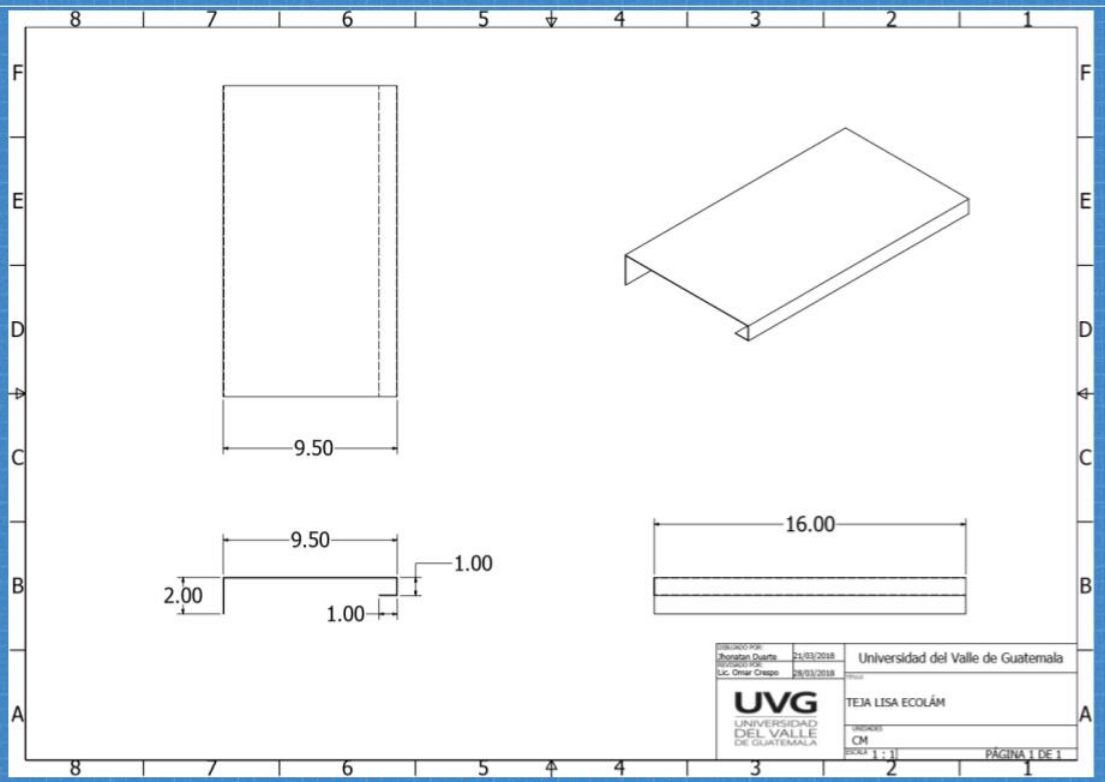


6. Cortar ambas partes el molde pasando la cuchilla por los dos canales laterales, sujetando firmemente con la mano libre el molde.

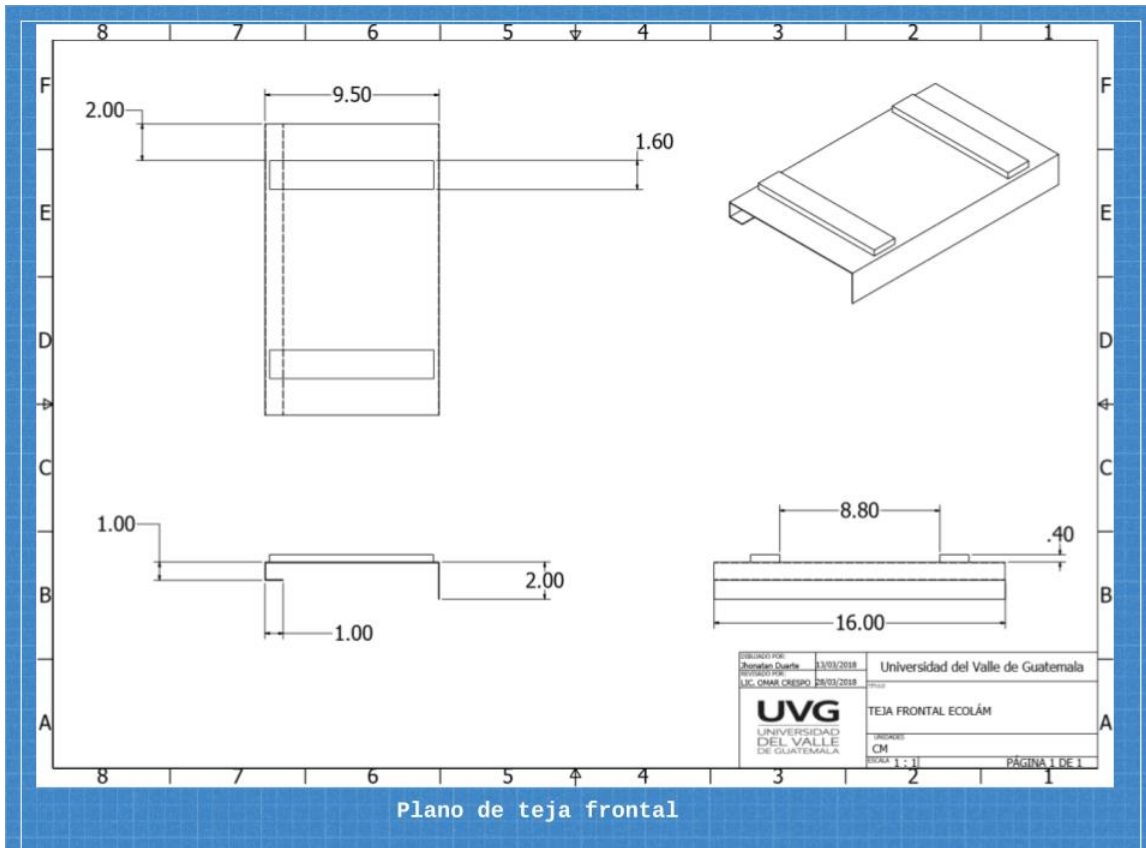


Teja frontal

Teja lisa posterior

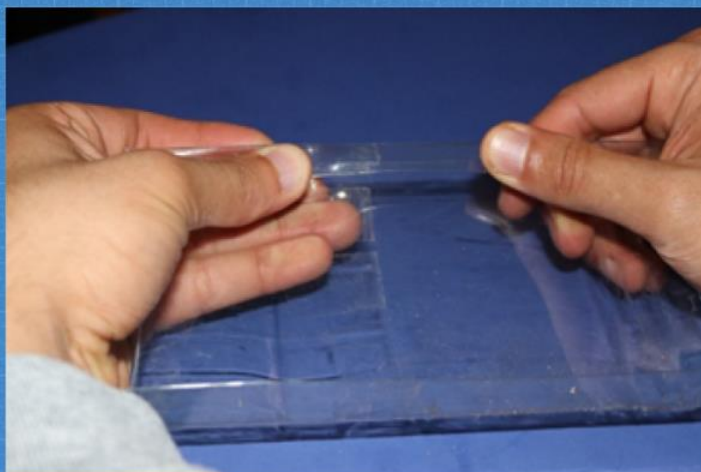


Plano de teja lisa posterior



Ensamblaje final a una lámina de techado

En este paso, todas las tejas se unen entre ellas para formar lo que finalmente será una lámina.

