

Caracterización técnica-económica para la implementación de un impermeabilizante tradicional formulado con nejayote como recubrimiento en azoteas

Sánchez, Ana

2023

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5908>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Caracterización técnica-económica para la implementación de impermeabilizante tradicional formulado con nejayote como recubrimiento en azoteas

Loera Zarraga Leonardo Manuel (noveno semestre en Ingeniería Civil)¹, López Avalos Azalea (onceavo semestre en Ingeniería Civil)¹, Olea Mendoza José Leonel (noveno semestre en Ingeniería Civil)¹, Sánchez Alejo Ana Cristina (noveno semestre en Ingeniería Civil)^{1,*}, Bernal Cuevas Ramiro Antonino (profesor responsable)¹, Cabrera Fuentes Ana Belén (profesor asesor)¹.

¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México.

Resumen

Los impermeabilizantes surgen de la necesidad de reducir la porosidad de los materiales, evitar el paso del agua y proteger las edificaciones de los efectos nocivos causados por la humedad. Hasta la llegada de la industria petrolera en 1904, los impermeabilizantes tradicionales contemplaban el uso de recursos naturales tomados del lugar, entre estos se encuentran el ladrillo en acomodo petatillo y el jabonado de alumbre; pese a sus antecedentes, la información bibliográfica de sus propiedades técnicas es escasa.

Por otro lado, la autoconstrucción es, hasta nuestros días, un fenómeno económico y social que busca la satisfacción de la vivienda para las familias que carecen de un financiamiento formal. Este modo de construcción se lleva a cabo por la mano de obra del mismo habitante o de un maestro albañil.

Con el objetivo de caracterizar un impermeabilizante tradicional formulado con nejayote, esta investigación busca determinar las propiedades técnicas de este recubrimiento para analizar su funcionamiento y efectividad a partir del costo-beneficio, ofreciendo a los usuarios un registro técnico que les permita participar en la construcción de sus viviendas de manera eficiente, sustentable y asequible.

El diseño experimental consistió en replicar la formulación obtenida en un proyecto previo y aplicarla en placas de petatillo y cubos de mortero para evaluar las propiedades de rendimiento, permeabilidad, absorción, adherencia, densidad, viscosidad, pH, así como su costo. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el impermeabilizante tradicional formulado con nejayote tiene potencial para ser empleado en la impermeabilización de las azoteas de las construcciones.

Palabras clave: Impermeabilizante, sistema tradicional, propiedades técnicas, petatillo, mortero.

***Autor Corresponsal:** anacristina.sanchez@iberopuebla.mx

Introducción

Los impermeabilizantes son “sustancias que cortan el paso del agua y son usados para eliminar o reducir la porosidad del material, llenando filtraciones y aislando la humedad”. La impermeabilización es un método de protección para los distintos elementos que componen una edificación de los efectos de la humedad. Es trascendental para la vida útil del edificio ya que, ayuda a garantizar la salud y el confort de las personas que se encuentran dentro [1, 2].

Antes de la llegada de la industria petrolera en 1904, la forma de impermeabilizar en México era tradicional, no contemplaba el uso de ningún material sintético, únicamente se usaban materiales naturales tomados del lugar, ejemplo de estas formas tradicionales son; el uso de terrados que, se basaba en un entepiso compuesto por viguería de madera, loseta de barro tipo cuarterón y una cubierta de tierra limpia compactada; ladrillo en acomodo petatillo; una solución de alumbre que lograba obtener una superficie impermeable [3, 4].

“El ladrillo es un sistema constructivo tradicional que hace la función de capa de impermeabilizante en una azotea” [5, p. 28] su colocación consiste en acomodo petatillo, antiguamente se hacía sobre tierra que formaba un declive, además, en algunos casos se aplicaba una solución de alumbre que contribuía a la impermeabilidad, otra manera,

consistía en impregnarlos con una mezcla de agua, cemento y arena [6, 7].

