



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN  
DE LÁMINAS PARA ACABADO CON LAS  
FIBRAS DE UN RESIDUO TEQUILERO  
MEDIANTE UN GEOPOLÍMERO**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Pérez Escalante Edzon

**DIRECTOR(A) DE TESIS**

Dr. Luis Antonio García Villanueva



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023



## Contenido

Lista de figuras .....	1-5
Lista de Tablas .....	1-6
Capítulo 1 Introducción .....	1-7
1.1 Planteamiento del problema .....	1-7
1.2 Objetivo general .....	1-8
1.3 Objetivos específicos .....	1-8
1.4 Limitaciones y alcances .....	1-9
Capítulo 2 Antecedentes o Marco teórico .....	2-10
2.1 El bagazo de agave como residuo para otros procesos .....	2-10
2.1.1 El bagazo como composta para el crecimiento .....	2-10
2.1.2 El bagazo utilizado como material de construcción .....	2-11
2.1.3 Conclusiones .....	2-12
2.2 Propiedades fisicoquímicas del bagazo de agave .....	2-14
Capítulo 3 Materiales de acabados en la construcción .....	3-21
3.1 Elaboración de geotextiles No tejidos .....	3-24
3.2 Elaboración de losetas, láminas y baldosas .....	3-25
3.2.1 Losetas .....	3-25
3.2.2 Láminas .....	3-28
3.2.3 Baldosas .....	3-32
Capítulo 4 Geopolímeros .....	4-36
4.1 Polímeros .....	4-36
4.2 Propiedades generales de los polímeros .....	4-36
4.3 Clasificación .....	4-37
4.4 Polimerización .....	4-38
4.5 Aplicación en la investigación .....	4-39
4.6 Fuentes de aluminosilicatos .....	4-41
4.7 Soluciones Alcalinas .....	4-46
Capítulo 5 Propuesta de elaboración de láminas con geopolímero y las fibras de bagazo de agave tequilana weber. ....	5-50
5.1 Criterios de selección del geopolímero .....	5-50
5.2 Criterios de selección de las fibras de bagazo .....	5-51
5.3 Condiciones iniciales para trabajar las fibras de bagazo .....	5-54



5.4 Cálculo del volumen necesario para los acabados de fibras.....	5-54
5.5 Parámetros de funcionalidad.....	5-55
5.6 Manejabilidad del material.....	5-57
Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones.....	6-58
Referencias Bibliográficas. ....	6-60



## Lista de figuras

Figura 2.1 Efecto de los sustratos orgánicos en el diámetro de piña, diámetro del tallo y en la relación diámetro de piña/diámetro, (Marcos R. Crespo González, 2013) .....	2-11
Figura 2.2 Resultado del proceso de investigación de dicho trabajo. Mauricio Ruiz Serrano, 2019. 2-12	
Figura 2.3 Opciones de utilización del bagazo del agave, (Alonso M, 1997) .....	2-13
Figura 2.4 Usos comunes y potenciales del Agave (González García et al., 2005) .....	2-13
Figura 2.5 Cosecha del agave plantas completas hojas y cabeza (Montañez, J. L. et al. (2011).....	2-15
Figura 2.6 Proceso de fabricación del tequila de casa Sauza (Sauza, 2021) .....	2-19
Figura 2.7 Consumo de agave para tequila y tequila 100% de agave, (CONSEJO REGULADOR DEL TEQUILA, 2022) .....	2-20
Figura 3.1 Acabados para construcción. (2021).....	3-21
Figura 3.2 Molido de arcilla (Ajedrea Cosmética Ecológica, 2016) .....	3-26
Figura 3.3 Prensado de la arcilla en seco (Bizpren, 2022).....	3-26
Figura 3.4 Secado de arcilla (123RF, 2022) .....	3-27
Figura 3.5 Esmaltado de arcilla. (LEROY MERLIN, 2020) .....	3-27
Figura 3.6 Horneado de arcilla (Acabados del Pacífico, 2022).....	3-28
Figura 3.7 Láminas acanaladas, aluminio, (2021). .....	3-29
Figura 3.8 Decapado de láminas, (Villacero, 2022).....	3-29
Figura 3.9 Diagrama esquemático mostrando la interacción de los rodillos y la lámina, J. G. Lenard, Primeron Flat Rolling, Elsevier., (2021). .....	3-30
Figura 3.10 Línea de galvanizado, TYASA, (2021).....	3-30
Figura 4.1 Usos de los geopolímeros y su clasificación, (Rodríguez S., 2016)(2021). .....	4-38
Figura 4.2 Ceniza Volante, 2021.....	4-42
Figura 4.3 Estructura de la Ceniza Volante con agua, 2021.....	4-42
Figura 4.4 Puzolana natural, 2021.....	4-43
Figura 4.5 Estructura de la Puzolana Natural, (J, 2010) 2021. ....	4-44
Figura 4.6 Escoria de alto horno, (S/A, FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO, 2011). .....	4-45
Figura 4.7 Estructura de la escoria de alto horno, (S/A, FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO, 2011) . .....	4-46
Figura 4.8 Silicato de Sodio, (MANUFACTURAS SILICEAS S. A. S., 2022).....	4-46
Figura 4.9 Estructura química del Silicato de Sodio (LABORATORIUM DISCOUNTER, 2021).....	4-47
Figura 4.10 Silicato de Sodio en gel, 2021.....	4-47
Figura 4.11 Estructura del Silicato de Sodio (ceramica.fandom.com, 2021) .....	4-48
Figura 4.12 Estructura del Hidróxido de Sodio.....	4-48
Figura 4.13 Hidróxido de Sodio. ....	4-48
Figura 5.1 separación de las cuerdas. (documental de cordelero, 1996) .....	5-52
Figura 5.2 Dimensiones de las láminas, ASTM, 2019. ....	5-53
Figura 5.3 Tabla 6 “mosaicos”, ASTM C4648, 2021. ....	5-56



## Lista de Tablas

Tabla 2.1 Yolanda González García et al. 2005 .....	2-16
Tabla 2.2 Revista Chapingo 1997 .....	2-16
Tabla 3.1 Cuadro de aplicación. (DANIELA ESTEFANIA MORENO BARSALLO, 2017) .....	3-35



## Capítulo 1 Introducción

### 1.1 Planteamiento del problema

La geopolímeros son materiales que poseen características y propiedades potencialmente aptos para su uso en la construcción y generan menos emisiones de contaminantes en su producción. Estos factores hacen que se les considere materiales alternativos como aglutinante para mezcla constructiva o como materiales de estructura para elementos fabricados con los mismos. (M. Torres-Carrasco, 2017), (Davidovits, Geopolymer, Chemistry and Applications., 2008)

La fabricación de geopolímeros se basa en la formación de un polímero inorgánico a partir de la activación de una fuente de alúmina y sílice (aluminosilicatos) mediante la adición de una solución a base de un álcali y por lo general un curado en horno a temperaturas mucho menores a las usadas en materiales tradicionales como las ocupadas para generar Clinker que es el elemento principal de la producción de cemento portland ordinario, y se pueden fabricar pastas, morteros y concretos de geopolímeros, así como a su vez losas, losetas o inclusive algunos remplazos a la usada fibra de vidrio para procesos constructivos como lo son arcos molduras columnas etc. (M. Torres-Carrasco, 2017)

Por otro lado, el Bagazo de agave tequilana weber es un desecho derivado del proceso de extracción del líquido fermentado en la generación y para la producción del Tequila y del cual se generan miles de toneladas anualmente por lo que su disposición representa un problema para dicha industria. (Gerardo, 2016)

La industria tequilera en México, particularmente en Jalisco, es de suma importancia. La continua y creciente demanda del tequila da lugar a la producción de millones de litros anuales de esta bebida. (Gerardo, 2016)

Sin embargo, conjunto a este proceso de producción, se encuentra también la generación de residuos, siendo el bagazo de agave el principal. Este residuo es la fibra natural que queda después de todo el proceso de destilación (cocinar, moler y extraer el jugo fermentable) de la piña del Agave. (Gerardo, 2016)



Se calcula que, para producir un litro de tequila, se requieren entre siete y ocho kilogramos de agave, de los cuales se convierten en cinco kilogramos de bagazo/base húmeda (residuo), una vez extraído el jugo. (Gilberto Iñiguez, 2005), (M., 1995)

"Se considera que el 40% del peso total del agave consumido corresponde al bagazo residual, por lo que se generan grandes volúmenes de este desecho y su disposición se ha vuelto un problema ambiental y económico." ("TÉCNICAS DE NEGOCIACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN INTERNACIONAL") (Gilberto Iñiguez, 2005), (M., 1995)

Actualmente la generación de estos residuos representa un problema para la industria, dado que, aunque se tienen algunos usos para este como generación de biocombustibles composta o geopolímeros, aún sigue siendo excesiva la cantidad de residuos de los que no se disponen. (Gilberto Iñiguez, 2005), (M., 1995)

Cerca del 40% de los residuos generados todavía se encuentra siendo desaprovechados en algún otro proceso o actividad económica, rompiendo el ciclo de economía sostenible. (Gilberto Iñiguez, 2005), (M., 1995)

En este caso y por lo anterior en el presente trabajo se propone estudiar el bagazo del agave como opción de fines de implementación en los acabados con geopolímeros siendo este un material con propiedades de las cuales se pueden generar una gran cantidad de acabados como loetas, tejas o incluso como sustituto de la fibra de vidrio con las fibras naturales del bagazo del agave.

## 1.2 Objetivo general

Proponer el uso de la fibra de bagazo del agave para la elaboración de láminas como un material de acabados en la construcción, considerando un geopolímero.

## 1.3 Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica en medios electrónicos para conocer las investigaciones más recientes sobre los materiales en acabados de la construcción, los geopolímeros y su uso con las fibras de para la integración con los materiales en los acabados.



- Realizar una investigación bibliográfica en medios electrónicos sobre geopolímeros y su uso con residuos de fibras naturales para la elaboración de materiales en acabados en la construcción.
- Realizar una investigación bibliográfica en medios electrónicos sobre las propiedades normativas de los materiales para acabados en la construcción.
- Determinar las características de la composición de la mezcla de la fibra de bagazo de agave con el geopolímero considerando la información reportada en otros trabajos similares para la obtención de las propiedades de las láminas propuestas.

#### 1.4 Limitaciones y alcances

- Se considerará como mezcla base al geopolímero **formado a base de silicato de sodio con escoria de alto horno** junto con el bagazo de agave tequilana weber
- Se considerarán las losetas o baldosas como material de acabado en la construcción.





## Capítulo 2 Antecedentes o Marco teórico

### 2.1 El bagazo de agave como residuo para otros procesos

#### 2.1.1 El bagazo como composta para el crecimiento.

En estudios recientes se encontró que el bagazo de agave puede ser utilizado para diferentes procesos como la elaboración de composta, de hecho un estudio realizado en el 2013 por la Revista Mexicana de ciencias Agrícolas encontró que al evaluar algunas respuestas morfológicas de plántulas del agave azul (micropropagado) cultivado con diferentes sustratos orgánicos: un sustrato comercial (80% polvo de coco, 10% turba y 10% composta de bagazo de agave), polvo de coco, turba canadiense y cuatro mezclas de composta de bagazo de agave. La mezcla con mejores resultados fueron los tratamientos con la composta de bagazo al 50%, seguida por la composta al 30% y finalmente al 70%, complementadas con polvo de coco. Los valores máximos de las variables de estudio registradas fueron: diámetro de piña, 5.0 cm; diámetro del tallo, 3.8 cm; número de hojas, 15; longitud de hoja, 55.4 cm y anchura de hoja más larga, 4 cm, los cuales son medidas que podrían emplearse como estándares de calidad del agave antes de la plantación en campo. (Marcos R. Crespo González, 2013)

Además, el mismo estudio que particularmente se enfoca en la creación de la composta de bagazo de agave tiene características parecidas a la turba de Canadá y por tanto la puede sustituir a menor costo. (Marcos R. Crespo González, 2013)

Los resultados del análisis de varianza de los parámetros morfológicos en el agave presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el número de hojas por planta y altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en el diámetro de la piña y tallo, longitud y anchura de la hoja, y en la relación diámetro de piña/diámetro del tallo. La prueba de comparación de promedios (DMS) con composta de agave, fue estadísticamente diferencial en las variables morfológicas. La comparación de medias reflejó que la composta 50% fue el tratamiento al que correspondió el mayor valor en cuatro de las seis variables analizadas. Figura 2.1 (Marcos R. Crespo González, 2013), (R., 2004)

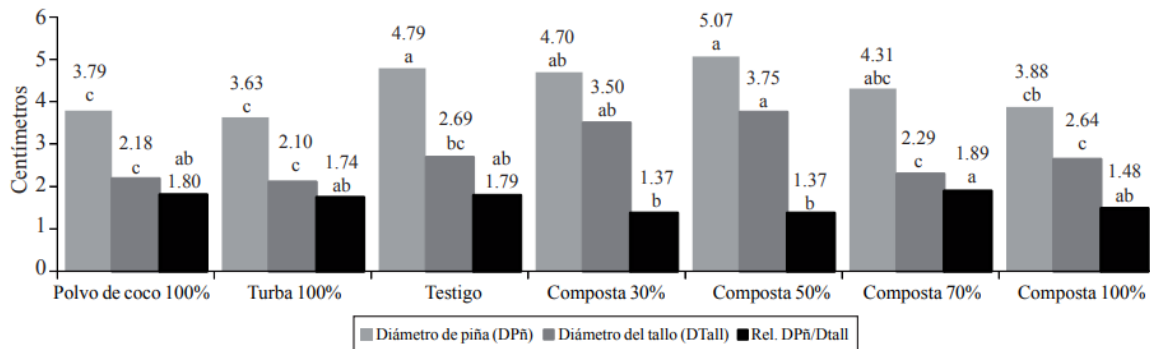


Figura 2.1 Efecto de los sustratos orgánicos en el diámetro de piña, diámetro del tallo y en la relación diámetro de piña/diámetro, (Marcos R. Crespo González, 2013)

Se observa que el número de hojas presentes en la planta de agave micropropagado se vio influenciado de igual manera que la piña y el tallo con el uso de sustratos de composta de agave; la información expresa que, de acuerdo con la prueba de comparación de promedios, los tratamientos composta 30% y composta 50% fueron estadísticamente similares entre sí, y solamente el primero fue igual al testigo comercial y a los tratamientos composta 70% y composta 100%. Éstos dos tratamientos con composta 30% y 50% superaron ampliamente a los sustratos de polvo de coco y turba. (Marcos R. Crespo González, 2013)

Con lo anterior se demuestra que el bagazo de agave fue utilizado como composta de manera exitosa para el crecimiento de otras plantaciones. (Marcos R. Crespo González, 2013)

### 2.1.2 El bagazo utilizado como material de construcción

En un trabajo elaborado por el Maestro Ingeniero Mauricio Ruiz Serrano (2019), se demuestra que, es posible generar adobe de las fibras generadas del agave.

En donde también se explica cómo se obtienen las fibras.

“Fibras de agave: la obtención de estas fibras de agave (también llamadas ixtle) se extraen de las hojas de agave después del rapado de las piñas, posteriormente se ponen en una madera de base llamada banco, la madera puede ser casi cualquiera sólo que debe tener una forma rectangular vista de lado, con los bordes lisos o rectos. Después se emplea un machete o cepillo para rasgar las hojas, a este proceso se le llama tallado, se obtienen las fibras de ixtle y se desecha el resto.” (Serrano, 2019)

Y en el mismo trabajo el autor explica como generar bloques de adobe para la construcción de viviendas.