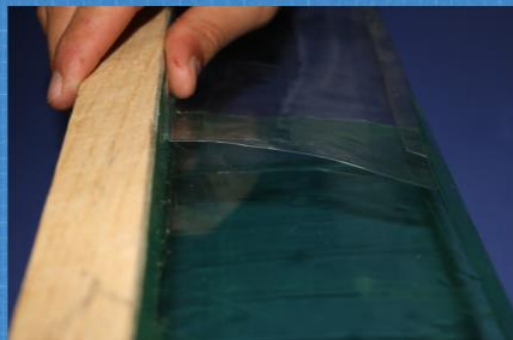


1. Doblar por la mitad una de las pestañas de todas las tejas lisas posteriores.

NOTA IMPORTANTE: Con las tejas frontales extruidas, se debe realizar el doblar justo antes de colocar una teja sobre la otra. Es decir no se debe realizar el doblar de ninguna teja frontal antes de iniciar, sin previamente analizar de qué lado se debe realizar el doblar.



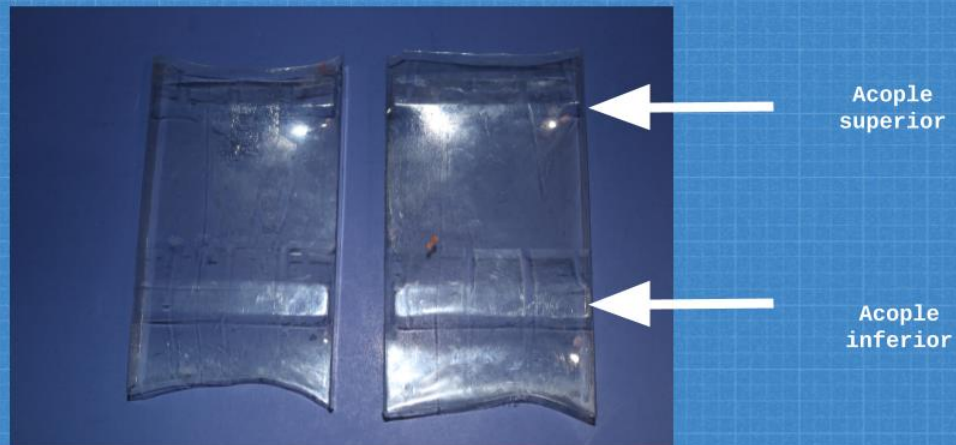
2. Engraparse todas las tejas lisas a lo largo de la viga de madera, traslapando una sobre otra a unos 3 cms, y deslizando una tras otra con la pestaña doblada.



3. Deslizar una teja lisa sobre otra, utilizando la pestaña lateral como corredera. Engraparse ambas tejas a la madera, cuando se logren los 3 cm de traslape.



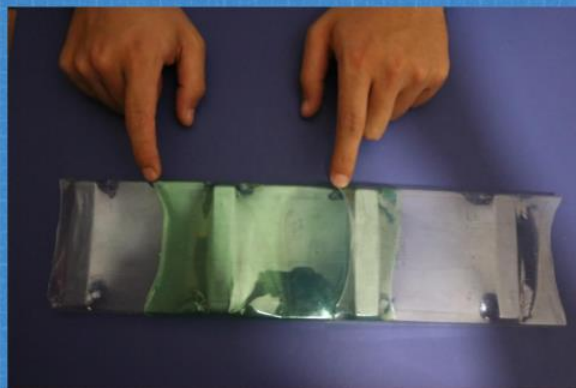
Grapa entre tejas lisas con 3 cm de traslape.

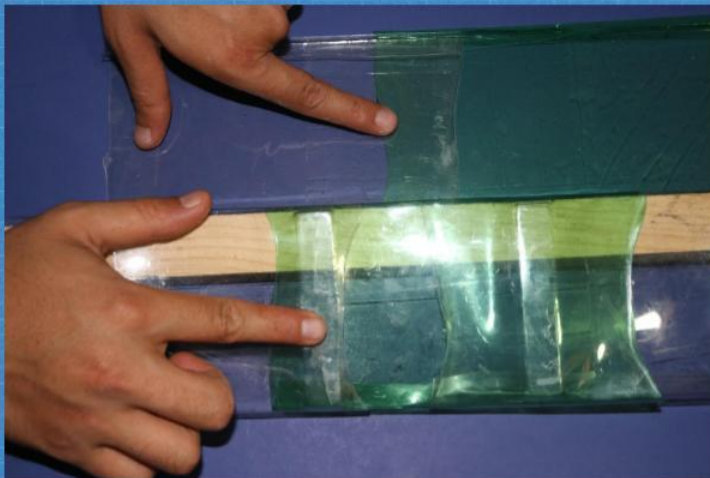


4. Luego de haber colocado todas las tejas lisas a lo largo de la viga de madera se procede a instalar las tejas frontales.

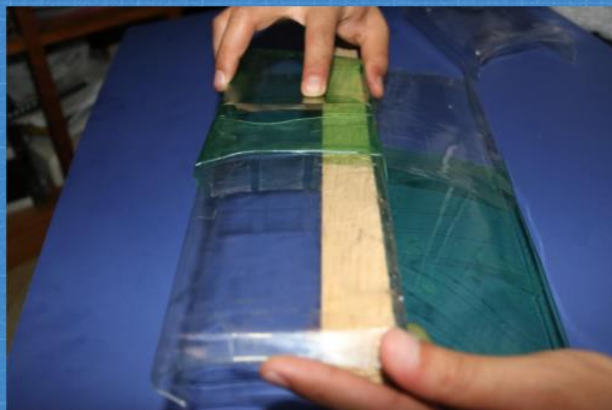
Las tejas frontales tiene dos acoples por teja. Acople superior y acople inferior.

NOTA IMPORTANTE: Al momento de unir dos tejas frontales, se debe asegurar que coincida el acople superior con otro acople superior para garantizar la sujeción y debido acople entre tejas. El mismo proceso debe ser con el acople inferior.