Este sistema constructivo es muy utilizado en México y es bastante eficaz para prevenir el paso de agua y humedad [8]. Desde 1910 hasta 1920, la elaboración e implementación de impermeabilizante empezó de manera prefabricada, en 1940 se comenzó a utilizar el caucho a la par de la adición de fibras que dieron mayor resistencia convirtiéndolos en membranas. Para los años 60 y 70 surgió una gran variedad de estos impermeabilizantes a la par de la mejora continua de los revestimientos líquidos [9].

“Aluja” o “jabonado de alumbre”, es un sistema que se caracteriza porque el jabón se disuelve fácilmente en el agua, pero el alumbre lo endurece y los hace resistente. En realidad, el jabón solo impermeabiliza al inicio de la aplicación, su relevancia radica en que es el sustento de un hongo que se alimenta de él y que, al filtrarse por los poros, se aloja allí, comienza a desarrollarse y a taponarlos [10].

Por otro lado, el nejayote es considerado un desecho, producto del proceso de nixtamalización del maíz que, regularmente, termina siendo arrojado al drenaje o directamente al entorno. En los últimos años, se han buscado alternativas para evitar su desperdicio y empezar a utilizarlo eficazmente [11].

En la investigación “Evaluación de un impermeabilizante a base de nejayote para su uso en azoteas de una casa habitación” [12], donde se probó el uso de este desecho como

ingrediente para la elaboración de un impermeabilizante tradicional natural. Proyecto que se destaca porque la mayoría de los impermeabilizantes tradicionales de jabonado de alumbre o aluja hacen uso de agua y cal, mientras que esta propuesta los sustituye con el nejayote.

A pesar de que existen antecedentes del uso de sistemas impermeabilizantes tradicionales, hay poca información bibliográfica que analice sus datos técnicos, contribuyendo a que su empleo sea empírico y dependa de las experiencias personales. Uno de los motivos por los que los usuarios han desistido del uso de materiales naturales es la falta de garantías técnicas [13].

Por lo que se refiere a las losas, son los elementos estructurales que más problemas de permeabilidad presentan en las viviendas, específicamente las de concreto hidráulico compuesto de cemento Portland, agregados pétreos, agua y aditivos, para formar una mezcla que al fraguar se convierte en un elemento rígido. El concreto es higroscópico, o sea, absorbe humedad rápidamente y la pierde lentamente [14].

“La permeabilidad en el concreto se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo; y así ser el resultado de: la composición de la porosidad en la pasta, la hidratación o la asociación con la liberación de calor o calor de hidratación y evaporación del agua de mezcla, la temperatura del concreto, y la formación de cavidades y grietas por contracción plástica en el concreto durante el tiempo de fraguado” [15, p. 173].

En la práctica existen varios factores que influyen en la permeabilidad del concreto desde su etapa de elaboración hasta la de servicio. Estos elementos están relacionados con la durabilidad del material, es decir con la capacidad del elemento para resistir por el tiempo necesario, a las condiciones para las cuales fue diseñada [16].

De acuerdo con el INEGI, en el censo de Población y Vivienda 2020, en el apartado de Techos, los materiales más utilizados a nivel nacional son en 79% losa de concreto, 17% lámina, 2% madera o tejamanil y 2% material de desecho, palma, paja y teja [17].

La elección de un sistema de impermeabilización se tiene que basar en el costo y la calidad, puesto que “los costos derivados de daños de la estructura, acabados o equipos por efectos de una impermeabilización deficiente tiende a elevarse considerablemente. Aunque también se debe considerar que uno costoso y de mayor calidad no siempre es la opción indicada, ya que puede tener bajas necesidades con no tan alta rigurosidad, por lo que va a trabajar de igual manera que uno económico para este caso” [1].

La autoconstrucción es un fenómeno social, en el que se busca la satisfacción de una nueva necesidad en la vivienda

a partir de la mano de obra empleada por el mismo habitante o por un maestro albañil [18].

La autoproducción de vivienda se presenta en todos los contextos económicos y sociales, se caracteriza por ser la primera opción de las familias que no tienen acceso a financiamiento formal para la adquisición de vivienda. A diferencia de lo que se cree, no es exclusiva de zonas rurales, el porcentaje de viviendas autoproducidas en localidades urbanas es mayor (64.3% y 35.7% respectivamente, de acuerdo con ENVI, 2020) [19].