“En realidad, el tamaño no es lo más importante, lo esencial es la comodidad con sus dimensiones y su peso para manipularlos. Respecto a las proporciones de la

mezcla, en México se aconseja que el bloque de adobe presente entre 45 y 70% de arena, y entre 20 y 40% de arcilla. En Santa María la Asunción se elaboran de la siguiente manera: Tamaño: 40cm de largo, 20cm de ancho y 14cm de alto. Peso aproximado de 17 a 18 kg. Proporciones de la mezcla: 20% barro/arcilla, 60% tierra/arena, 19.4% agua y 0.6% fibras naturales.” (Serrano, 2019) Figura 2.2



*Figura 2.2 Resultado del proceso de investigación de dicho trabajo. Mauricio Ruiz Serrano, 2019.*

### 2.1.3 Conclusiones

En forma general se puede concluir que el bagazo de agave es un residuo vegetal que por sus características fisicoquímicas puede ser utilizado para la elaboración de diversos productos de interés económicos entre los cuales se tiene materiales de compostaje, biocombustibles o como lo mencionan Alonso M, S., L. Rigal en su trabajo “La valoración del bagazo de agave tequilana weber de la industria del tequila” (Figura 2.3), se puede utilizar como, para consumo humano, la industria del papel o complementación del forraje. (Alonso M, 1997)

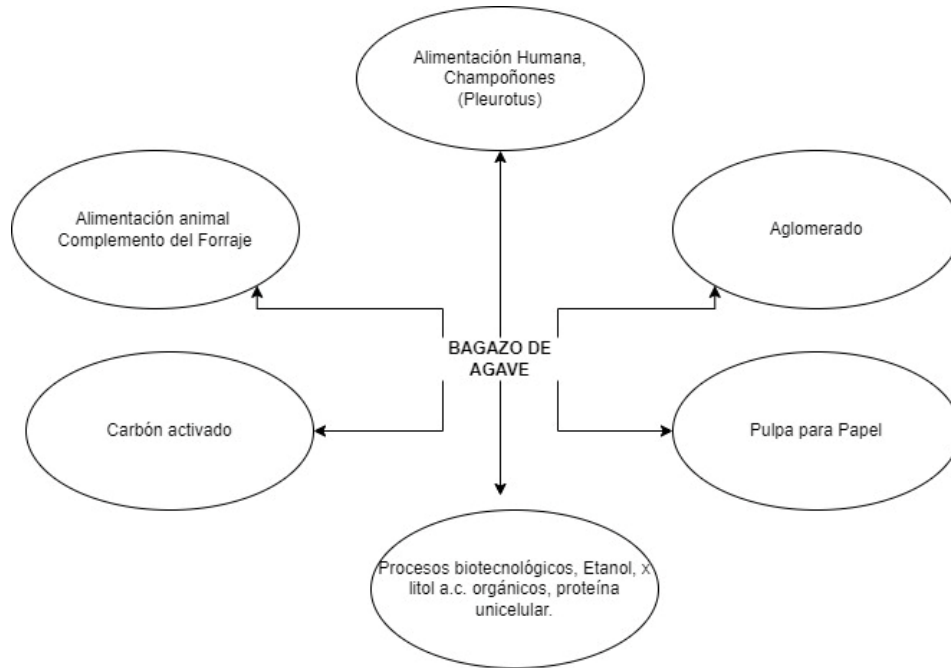


Figura 2.3 Opciones de utilización del bagazo del agave, (Alonso M, 1997)

Por último, en la siguiente figura (Figura 2.4) se muestran todos los usos potenciales y comunes para el bagazo del agave, de acuerdo con González García, González Reynoso, & Nungaray Arellano y su trabajo “Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos” (González García, González Reynoso, & Nungaray Arellano, 2005)

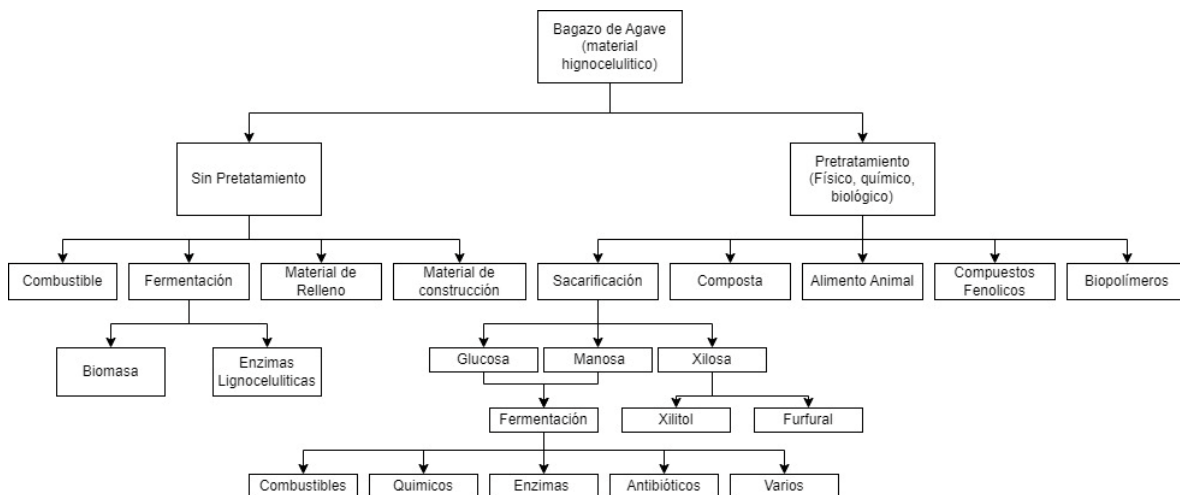


Figura 2.4 Usos comunes y potenciales del Agave (González García, González Reynoso, & Nungaray Arellano, 2005)



## 2.2 Propiedades fisicoquímicas del bagazo de agave

El tequila es una bebida alcohólica que se extrae a partir del destilado, originaria de Amatitlán, en el estado de Jalisco, México. Se genera a partir de la fermentación y destilado - al igual que el mezcal, el cual también tiene su origen en Jalisco- del jugo extraído del agave, en particular el llamado "Agave Azul" (Agave tequilana, variedad Azul). (Bautista-Justo M., 2001) (M., 1995)

Es reconocida como la bebida más representativa de México. Siendo el tequila un producto distinto al mezcal, se cree que el mezcal es una bebida no tendría ninguna relación en aspectos de elaboración ni destilación con el tequila, pero es de gran importancia mencionar que el tequila es considerado como un tipo específico de mezcal, partiendo de que el tequila se obtiene del Agave tequilana de la variedad Weber Azul. (Bautista-Justo M., 2001) (M., 1995)

El Agave tequilana Weber Azul es una planta que requiere de 7 a 10 años para su desarrollo y sus ciclos de cultivo se ven afectados por las condiciones ambientales, manejo y diferencias genéticas de las plantaciones. (Bautista-Justo M., 2001) (M., 1995)

La planta del agave tequilero está conformada por dos partes principales que son: la cabeza o piña y las hojas (Figura 2.5). La cabeza representa la parte comercial de la planta y se utiliza como materia prima en el proceso de elaboración de "tequila", principal bebida alcohólica mexicana de consumo mundial. El peso promedio de la cabeza del agave va de 30 a 70 kg., aunque se han obtenido cultivos cuyas cabezas han llegado a pesar entre 80 y 120 kg., y dentro de estos, cabezas de hasta 150 kg y con un contenido de azúcares reductores totales que oscila entre 16 a 28% en peso fresco. Por su parte, las hojas o pencas constituyen los residuos agrícolas del cultivo, representan del 45 al 50% del peso total de la planta, miden de 90-120 cm de longitud y de 8 a 12 cm de ancho y su contenido de azúcares reductores totales oscila entre 3.3 a 16.1% en peso fresco, lo cual depende de la edad de la planta, las condiciones agronómicas del cultivo, y de la proximidad de las hojas hacia la cabeza o piña de la planta (Iñiguez, 2001).



Figura 2.5 Cosecha del agave plantas completas hojas y cabeza (Montañez, J. L. et al. (2011).

Según diversos estudios realizados por la universidad de Autónoma de Guadalajara y el Instituto Nacional Politécnico de Toulouse encontraron que, con diversas metodologías y procesos de elaboración de tequila, se obtienen diferentes sustancias y características físicas del bagazo del agave, pero en su forma de manufacturación más común, se encuentran las propiedades mostradas en las tablas 2.1 y 2.2 de dicha sustancia.

Tabla 2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL BAGAZO DEL AGAVE Y BIOSÓLIDOS		
Análisis	Bagazo de agave	Biosólidos
pH•	4.8	8.51
CE (mS/cm)'	0.14	4.12
M0 (%)	88.60	78.00
Ceniza (%)	11.40	22.00



COT (%)	51.51	45.37
Relación C/N	66.90	6.61
NTK (%)	0.77	6.87
P (%)	0.07	1.88
K (%)	0.26	1.32
Na (%)	0.05	1.92
Ca (%)	3.68	1.98
Mg (%)	0.23	0.59
Cu (ppm)	4.85	143.95
Fe (ppm)	371.00	6010.10
Zn (ppm)	30.49	2219.58
B (ppm)	161.23	264.56
Ar (ppm)	nd	3.45
Cd (ppm)	nd	31.0
Cu (ppm)	nd	106
Hg (ppm)	nd	<0.500
Ni (ppm)	nd	38.8
Pb (ppm)	nd	632
Cr (ppm)	nd	40.I

Tabla 2.1 Yolanda González García et al. 2005

\* base húmeda, CE = conductividad eléctrica, MO = materia orgánica base seca, COT = carbono orgánico total, NTK = nitrógeno, total Kjeldahl, nd = no determinado

Tabla 2.2 Composición física del bagazo de agave seco (5% de humedad)	
Textura	Poco rígida
Color	Café - amarillo
Largo de la fibra	5 - 10 cm
Absorción de agua	6 ml*g
Diámetro	0.3 - 0.4 mm

Tabla 2.2 Revista Chapingo 1997

El proceso de elaboración del tequila consiste según lo descrito que se aprecia en casa Sauza en: (Sauza, 2021)



## **AGAVE**

El agave se recibe de los campos de plantación de Sauza. Al llegar a la destiladora se hace un muestreo de los lotes para determinar el total de azúcares a través de un método de titulación. (Sauza, 2021)

## **DESGARRADO DEL AGAVE**

El propósito de este proceso es preparar las fibras del agave para extraer los azúcares a través de desgarrar las piñas de agave tan fino como se pueda, pasando por tres desgarradoras consecutivas. (Sauza, 2021)

## **EXTRACCIÓN**

Durante este proceso los azúcares contenidos en las fibras desgarradas del agave se extraen en forma de una solución de agua y azúcar de agave a través de un difusor para realizar un proceso de suave extracción. De aquí se obtienen el jugo del agave y el bagazo. Este último es transformado como composta para los campos. (Sauza, 2021)

## **COCIMIENTO**

Los azúcares contenidos en el agave, como la inulina, son compuestos complejos que deben ser transformados en azúcares fermentables por un proceso de hidrólisis. Esto toma hasta 6 horas para completar la conversión de inulinas en fructosa y glucosa. (Sauza, 2021)

## **FERMENTACIÓN**

La fermentación anaerobia se lleva a cabo en tanques de acero inoxidable usando una mezcla propia de levaduras y nutrientes. Cada tanque dura de 24 a 28 horas con temperaturas que varían de un inicio de 32°C y termina hasta 37°C. (Sauza, 2021)

## **DESTILACIÓN**

La primera destilación se lleva a cabo en columnas de destilación, en este paso se elimina agua y se concentra el alcohol del mosto fermentado. Dependiendo de la





marca la segunda destilación se hace en alambiques para obtener un tequila con un rango de alcohol entre 55-65%. Todos los subproductos de la destilación se tratan en una Planta de Tratamientos de Aguas Residuales, para un cumplimiento total de las normas ambientales. (Sauza, 2021)

## **FILTRACIÓN**

Todos los tequilas son filtrados utilizando distintos medios, comenzando con una filtración en frío a través de un filtro de carbón que remueve el exceso de compuestos grasos que pueden dar una apariencia turbia al tequila. Otros procesos de filtrado aseguran que no haya partículas presentes en el líquido y dan el acabado brillante a los diferentes tequilas. (Sauza, 2021)

## **AÑEJAMIENTO**

Los tequilas reposados son madurados en contenedores de madera de roble al menos 2 meses. Los tequilas añejos se maduran al menos 12 meses en barricas de roble blanco, y los tequilas extra añejos reposan al menos 36 meses en barricas de roble blanco. (Sauza, 2021)

Todos los contenedores y barricas de madera están hechos de roble blanco americano con un tostado que cumple con las especificaciones de la productora de tequila y que son usados sólo para sus procesos de añejamiento. (Sauza, 2021)

## **MEZCLADO / ENSAMBLE**

En este proceso se agrega agua desmineralizada para ajustar la graduación y se hacen pruebas para asegurar la consistencia en el perfil conforme a los estándares de la tequilera. (Sauza, 2021)

Lo anterior se puede entender mejor con la Figura 2.6, proceso de fabricación del tequila.



Figura 2.6 Proceso de fabricación del tequila de casa Sauza (Sauza, 2021)

Actualmente en México la producción del tequila Según varios artículos para el uso de residuos del bagazo del *agave tequilana* weber del proceso de fabricación cerca del 60% del producto primario que es el agave termina siendo bagazo. ( (M., 1995))

La producción de bagazo de agave es equivalente al 40 % del peso de las cabezas de agave molidas y, si se considera que en el año 2021 se molieron 2018.7 miles de toneladas de agave, se puede generar un cálculo rápido donde se concluye que en sólo ese año se dejaron de aprovechar 807.48 miles de toneladas de bagazo (CONSEJO REGULADOR DEL TEQUILA , 2022). Figura 2.7

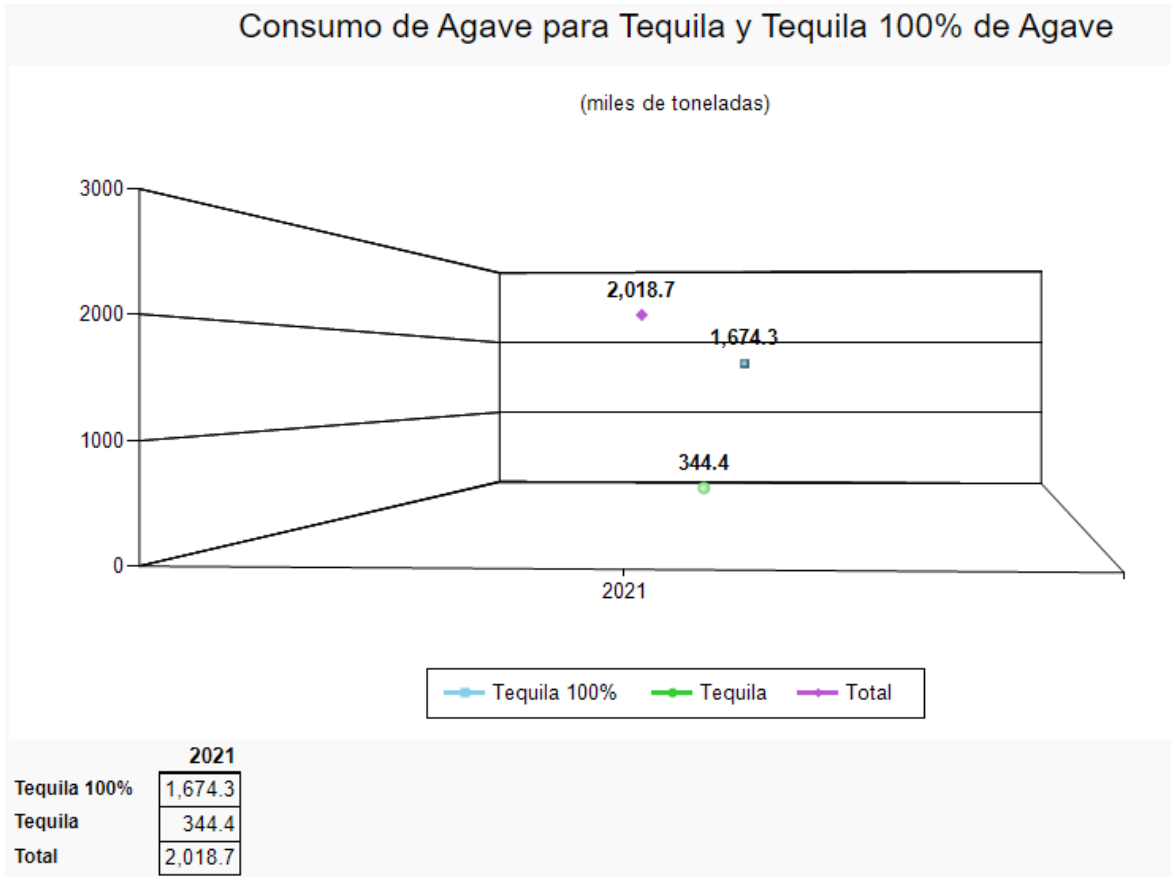


Figura 2.7 Consumo de agave para tequila y tequila 100% de agave, (CONSEJO REGULADOR DEL TEQUILA , 2022)

Como parte de la solución al exceso de residuos en este trabajo se realizará una propuesta de un material para acabados, que involucre dichos residuos, pero ¿Qué son los acabados? Y, ¿De qué están hechos?