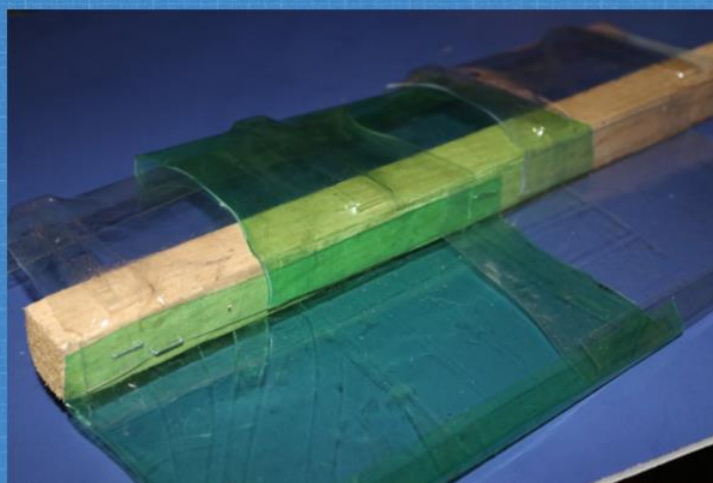
5. Asegurarse que tanto el traslape de las tejas lisas como el de las tejas frontales, están orientadas en la misma dirección para que puedan drenar el agua pluvial sin permitir el ingreso de agua.



6. Crear el doblé en las tejas frontales una por una, luego de haber determinado en cuál de las dos pestañas se debe realizar el doblé para garantizar que coincida el acople entre tejas. Luego deslizar una teja con otra.



7. Engrapar la teja frontal por encima de las tejas lisas, colocando la grapa en el punto más bajo posible para evitar que el agua pueda elevar su nivel y filtrarse por los agujeros de las grapas anteriores.



8. Repetir todos los pasos anteriormente descritos, hasta llenar por completo toda la viga de madera, generando un módulo.

UNIÓN DE MÓDULOS PARA SU INSTALACIÓN EN UN TECHADO

El último paso para obtener tu Ecolám lista para su instalación, es la unión entre módulos.



Colocación de todos los módulos en paralelo.

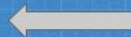


Colocación de vigas transversales por encima de todos los módulos.

1. Ensamblar todas los módulos en paralelo, colocando una viga transversal por encima de los dos extremos de los módulos.



2. Se debe iniciar acoplando lateralmente el doblez entre módulos los DOS PRIMEROS módulos, para garantizar la sujeción lateral. Se debe realizar una inspección manual para confirmar que hay un traslape entre los mismos.



Separación entre módulos generando tensión y acople entre dobleces, en un extremo del módulo.

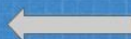


Módulos tensados y clavados a la viga transversal, luego de haber tensado por pares los módulos.

3. Se debe clavar por encima de la viga transversal el primer módulo de ambos extremos. Luego, al haber asegurado el acople entre dobleces, se procede a tensar, empujando con una mano un módulo y jalando con la otra mano el módulo restante. Al estar tensando una segunda persona debe clavar el segundo módulo solamente de un extremo del módulo, formando así una tensión entre ellos.



NOTA IMPORTANTE: PREVIO A CLAVAR LOS MÓDULOS A LAS VIGAS TRANSVERSALES, SE DEBE REALIZAR UNA INSPECCIÓN FÍSICA A LO LARGO DEL MÓDULO PARA ASEGURARSE QUE TODOS LOS DOBLECES ESTÉN DEBIDAMENTE ACOPLADOS.



Separación entre módulos generando tensión y acople entre dobleces, en el extremo restante del módulo.



Módulos tensados y clavados a la viga transversal, luego de haber tensado por pares los módulos en el extremo restante.

4. Luego de haber tensado un extremo de un módulo se procede a tensar el extremo contrario para tensar por el extremo superior e inferior los módulos. Se realizan los mismos pasos de tensión y clavado que en el paso 3.



5. Se deben tensar todos los módulos entre sí, hasta finalmente formar lo que será el producto final, Ecolám. Se debe realizar una última inspección de los dobleces para asegurar su acople, y ya está lista para ser instalada.



6. El último paso es instalar la Ecolám por encima de la manta vinílica y clavar sobre la estructura del techado para su debida sujeción. Las vigas transversales sirven para anclar la Ecolám a la estructura. Se debe evitar en lo posible, perforar la manta vinílica para evitar filtraciones en el techado.



¡HAS TERMINADO!

Has completado todos los pasos necesarios para la elaboración de una Ecolám, recuerda que las medidas son variables y puedes crear una lámina a la medida que necesites con estos pasos.

B. Tejas.

Figura No.54. Botella plástica ingresada al molde para iniciar su proceso térmico



Fuente: Elaboración propia

Figura No.55. Temperatura de transición vítrea del plástico PET.



Fuente: Elaboración propia

Figura No.56. Temperatura máxima alcanzada.