En México, la mayoría de las personas optan por la autoconstrucción, de acuerdo con Gabriela Lara para Obras por Expansión 2022, en “2018 se percibió que en los centros urbanos siete de cada diez viviendas son autoconstruidas. Sin embargo, en mayor parte de los casos las familias no suelen contar con el asesoramiento y la operación de un experto en el rubro”, la ausencia de acompañamiento repercute en la falta de conocimiento técnico, deficiencia en la planeación, habitabilidad, funcionamiento y seguridad estructural a corto y largo plazo [19, 20].

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, el presente proyecto propone caracterizar técnica y económicamente un impermeabilizante tradicional formulado con nejayote. Con el fin de implementarlo como recubrimiento de azoteas, ofreciendo una alternativa económica y efectiva, además de proveer a los usuarios un registro técnico que les permita participar en la construcción de sus viviendas de una manera eficiente, sustentable y asequible.

Desde el área de la ingeniería civil es importante evaluar la operación y mantenimiento de diversas obras de infraestructura con el fin de aportar a una mejor calidad de vida, así como privilegiar el desarrollo sustentable.

Metodología

Elaboración del impermeabilizante

Se elaboró siguiendo la formulación que presentó mejores resultados en el proyecto “Evaluación de un impermeabilizante a base de nejayote para su uso en azoteas de una casa habitación”, misma que se describe en la Fig. 1 [12].

Partiendo de la formulación elaborada, se realizarán pruebas tanto de la mezcla, como de su desempeño a partir de su aplicación en mortero y petatillo. Para la mezcla se determinó su densidad, viscosidad y pH, posterior a su aplicación se determinó el rendimiento, absorción, permeabilidad y adherencia.



Fig. 1. Formulación y elaboración de impermeabilizante.

Densidad

La densidad es una propiedad básica de cualquier líquido, y se define como la masa por unidad de volumen [21]. En el caso del presente trabajo, se determina la densidad del impermeabilizante de nejayote por triplicado en g/ml siguiendo el método del picnómetro, utilizando la ec. (1) y como se muestra en la Fig. 2.

$$\rho_d = \frac{m_{p+d} - m_p}{V_p} \quad (1)$$

Dónde:

- ρ_d : Densidad de la disolución (g/ml).
- m_{p+d} : Masa del picnómetro lleno de disolución (g).
- m_p : Masa del picnómetro vacío (g).
- V_p : Volumen del picnómetro (ml).



Fig. 2. Determinación de densidad con picnómetro.

Viscosidad

Hace alusión a la resistencia que presenta un líquido al fluir bajo a un esfuerzo mecánico aplicado, es decir, es una característica que puede afectar la forma en la que un líquido se adhiere a las superficies y en los tiempos de aplicación, por lo que tomar en cuenta esta propiedad es importante para caracterizar una disolución impermeabilizante eficaz.

La prueba para determinar la viscosidad es de acuerdo con la norma NMX-U-038-SCFI-2012 [22] y la unidad de viscosidad tomada es centipoise (cP).

El equipo (mostrado en la Fig. 3) y sus variables usadas en dicha prueba son:

- Viscosímetro: Fungilab PREMIUM
- Velocidad rotacional: 250 rpm
- Huesillo: R2
- Viscosidad máxima orientativa: 160 cP
- Muestra: 9



Fig. 3. Determinación de viscosidad con viscosímetro.

Potencial de hidrógeno (pH)

El pH de una solución es la medida de la concentración de iones hidrogeno. El método de ensayo para determinar el grado de acidez o alcalinidad expresado como valor de pH del impermeabilizante se basa en el procedimiento explicado en la norma NMX-U-007-SCFI-2011 [23], se realizaron 6 lecturas haciendo uso de un potenciómetro Oakton 550 Benchtop pH Meter, que se puede observar en la Fig. 4.



Fig. 4. Determinación del pH con potenciómetro.

Elaboración de especímenes de mortero

Se elaboraron especímenes de mortero como se observa en la Fig. 5, de forma cúbica (10 cm por lado), siguiendo la normativa M-MMP-2-02-004/04 [24] y con las características que se muestran en la Tabla 1.