## Capítulo 3 Materiales de acabados en la construcción

Se conoce como acabados, revestimientos o recubrimientos a todos aquellos materiales que se colocan sobre una superficie de obra negra o bruta. Es decir, son los materiales finales que se posicionan sobre pisos, muros, plafones, azoteas, obras exteriores o en huecos y vanos de una construcción. (Massieu, 2008)

Los acabados de construcción tienen por función o su objetivo principal la de proteger todos los materiales bases o de obra negra, así como de proporcionar belleza, estética y confort. Para llegar a su acabado final casi siempre es necesario utilizar antes otros materiales llamados acabados intermedios. Por ejemplo, para colocar un piso de duela de madera o un mármol en un muro, se necesita primero colocar un bastidor de madera a base de barrotes de polín de pino o colocar un aplanado de mortero, cemento, arena sobre el material base, en este caso un firme de concreto o un muro de tabique. (Massieu, 2008)

Existen muchos tipos de acabados que pueden estar presentes en la construcción de una casa habitación. (Lirola, 2020)

- Por su situación (Exterior o interior de la vivienda)
- Por su posición (acabados en techos, suelos, paredes, falsos techos y otros.)
- Por el material en el que están hechos (cerámicos, pétreos, de agregados, de residuos entre otros.)

Acabados en exteriores:

Los acabados exteriores cumplen la función de impermeabilizar los muros exteriores y protegerlos de la lluvia y de las inclemencias del tiempo, que de otra manera perderían capacidad portante(resistencia) o de aislamiento (térmica). (Figura 3.1)

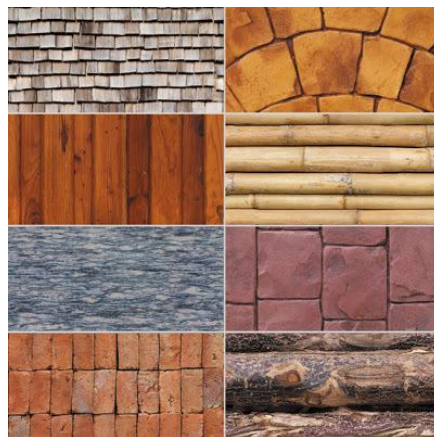


Figura 3.1 Acabados para construcción. Lirola, 2020



Algunos acabados para construcción, pero principalmente para sistemas de techumbre son de acuerdo con el profesor Wilfrido Massieu del Instituto Politécnico Nacional (Massieu, 2008) y de acuerdo con la información proporcionada por Carmen Lirola (Lirola, 2020) en el sitio web <https://www.autopromotores.com/acabados-y-revestimientos/> son los siguientes:

## **ACABADOS CERÁMICOS EN TECHO**

### **Loseta de barro**

*Características:* Tiene gran resistencia a la compresión, flexión e impactos, tiene una cantidad grande de adherencia evitando desprendimientos causados por los asentamientos, es resistente al desgaste y a los malos tratos. (S/A, [revestimientoyacabado.blogspot.com](http://revestimientoyacabado.blogspot.com), 2012)

*Usos:* se usa como recubrimientos y puede colocarse completa o en porciones, en fragmentados de cimientos, adoquines, para fabricar lavaderos, muros y plafones.

*Tipos y clases:* Loseta vinílica, loseta moqueta: pequeños cuadros de moqueta de varios tipos que se idearon para colocarse sueltos. Losetas de corcho: son fruto de cortar en láminas delgadas un bloque de corteza de alcornoque comprimida. (S/A, [revestimientoyacabado.blogspot.com](http://revestimientoyacabado.blogspot.com), 2012)

### **Azulejo**

*Características:* son de gran durabilidad y resistencia al desgaste, el esmalte que se presenta en esta mezcla es vidrio, boro, aluminio o zinc. No soportan cargas pesadas, son aislantes de la humedad. Son utilizados solo en baños y cocinas generalmente.

*Usos:* Sirven para cuidar a los muros de la humedad y de las grasas. Son de gran utilidad para lugares donde se es muy húmedo ya que son impermeabilizantes se pueden colocar en pisos, columnas, muros y plafones. (S/A, [revestimientoyacabado.blogspot.com](http://revestimientoyacabado.blogspot.com), 2012)

*Tipos y clases:* azulejo de lujo, azulejo Tulum, azulejo alazam, azulejo modelo merlim, azulejo antives turquesa, azulejo tipo Talavera, azulejo decorativo tipo tapiz (S/A, [revestimientoyacabado.blogspot.com](http://revestimientoyacabado.blogspot.com), 2012)

## **ACABADOS ORGÁNICOS EN TECHOS**

### **Maderas**

*Características:* tienen la ventaja de que brindan una mayor resistencia, composición uniforme, no se rajan, mayores dimensiones, mayor dureza, belleza y estabilidad, cuenta con acabados agradables, tersos y durables. (“ACABADOS INTERIORES – ARQUITEXT”) (S/A, [revestimientoyacabado.blogspot.com](http://revestimientoyacabado.blogspot.com), 2012)



*Usos:* se utiliza en la fabricación de duelas para pisos, lambrines, plafones y duración en general. Para adoquines de madera, para vigas de polines en el colocado de la azotea. (S/A, revestimientoyacabado.blogspot.com, 2012)

*Tipos y clases:* maderas aglomeradas, maderas blandas, maderas duras, maderas finas, maderas resinosas, maderas tropicales. (S/A, revestimientoyacabado.blogspot.com, 2012)

## **ACABADOS SINTÉTICOS EN TECHOS**

### **Plásticos**

*Características:* Casi todos los plásticos son modificados agregándoles plastificadores y rellenos u otros ingredientes. (S/A, revestimientoyacabado.blogspot.com, 2012)

*Usos:* se encuentra actualmente en usos muy extendidos tales como techos, pisos, iluminación, telas para mosqueros, ventanales, cancelas. (S/A, revestimientoyacabado.blogspot.com, 2012)

Algunos se usan como lámina acanalada funcional o decorativa. (S/A, revestimientoyacabado.blogspot.com, 2012)

*Tipos y clases:* Lámina acanaladas, láminas lisas (para aplicaciones decorativas y estructurales), láminas de plástico traslúcidas, lámina de plástico reforzado con fibra de vidrio. (S/A, revestimientoyacabado.blogspot.com, 2012)

### **Pinturas**

*Características:* La viscosidad, contenido de sólidos en volumen, fisura de dispersión, poder de recubrimiento, tiempo de secado, brillo, resistencia a la abrasión, humedad, resistencia al agua, estabilidad, almacenamiento. (S/A, revestimientoyacabado.blogspot.com, 2012)

*Usos:* se usan en interiores, muros, plafones, puertas, exteriores. (S/A, revestimientoyacabado.blogspot.com, 2012)

*Tipos y clases:* pintura vinílica, pintura acrílica, COMEX, pinturas de esmalte. (S/A, revestimientoyacabado.blogspot.com, 2012)

Este trabajo estará centrado principalmente en acabados exteriores, que, por su ubicación, serán en los techos y materiales hechos a base de geopolímeros con fibras naturales de bagazo (geotextiles).

En este sentido el autor Antonio Miravete (MIRAVETE, 1995) en su “libro los nuevos materiales de la construcción”, expone que los polímeros a base de fibras como las



fibras de vidrio o sintéticas vendrían a ser los nuevos materiales para la construcción.

Explica que las fibras sintéticas son diseñadas química, mecánica y físicamente para que cumplan con las condiciones adecuadas para aplicaciones en ingeniería, mientras que, las realizadas con base a fibras naturales como algodón, el yute entre otras, así como las de celulosa y el rayón, son poco usadas, por su alto índice de biodegradabilidad, pero que pueden ser utilizadas para situaciones eventuales en las que la biodegradación sea requerida. (MIRAVETE, 1995)

A su vez Miravete también clasifica a los materiales hechos de fibras (tanto sintéticas, como naturales), como geotextiles y las divide en 2 categorías.

- Geotextiles convencionales tejidos, no tejidos, mallados y cosidos.
- Geotextiles especiales que no tienen origen textil y que incluyen materiales geo rejillas, o geo composiciones.

### 3.1 Elaboración de geotextiles No tejidos.

Para el planteamiento de esta propuesta se busca utilizar geotextiles no tejidos para la realización de las baldosas o losetas, es por eso por lo que se abordará qué son estos y cómo se fabrican.

Los geotextiles no tejidos son geotextiles planos con fibras, filamentos u otros elementos orientados aleatoriamente, fusionados química o mecánicamente, por medio de calor, o por combinación de estos. (G&G, 2022) Este tipo son los más utilizados en países como España o Colombia que son los principales generadores de estos, y se caracterizan por ofrecer una no muy elevada resistencia a tracción y una enorme deformabilidad, además de poseer buenas características hidráulicas.

Estos geotextiles se pueden hacer ya sea de continuos filamentos o de fibras discontinuas. Generalmente las fibras son orientadas aleatoriamente dentro del plano del geotextil. (A.G, 1987)

Para la formación de la estera, (Pieza de tejido grueso y áspero (esparto, palma, junco u otro material parecido), que generalmente se utiliza para cubrir parte del suelo de un lugar), los filamentos son moldeados y colocados directamente sobre una cinta en movimiento durante el proceso de unión por hilado de reacción (este proceso involucra la reticulación (unión cruzada) de monómeros o pre-polímeros para crear un nuevo polímero utilizando reacción en cadena extendida.), y posteriormente se une por alguno de estos procesos: (Geotexan geosintéticos de alta calidad, 2022)

- Aguja de perforación. Este proceso hace que las fibras se enreden mecánicamente. Se realiza al empujar muchas agujas con púas a través de



una o varias capas de una estera de fibra normal al plano del geotextil. (Geotexan geosintéticos de alta calidad, 2022)

- El calor de unión. Esto se realiza mediante la incorporación de un tratamiento térmico. (Geotexan geosintéticos de alta calidad, 2022)
- Unión con resinas. La resina se introduce en la esterilla de fibra, en el revestimiento de las fibras y en la unión de contactos entre fibras. (Geotexan geosintéticos de alta calidad, 2022)
- Combinación de unión. Esta técnica se utiliza en algunas ocasiones para facilitar de fabricación de geotextiles y para obtener las propiedades deseadas. (Geotexan geosintéticos de alta calidad, 2022)

### 3.2 Elaboración de losetas, láminas y baldosas.

#### 3.2.1 Losetas

Es un producto elaborado con arcillas naturales, componentes minerales y diversos aditivos. Todos los elementos se someten a un proceso de modelado para darle forma, luego se aplican métodos de secado, barnizado y decoración. (LEROY MERLIN , 2020)

La elaboración de losetas tiene un proceso caracterizado como “artesanal” dado que, de acuerdo con Carlos Pumahuacre, jefe de producción de Celima, empresa que se encarga de la elaboración de acabados, el proceso por el cual se elaboran las losetas no requiere de tecnología avanzada. (P., 2014)

Dicho proceso queda descrito a continuación:

#### **MOLIDO**

La arcilla, materia prima de la loseta, es recolectada y almacenada de acuerdo con sus características (tamaño, color, dureza, entre otros) para ser pulverizada y luego ser transformada en una masa de mayor consistencia, gracias a la adición de agua en el equipo de granulado. (Figura 3.2) (P., 2014) (LEROY MERLIN , 2020)





*Figura 3.2 Molido de arcilla (Ajedrea Cosmética Ecológica, 2016)*

## **PRENSADO**

A esta masa se le da la forma de una loseta mediante el prensado. Es aquí donde se moldea hasta obtener el tamaño de 45 cm que existe en el mercado u otras medidas, de acuerdo con el requerimiento. (P., 2014) (LEROY MERLIN , 2020)



*Figura 3.3 Prensado de la arcilla en seco (Bizpren , 2022)*

## SECADO

Antes de pasar a esta etapa, las losetas poseen cerca de un 8% humedad, el cual es reducido a menos del 1%, para poder darle mayor firmeza a la loseta. (Figura 3.3) (P., 2014) (LEROY MERLIN , 2020)



Figura 3.4 Secado de arcilla (123RF, 2022)

## ESMALTADO

En este paso del proceso, las losetas son recubiertas de un esmalte especial, cuya materia prima es el vidrio, que las protege y sirve de base para la impresión del decorado en su superficie. El diseño es insertado gracias a una cabina en la que se encuentra una máquina especializada en recubrir la loseta con el motivo deseado. (Figura 3.5) (P., 2014) (LEROY MERLIN , 2020)



Figura 3.5 Esmaltado de arcilla. (LEROY MERLIN , 2020)

## HORNEADO

Para obtener dureza y brillo en su acabado, la loseta es transferida a un horno por espacio de 27 minutos. Luego, pasa por un proceso de control de calidad, en el que se verifican las características del producto ante eventuales fallas en la dureza del producto o del diseño insertado. Aquellas losetas que no superan esta etapa regresan a los primeros pasos del proceso. (figura 3.5) (P., 2014) (LEROY MERLIN , 2020)



Figura 3.6 Horneado de arcilla (Acabados del Pacífico, 2022)

### 3.2.2 Láminas

Las láminas acanaladas son placas de distintos materiales como acero, policarbonato o aluminio. Son flexibles y adaptables, ya que ofrecen un gran ahorro de recursos en cuanto a costos y tiempo de instalación. (METAPANEL, 2020) Figura 3.7



*Figura 3.7 Láminas acanaladas, aluminium, (2021).*

Se usan principalmente en la industria de la construcción para techos ó como recubrimiento de superficies. Especialmente las láminas acanaladas pueden ser utilizadas también como aislante sonoro o térmico, ya que, este tipo de lámina, gracias a su diseño, reduce significativamente el paso de elementos como el calor, el agua, el sonido y hasta algunos químicos. (METAPANEL, 2020)

### **Proceso de fabricación de las láminas metálicas.**

Como se puede observar en diversas páginas de empresas fabricantes o de trabajo con acero como: Tyasa S.A. o Villacero S.A entre otras, las láminas, principalmente las acanaladas de acero, se fabrican de manera general con el siguiente proceso:

### **DECAPADO DE LÁMINA**

Este proceso se basa en la utilización de baño de ácido clorhídrico, que elimina en forma definitiva las escamas de óxido de hierro generadas en el proceso de laminación en caliente. Con esto se prepara el ancho del rollo con desorille en los extremos y la calidad superficial de éste para optimizar el proceso de laminación en frío. (figura 3.7) (Villacero, 2022).



*Figura 3.8 Decapado de láminas, (Villacero, 2022).*

### **MOLINO DE LÁMINACIÓN**

El proceso de laminación en frío permite obtener la lámina en el espesor, ancho, superficie lisa y calidad superficial libre de defectos, para el proceso de galvanizado

en el momento que sea requerido por los clientes; mediante una serie de rodillos que, por medio de presión y tensión aplicada al acero, lo reduce con excelente precisión. (figura 3.8) (Acero Mundo, 2022)

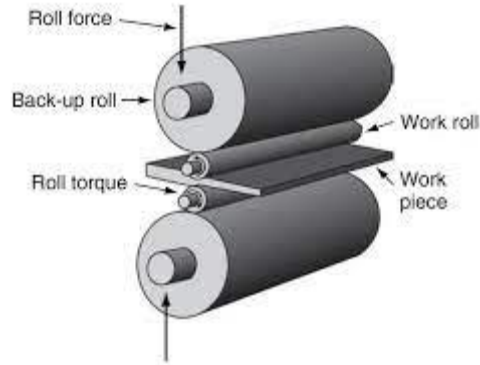


Figura 3.9 Diagrama esquemático mostrando la interacción de los rodillos y la lámina, J. G. Lenard, *Primer on Flat Rolling*, Elsevier., (2021).

## LINEA DE GALVANIZADO

Los procesos de galvanizado, también es conocido como un recubrimiento de zinc o aluminio zinc. Este proceso se da mediante un zincado durante la laminación en caliente, donde este mineral se adhiere al acero de forma química, evitando que se desprenda. (figura 3.9) (Villacero, 2022).



Figura 3.10 Línea de galvanizado, TYASA, (2021).