Fuente: Elaboración propia

Figura No.57. Formación de teja rectangular posterior en el molde de madera



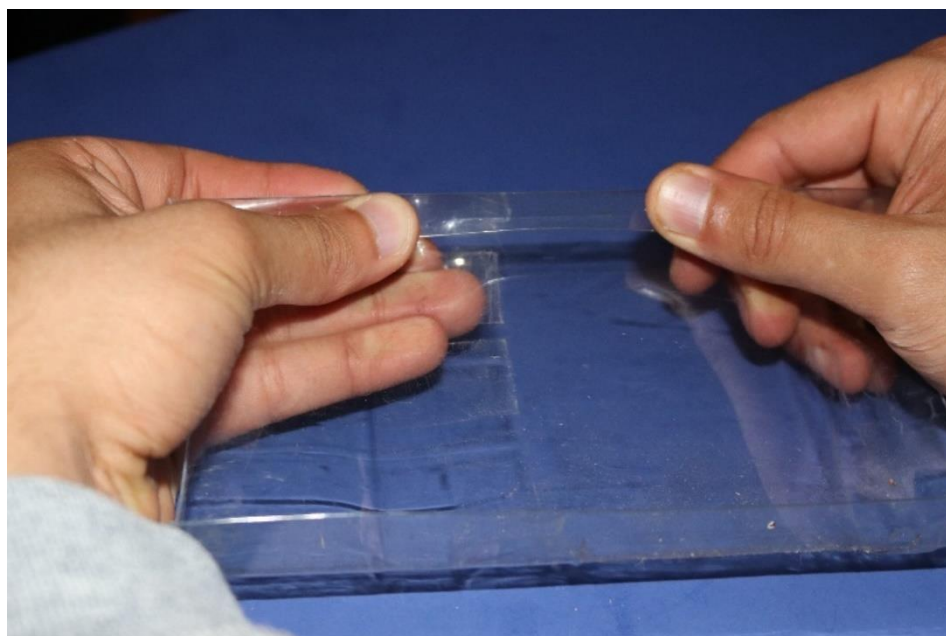
Fuente: Elaboración propia

Figura No.58. Formación de teja rectangular frontal en el molde de madera

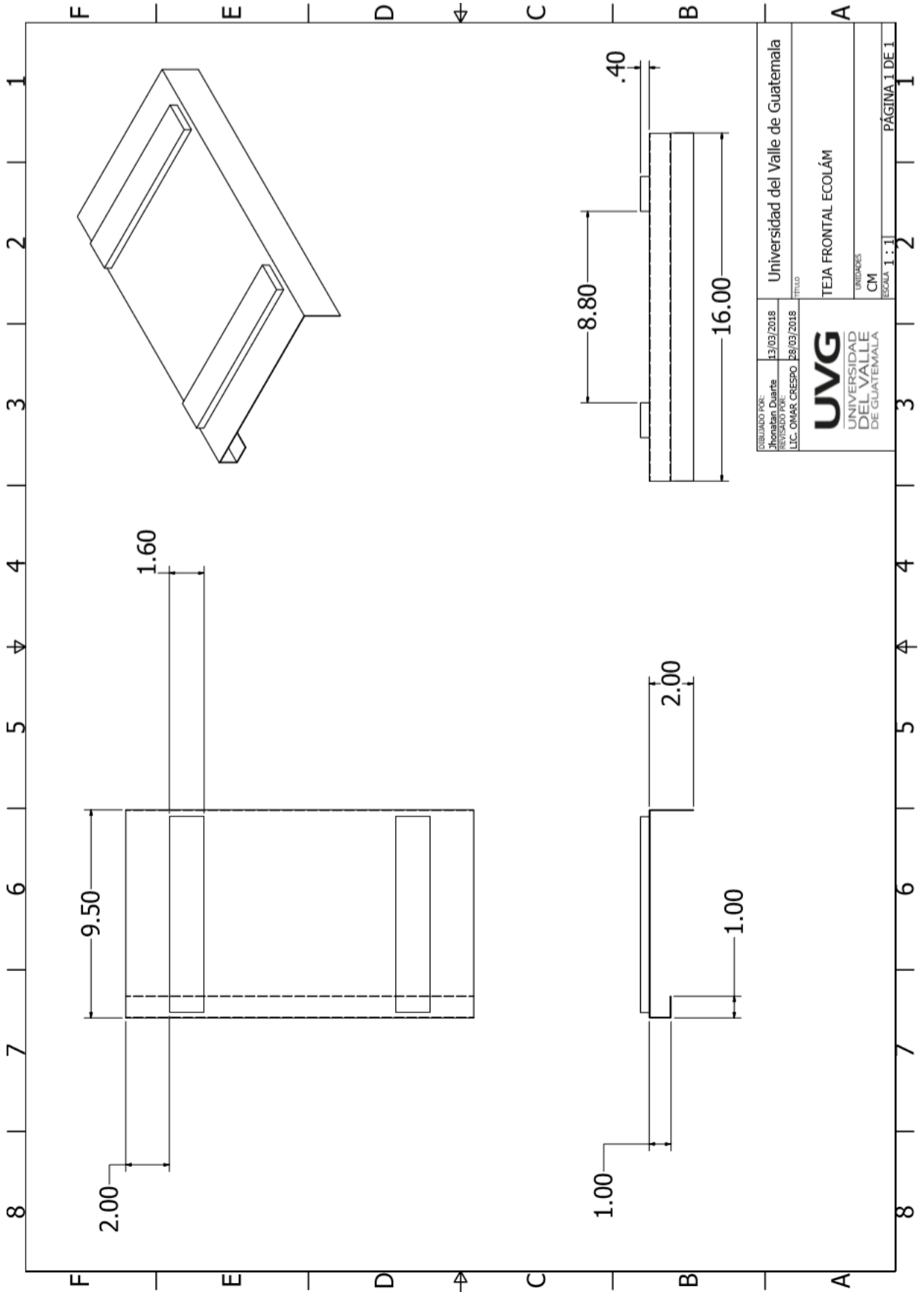


Fuente: Elaboración propia

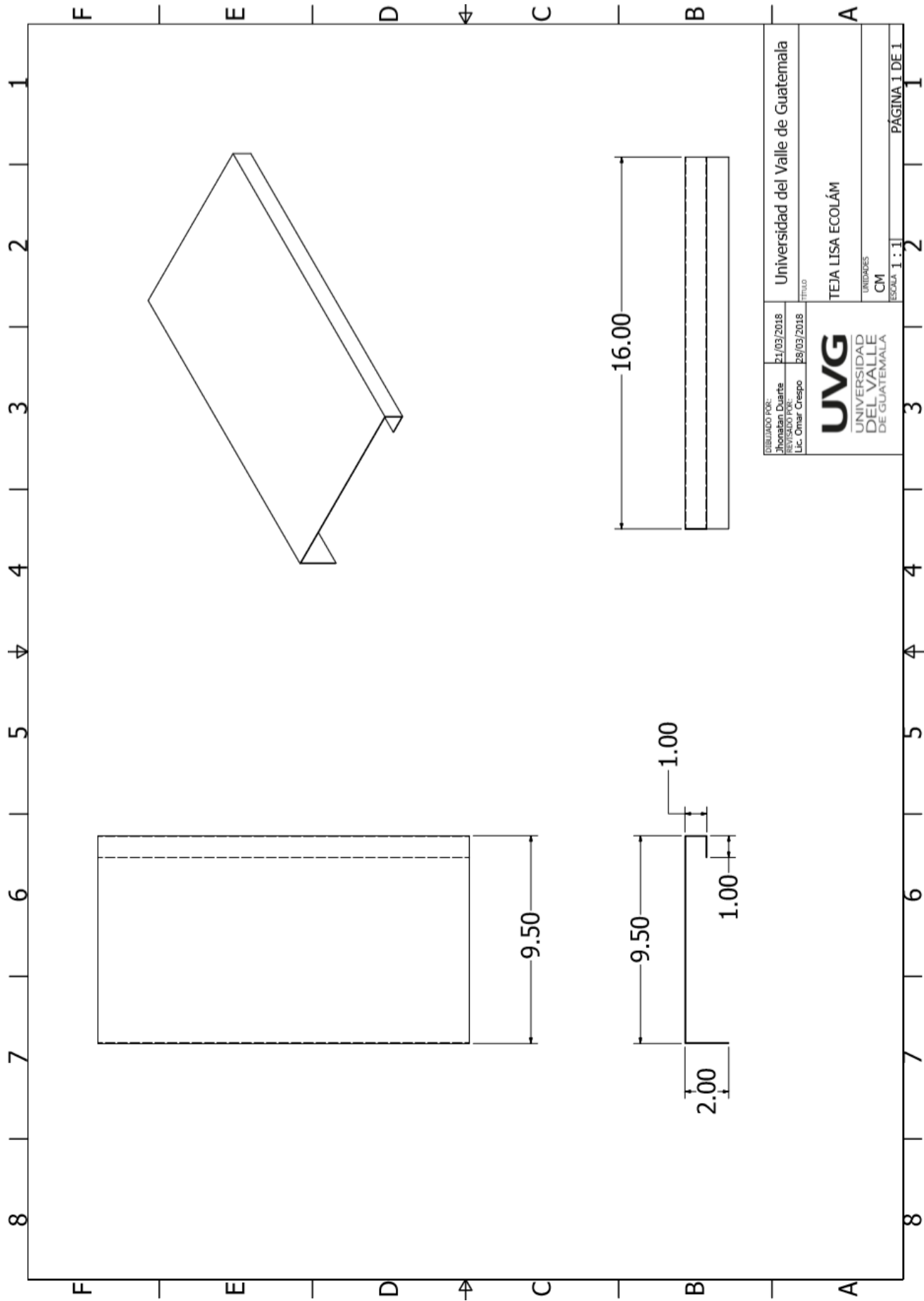
Figura No.59. Dobles en una de las pestañas laterales de la teja



Fuente: Elaboración propia



ELABORADO POR: Jhonatan Duarte	13/03/2018	Universidad del Valle de Guatemala
REVISADO POR: LIC. OMAR CRESPO	08/03/2018	TÍTULO
UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA		TEJA FRONTAL ECOLÁM
UNIDADES CM		ESCALA 1:1
PÁGINA 1 DE 1		1



C. Molde.

Figura No.60. Ingreso de la botella al molde



Fuente: Elaboración propia

Figura No.61. Reglas de madera verticales para la formación de acople entre tejas.