Fig. 5. Especímen de mortero.

Tabla 1: Características de los especímenes de mortero.

Nº de especímenes	Medida por lado	Material	Proporciones
10	10 cm	Cemento	8.00 kg
		Arena	22.00 kg
		Agua	7.00 l

Especímenes de petatillo

Se conoce como petatillo, ladrillo de azotea o loseta de barro a las piezas de arcilla que en su mayoría se emplean para enladrillar azoteas [25]. Para este proyecto se emplearon estas piezas como la de la Fig. 6, con dimensiones de 23x11.5x1.5 cm.



Fig. 6. Petatillo.

Rendimiento

Consiste en el número de metros cuadrados que se pueden pintar con un litro de impermeabilizante, utilizando la ec. (2), tomando en cuenta las manos aplicadas en la superficie [12].

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Impermeabilizante utilizado (l)}}{\text{Superficie pintada (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

Absorción

La norma NMX-C-037 define como absorción volumétrica a la cantidad de agua absorbida en litros por unidad de volumen aparente de la pieza y que incluye sus poros interiores [26].

El procedimiento consistió en indicar la masa de los especímenes secos y sumergirlos en agua potable a temperatura ambiente durante 1 hora, 1 día, 2 días y 7 días; culminados estos periodos se sacaron y se eliminó el agua superficial con un paño.

Se registro la masa de los especímenes en agua y se calculó el porcentaje de absorción mediante la ec. (3) [27]. La muestra de esta prueba se presenta en la Tabla 2.

$$A = \frac{M_{SS} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

A: Absorción (%).

M_s: Masa seca del espécimen (kg).

M_{SS}: Masa saturada y superficialmente seca (kg).

Tabla 2: Muestra de la prueba de absorción.

Material	Especímen Cantidad	Impermeabilizante	
		Sí	No
Mortero	1		✓
	3	✓	
Arcilla	5		✓
	12	✓	

Permeabilidad

Hace referencia a la cantidad de agua que se dejará pasar cuando esté seca la membrana que forma el impermeabilizante sobre las superficies. Esta prueba tiene gran importancia, ya que sus resultados indican si existe la posibilidad de que el agua proveniente de lluvias o escurrimientos superficiales, penetren a través de las grietas o intersticios que presenta la placa, provocando un humedecimiento de esta y la filtración del agua [12].

Para esta prueba, se fijó una probeta graduada hueca al espécimen sin recubrir y cubierto de impermeabilizante con la ayuda de plastilina, después, se añadió agua y se registró el volumen de agua filtrada después de veinte minutos, Fig.7.



Fig. 7. Prueba de permeabilidad en mortero y petatillo.

La interpretación de los resultados se muestra en la Tabla 3, considerando que 1.00 ml de agua es equivalente a 1.00 cm³ [28]. La muestra de esta prueba se presenta en la Tabla 4.

Tabla 3: Rangos de permeabilidad para recubrimientos.

Penetración en cm ³ en 20 minutos	Estimación
> 3.0	Permeabilidad muy alta
2.4-3.0	Permeabilidad alta
1.0-2.4	Mediana permeabilidad
0.4-1.0	Baja permeabilidad
0.2-0.4	Impermeabilidad relativa
0.1-0.2	Impermeable
<0.1	Sin actividad capilar

Tabla 4: Muestra de la prueba de permeabilidad.

Especímen	Caras	Impermeabilizante	
		Sí	No
Mortero	9		✓
	9	✓	
Arcilla	9		✓
	9	✓	

Adherencia

Se realiza después de la aplicación del revestimiento, cuantifica la resistencia de la unión entre el sustrato y el revestimiento. La norma ASTM D3359, describe dos métodos de ensayo, para este trabajo, se realizó mediante el método de prueba B (sistema de cuadrícula, con el equipo de la Fig. 8), que se sugiere para espesores menores a 3 mil (76.2 μm), la interpretación de los resultados se muestra en la Tabla 5 [29].