La resistencia de la lámina acanalada se determina de acuerdo con pruebas de laboratorio de materiales, las cuales van desde pruebas físicas como las pruebas de impacto regidas por la norma ASTM D2794 hasta las pruebas químicas como la prueba Plomo en Zinc regida por la norma ASTM E1613. (Eurolab laboratory services, 2022)

### **Proceso de fabricación de las láminas no metálicas.**

De acuerdo con Ludwing Hatschek (Austria-Hungría Patente nº US769078A, 1901), quién en 1901 certificó el proceso de elaboración de placas en piedra artificial, a través de materiales fibrosos y aglutinantes hidráulicos, es posible realizar láminas de diferentes materiales con sólo 4 elementos:

- Cementante
- Fibras sintéticas o naturales
- Pulpa: Se refiere a la masa fibrosa que se presenta en la descomposición química de las fibras vegetales, está compuesta principalmente de celulosa.
- Disolvente (agua o polímero).

El proceso de fabricación es el siguiente:

- Primero la pulpa se mezcla con el disolvente y se muele hasta lograr una apariencia fina.
- Luego se le añaden las fibras sintéticas.
- Después, se añade el cementante en la máquina de mezcla intensiva.

La mezcla se prepara en grandes depósitos y se busca que se formen puentes de hidrógeno durante el proceso químico, para mantener los ingredientes juntos.

- Por último, se vacía en un molde y se deja secar hasta que alcanza la rigidez necesaria para que se pueda manipular, y en caso necesario se recubre de un barniz para sellar y otorgar propiedades de impermeabilidad.

Las pruebas en láminas no metálicas y en general a elementos no hechos de algún compuesto metálico son principalmente mecánicos y físicos como: la prueba de dureza Shore Durometer según ASTM 2240 (ASTM, ASTM 2240 , 2021) y la prueba de fatiga.

Otros métodos incluyen resistencia al desgarro, fluencia, fatiga, fricción, desgaste, la permeabilidad y la hermeticidad.

Además, la resistencia a la flexión y el módulo de flexión se pueden determinar de acuerdo con estándares como ASTM D790 (ASTM, 2021) e ISO 178 para no metales.



### 3.2.3 Baldosas

Las baldosas son revestimientos producidos de forma totalmente artesanal, con materia prima a base de cemento. Es una opción versátil que no sólo puede utilizarse en áreas públicas, como plazas y aceras, sino que también puede aplicarse en revestimientos interiores, incluyendo pisos, muros y muebles. Su versatilidad se debe a que son altamente personalizables, desde sus colores y patrones hasta su geometría y sus dimensiones. (Ceramica Oropesa, 2022)

#### Proceso de fabricación

Las baldosas son totalmente artesanales, y son fabricadas una por una por artesanos que perpetúan una técnica meticulosa que va desde la preparación de las pinturas hasta el secado final de los productos, con todo el cuidado necesario para que puedan entregarse con las condiciones necesarias que aseguren su calidad. El proceso consta de ocho pasos: (Ceramica Oropesa, 2022)

- Se produce un molde de bronce, con el patrón deseado. El molde se ajusta a un marco exterior de hierro que sigue la forma del borde del azulejo, con las medidas más comunes de 20 x 20 centímetros.
- Cada parte del molde de bronce es llenada con una mezcla líquida pigmentada (con el color especificado en cada proyecto). Esta mezcla está hecha con óxido de hierro, polvo de mármol y cemento blanco.
- Luego, se retira el molde de bronce y la superficie coloreada se cubre con una mezcla seca e inmediatamente después, con una mezcla húmeda.
- El azulejo se comprime en una prensa hidráulica.
- Ahora el mosaico puede ser retirado del molde, pero con mucho cuidado porque aún no está completamente curado.
- La pieza debe descansar durante 24 horas y permanecer aproximadamente 8 horas sumergida en agua.
- Después, los azulejos se almacenan durante 4 semanas a la sombra. Este paso es importante para la cristalización del cemento.
- Los azulejos están listos para ser aplicados en obra.

La resistencia de losetas y baldosas se obtendrá de acuerdo con el proceso descrito por construmatica (Construmatica, 2021) y será el siguiente.

- Para baldosas y losetas la resistencia se determina sometiénolas a rotura por flexión, apoyándola sobre rodillos y aplicando la carga sobre la cara vista de la baldosa.



- Durante el ensayo la baldosa o loseta no debe estar sometida a torsión, por lo cual, al menos uno de los soportes inferiores y la barra de carga, deberán ser pivotantes.
- Se deberá medir la carga de rotura de las baldosas (kN) y calcular su módulo resistente a flexión (MPa).

#### **Aspectos para Tener en Cuenta (Construmatica, 2021)**

- La probeta de ensayo será la baldosa entera cuando en planta tenga al menos dos bordes rectos y paralelos. En otros casos, de cada baldosa se extraerá mediante corte, una probeta cuadrada o rectangular, con la mayor superficie posible manteniendo todo su espesor.
- Si la cara vista de la baldosa o loseta y su dorso no son lisas (rugosas, acanaladas, lavadas, etc.) y paralelas, se refrenarán mecánicamente, eliminando la menor cantidad posible de material, hasta conseguir que estas caras sean planas y paralelas. También se puede recubrir las caras mediante mortero de dosificación 1:1, preparando con arena silíceas de granulometría 0/3, si bien es preferible el refrenado mecánico. El recubrimiento solo es aceptable en el caso de mínimas diferencias superficiales (texturizados, etc.).
- Es muy importante la mínima eliminación del material para no alterar el resultado del ensayo respecto a la resistencia real de la baldosa.
- En el cálculo del módulo resistente, el espesor a considerar es el de la superficie de rotura.
- Las baldosas o losetas por ensayar se mantendrán previamente inmersas en agua a  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  durante  $(24 \pm 3)$  horas.
- Los soportes y la barra inductora tendrán una longitud superior al de la pieza a ensayar.
- Las baldosas o losetas se colocarán simétricas sobre los soportes, de manera que su lado más corto esté paralelo a éstos.
- Se emplearán piezas de compresión entre los cilindros de carga y de apoyo, y la superficie de la baldosa o loseta.
- La carga se aplicará sin golpes, y se incrementará uniformemente hasta que el material se quiebre, a una velocidad tal que esta rotura se produzca en  $(45 \pm 15)$  seg. Si no fuese así, la probeta se sustituirá por otra, no teniendo en cuenta el resultado obtenido.
- La muestra estará compuesta por 4 baldosas o losetas.





- Como resultado del ensayo se darán las cargas de rotura individuales ( $P_i$ ), su media ( $P$ ) en kN, los módulos resistentes de cada baldosa ( $T_i$ ) y su media ( $T$ ), en MPa.

Con todos los procesos de fabricación de acabados anteriormente descritos para losetas, láminas y baldosas, se busca hacer una homologación de procesos para usar a los geotextiles provenientes de la fibra del bagazo del agave en la fabricación de los mismos acabados para sistemas de techumbre.

A continuación, se mencionan algunos productos donde de manera similar se pudo reemplazar el material original de construcción por fibras geotextiles para sustentar la hipótesis de que es posible lograrlo.

De acuerdo con un artículo publicado por la Universidad de los Andes (Moreno Barsallo & Rodas Serrano, 2017) en el cual se explican los usos que se le podría dar a una malla geotextil para un sistema subdrenaje para solventar diferentes problemas de que se podrían presentar en el mismo, en donde de acuerdo con el planteamiento del artículo, las funciones que desempeñan los geotextiles pueden ser de:

1. Separación
2. Refuerzo
3. Filtración
4. Drenaje Planar
5. Protección

*Además, se sustenta que es posible aplicarlos en otros campos*



Tabla 3.1 de acuerdo con la clasificación de función antes mencionada.

Tabla 3.1 Aplicaciones de las fibras naturales		
CAMPO DE APLICACIÓN	FUNCIÓN PRINCIPAL	FUNCIONES SECUNDARIAS
Carreteras	Separación	Filtración; Protección; Drenaje
Ferrocarriles	Separación; Filtración	.....
Obras Hidráulicas	Filtración	Separación
Drenajes	Filtración	Separación; Drenaje
Taludes	Refuerzo	Drenaje
Túneles	Protección; Drenaje	.....
Vertederos	Protección	Drenaje; Refuerzo

Tabla 3.1 Cuadro de aplicación. (MORENO BARSALLO & RODAS SERRANO, 2017)

En otro estudio (Roux Gutiérrez & Olivares Santiago, 2002), se encuentra que es posible realizar ladrillos con fibras de coco y cemento Portland al 6% para muros de carga, en el cual se desarrolla una investigación por parte del autor para determinar si es viable o no y si cumplirá con las características técnicas para ser considerado como ladrillo para muro de carga, dando resultados altamente efectivos para tal uso.

Lo mismo pasa con ladrillos compuestos de otros materiales geotextiles hechos de fibras naturales como las del agave de tequila *Agave angustifolia* Haw (Serrano, 2019). La composición en la estructura química (compuestos que conforman diferentes fibras naturales de plantas de la familia de los agaves “Agavaceae”) es similar entre ellas, por lo que, se espera tener el mismo resultado del tequilana weber.

De momento, se puede concluir que, es posible la realización de los acabados que se plantean en este trabajo.



## Capítulo 4 Geopolímeros

### 4.1 Polímeros

Un geopolímero se define como un material sólido formado con aluminosilicatos y por activación de silicatos alcalinos como precursores. Los geopolímeros también suelen ser descritos en la literatura como “polímeros minerales” y “polímeros inorgánicos” (González. G. M., 06 abril 2022). Su nombre proviene del griego polys (“muchos”) y meros (“segmento”).

Generalmente son moléculas orgánicas de enorme importancia tanto en el mundo natural como en el industrial. Entre estas moléculas se incluyen el ADN en nuestras células, el almidón de las plantas, el nailon y la mayoría de los plásticos. (Álvarez, Concepto.de, 2021)

### 4.2 Propiedades generales de los polímeros

Cada polímero tiene unas propiedades determinadas. Conociendo las propiedades requeridas de un material para un uso en particular, puede escogerse un polímero u otro, incluso puede diseñarse la síntesis en laboratorio de un nuevo polímero buscando dichas propiedades específicas. (Álvarez, Concepto.de, 2021)

Es común asociar a los polímeros con propiedades elásticas, pero en realidad las propiedades de los polímeros son muchos más amplias y no todos los polímeros presentan elasticidad.

Además, en función del uso final se elegirá un polímero en concreto atendiendo a sus propiedades. Entre las propiedades más buscadas de los polímeros destacan: (Álvarez, Concepto.de, 2021)

- Elasticidad
- Reflectante
- Resistencia
- Dureza
- Fragilidad
- Opacidad, transparencia o translucidez
- Maleabilidad
- Aislante
- Otras características y propiedades



### 4.3 Clasificación

Existen diferentes tipos de clasificación, pero, de acuerdo a diversos sitios (Álvarez, concepto, 2021), (S/A, UPV.ES, 2021), se encuentran las siguientes clasificaciones.

Si se clasifican según su **origen**, los polímeros pueden ser:

- **Polímeros naturales:** Su origen es biológico.
- **Polímeros sintéticos:** Son creados enteramente por el ser humano.
- **Polímeros semisintéticos:** Son creados por transformación de polímeros naturales.

Si se clasifican según su **composición**, se puede distinguir entre:

- **Polímeros orgánicos:** Poseen una cadena principal de átomos de carbono.
- **Polímeros orgánicos vinílicos:** Semejantes a los orgánicos, pero con enlaces dobles carbono-carbono. Incluyen las poliolefinas, estirénicos, vinílicos halogenados y acrílicos.
- **Polímeros orgánicos no vinílicos:** Poseen átomos de oxígeno y/o nitrógeno en su cadena principal, además de carbonos. Incluyen los poliésteres, las poliamidas y los poliuretanos.
- **Polímeros inorgánicos:** Basados en otros elementos como el azufre (polisulfuros) o el silicio (la silicona).

Si se clasifican según **su reacción al aumentar la temperatura**, podemos distinguir entre:

- **Polímeros elastómeros:** Se deforman al aumentar la temperatura, pero recuperan su forma original.
- **Polímeros termoestables:** Cuando se elevan, su temperatura se descompone químicamente. No se deforman, es decir, no fluye el material.
- **Polímeros termoplásticos:** Al elevar la temperatura se derriten y pasan al estado líquido, pero cuando se enfrían, vuelven a pasar al estado sólido.

Si se clasifican según su **método de producción** se tiene

- **Biopolímeros a partir de recursos renovables:** los que son sintetizados naturalmente de plantas y animales, o totalmente sintetizados a partir de recursos renovables.
- **Biopolímeros a base de petróleo:** estos polímeros se sintetizan a partir de recursos del petróleo, pero son biodegradables al final de su funcionalidad.

- **Biopolímeros a partir de fuentes mixtas:** fabricados de combinaciones de materiales de base biológica y monómeros derivados del petróleo

En la siguiente imagen (Figura 4.1) se muestran algunos de los polímeros más comunes de acuerdo con su clasificación de método de producción.

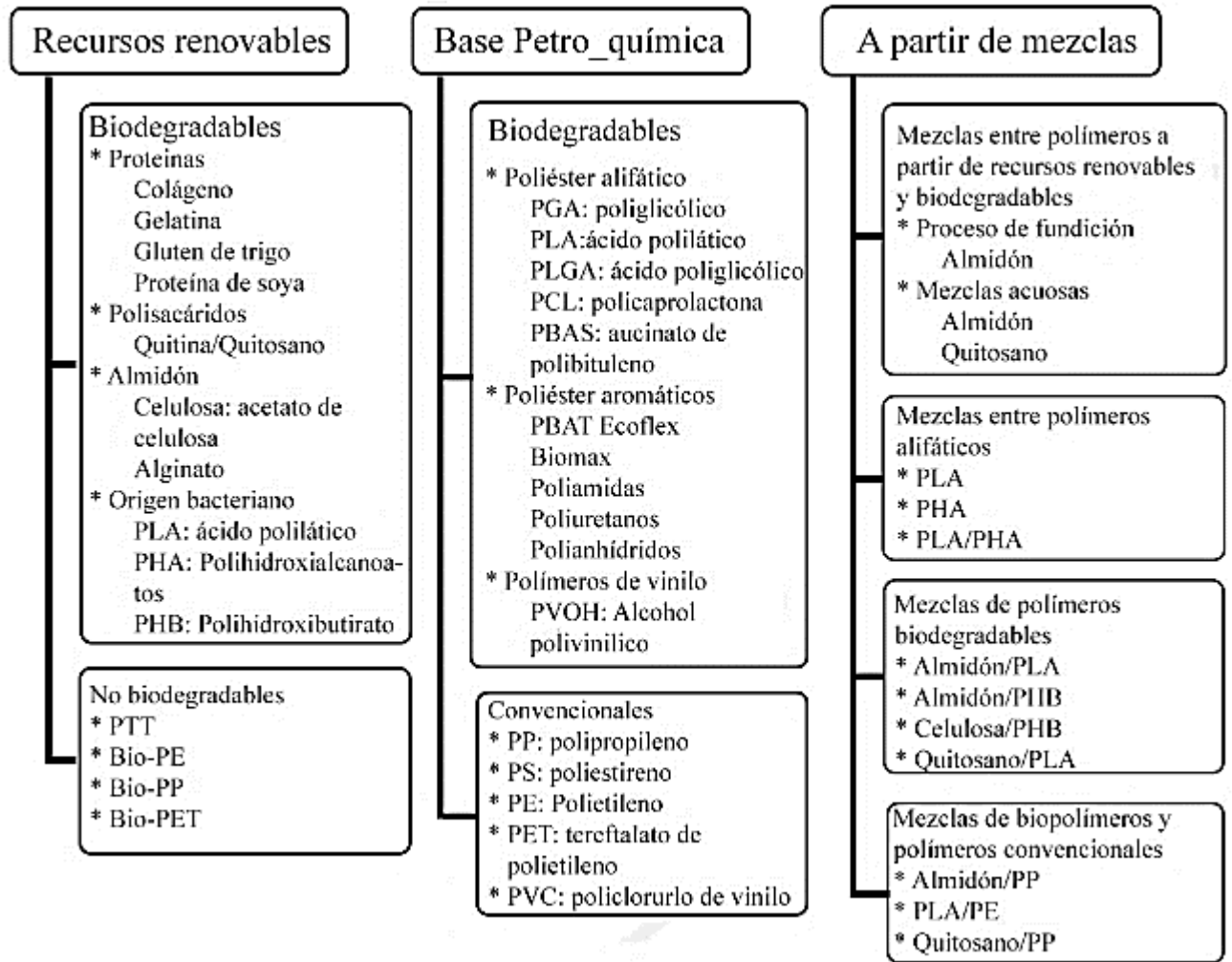


Figura 4.1 Usos de los geopolímeros y su clasificación, (Rodríguez S., 2016).