Fuente: Elaboración propia

Figura No.62. Tapadera de botellas PET para la formación de acople entre tejas.



Fuente: Elaboración propia

Figura No.63. Viga de madera rectangular para la formación de acople entre tejas.



Fuente: Elaboración propia

Figura No.64. Tornillos con cabeza 13 mm. para la formación de acople entre tejas.

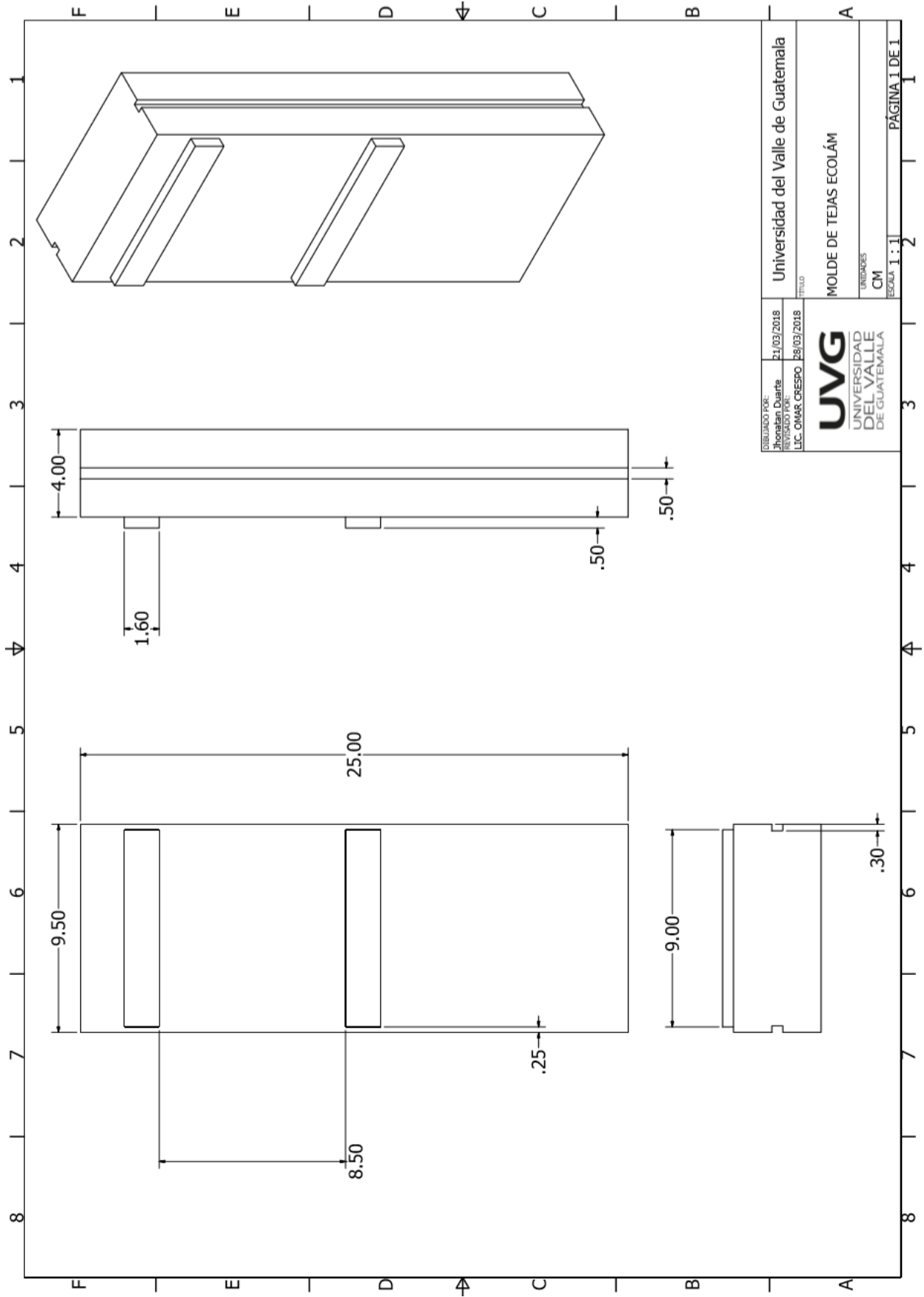


Fuente: Elaboración propia

Figura No.65. Reglas de madera horizontales para la formación de acople entre tejas.



Fuente: Elaboración propia



D. Manta vinílica.

Figura No.66. Estructura de techado de caseta provisional



Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 67. Orientación de la impresión de la manta vinílica sobre la estructura de techado



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.68. Sujeción la manta vinílica a la estructura de techado



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.69. Tensado de la manta vinílica a la estructura del techado.



Fuente: Elaboración propia.

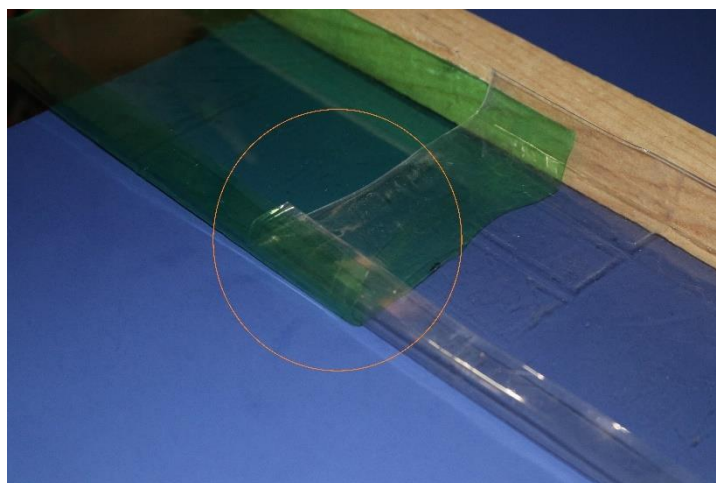
Figura No. 70. Sujeción de la manta vinílica lateralmente a la estructura



Fuente: Elaboración propia.