La prueba se repitió 9 veces para especímenes de mortero y petatillo.



Fig. 8. Kit de prueba de adherencia de trama cruzada, modelo PCNADH.

Tabla 5: Rejilla de cortes según la norma ISO y ASTM.

Clasificación		Superficie después de la prueba	Descripción
ISO	ASTM		
0	5B		Cortes limpios, sin desprendimiento.
1	4B		Desprendimiento de pequeñas partes en las intersecciones. Se afecta a un área no mayor a 5%.
2	3B		El revestimiento se desconcha por los bordes y/o en las intersecciones. Afecta a un área mayor del 5%, pero no superior al 15%.
3	2B		El revestimiento se desconcha por los bordes parcialmente o en grandes tiras y/o parcial o completamente en varias partes de los cuadrados. Afecta a un área superior al 15%, pero no mayor del 35%.
4	1B		El revestimiento se desconcha por los bordes en grandes tiras y/o algunos cuadrados se desprenden parcial o completamente. Afecta a un área mayor del 35% pero no superior al 65%.
5	0B		Se desprendió más que el grado 1 (mayor 65%).

Costeo directo

Se denominan costos directos a aquellos que se aplican directamente al producto durante su fabricación [30]. Los elementos del precio unitario son los costos de materia prima directa, aunado a esto con un simulador de costos se teorizó las materias primas indirectas y energía.

Resultados y Discusión

Densidad

Se reportaron los resultados de cálculo de densidad en la Tabla 6, siguiendo con la ec. (1) antes escrita. Se tomaron en cuenta los siguientes datos:

$$m_p = 19.757 \text{ g.}$$

$$V_p = 25.077 \text{ ml}$$

Tabla 6: Densidades calculadas a partir del picnómetro de referencia.

No.	Masa del picnómetro lleno de disolución (g)	Masa de la disolución (g)	Densidad de la disolución (g/ml)
1	45.278	25.521	1.0177
2	45.264	25.507	1.0171
3	45.249	25.492	1.0165

El valor promedio de la densidad por triplicado es de 1.017 g/ml.

Viscosidad

La viscosidad de un recubrimiento influye en la aplicación a la superficie de prueba. En un estudio la Profeco menciona que la viscosidad debe ser adecuada para su aplicación con brocha, rodillo o cepillo, es decir no debe ser muy espesa o diluida [31].

A partir de los resultados de cada una de las lecturas de la prueba de viscosidad, se determinó que la media es de 42.10 cP (centipoise) con una desviación estándar de 4.09. La respectiva campana de Gauss de los datos se muestra en la Fig. 9.

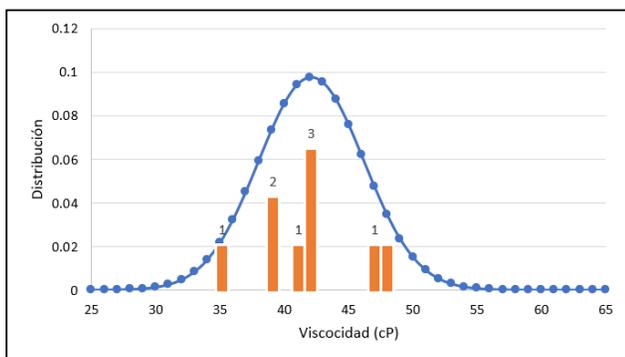


Fig. 9. Gráfica de distribución normal de la prueba de viscosidad.

Si se compara la viscosidad del impermeabilizante a base de nejayote con impermeabilizantes comerciales a base de agua, los cuales alcanzan viscosidades de hasta 42,000 cP [32], se puede deducir que la viscosidad obtenida describe un impermeabilizante diluido. Sin embargo, existen en el mercado productos primarios base agua para los sistemas de impermeabilización cuyas viscosidades son bajas, incluso cercanas a la del agua [33].

Potencial de hidrógeno (pH)

Los valores de la muestra cómo se indica en la Fig. 10, fueron muy cercanos entre sí, dando una media de 12.11 con una desviación estándar de 0.02. Por lo cual, se puede

asegurar (con una probabilidad del 100%) que el impermeabilizante tiene un potencial de hidrógeno entre 12.064 y 12.160, asegurando que la mezcla es moderadamente alcalina.