#### 4.4 Polimerización

Un polímero está formado por la unión repetida de moléculas de un mismo monómero para formar una cadena larga. La unión de estos monómeros es el proceso de polimerización. (Allcock H.R., 2003)

Existen varios métodos de polimerización, pero principalmente son dos:

**Polimerización de crecimiento en cadena:** Los monómeros se unen a la cadena de uno en uno. Así, se pasa de monómero a dímero (dos monómeros unidos), luego a trímeros, luego a tetrámeros, etc. (Allcock H.R., 2003)



**Polimerización de crecimiento en etapas:** En este caso la formación del polímero es similar al anterior método, pero los monómeros pueden unirse de diferentes maneras. Por ejemplo, un dímero se podría unir a otro dímero para formar un tetrámero. En otras palabras, es posible la unión de oligómeros (cadenas cortas de monómeros) entre sí y con otros monómeros. Incluso una cadena larga en formación puede reaccionar con otra cadena larga para formar una cadena aún más larga. El proceso de polimerización es mucho más rápido pues en la polimerización de crecimiento en cadena únicamente un monómero puede reaccionar con una cadena en formación para que vaya creciendo. Elegir un método u otro dependerá de las características fisicoquímicas de las moléculas y de la tecnología disponible. (Allcock H.R., 2003) (Fried, 2003)

Además, la polimerización puede ser:

**Por adición:** Una polimerización será por adición si el monómero no pierde ningún átomo cuando se une a la cadena en formación. Es decir, la composición del polímero es igual a la suma de la composición de cada uno de los monómeros, de ahí el nombre de adición. Como resultado de la reacción de polimerización por adición no se generan subproductos. (Alban, 1999)

**Por condensación:** Si en el proceso de polimerización el monómero pierde átomos respecto a su estado anterior. Para que el monómero se una a la cadena es frecuente que tenga que perder algunos átomos, por lo general en forma de pequeñas moléculas como puede ser  $H_2O$  y esto hace que se generen, por tanto, subproductos de la reacción y el polímero resultante no tiene una composición igual a la suma de la composición de los monómeros. (Alban, 1999)

Por lo general, las características moleculares de la cadena de polímero suelen trasladarse a las características macro. Por ejemplo, si las moléculas de la cadena presentan elasticidad, es muy probable que el polímero resultante tenga propiedades elásticas. De igual modo, si los monómeros se unen entre sí mediante enlaces muy fuertes será de esperar que el polímero sea bastante resistente. (Allcock H.R., 2003)

#### 4.5 Aplicación en la investigación

Según la clasificación anterior este trabajo se centrará en la categoría de acuerdo con su composición, más específicamente en los polímeros inorgánicos

Los polímeros inorgánicos pueden crearse en laboratorio por la unión de monómeros específicos en una cadena, empleando para ello de insumos orgánicos o inorgánicos, en condiciones controladas de temperatura, presión y presencia de catalizadores. (Álvarez, concepto, 2021) Así se genera una reacción en cadena o por etapas que da como resultado la generación del compuesto.

Los polímeros inorgánicos, son también **conocidos como geopolímeros**, son materiales de gran interés en el campo de la construcción. Estos polímeros son



sintetizados a partir de aluminosilicatos, fuentes de óxidos de silicio y de aluminio, activados por un agente alcalino. A través del curado en horno, o curado en aire, los materiales resultantes de estas reacciones presentan una estructura amorfa tridimensional. (Álvarez, concepto, 2021) (S/A, UPV.ES, 2021)

Dentro de las propiedades que presentan los geopolímeros o polímeros sintéticos se encuentra su resistencia al ataque de sulfatos, bajos niveles de agrietamiento, resistencia a ciclo hielo-deshielo, resistencia al ataque químico, capacidad para estabilización e inmovilización de algunos metales tóxicos pesados en la producción de concretos especiales, altas resistencias tempranas, entre otros.

De acuerdo con el trabajo de Valenzuela (VALENZUELA, 2013) donde explica que actualmente se utilizan principalmente geopolímeros para la sustitución de cementos Portland, ya que, en la elaboración de los cementos Portland se genera una tonelada de dióxido de carbono por cada tonelada de cemento Portland fabricado, y en la utilización de los geopolímeros para dicho proceso se reduce esta relación (producción de dióxido de carbono-cantidad de material elaborado) hasta en un 90%.

Dicho trabajo también presenta un proceso de geo polimerización, en el cual, describe la formación de un geopolímero a partir de un aluminosilicato y de una solución alcalina de monómeros inorgánicos, que se entremezclan para formar el sólido polimérico. (VALENZUELA, 2013)

Durante el mezclado inicial de los materiales que reaccionan, la solución alcalina disuelve los compuestos de silicio y aluminio de las fases amorfas de la fuente de aluminosilicato utilizada, los monómeros de silicio e hidróxidos de aluminio se encadenan como resultado de una reacción de condensación, donde se adjuntan iones hidroxilos para luego formar un oxígeno unido a las moléculas, y moléculas de agua libre. (VALENZUELA, 2013)

Esta estructura se repite creando así cadenas, que dan origen a una estructura 3-D denominada geopolímero, que corresponde a un sólido rígido.

Este último proceso es importante porque describe de manera ejemplificada la realización de geopolímeros, que, en el mismo trabajo de Valenzuela aclara que de acuerdo con un trabajo de investigación realizado por (Davidovits, Geopolymer, Chemistry and Applications., 2008) la proporción de silicato aluminio en el aluminosilicato altera o modifica las propiedades que puede tener el geopolímero y, por ende, las aplicaciones que se puede tener dicho aluminosilicatos, por ejemplo:

Si la proporción es Si: Al = 1:1, se tendrán aplicaciones en cerámicas, protección al fuego y ladrillos.

- Si la proporción es Si: Al = 2:1, la utilización puede ser encapsulación de residuos tóxicos y radiactivos.



- Si la proporción es Si: Al = 3:1, se pueden utilizar para materiales de sello para aplicaciones industriales en el rango de temperatura de 200°C a 600°C.
- Valores entre 20:1 < Si-Al < 35:1, son resistentes al fuego y al calor.

De acuerdo con el mismo trabajo si la relación en el aluminosilicatos es menor a 3:1 se genera una estructura tridimensional rígida adecuada para uso en concreto o cemento. Si esta proporción se encuentra sobre el valor 3, la estructura se vuelve menos rígida y más flexible. Y, en caso de que los valores sean mucho mayores, sobre la proporción de 35:1, se tendrán cadenas 2D, las cuales son más adecuadas para la fabricación de sellantes o adhesivos, o como una **resina impregnante** para la formación de compuestos de **fibras materiales**. (VALENZUELA, 2013)

De acuerdo con el trabajo realizado por el Instituto de ciencias de la construcción se pueden obtener distintos geopolímeros a partir de un objeto que contenga aluminosilicatos, en el caso de dicho artículo las cenizas que se generan a partir de la combustión del carbón. (González. D. G., 2022)

Dicho trabajo también describe las soluciones alcalinas utilizadas para la elaboración de los diferentes geopolímeros, encontrando como resultados que la base (aluminosilicatos) cambia de microestructura dependiendo de la solución alcalina y la cantidad de está que se utiliza. De donde se rescata que de acuerdo a la proporcionalidad del aluminosilicato con el material alcalino con el que se hace reaccionar se obtienen polímeros con características diferentes que dependen directamente de la proporción y dado que las microestructuras varían dependiendo del tipo de activador, si a dicho activador se le agrega otra sustancia que permita la reacción de los aluminosilicatos se encontró que se pueden generar microestructuras más densas y compactas o menos densas y más voluminosas manteniendo una relación Si/Al de desde 1.9-2.0 hasta 2.5-2.7 y que esto último modifica directamente la relación de rigidez en los materiales haciéndolos o más rígidos o más flexibles. (González. D. G., 2022)

El artículo concluye que los geopolímeros constituyen familias de materiales con una base química común, pero con diferentes posibles microestructuras y por lo tanto diferentes propiedades físicas. (González. D. G., 2022)

#### 4.6 Fuentes de aluminosilicatos

**Ceniza Volante:** Las cenizas volantes son un polvo fino que es un subproducto de la quema de carbón pulverizado en las plantas de generación de energía eléctrica. Las cenizas volantes son una puzolana, una sustancia que contiene material aluminoso y silíceo que forma un compuesto cementante en presencia de agua. (Figura 4.2) (GOBIERNO DE ESPAÑA, 2010)





Figura 4.2 Ceniza Volante, 2021

Cuando se mezclan con cal y agua, las cenizas volantes forman un compuesto similar al cemento de Portland. Esto hace que las cenizas volantes sean adecuadas como materia prima en el cemento mezclado, azulejos de mosaico y bloques huecos, entre otros materiales de construcción. Cuando se utilizan en mezclas de hormigón, las cenizas volantes mejoran la resistencia y la segregación del hormigón y facilitan su bombeo. (Figura 4.3) (GOBIERNO DE ESPAÑA, 2010)

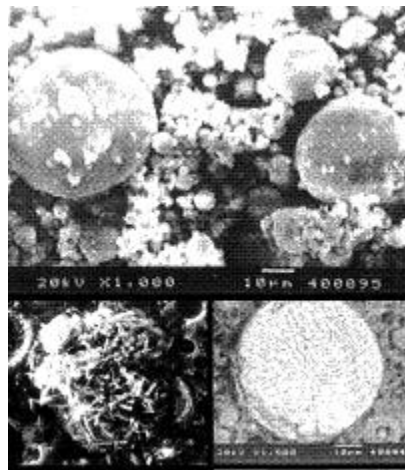


Figura 4.3 Estructura de la Ceniza Volante con agua, 2021. (Lizarazo-Marriaga, García, & Higuera, 2015)

Hay dos tipos comunes de cenizas volantes: Clase F y Clase C. Las cenizas volantes de clase F contienen partículas cubiertas por una especie de vidrio fundido. Esto reduce en gran medida el riesgo de expansión debido al ataque de los sulfatos, que puede ocurrir en suelos fertilizados o cerca de las zonas costeras. La clase F es generalmente de bajo contenido de calcio y tiene un contenido de carbono inferior al 5% pero a veces tan alto como el 10%. (Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, 2018)

Las cenizas volantes de clase C también son resistentes a la expansión por ataque químico. Tiene un porcentaje más alto de óxido de calcio que la Clase F y se utiliza más comúnmente para el hormigón estructural. Las cenizas volantes de clase C están compuestas de cenizas volantes de alto contenido de calcio con un contenido de carbono de menos del 2%. (Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, 2018)

**Puzolana natural:** La puzolana es un material silíceo o silico-aluminoso, que por sí solo posee poco o ningún valor cementante, pero que finamente pulverizado y en medio húmedo a temperatura ordinaria, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, formando un compuesto con propiedades cementantes. Se emplea en la fabricación de cemento como adición al Clinker para obtener cemento con puzolanas o como sustitución del contenido requerido de cemento en algún determinado tipo de concreto. (Figura 4.4) (J, 2010)



*Figura 4.4 Puzolana natural, 2021. (ARMISUM, 2022)*

Son materiales reactivos frente a la cal en las condiciones normales de utilización ordinaria de conglomerantes (morteros y concretos). No se consideran como puzolanas aquellos otros materiales inertes que, en determinadas condiciones extraordinarias de estado físico de división (elevada finura, gran superficie específica) o de reacción (tratamientos hidrotérmicos con vapor de agua a presiones y temperaturas elevadas), pueden dar lugar a compuestos hidráulicos. Así sucede, por ejemplo, con el cuarzo, que finamente molido y mezclado con cal forma silicatos cálcicos hidratados por tratamiento en autoclave. La reactividad de las puzolanas se atribuye, fundamentalmente en algunos casos, a la sílice activa que se encuentra en ellas formando compuestos mineralógicos silíceos. Las puzolanas, según su origen, se clasifican en dos grandes grupos el de las naturales y el de las artificiales, aunque puede existir un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales que se someten a tratamientos térmicos de activación, análogos a los que se aplican para obtener puzolanas artificiales, con objeto de incrementar su reacción hidráulica. (Figura 4.5) (J, 2010)

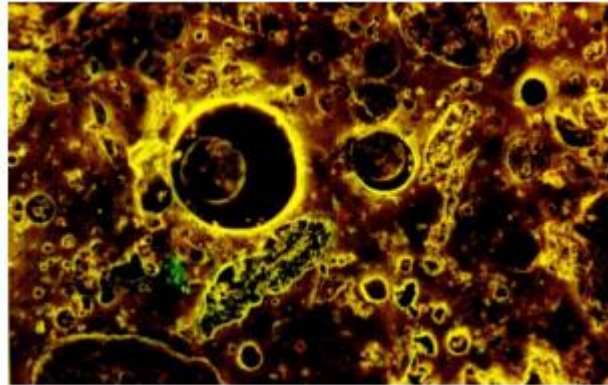


Figura 4.5 Estructura de la Pozzolana Natural, (J, 2010) 2021.

La actividad puzolánica se refiere a la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que la puzolana puede combinar y la velocidad con la cual ocurre esta reacción. (CATÁ, 2010)

Puzolana + Cal + Agua Silicatos  $\rightarrow$  Aluminatos de Calcio hidratados

La actividad puzolánica depende: de la naturaleza y proporción de las fases activas presentes en la puzolana (composición mineralógica), de la relación cal – puzolana de la mezcla, de la finura (o superficie específica) de la puzolana y de la temperatura de la reacción. Los productos de reacción puzolana/cal generalmente son del mismo tipo que los productos de hidratación del Cemento Pórtland: Silicatos Cálcicos Hidratados (CSH), Aluminatos Cálcicos Hidratados (CAH) y Sílico - Aluminatos Cálcicos Hidratados (CSAH). (CATÁ, 2010)

Estas puzolanas tratadas, aunque son naturales por origen, se pueden considerar como artificiales por causa del tratamiento que reciben. Podrían denominarse puzolanas mixtas o intermedias, por participar de los caracteres tanto de las naturales como de las artificiales. (CATÁ, 2010)

**Escoria de alto horno:** La escoria de alto horno granulada molida se obtiene enfriando la escoria de hierro fundido de un alto horno en agua o vapor, para producir un producto granular vítreo que luego se seca y se muele en un polvo fino. (Figura 4.6) (S/A, FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO, 2011)



Figura 4.6 Escoria de alto horno, (S/A, FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO, 2011).

La composición química de una escoria varía considerablemente según la composición de las materias primas en el proceso de producción de hierro. Las impurezas de silicato y aluminato del mineral y el coque se combinan en el alto horno con un fundente que reduce la viscosidad de la escoria. En el caso de la producción de arrabio, el fundente consiste principalmente en una mezcla de piedra caliza y forsterita o, en algunos casos, dolomita. En el alto horno, la escoria flota sobre el hierro y se decanta para su separación. El enfriamiento lento de la escoria fundida da como resultado un material cristalino no reactivo que consiste en un ensamblaje de silicatos de Ca, Al y Mg. Para obtener una buena reactividad o hidráulica de la escoria, la escoria fundida debe enfriarse rápidamente o apagarse por debajo de 800 °C para evitar la cristalización de merwinita y melilita. Para enfriar y fragmentar la escoria se puede aplicar un proceso de granulación en el que la escoria fundida se somete a chorros de agua o aire a presión. Alternativamente, en el proceso de granulación, la escoria líquida se enfría parcialmente con agua y posteriormente se proyecta al aire mediante un tambor giratorio. Para obtener una reactividad adecuada, los fragmentos obtenidos se muelen hasta alcanzar la misma finura que el cemento Portland. (S/A, FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO, 2011)

La composición química de la escoria fundida de alto horno depende de los minerales de hierro, de las cenizas del coque utilizado como combustible y de los óxidos fundentes empleados. La homogeneidad de la carga, así como la regularidad en la marcha de los hornos altos, contribuye a que las variaciones de la composición sean mínimas. (S/A, FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO, 2011)

Los principales componentes de la escoria son: CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S, FeO, MnO y K<sub>2</sub>O (S/A, FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO, 2011)

El uso de escoria de alto horno reduce significativamente el riesgo de daños causados por la reacción álcali-sílice (ASR), proporciona una mayor resistencia a la entrada de cloruro, lo que reduce el riesgo de corrosión del refuerzo, y proporciona

una mayor resistencia a los ataques de sulfatos y otros productos químicos. (Figura 4.7) (S/A, FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO, 2011)

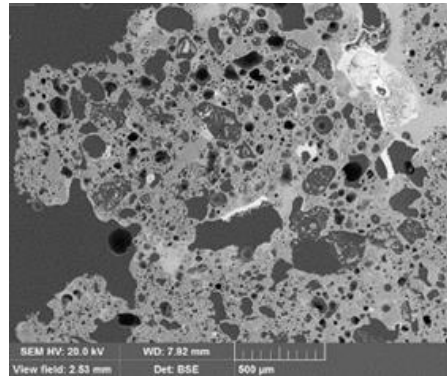


Figura 4.7 Estructura de la escoria de alto horno, (S/A, FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO, 2011) .