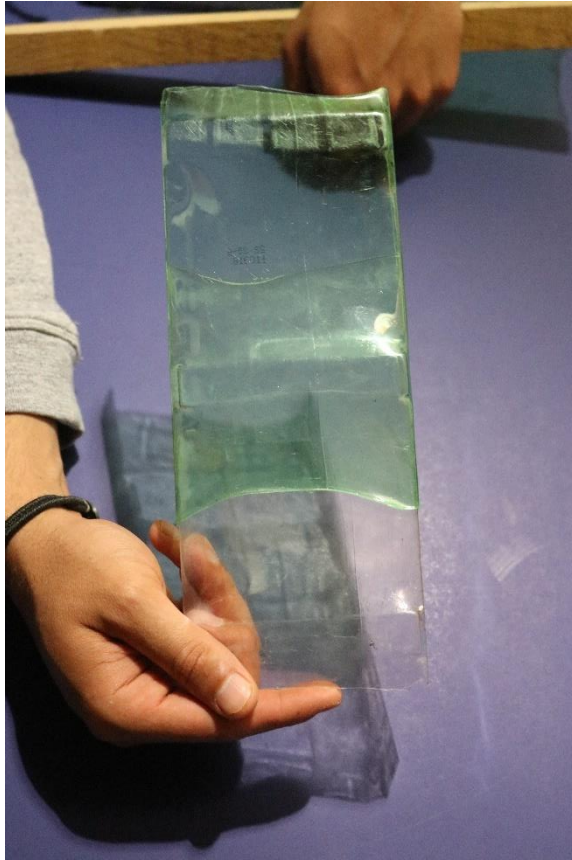
E. Base estructural de la lámina.

Figura No.71. Unión de tejas horizontalmente



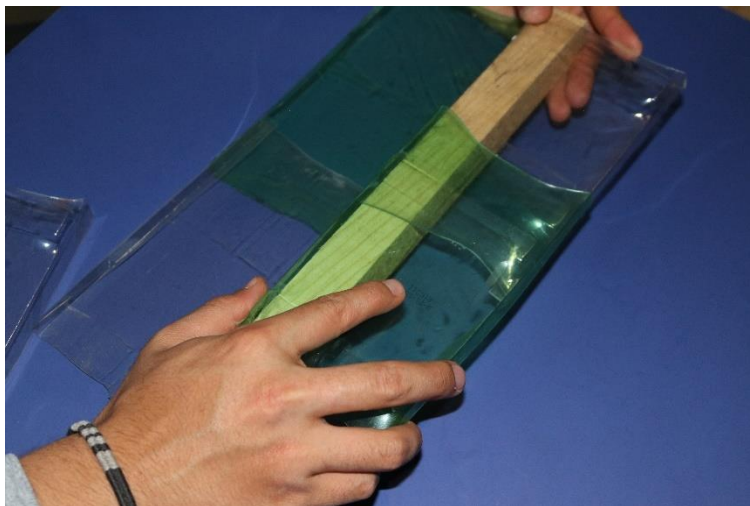
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.72. Acople de tejas frontales



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.73. Ensamble de tejas sobre una viga rectangular de madera de pino rustico



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.74. Tres módulos de tejas en paralelo.



Fuente: Elaboración propia.

F. Construcción de caseta para la ejecución de ensayos.

Figura No.75. Instalación de láminas lisas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.76. Vista frontal de la caseta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.77. Vista lateral izquierda de la caseta.



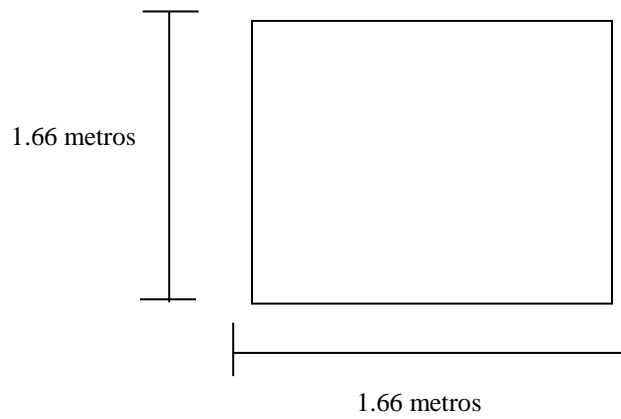
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.78. Vista lateral derecha de la caseta.



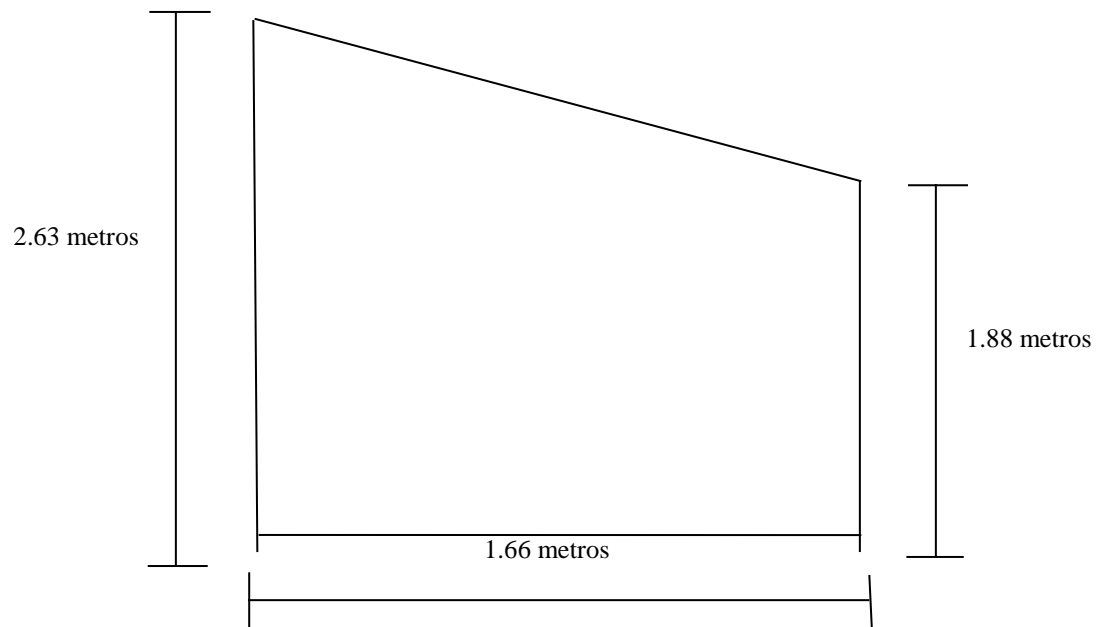
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.79. Vista de planta de la caseta



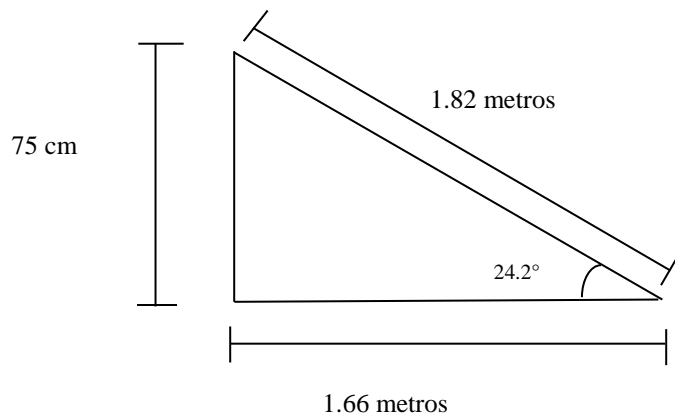
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.80. Vista lateral de la caseta



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.81. Inclinación de la caseta.