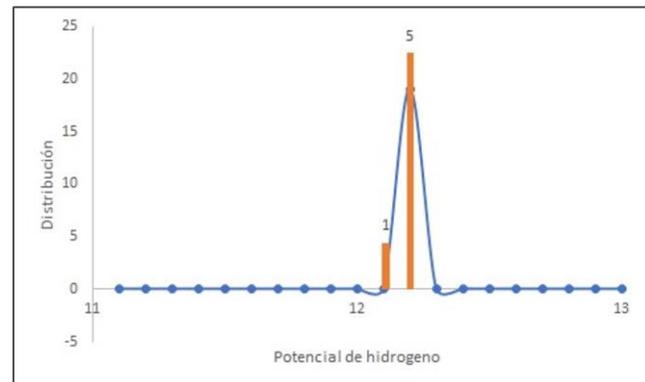


Fig. 10. Gráfica de distribución normal con los resultados de la prueba de pH, los números encima de cada barra hacen alusión al número de veces que se repite ese valor.

Los impermeabilizantes comerciales tipo Fester manejan pH de entre 10 a 10.5 [34], mientras que UNIBLOCK presenta pH de 8 a 9 [35], siendo ligeramente alcalinos.

Rendimiento

En la Fig. 11, se muestran los resultados en comparación a la campana de Gauss formulada con una media de 0.42 L/m² con una desviación estándar de 0.07.

Sin embargo, pareciera que dieron resultados menores al promedio, esto se debe a la manera en la que se distribuyeron los datos para ser contados, debido a que al tener valores que varían por decimales, se creó un conjunto que tiene un rango de 0.050.

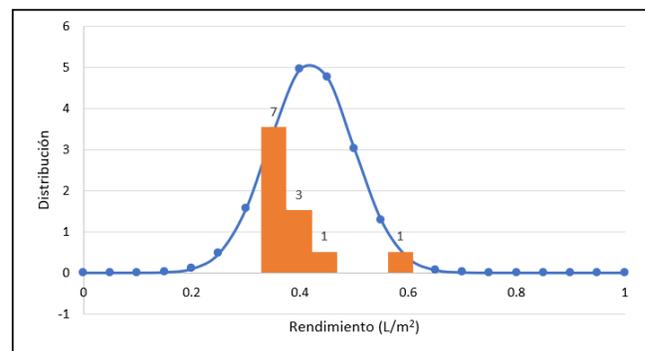


Fig. 11. Gráfica de distribución normal con los resultados de la prueba de rendimiento.

Con esto en cuenta, se obtuvo que el valor máximo es de 0.60 L/m², es decir que con una probabilidad del 98% se podrían impermeabilizar hasta 5 m² con 3 litros de impermeabilizante a dos manos.

Comparando con un estudio efectuado por la PROFECO para impermeabilizantes de categoría 3A, el rendimiento de los recubrimientos puestos a prueba en su mayoría se encuentra en 1 L/m² [36], por lo que el resultado se considera aceptable.

Tabla 7: Tabla comparativa de porcentajes de absorción de cubos de mortero respecto a la absorción del cubo sin impermeabilizante en diferentes intervalos de tiempo.

Tiempo	Porcentaje de absorción						
	Espécimen sin impermeabilizante	Especímenes con impermeabilizante					
Una hora	0.97%	0.85%	1.17%	1.22%	0.85%	1.17%	1.22%
Un día	2.43%	1.15%	1.62%	1.73%	1.00%	2.00%	1.73%
Dos días	2.91%	3.99%	4.61%	5.29%	4.00%	5.00%	5.00%
Siete días	2.57%	4.44%	4.69%	5.34%	4.00%	5.00%	5.00%

Tabla 8: Tabla comparativa de porcentajes de absorción de placas de petatillo respecto a la absorción de las placas sin impermeabilizante en diferentes intervalos de tiempo.