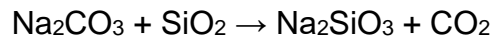
#### 4.7 Soluciones Alcalinas

**Silicato de sodio:** también conocido como vidrio soluble, es una sustancia inorgánica, de fórmula  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  que se encuentra en soluciones acuosas y también en forma sólida en muchos compuestos, entre ellos el cemento, impermeabilizadores, refractores, y procesos textiles. (Figura 4.8) (AMERICA, 2021)



Figura 4.8 Silicato de Sodio, (MANUFACTURAS SILICEAS S. A. S., 2022)

Se forma cuando el carbonato de sodio y el dióxido de silicio reaccionan formando silicato de sodio y dióxido de carbono: (Figura 4.9)



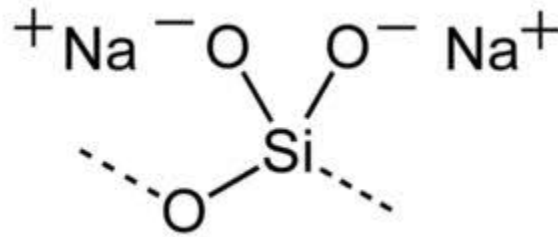


Figura 4.9 Estructura química del Silicato de Sodio (LABORATORIUM DISCOUNTER, 2021)

El silicato de sodio es un sólido blanco que se disuelve en el agua directamente, produciendo una solución alcalina. Es parte de un conjunto de compuestos relacionados que incluyen el ortosilicato de sodio,  $\text{Na}_4\text{SiO}_4$ ; piroxilicato de sodio,  $\text{Na}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ , y otros. Todos son vidriosos, sin color y solubles en agua. (MANUFACTURAS SILICEAS S. A. S., 2022)

El silicato de sodio es estable en soluciones neutras y alcalinas. En soluciones ácidas, el ion silicato reacciona con los iones de hidrógeno para formar ácido silícico, que al ser calentado y tostado forma gel de sílice, una sustancia dura y vidriosa. (Figura 4.10) (MANUFACTURAS SILICEAS S. A. S., 2022)



Figura 4.10 Silicato de Sodio en gel, 2021

Cuando los silicatos son combinados con ingredientes de cemento, reaccionan químicamente para formar masas con fuertes propiedades ligantes. Una gran variedad de cementos se hacen con silicatos, tanto en polvo como en solución. (MANUFACTURAS SILICEAS S. A. S., 2022) Los silicatos son ingredientes importantes en las especialidades refractarias autofraguantes y morteros químicamente resistentes. (Figura 4.11)

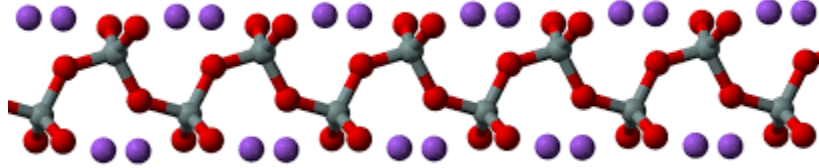


Figura 4.11 Estructura del Silicato de Sodio (*ceramica.fandom.com, 2021*)

## Hidróxido de sodio

Hidróxido sódico o hidrato de sodio, también conocido como sosa cáustica (en España y México) o soda cáustica (en casi toda Hispanoamérica), es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos y detergentes. Además, se utiliza en la industria petrolera en la elaboración de lodos de perforación base agua. A nivel doméstico, son reconocidas sus utilidades para desbloquear tuberías de desagües de cocinas y baños, fabricar jabón casero, entre otros. (Figura 4.12) (Siemens & Giauque, 1969)

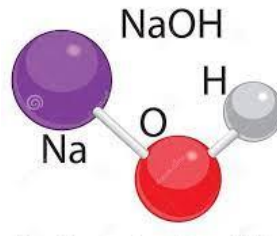


Figura 4.12 Estructura del Hidróxido de Sodio

A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50 %. (Figura 4.13) (Protank, 2018)



Figura 4.13 Hidróxido de Sodio. (*Caracteristicass.de, 2022*)



El NaOH reacciona con metales como Al, Zn y Sn, generando aniones como  $\text{AlO}_2^-$ ,  $\text{ZnO}_2^-$  y  $\text{SnO}_2^{2-}$  e hidrógeno. Con los óxidos de estos metales, forma esos mismos aniones y agua. Con cinc metálico, además, hay ignición. (Siemens & Giauque, 1969)

Con todo lo anterior descrito se pueden generar criterios de selección para el geopolímero a emplear y hacer la propuesta de selección de este. (Siemens & Giauque, 1969)

En el siguiente capítulo se abordarán estos criterios y la elección del geopolímero, así como las propiedades que deberá conferir a las fibras de bagazo para poder generar materiales de acabados para la construcción.





## Capítulo 5 Propuesta de elaboración de láminas con geopolímero y las fibras de bagazo de agave tequilana weber.

### 5.1 Criterios de selección del geopolímero

- Propiedades

A manera de repaso rápido algunas propiedades que ofrecen los geopolímeros son las siguientes:

- Elasticidad
- Reflectante
- Resistencia
- Dureza
- Fragilidad
- Opacidad, transparencia o translucidez
- Maleabilidad
- Aislante

De la lista de propiedades anterior se buscan resistencia, dureza, maleabilidad y que sea aislante térmico e impermeables, además de por ser un acabado se busca también que las propiedades estéticas cumplan con la cualidad de que sea “agradable a la vista”, con poca opacidad, transparencia o translucidez, para mantener una única estética aparente, ya que algunos sistemas de techos son sólo hechos a base de baldosas o losetas y podrían no fungir como como un acabado únicamente.

Por ende, los polímeros propuestos son los que por su clasificación provienen de la creación humana, es decir, los polímeros sintéticos, más específicamente los hechos a base de aluminosilicatos y solución alcalina de monómeros inorgánicos, que su vez, en su clasificación, contiene una subclasificación que son los creados a base de escoria de alto horno granulada y silicato de sodio para tener los aluminosilicatos necesarios, que cumplan con los parámetros mencionados en las normas ASTM de los Estados Unidos Americanos para acabados de loseta, baldosas y láminas.

- Proporción

Para lo anterior descrito, este trabajo pretende apoyarse en una investigación realizada por la Universidad de Ecuador (A. PALOMO, 2004) donde se señala la



proporción con estos mismos aluminosilicatos y se encuentra la relación en la proporción que cumple con los parámetros de resistencia.

A continuación, se presenta dicha proporción.

En los trabajos de investigación de la misma temática sólo que para otro tipo de productos la relación recomendada es 4:1 donde se tienen 4 partes del cementante, por una del soluto, eso otorga por ejemplo en los ladrillos de dicha investigación la resistencia y manejabilidad con las fibras naturales de diversa índole al cumplir con lo establecido con la relación de aluminosilicatos de 20:1 < Si-Al < 35:1 en silicio-aluminio, para el caso de estudio propuesto en este trabajo se considera la misma relación, ya que en términos de materia orgánica las fibras contienen una proporción de compuestos parecida a las de las fibras de bagazo tequilana weber, por lo que se concluye que dicha relación puede funcionar de manera similar a pesar de tratarse de fibras naturales de otra especie de planta, y eso otorgará las características de dureza y resistencia buscada para el tipo de material que se propone en este trabajo. (A. PALOMO, 2004)

- Costo

El costo por unidad de escoria de alto horno granulada varía de acuerdo con el proveedor, pero suele encontrarse en el mercado entre 28 y 32 USD por tonelada mientras que la solución del silicato de sodio suele estar entre los 50 y 60 UDS por cubeta de 20 litros. A la fecha de este trabajo.

Considerando el costo propuesto se obtiene una relación de 0.0032USD/Kg de escoria de alto horno, mientras que por litro de la solución de silicato de sodio es de 3.00 UDS/L

## 5.2 Criterios de selección de las fibras de bagazo

### Proceso de elaboración de las fibras naturales

A través de la historia humana se han fabricado cuerdas a partir de fibras naturales, dichas cuerdas son conformadas por hebras que proceden de las fibras naturales que se unen para conformar una composición de entretejido de hebras cada vez más gruesas esto conlleva a que de las fibras naturales se creen pequeños filamentos que se hacen cada vez más gruesos y al final se generen cuerdas con características definidas de acuerdo con la utilidad o campo que se les vaya a emplear. (HILADOS DONADO, 2019)

Primero se deberá limpiar el residuo para quitar el excedente de tierra e imperfecciones en el bagazo residual del proceso de destilación del agave tequilana weber. (Documental cordeleros, 1996)

La forma de la limpieza es discretizar o separar las fibras de bagazo de todo residuo que no sea fibra. (Documental cordeleros, 1996)

La manera de discretizar las fibras de los elementos que no son fibras y de las fibras que podrían romperse durante el proceso o que podrían incluso generar una mala fabricación de las características físico mecánicas es pasar las fibras de bagazo extraídas después de todo el proceso de destilación del agave por un rastrillo Figura 5.1 acción que garantiza la calidad de las fibras de bagazo que se utilizan para el proceso de la creación de las hebras además de la separación de los elementos residuales no necesarios. (Documental cordeleros, 1996)



*Figura 5.1 separación de las cuerdas. (documental de cordelero, 1996)*

Es importante en este proceso no utilizar algún agente que cambie las características químicas de las fibras extraídas porque esto afectará el comportamiento de los enlaces de aluminosilicatos para formar el geopolímero.

Después de la limpieza y separación de las fibras se pueden utilizar herramientas antiguas como las ruecas o hiladoras para generar los filamentos e hilos que compondrán las características físicas del bagazo del agave.

- Largo

De acuerdo con el reglamento ASTM de los Estados Unidos Americanos en su apartado para la resistencia de losetas, baldosas y lámina, (ASTM, C486 American National Standard Specifications for Ceramic Tile, 2019) la longitud para ser considerada una loseta debe ser 0.25 m x 0.25 m x 0.01 m para ser considerada una loseta pequeña, por lo que las fibras deberán tener una longitud mínima de 0.25 m. Este tamaño puede aumentarse de acuerdo con los tamaños más comunes comerciales para que se adapten a las necesidades de los diferentes espacios solicitados. (Figura 5.2).

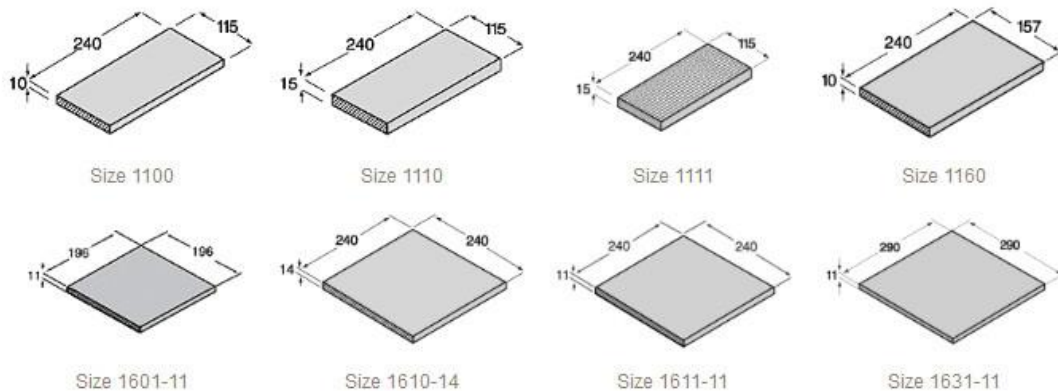


Figura 5.2 Dimensiones de las láminas, ASTM, 2019.

- Diámetro

El diámetro recomendado en otros trabajos (Serrano 2019) es de 1.5 a 2 mm de diámetro por hebra para que mecánicamente en condiciones Húmedas mantengan la suficiente resistencia para no quebrarse en el proceso de elaboración e integración en la loseta.

Esto da una cantidad de fibras mínima necesarias para la elaboración de la loseta, lo que a su vez permite calcular la cantidad necesaria de volumen en del material necesario.

$$\frac{0.025[m]}{0.002} = 125 \text{ hebras necesarias por lado, en forma de parrilla cuadrada}$$

Lo que a su vez permite calcular, la cantidad de volumen necesario del geopolímero para la elaboración de una loseta, que, en una loseta de 25cm por lado sería:



$125 \text{ hebras necesarias por lado} * 2 \text{ lados} = 250 \text{ hebras necesarias por loseta}$

- Separación

Ahora bien, para la separación entre fibras, de acuerdo a lo propuesto en la investigación de la Universidad Politécnica De Valencia en el que se realizó un trabajo de la misma índole, pero tratándose de fibras de diferentes plantas lo que se recomienda en dicha investigación es una separación entre fibras de 1 cm a 2 cm, en su caso para obtener la resistencia y dureza adecuada en la elaboración de ladrillos con fibras naturales, por lo cual la separación propuesta en este trabajo es de 1.5 cm entre las fibras de la parrilla para obtener una resistencia similar de la mezcla con el geopolímero de silicato de sodio y escoria de alto horno con las fibras de bagazo de agave tequilana weber, que, dicho sea de paso tiene una composición química similar a las utilizadas en dicha investigación aproximadamente el 58% de celulosa/lignocelulosa que es el compuesto químico necesario para la generación de la reacción química con los aluminosilicatos y el geopolímero, esto garantiza, que la mezcla contenga propiedades de dureza y resistencia similar, pero, que su manejabilidad y flexibilidad se mantenga a la utilizada en otras investigaciones para el desarrollo de materiales para la construcción. (SENDRA, 2020)

### 5.3 Condiciones iniciales para trabajar las fibras de bagazo

- Temperatura

La temperatura de las fibras de bagazo debe ser entre 15°C y 22°C para que sean manejables sin la necesidad de otro proceso y conserven la humedad necesaria para no romperse, así mismo para que conserven las características físicas a la hora del secado entre el cementante y el solvente, generando las propiedades especificadas al inicio del capítulo. (SENDRA, 2020).

- Humedad

El contenido de agua según trabajos similares para tratar con fibras naturales debe ser de entre 30 y el 40% para la manejabilidad y la correcta relación de temperatura con el polímero. (SENDRA, 2020)

### 5.4 Cálculo del volumen necesario para los acabados de fibras

Del volumen necesario para la proporción del geopolímero se tiene que al conservar la proporción de mezclado por cada litro empleado de silicato de sodio se ocuparán 4 litros de escoria de alto horno, lo que considerando la densidad de la escoria de alto horno (2.38 kg/L), en peso se ve reflejado como que por cada litro de silicato de sodio se ocuparían cerca de 9.52 kilogramos de escoria de alto horno. (A. PALOMO, 2004)



Lo anterior descrito sería únicamente para los aluminosilicatos y el soluto, mientras que, de fibras naturales, la misma investigación de la Universidad De Ecuador, propone una relación cercana a los 1.38 kg/L de soluto, lo que en este trabajo se propondrá igual, para obtener características similares a las empleadas con su mezcla tanto en consistencia, como en resistencia mecánica a los esfuerzos y deformaciones a los que pueda ser sometido el bloque de loseta. Cabe aclarar que la resistencia y deformaciones dependen también de la geometría del elemento a estudiar por lo que se abordará este apartado en el final de este mismo capítulo.

Con lo anterior descrito el volumen de material para la creación de la propuesta de loseta es:

*Cantidad de fibras naturales \* cantidad de litros necesarios de soluto  
+ cantidad de aluminosilicato →*

$$1.38 \frac{kg}{L} * 4L + 9.52 kg = 14.52kg$$

Si se considera el volumen necesario para una loseta es de 0.25 m \*0.25 m\* 0.01 m (0.000625 m<sup>3</sup>) obtenemos una cantidad de material mínima necesaria para la elaboración de una loseta  $14.52 \text{ kg}/(0.000625 \text{ m}^3) = 2.3232 \text{ kg}$  de la mezcla de aluminosilicatos, el geopolímero y las fibras.