Fuente: Elaboración propia.

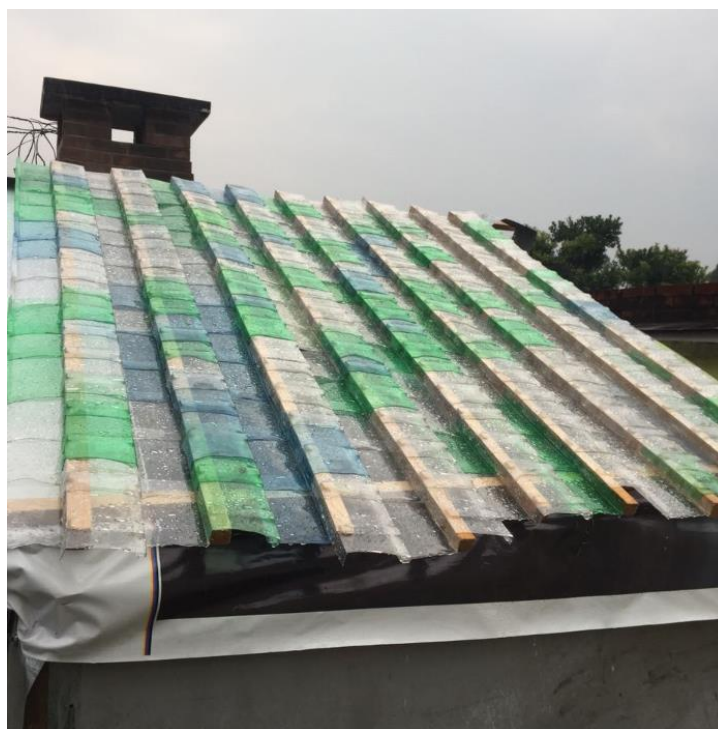
G. Ensayo pluvial.

Figura No.82. Papel Kraft Instalado en el interior de la caseta



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.83. Lluvia natural con una precipitación de 0.1 cm



Fuente: Elaboración propia.

H. Comportamiento a la exposición solar.

Tabla No.29. Componentes electrónicos

Nombre del componente	Código del componente	Cantidad	Proveedor
Chip Calendario	DS 3231	1	<i>ABC</i> <i>Electrónica</i>
Termocuplas para exterior	DS 18B20	2	<i>ABC</i> <i>Electrónica</i>
Módulo MicroSD	Sin código	1	<i>ABC</i> <i>Electrónica</i>

Fuente: Elaboración propia.

Figura No.84 Termocupla uno en el exterior del techado de lámina galvanizada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.85. Termocupla uno instalada en el exterior del techado de lámina galvanizada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 86 Termocupla dos en el interior de la caseta con techado de lámina galvanizada.



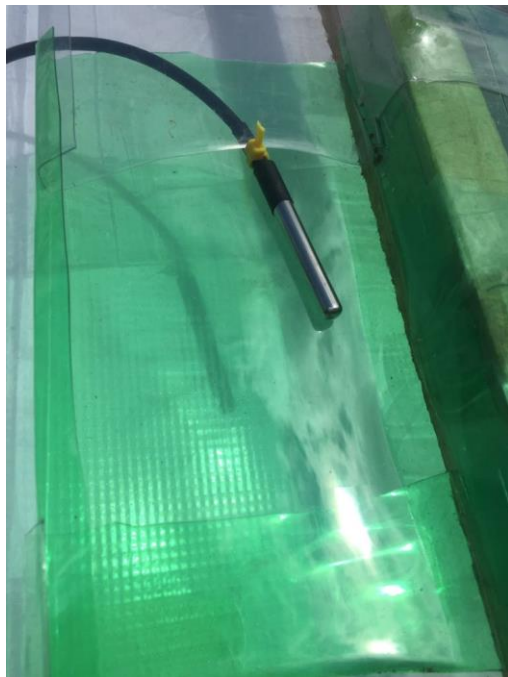
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.87. Termocupla uno en el exterior del techado Ecolám



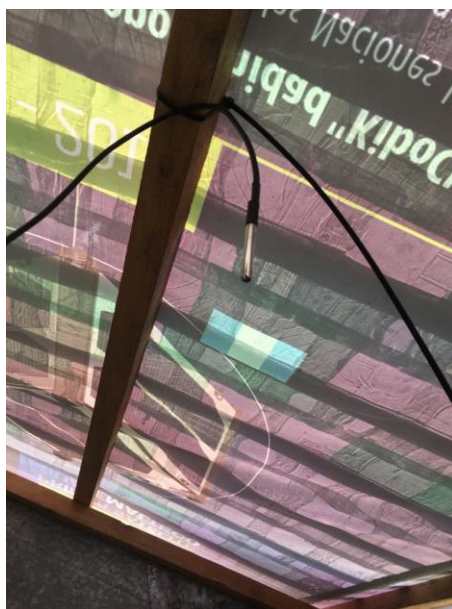
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.88. Termocupla uno instalada en el exterior del techado Ecolám



Fuente: Elaboración propia.

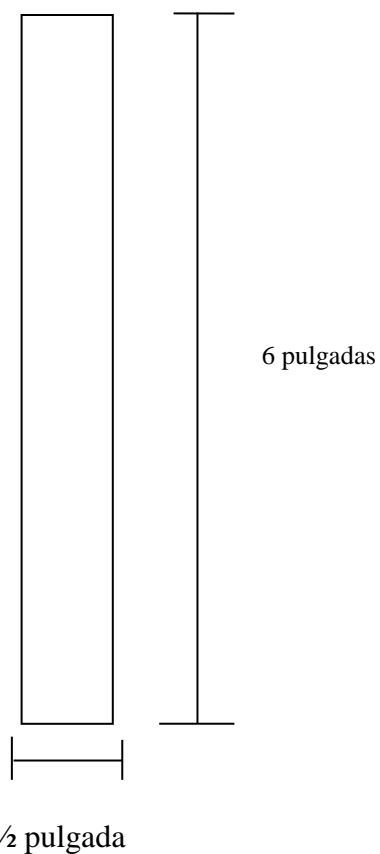
Figura No.89. Termocupla dos instalada en el interior del techado Ecolám



Fuente: Elaboración propia.

I. Ensayo de tracción.

Figura No.90. Dimensiones de las probetas



Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.30. Espesor de las probetas

Tipo de probeta	Espesor en pulgadas
Rectangulares de botellas de plástico PET de 2 litros sin haber recibido tratamiento térmico	0.01259 pulgadas
Rectangulares de las tejas plásticas tras haber recibido un tratamiento térmico fueron diferentes.	0.013385 pulgadas

Fuente: Elaboración propia.