Tiempo	Porcentaje de absorción										
	Espécimen sin impermeabilizante	Especímenes con impermeabilizante									
Una hora	19%	14.1%	14.7%	11.9%	12.0%	12.5%	9.3%	10.5%	11.8%	10.6%	19.1%
Un día	20%	14.9%	15.3%	14.3%	13.1%	14.0%	11.9%	12.5%	16.8%	12.2%	19.6%
Dos días	20%	17.6%	18.8%	18.4%	19.2%	18.7%	18.6%	17.4%	18.8%	19.0%	20.5%
Siete días	21%	18.7%	19.8%	19.5%	20.0%	19.7%	21.6%	22.0%	23.4%	23.5%	22.0%

Absorción

En la Tabla 7 indica una comparación de la absorción de los especímenes de mortero a diferentes tiempos con y sin impermeabilizante. El porcentaje de agua que absorbe el espécimen con el impermeabilizante, encontrando que el valor máximo es de 5.34%, permitiendo conocer el porcentaje de agua que penetra a la superficie una vez aplicado el impermeabilizante.

Con la antes mencionada Tabla 7, muestra que el primer día mejora la impermeabilización, debido a que el porcentaje de absorción es menor al que se encuentra sin impermeabilizante, no obstante, al cabo de 2 días muestra una absorción mayor a la del espécimen sin impermeabilizante.

En la Tabla 8, se observa que, para la primera hora y día, todos los valores son reducidos, mientras que en el segundo día únicamente uno es mayor a la absorción del espécimen sin impermeabilizante. Sin embargo, en el séptimo día en su mayoría empeoran.

Una vez analizado todos los datos, en la Tabla 9 muestra un mejoramiento de la absorción tomando en cuenta únicamente el promedio.

Tabla 9: Tabla de porcentajes de mejoramiento absorción en especímenes con impermeabilizante respecto a la absorción del espécimen sin impermeabilizante en diferentes intervalos de tiempo.

Tabla de mejoramiento de absorción	
Espécimen de mortero	
1 hora	-10.2%
1 día	58.0%
2 días	-37.4%
7 días	-46.1%
Espécimen de petatillo	
1 hora	33.4%
1 día	23.9%
2 días	1.6%
7 días	-10.6%

Se observa en la Tabla 9, que el impermeabilizante funciona mejor en la superficie de petatillo, teniendo mejores resultados.

Permeabilidad

Se hizo un análisis estadístico con los resultados de los especímenes y obteniendo las campanas de Gauss, mostradas en las Fig. 12 -15.

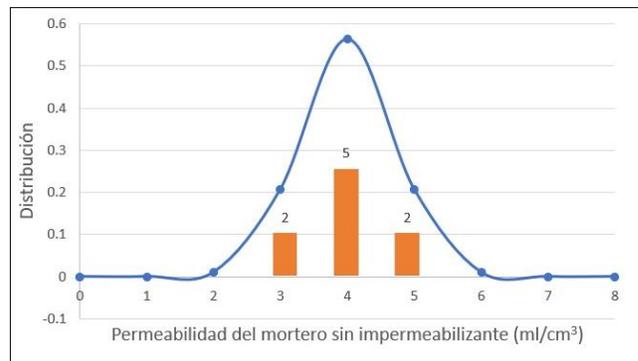


Fig. 12. Gráfica de distribución normal con los resultados de la prueba de permeabilidad a especímenes de mortero sin impermeabilizante.



Fig. 13. Gráfica de distribución normal con los resultados de la prueba de permeabilidad a especímenes de mortero con impermeabilizante.

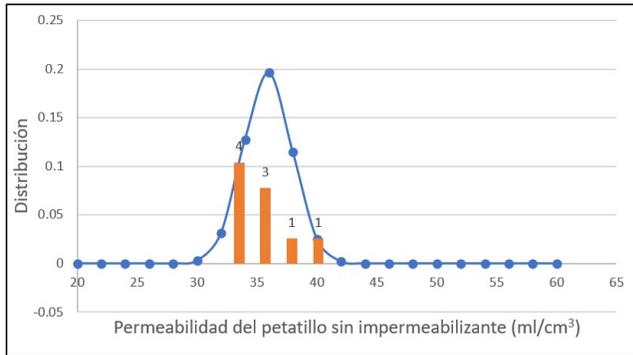


Fig. 14. Gráfica de distribución normal con los resultados de la prueba de permeabilidad a especímenes de petatillo sin impermeabilizante.