### 5.5 Parámetros de funcionalidad

- Resistencia

De acuerdo con las normas ASTM de los Estados Unidos de América En su apartado para baldosa, losetas y láminas la cantidad de resistencia mecánica mínima es: Figura 5.3

Tabla 6 Pruebas en mosaicos				
Para medidas estandar			Para medidas recortadas	
Propiedades	Minimos	Maximos	Minimos	Maximos
Tamaño nominal (ASTM C499)	-10.00%	10.00%	-10.00%	10.00%
Variación de calibre (variación de la dimensión frontal promedio, probada por ASTM C499)	-5.00%	5.00%	-5.00%	5.00%
Deformación de Borde (ASTM C485)	-1.00%	1.00%	-1.00%	1.00%
Deformación Diagonal (ASTM C485)	-0.75%	0.75%	-0.75%	0.75%
Acuñamiento (ASTM C502)	-2.00%	2.00%	-2.00%	2.00%
Torción de azulejos montados (sección 9.5)	rango de separacion individual <30%			
Juntas estrechas y anchas (sección 9.5)	El promedio de la separacion deberia de ser +/- 25% de el promedio de			
Espesor (ASTM C499)	N/A	0.030in (0.76mm)	N/A	0.040in (1.02mm)
Resistencia a la Abrasión visible (ASTM C1027)	Como se observe	Como se observe	Como se observe	Como se observe
Profundidad de Abrasión (ASTM C1243)	N/A	ver tabla 11	N/A	N/A
Fuerza de unión (ASTM C482)	>=50psi		>=50psi	
Absorción de agua (ASTM C373)	Según el tipo	Según el tipo	Según el tipo	Según el tipo
Uniformidad de color (ASTM C609 y sección 9.3)	N/A	3.0 Judds	N/A	3.0 Judds
Resistencia al Agrietamiento (ASTM C424)	N/A		N/A	
Choque Térmico (ASTM C484)	N/A		N/A	
Resistencia Química (ASTM C650)	Como se observe	Como se observe	Como se observe	Como se observe
SCOF (ASTM C1028)	Como se observe	Como se observe	N/A	N/A
Resistencia a Mancharse (ASTM C1378)	Como se observe	Como se observe	Como se observe	Como se observe
Rsistencia al rompimiento (C648)	promedio >=250lbf individual >=225lbf		N/A	N/A
Resistencia a los ciclos de calor/congelamiento (ASTM C1026)	Como se observe	Como se observe	Como se observe	Como se observe

Figura 5.3 Tabla 6 “mosaicos”, ASTM C4648, 2021.

En un ensayo del material con características similares al propuesto en este trabajo se hicieron pruebas de resistencia mecánica, dichos resultados se anexan a continuación: (figura 5.2) (A. PALOMO, 2004)

Esfuerzo máximo fibra con resina	261,06	317,70	MPa
	47,65	27,80	Desv. Estándar
	18,25	8,75	% Coef Variación
Deformación Unitaria Máxima	0,02	0,04	mm/mm
	0,007	0,01	Desv. Estándar
	29,09	23,86	% Coef Variación
Módulo de elasticidad	12338,77	7990,64	MPa
	4303,55	2305,43	Desv. Estándar
	34,88	28,85	% Coef Variación

Figura 5.2 Pruebas mecánicas de resistencia en láminas con fibras de caña de azúcar, universidad de Ecuador (A. PALOMO, 2004)

Por lo que se concluye que pasa la resistencia solicitada ya que debe ser mayor a 250 lbf y dicho material lo soporta.



## 5.6 Manejabilidad del material

- La manejabilidad es alta, ya que al ser un compuesto similar a lo que se obtiene con el concreto convencional, en estado hidratado, se forma una pasta capaz de adecuarse de manera relativamente fácil comparándola con otros compuestos pastosos cuyas características son similares y hacen que sea sencillo de manejar como por ejemplo el yeso o el mortero. (A. PALOMO, 2004)

Además, las fibras se convirtieron en hilos finos lo que hace que su manejabilidad sea alta al no poseer resistencia a la deformación, consiguiendo cierta flexibilidad y resistencia a la tensión en el proceso de hilado similar a lo que pasa con las cuerdas. (A. PALOMO, 2004)





## Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones

Se propuso el uso de la fibra de bagazo del agave para la elaboración de láminas de diferentes dimensiones para generar materiales de acabados en la construcción con ayuda de un geopolímero hecho a base de Escoria de alto horno como cementante y silicato de sodio en manera de aglutinante.

Se realizó una investigación bibliográfica en medios electrónicos sobre los materiales en acabados de la construcción, encontrándose que hay diferentes maneras de hacer acabados para la construcción varias clasificaciones que van desde la forma del acabado hasta los materiales que los constituyen y centrando la atención en el tema de este trabajo, se encontró la manera en que se elaboran de forma industrial y de forma artesanal las baldosas, losetas y láminas.

De igual manera se realizó la investigación bibliográfica sobre geopolímeros y su uso con residuos de fibras naturales para la elaboración de materiales en acabados en la construcción, encontrando que dependiendo de la cantidad de celulosa en las fibras naturales influye en el comportamiento para la integración de la mezcla con el geopolímero.

Así mismo, los geopolímeros abren un camino hacia el desarrollo de nuevos materiales para diferentes usos en diversos campos que, en un principio, podrían no tener relación, como en este trabajo, fibras naturales que son catalogadas como un residuo en una industria que se convierte en materiales constructivos y una clara referencia a la popular ley de conservación de la materia “la materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma”.

Por otro lado, se realizó una investigación sobre las propiedades normativas de los materiales para acabados en la construcción. Encontrándose que actualmente las normativas del país son basadas en normas de otros países, no son propias, y que hay un campo de investigación para elaborar una normatividad de los materiales que se generan a partir de residuos y no, propiamente, de la industria de origen. Además, las normas actuales están escritas principalmente concentrándose en la mecánica física y química de los materiales que podría no ser aplicable a materiales



con composiciones y propiedades diferentes, así mismo, no hay una regulación que garantice la seguridad de la población con los materiales generados con otros materiales que no sean los habituales, y, con esto, sólo garantizan la calidad de los mismos en términos mecánicos y químicos, más no en factor de riesgo de uso tal como ha pasado con otros materiales como el asbesto.

Finalmente, luego de la investigación realizada se determinaron las características de la composición de la mezcla con el uso de la fibra de bagazo de agave y se propusieron las condiciones en las que con ayuda de un geopolímero se pueden emplear en la creación de láminas para diversos usos en los acabados de la construcción.



## Referencias Bibliográficas.

- 123RF. (2022). *ES.123RF.COM*. OBTENIDO DE [HTTPS://ES.123RF.COM/PHOTO\\_14410083\\_SECADO-DE-MOLDES-DE-ARCILLA-EN-EL-PROCESO-DE-FABRICACI%C3%B3N-DE-LADRILLOS.HTML](https://es.123rf.com/photo_14410083_secado-de-moldes-de-arcilla-en-el-proceso-de-fabricaci%C3%B3n-de-ladrillos.html)
- A. PALOMO, A. F.-J. (2004). GEOPOLIMEROS: UNA ÚNICA BASE QUÍMICA Y DIFERENTES MICROESTRUCTURAS. *INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA (CISC)*, 1-16.
- A.G, C. L. (1987). POLYFELT. *DISEÑO Y PRÁCTICA*.
- ACABADOS DEL PACÍFICO. (10 DE OCTUBRE DE 2022). *ACABADOSDELPACIFICO.COM*. OBTENIDO DE [HTTPS://ACABADOSDELPACIFICO.COM/PRODUCTO/BRICKETE/](https://acabadosdelpacifico.com/producto/brickete/)
- ACERO MUNDO. (2022). *ACEROMUNDO.COM.MX*. OBTENIDO DE PERFIL DE LÁMINA: [HTTPS://ACEROMUNDO.COM.MX/PERFIL-DE-LAMINA/](https://aceromundo.com.mx/perfil-de-lamina/)
- AJEDREA COSMÉTICA ECOLÓGICA. (03 DE MARZO DE 2016). [HTTPS://WWW.AJEDREA.COM/](https://www.ajedrea.com/). OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.AJEDREA.COM/BLOG/233-LAS-ARCILLAS-EN-COSMETICA-NATURAL-TIPOS-Y-APLICACIONES](https://www.ajedrea.com/blog/233-las-arcillas-en-cosmetica-natural-tipos-y-aplicaciones)
- ALBAN, F. (1999). *MATERIALES POLIMERICOS (2ª EDICIÓN)*. SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA: SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA.
- ALLCOCK H.R., L. F. (2003). *CONTEMPORARY POLYMER CHEMISTRY*. PEARSON PRENTICE-HALL.
- ALONSO M, S. L. (1997). CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DEL BAGAZO DEL TEQUILA "AGAVE TEQUILANA WEBER" DE LA INDUSTRIA DEL TEQUILA. *REVISTA CHAPINGO SERIE HORNICULTURA*, 32-39.
- ÁLVAREZ, D. O. (10 DE 10 DE 2021). *CONCEPTO*. OBTENIDO DE ETECÉ: [HTTPS://CONCEPTO.DE/POLIMEROS/](https://concepto.de/polimeros/)
- ÁLVAREZ, D. O. (15 DE JULIO DE 2021). *CONCEPTO.DE*. OBTENIDO DE POLIMEROS: [HTTPS://CONCEPTO.DE/POLIMEROS/](https://concepto.de/polimeros/).
- AMERICA, T. U. (2021). *NATIONAL INSTITUTE OF STANDARS AND TECHNOLOGY*. OBTENIDO DE US DEPARTAMENT OF COMMERCE: [HTTPS://WEBBOOK.NIST.GOV/CGI/CBOOK.CGI?ID=6834-92-0](https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?id=6834-92-0)
- ARMISUM. (8 DE 10 DE 2022). *ARMISUM*. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.ARMISUM.COM/FICHA.ASP?ID=6219](http://www.armisum.com/ficha.asp?id=6219)
- ASTM. (2019). *C486 AMERICAN NATIONAL STANDARD SPECIFICATIONS FOR CERAMIC TILE*. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, INC. (ANSI).
- ASTM. (23 DE JULY DE 2021). ASTM 2240 . *STANDARD TEST METHOD FOR RUBBER PROPERTY—DUROMETER HARDNESS*. ASTM.
- ASTM. (2021). ASTM D790. *ASTM*.



- BAUTISTA-JUSTO M., L. G.-O.-C.-N. (2001). EL AGAVE TEQUILANA WEBER Y LA PRODUCCIÓN DE TEQUILA. *ACTA UNIVERSITARIA VOL. 11 NO. 2*, 26-34.
- BIZPREN . (25 DE NOVIEMBRE DE 2022). [HTTP://BIZPREN.COM/](http://bizpren.com/). OBTENIDO DE [HTTP://BIZPREN.COM/AZULEJOS-VIA-SECA/3-B.HTML](http://bizpren.com/azulejos-via-seca/3-b.html): [HTTP://BIZPREN.COM/AZULEJOS-VIA-SECA/3-B.HTML](http://bizpren.com/azulejos-via-seca/3-b.html)
- CARACTERISTICASS.DE. (8 DE 10 DE 2022). *CARACTERISTICASS.DE*. OBTENIDO DE [CARACTERISTICASS.DE/HIDROXIDO-DE-SODIO](https://www.caracteristicass.de/hidroxido-de-sodio/): [HTTPS://WWW.CARACTERISTICASS.DE/HIDROXIDO-DE-SODIO/](https://www.caracteristicass.de/hidroxido-de-sodio/)
- CATÁ, J. A. (2010). ANGEL ERNESTO SUÁREZ AVILA, MARCELO PAUL URGILES CABRERA. *CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA VOLCÁNICA DEL TUNGURAHUA PARA LA*. ECUADOR: UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- CERAMICA OROPESA. (2022). [WWW.CERAMICAOROPESA.ES](http://www.ceramicaoropesa.es). OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.CERAMICAOROPESA.ES/BALDOSAS-DE-BARRO-COCIDO-FABRICACION-ARTESANAL-Y-DISENO-PERSONALIZADO/](https://www.ceramicaoropesa.es/baldosas-de-barro-cocido-fabricacion-artesanal-y-diseno-personalizado/)
- CERAMICA.FANDOM.COM. (10 DE 10 DE 2021). *CERAMICA.FANDOM.COM*. OBTENIDO DE [HTTPS://CERAMICA.FANDOM.COM/WIKI/SILICATO\\_S%C3%B3DICO](https://ceramica.fandom.com/wiki/Silicato_S%C3%B3dico)
- CONSEJO REGULADOR DEL TEQUILA . (26 DE 10 DE 2022). OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.CRT.ORG.MX/ESTADISTICASCRTWEB/](https://www.crt.org.mx/estadisticascrtweb/)
- CONSTRUMATICA. (2021). [HTTPS://WWW.CONSTRUMATICA.COM/](https://www.construmatica.com/). OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.CONSTRUMATICA.COM/CONSTRUPEDIA/INDEX.PHP?TITLE=RESISTENCIA\\_MEC%C3%A1NICA\\_DE\\_LAS\\_BALDOSAS&MOBILEACTION=TOGGLE\\_VIEW\\_DESKTOP](https://www.construmatica.com/construpedia/index.php?title=Resistencia_mec%C3%A1nica_de_las_baldosas&mobileaction=toggle_view_desktop)
- DAVIDOVITS, J. (1982). *MINERAL POLYMERS AND METHODS OF MAKING THEM*.
- DAVIDOVITS, J. (1991). GEOPOLYMERS - INORGANIC POLYMERIC NEW MATERIALS. *JOURNAL OF THERMAL ANALYSIS*, 37, 1633–1656.
- DAVIDOVITS, J. (2008). *GEOPOLYMER, CHEMISTRY AND APPLICATIONS*. SAINT-QUENTIN: INSTITUT GÉOPOLYMÈRE.
- DOCUMENTAL CORDELEROS* (1996). [PELÍCULA].
- ELOY ASENSIO DE LUCAS, C. M. (2016). CLAY-BASED CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE AS A POZZOLANIC ADDITION IN BLENDED CEMENTS. EFFECT ON SULFATE RESISTANCE. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, VOLUME 127*, 950-958.
- EUROLAB LABORATORY SERVICES. (2022). [WWW.LABORATUAR.COM](http://www.laboratuar.com). OBTENIDO DE PRUEBAS ASTM: [HTTPS://WWW.LABORATUAR.COM/ES/TESTLER/ASTM-TESTLERI/ASTM-D2794-TESTI/](https://www.laboratuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-d2794-testi/)
- FRIED, J. R. (2003). *CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE POLÍMEROS*. PRENTICE-HALL.



G&G. (15 DE FEBRERO DE 2022). G&G. OBTENIDO DE GEOYGEO:  
[HTTPS://WWW.GEOYGEO.COM/PRODUCTOS/GEOTEXTIL-NO-TEJIDO/?GCLID=CJWKCAIA7IGCBHA8EIWAFFUDSEWYEXFC8SAKHNGWNRCJ07FJ3X8SKKNB9E9WKGSAMI6BTOKTSFFMHOC5KQAVD\\_BWE](https://www.geoygeo.com/productos/geotextil-no-tejido/?gclid=CJWKCAIA7IGCBHA8EIWAFFUDSEWYEXFC8SAKHNGWNRCJ07FJ3X8SKKNB9E9WKGSAMI6BTOKTSFFMHOC5KQAVD_BWE)

GEOTEXAN GEOSINTÉTICOS DE ALTA CALIDAD. (16 DE FEBRERO DE 2022). *GEOTEXAN.COM*. OBTENIDO DE FABRICACIÓN DEL GEOTEXTIL MATERIALES Y MÉTODOS:  
[HTTPS://GEOTEXAN.COM/FABRICACION-DEL-GEOTEXTIL-MATERIALES-Y-METODOS/#:~:TEXT=AGUJA%20DE%20PERFORACI%C3%B3N.,LAS%20FIBRAS%20SE%20ENREDAN%20MEC%C3%A1NICAMENTE.&TEXT=ENFUNDADOS%20CON%20UN%20POL%C3%ADMERO%20QUE%20TIENE%20UN%20PUNTO%20DE%20FUSI%C3%B3N%20INFERI](https://geotexan.com/fabricacion-del-geotextil-materiales-y-metodos/#:~:text=AGUJA%20DE%20PERFORACI%C3%B3N.,LAS%20FIBRAS%20SE%20ENREDAN%20MEC%C3%A1NICAMENTE.&text=enfundados%20con%20un%20pol%C3%admerno%20que%20tiene%20un%20punto%20de%20fusi%C3%B3n%20inferi)

GERARDO, P. B. (2016). TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE AGAVE DE LA INDUSTRIA TEQUILERA MEDIANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA CON OZONO PARA ELABORAR PASTA DE PAPEL. *TÉSIS*. CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA.