Figura No.91. Máquina INSTRON-HP 1295





Fuente: Elaboración propia.

Figura No.92. Probeta en tensión.



Fuente: Elaboración propia.

J. Cotizaciones.

		Cotización: 0020001875		Fecha: 08.09.2017		Página: 1 / 1	
DEPARTAMENTO DE VENTAS DIVISION COMERCIAL TERNIUM INTERNACIONAL GUATEMALA, S.A. FAX DIRECTO: 66358085 Teléfonos: 66360620							
Cliente 1000700754 Jonathan Duarte NIT C.F.				Dirección CIUDAD CIUDAD Teléfono Fax			
PERFIL ONDULADA							
		Altura de la cresta 18.8mm		Ancho útil 700mm Ancho total 810mm			
Material TO-70 28mm PANTERA 8pie(2.44m) Norma ASTM A-653				Alto de ondas 18 MM		Ancho total (Mts) 0.820 Ancho útil (Mts) 0.700 PARA ESPACIAMIENTO, FAVOR DE CONSULTAR FOLLETO	
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	CALIBRE	LARGO	PRECIO	PRECIO X UNIDAD	VALOR TOTAL	
10.000	TO-70 28mm PANTERA 8pie(2.44m)	30	8.00 Pie	6.9800	55.8400	558.40	
10.000	TO-70 28mm PANTERA 7pie(2.13m)	30	7.00 Pie	6.9800	48.8600	488.60	
10.000	TO-70 28mm PANTERA 6pie(1.83m)	30	6.00 Pie	6.9800	41.8800	418.80	
Total toneladas		0.102	Total #rea en Mts ²	0.00	Monto total	Q.	1,465.80
Estos precios ya incluyen IVA							
Transporte por cuenta del cliente							
<small> NOTA: El departamento de operaciones notificará la fecha en que su pedido será despachado. PARA BOBINAS Y CONTAS SE TIENE UNA TOLERANCIA EN PESO DE +-10% QUE SERA AJUSTADO A SU REQUERIMIENTO AL MOMENTO DE FACTURAR. TERNIUM INTERNACIONAL GUATEMALA no se responsabiliza por daños ocasionados al pedido a un máximo de 15 días en bodega. Debemos recoger su pedido con responsabilidad al tamaño y peso del mismo. Si en algún momento deberá traerlo en el pan cargado a mano. *Para confirmar su pedido favor de enviar la presente con sello y </small>							
Fecha.Doc - Contado sin tasa							
BANCO INDUSTRIAL 0040033100		Banco G&T Continental, S.A. 06600099366			BANRURAL 3414089110		
Observaciones							



NOVEX, SOCIEDAD ANONIMA
 NOVEX S.A.
 13 Av. 17-33 Zona 10,
 Guatemala, Guatemala
 NIT .: 25917579
 PBX: 2379-5200

RESOLUCION No.:2013-1-53-1612
 SERIE: P03
 DEL: 500001 AL 800000
 FECHA: 02/08/2013

NOMBRE: FREDDY DUARTE

DIRECCION:

NIT: 404183-6

FECHA:24/03/2018

14:21

FACTURA P03 # 0764379
 CAJA No.: 03 CAJERO: bcontreras

LAMINA ACANALADA GALVANIZADA CAL 28 DE
 21365 1 UNI 50.000 50.00

TOTAL : Q 50.00

CAMBIO : Q 0.00

VISANET 3994

ACEPTAMOS CAMBIOS HASTA 30 DIAS
 DESPUES DE SU COMPRA PRESENTANDO
 ESTA FACTURA, EXCEPTO PRODUCTOS
 EN REBAJA O LIQUIDACION

SUJETO A PAGOS TRIMESTRALES
 AGENTE DE RETENCION DTO.20-2006
 (NO RETENER IVA)

NOVEX

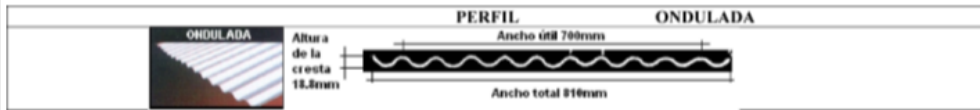
REGADO
 erres



Cotización: 0020004221	Fecha: 28.02.2018
DEPARTAMENTO DE VENTAS DIVISION COMERCIAL TERNIUM INTERNACIONAL GUATEMALA, S.A. FAX DIRECTO: 66358085 Telefonos: 66360620	

Cliente I000700754 MATEO ORTIZ
NIT C/F

Dirección CIUDAD
GUATEMALA
Teléfono Fax



Material TO-70 28mm Std PANTERA 12pie(3.66m) Norma ASTM A-653	Alto de ondas 18 MM	Ancho total (Mts) 0.820 Ancho útil (Mts) 0.700 PARA ESPACIAMIENTO, FAVOR DE CONSULTAR FOLLETO
--	---------------------	--

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	CALIBRE	LARGO	PRECIO	PRECIO X UNIDAD	VALOR TOTAL
10.000	TO-70 28mm Std PANTERA 12pie(3.66m)	32	12.00 Pie	5.5800	66.9600	669.60

Total toneladas 0.052 Total #rea en Mts2 0.00 Monto total Q. 669.60 Estos precios ya incluyen IVA

Transporte por cuenta del cliente

NOTA: El departamento de operaciones notificará la fecha en que su pedido será despachado.
 PARA BOBINAS Y CINTAS SE TIENE UNA TOLERANCIA EN PESO DE +/-10% QUE SERA AJUSTADO A SU REQUERIMIENTO AL MOMENTO DE FACTURAR.
 TERNIUM INTERNACIONAL GUATEMALA no se responsabiliza por daños ocasionados a pedidos con más de 15 días en bodega.
 Deberá recoger su pedido con transporte adecuado al tamaño y peso del mismo. Si es furgón cerrado deberá traer personal para cargarlo a mano.
 *Para confirmar su pedido favor de enviar la presente con sello y

Fecha Doc - Contado sin tasa		
BANCO INDUSTRIAL 0040033100	Banco G&T Continental, S.A. 06600099366	BANRURAL 3414089110

Observaciones

Mostrador Villa Nueva
Ejecutivo de Ventas
Caj

V.Bo. FIRMA Y SELLO DE ACEPTACION

XII. GLOSARIO

Hacinamiento: Todos los miembros familiares viven y conviven en un mismo ambiente.

Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI): Encuesta que proporciona información que permite caracterizar a la población pobre y no pobre del país, brindando resultados a nivel nacional, regional y departamental de Guatemala.

Hermético: Un cierre perfecto, de modo que no deja pasar el aire ni el líquido.

Sensación térmica: Es la reacción del cuerpo humano ante el conjunto de condiciones del ambiente que determinan el clima desde el punto de vista térmico.

Rebaba: Porción de materia que sobresale en los bordes o en la superficie de un objeto cualquiera.