GILBERTO IÑIGUEZ, N. A. (2005). UTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA TEQUILERA. PARTE 7. COMPOSTAJE DE BAGAZO DE AGAVE Y VINAZAS TEQUILERAS. *INT. CONTAM. AMBIENT.* 21, 37-50.

GOBIERNO DE ESPAÑA. (2010). NORMATIVA EHE. EN G. D. ESPAÑA, *NORMATIVA EHE* (PÁGS. ART 30, 110). CENTRO DE PUBLICACIONES SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA MINISTERIO DE FOMENTO.

GONZÁLEZ GARCÍA, Y., GONZÁLEZ REYNOSO, O., & NUNGARAY ARELLANO, J. (2005). POTENCIAL DEL BAGAZO DE AGAVE TEQUILERO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPOLÍMEROS Y CARBOHIDRASAS POR. *E-GNOSIS*, VOL.3, ART.14.

GONZÁLEZ., D. G. (2022). *GEOPOLÍMEROS Y SUS APLICACIONES*. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA.

GONZÁLEZ., G. M. (06 ABRIL 2022). GEOPOLÍMEROS Y SUS APLICACIONES. *TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA*, [HTTPS://CELAYA.TECNM.MX/GEOPOLIMEROS-Y-SUS-APLICACIONES/#:~:TEXT=UN%20GEOPOL%C3%ADMERO%20SE%20DEFINE%20COMO,%E2%80%9CY%20%E2%80%9CPOL%C3%ADMEROS%20INORG%C3%A1NICOS%E2%80%9D](https://celaya.tecnm.mx/geopolimeros-y-sus-aplicaciones/#:~:text=UN%20GEOPOL%C3%ADMERO%20SE%20DEFINE%20COMO,%E2%80%9CY%20%E2%80%9CPOL%C3%ADMEROS%20INORG%C3%A1NICOS%E2%80%9D).

HAO WU, C. Y. (2020). REVIEW OF APPLICATION AND INNOVATION OF GEOTEXTILES IN GEOTECHNICAL ENGINEERING. *MATERIALS*, 1-21.

HATSCHEK, L. (1901). *AUTRIA-HUNGRÍA PATENTE Nº US769078A*.

HILADOS DONADO. (2019). *HILADOS DONADO*. OBTENIDO DE DESDE 1942:  
[HTTPS://WWW.HILADONADO.COM/LA-HISTORIA-DE-LA-CUERDA/](https://www.hiladonado.com/la-historia-de-la-cuerda/)

HUAQUISTO CÁCERES, S., & BELIZARIO QUISPE, G. (2018). UTILIZACIÓN DE LA CENIZA VOLANTE EN LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO COMO SUSTITUTO DEL CEMENTO. *REVISTA DE INVESTIGACIÓN ALTOANDIN*, 20(2), 225-234.



- IÑIGUEZ, G. R. (2001). UTILIZATION OF BY-PRODUCTS FROM THE TEQUILA INDUSTRY. PART 2: POTENTIAL VALUE OF AGAVE TEQUILANA WEBER AZUL LEAVES. *BIORESOURCE TECHNOLOGY*, 77, 101-108.
- J., A. S. (2010). *INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE LAS PUZOLANAS*. S/E.
- J. A. CANUL, E. I.-R. (2016). EFECTO DE LA CENIZA VOLANTE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONCRETOS HECHOS CON AGREGADO CALIZO TRITURADO DE ALTA ABSORCIÓN. *REVISTA ALCONPAT*, 235 – 247.
- J., A. S. (2021). FICHA TECNICA DE LA PUZOLANA. 1-9.
- LABORATORIUM DISCOUNTER. (10 DE 10 DE 2021). *LABORATORIUMDISCOUNTER*. OBTENIDO DE 2022: [HTTPS://WWW.LABORATORIUMDISCOUNTER.NL/ES/QUIMICOS/A-Z/N/SILICATO-DE-SODIO/](https://www.laboratoriumdiscounter.nl/es/quimicos/a-z/n/silicato-de-sodio/)
- LEROY MERLIN . (2020). *CORPORATIVO LEROYMERLIN.ES*. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.LEROYMERLIN.ES/HAZLO-TU-MISMO/CONSEJOS/COMO-SE-FABRICA-LA-CERAMICA#:~:TEXT=LAS%20PIEZAS%20DE%20CER%3%A1MICA%20SE,LA%20DUREZA%20Y%20ESTABILIDAD%20NECESARIAS](https://www.leroymerlin.es/HAZLO-TU-MISMO/CONSEJOS/COMO-SE-FABRICA-LA-CERAMICA#:~:TEXT=LAS%20PIEZAS%20DE%20CER%3%A1MICA%20SE,LA%20DUREZA%20Y%20ESTABILIDAD%20NECESARIAS).
- LIROLA, C. (04 DE SEPTIEMBRE DE 2020). *AUTOPROMOTORES*. OBTENIDO DE [AUTOPROMOTORES.COM/ACABADOS-Y-REVESTIMIENTOS/](https://www.autopromotores.com/acabados-y-revestimientos/): [HTTPS://WWW.AUTOPROMOTORES.COM/ACABADOS-Y-REVESTIMIENTOS/](https://www.autopromotores.com/acabados-y-revestimientos/)
- LIZARAZO-MARRIAGA, J., GARCÍA, F., & HIGUERA, C. (2015). *ACTIVACIÓN DE LAS PROPIEDADES CEMENTICIAS DE LA CENIZA VOLANTE*. BOGOTÁ D.C., COLOMBIA: REV. LATINAM. METAL. MAT. .
- M. TORRES-CARRASCO, F. P. (2017). LA ACTIVACIÓN ALCALINA DE DIFERENTES ALUMINOSILICATOS COMO UNA ALTERNATIVA AL CEMENTO PORTLAND: CEMENTOS ACTIVADOS ALCALINAMENTE O GEOPOLÍMEROS. *INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN RIC VOL. 32 NO.2*, 5-12.
- M., C. C. (1995). TEQUILA PRODUCTION. *CRITICAL REVIEWS IN BIOTECHNOLOGY 15(1)*, 1-11.
- MANUFACTURAS SILICEAS S. A. S. (31 DE 09 DE 2022). *SILICEAS.COM*. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.SILICEAS.COM/NODE/7](http://www.siliceas.com/node/7)
- MARCOS R. CRESPO GONZÁLEZ, D. R. (2013). EVALUACIÓN DE LA COMPOSTA DE BAGAZO DE AGAVE COMO COMPONENTE DE SUSTRATOS PARA PRODUCIR PLÁNTULAS DE AGAVE AZUL TEQUILERO. *REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS VOL.4 NÚM.8*, 1161-1173.
- MARCOS R. CRESPO GONZÁLEZ1, D. R. (2013). EVALUACIÓN DE LA COMPOSTA DE BAGAZO DE AGAVE COMO COMPONENTE. *REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS VOL.4*, 1161-1173.
- MASSIEU, W. (2008). *ACABADOS EN LA CONSTRUCCIÓN*. CIUDAD DE MÉXICO.



METAPANEL. (15 DE 10 DE 2020).  
[HTTP://WWW.METAPANEL.COM.MX/COMERCIAL/MATERIALES/LAMINAS-ACANALADAS-METALICAS-Y-LISOS/](http://www.metalpanel.com.mx/comercial/materiales/laminas-acanaladas-metalicas-y-lisos/). OBTENIDO DE METAPANEL.COM.MX:  
[HTTP://WWW.METAPANEL.COM.MX/COMERCIAL/MATERIALES/LAMINAS-ACANALADAS-METALICAS-Y-LISOS/](http://www.metalpanel.com.mx/comercial/materiales/laminas-acanaladas-metalicas-y-lisos/)

MIRAVETE, A. (1995). LO NUEVO EN MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN . EN A. MIRAVETE, *LO NUEVO EN MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN* (PÁG. TODO). BARCELONA: REVERTÉ, S. A. .

MORALES, C. Z. (2010). GEOTEXTILES SUBDRENAJE Y BIOINGENIERÍA. *UNIVERSIDAD DE LOS ANDES*, 2-28.

MORENO BARSALLO, D. E., & RODAS SERRANO, V. E. (2017). *REFORZAMIENTO DE COLUMNAS DE LADRILLO TRABADO CON MATERIALES COMPUESTOS FRCM A BASE DE FIBRAS DE SISAL (CABUYA)*. RIOBAMBA – ECUADOR: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.

P., M. S. (16 DE ABRIL DE 2014). LOS SEIS PASOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOSETAS, SEGÚN CELIMA. *EL COMERCIO*, PÁGS. [HTTPS://ELCOMERCIO.PE/ECONOMIA/PERU/SEIS-PASOS-ELABORACION-LOSETAS-CELIMA-169163-NOTICIA/](https://elcomercio.pe/economia/peru/seis-pasos-elaboracion-losetas-celima-169163-noticia/).

PASTORA DE LA CONCEPCIÓN MARTINEZ NODAL, I. R. (2014). CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO BIOSORBENTE DE HIDROCARBUROS. *AFINIDAD LXXI*, 57-62.

PROTANK. (2018). TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDRÓXIDO DE SODIO Y ESPECIFICACIONES.

R., R. M. (2004). DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS ORGÁNICOS A PARTIR DE BAGAZO DE AGAVE TEQUILERO. *TESIS DE DOCTORADO EN CIENCIAS*. MONTECILLO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO: COLEGIO DE POSTGRADUADOS EN CIENCIAS AGRÍCOLAS.

RODRÍGUEZ S., L. Y. (2016). APLICACIONES DE MEZCLAS DE BIOPOLÍMEROS Y POLÍMEROS SINTÉTICOS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA. *REVISTA CIENTÍFICA*,(25), 252-264. DOI:10.14483/UDISTRITAL.JOUR.RC.2016.25.A9

ROUX GUTÉRREZ, R. S., & OLIVARES SANTIAGO, M. (2002). UTILIZACIÓN DE LADRILLOS DE ADOBE ESTABILIZADOS. *INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN*,VOL 53, 39-50.

S/A. (2011). FICHA TÉCNICA ESCORIAS DE ALTO HORNO. 1-20.

S/A. (16 DE NOVIEMBRE DE 2012). *REVESTIMIENTOYACABADO.BLOGSPOT.COM*. OBTENIDO DE [REVESTIMIENTOYACABADO.BLOGSPOT.COM/2012/11/ACABADOS-EN-TECHO:](http://www.revestimientoyacabado.blogspot.com/2012/11/acabados-en-techo.html)  
[HTTP://REVESTIMIENTOYACABADO.BLOGSPOT.COM/2012/11/ACABADOS-EN-TECHO.HTML](http://www.revestimientoyacabado.blogspot.com/2012/11/acabados-en-techo.html)

S/A. (10 DE 10 DE 2021). *UPV.ES*. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.UPV.ES/MATERIALES/FCM/FCM15/FCM15\\_2.HTML](https://www.upv.es/materiales/fcm/fcm15/fcm15_2.html)

SAUZA, C. (2021). *TEQUILA SAUZA*. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.CASASAUZA.COM/:](https://www.casasauza.com/)  
[HTTPS://WWW.CASASAUZA.COM/FABRICACION-TEQUILA](https://www.casasauza.com/fabricacion-tequila)



SENDRA, A. M. (2020). *ESTUDIO COMPARATIVO DE FIBRAS NATURALES PARA REFORZAR EL HORMIGÓN*. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.

SERRANO, M. R. (2019). CONFORMACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE CON RESIDUOS DE AGAVE “ANGUSTIFOLIA HAW”. ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO LOCAL SUSTENTABLE EN SANTA MARÍA LA ASUNCIÓN, ZUMPAHUACÁN, ESTADO DE MÉXICO. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO*, TODO.

SIEMENS, P. R., & GIAUQUE, W. F. (1969). ENTROPÍAS DE LOS HIDRATOS DE HIDRÓXIDO DE SODIO. II. LOW-TEMPERATURE HEAT CAPACITIES AND HEATS OF FUSION OF NAOH-2H<sub>2</sub>O AND NAOH-3.5H<sub>2</sub>O. *JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY*, PÁGINAS 149-157.

VALENZUELA, M. E. (2013). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES DE GEOPOLÍMEROS SINTETIZADOS A PARTIR DE PUZOLANA NATURAL*. UNIVERSIDAD DE CHILE.

VILLACERO. (15 DE 10 DE 2022). *VILLACERO*. OBTENIDO DE [WWW.VILLACERO.COM](http://WWW.VILLACERO.COM)





## AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO PROFUNDAMENTE AL LECTOR DE ESTE TRABAJO ESPERANDO QUE LE HAYA SIDO DE UTILIDAD, AUNQUE SEA UN POCO, Y SI LA INFORMACIÓN DE ESTE TRABAJO ESTÁ DESACTUALIZADO A LA FECHA NO JUZGUE LOS HECHOS DEL PASADO CON LA SABIDURIA DE SU PRESENTE.

A MI MAMÁ POR **TOD**O, SU APOYO, CONFIANZA, CARIÑO Y PACIENCIA, FUE DIFÍCIL, PERO LO LOGRAMOS.

A MI HERMANO POR ENSEÑARME A SER RESPONSABLE DE LAS CONSECUENCIAS DE MIS ACTOS AÚN CUANDO ESTAS SEAN NEGATIVAS EN MI VIDA.

A MI PAPÁ POR ENSEÑARME, EDUCARME A Y CUIDARME AÚN CUANDO NO FUERA HIJO BIOLÓGICO DE ÉL.

A MIS TIAS POR SER COMO UNAS SEGUNDAS MADRES Y QUERERME CASI COMO SI YO FUERA HIJO SUYO.

A MI FAMILIA POR QUE SIN TODOS Y CADA UNO DE USTEDES NO LO HABRÍA LOGRADO, DE VERDAD, GRACIAS POR APORTAR SU GRANITO DE ARENA, AUNQUE FUERA DE MANERA ACCIDENTAL.

A MIS AMIGOS LOS DIVIDO EN 4 ETAPAS DE ACUERDO CON MI EDUCACIÓN A LOS DE LA PRIMARIA POR ENSEÑARME QUE NO IMPORTA DE DONDE VENGAN LAS PERSONAS SOMOS CAPACES DE EMPATIZAR. A LOS DE LA SECUNDARIA POR ENSEÑARME QUE NO IMPORTA EL TIEMPO O LA DISTANCIA SI UNA AMISTAD ES SINCERA PUEDES VOLVER CON ELLOS Y SEGUIRAN SIENDO COMO CUANDO LOS DEJASTE DE FRECUENTAR, A LOS DE LA PREPA POR ENSEÑARME QUE SIN IMPORTAR QUE CAMINO SE TOMA EN LA VIDA SIEMPRE HABRÁ ALGUIEN OBSERVANDO Y DESEANDO QUE SEAS UNA MEJOR VERSIÓN DE TI Y.

A LOS DE LA UNIVERSIDAD ARTEAGA, CRUZ, CARREÑO, JAVIER, LOPEZ, QUIROZ) POR ACOMPAÑARME EN TODA LA CARRERA Y AYUDARME EN EL MOMENTO MÁS OSCURO DE MI VIDA SIN USTEDES DE VERDAD NO HABRÍA LOGRADO TERMINAR LA CARRERA X).

MENCIÓN ESPECIAL A LA INGENIERA CARLA RAMOS POR SER UNA EXCELENTE AMIGA Y ALENTARME A TERMINAR ESTE TRABAJO.

A MIS SINODALES POR LA PACIENCIA Y CONSEJOS PARA QUE ESTE TRABAJO FUERA BIEN HECHO.

Y AL DOCTOR LUIS ANTONIO GARCÍA VILLANUEVA POR LA PACIENCIA QUE ME TUVO EN LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE ESTE TRABAJO ESCRITO, AGRADEZCO TAMBIÉN SUS CONSEJOS Y AYUDA BRINDADA PORQUE AL SER LA PRIMERA TESIS QUE ESCRIBO EN LA VIDA NO TENÍA UNA IDEA MUY CLARA DE COMO EMPEZAR O QUE FORMATO SEGUIR Y POR SUPUESTO DE LOS DETALLES DEL TRABAJO.