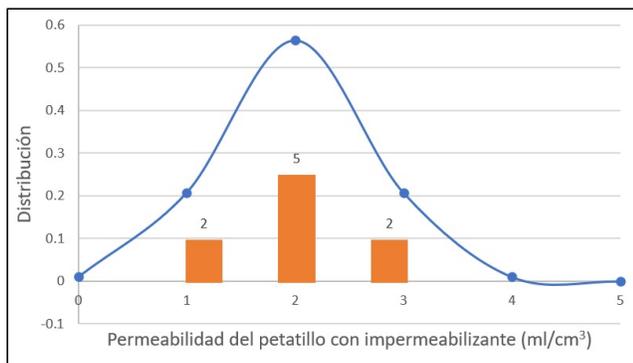


Fig. 15. Gráfica de distribución normal con los resultados de la prueba de permeabilidad a especímenes de petatillo con impermeabilizante.

La Tabla 10, indica los valores máximos, mínimos, promedio y la desviación estándar, con el porcentaje de probabilidad.

Tabla 10: Tabla resumen de datos estadísticos obtenidos de permeabilidad en diferentes especímenes. La abreviatura rec. hace referencia a recubrimiento.

Especímen	Valor máx.	Valor mín.	Promedio cm^3	Desviación Estándar	%
Mortero sin rec.	5.41	2.58	4.00	0.71	95
Mortero con rec.	1.61	0.00	0.56	0.52	98
Petatillo sin rec.	39.94	31.83	35.89	2.02	95
Petatillo con rec.	3.41	0.59	2.00	0.71	95

Los especímenes hechos con mortero obtuvieron una mejora teniendo el espécimen con impermeabilizante una tercera parte de permeabilidad que él no contiene este. Mientras que el espécimen de petatillo, el que cuenta con el impermeabilizante es menor a una décima parte de lo que cuenta el petatillo sin impermeabilizante.

Adherencia

Se obtuvo la cantidad de veces que los resultados se encuentran en cierta clasificación, en la Tabla 11 indicarán la probabilidad de aparición.

Tabla 11: Tabla de aparición en porcentaje de las diferentes categorías de adherencia.

Porcentaje de aparición por categoría	
1B	0.00%
2B	22.22%
3B	44.45%
4B	33.33%
5B	0.00%

El resultado esperado es que los datos se categorizarán en 3B o mayor a este, esto únicamente cumple en un 77.78%, no obstante, de las veces que es usado, el revestimiento es afectado con un porcentaje menor a 15% (3B), mientras que con un 100% de las veces será menor al 35% (2B).

Costos

Para los costos, se realizó un análisis comprando por unidad (no a mayoreo), los precios de la materia prima fueron establecidos por Walmart Angelópolis, Puebla, Puebla, los resultados de costos unitarios descritos en la Tabla 12.

Tabla 12: Costos directos de la producción de impermeabilizante.

Material	Costo por producto	Cantidad utilizada	Costo unitario
Nejayote	-	0.85 ml	-
Agua	\$11.50	0.20 L	\$2.30
Jabón	\$24.99	0.40 kg	\$10.0
Mucilago nopal	\$32.90	0.05 kg	\$1.65
Total	\$69.39		\$13.95

Este, costo aumenta con un porcentaje de 5% de merma, por material, dando resultando un total de \$14.65 (catorce 65/100 MXN).

Si bien este es un costo directo, es necesario añadir costo de luz, mano de obra, envase, etc. Esto se mantendrá como costo directo debido a que no proyecto a mayor escala, no obstante, haciendo un supuesto mediante investigación bibliográfica se obtiene un costo teórico de \$18.50 (dieciocho 50/100 MXN) por litro.

Comparando con impermeabilizantes comerciales categorizados como buenos, el precio aproximado es de \$44.00 (cuarenta y cuatro 00/100 MXN) por litro, considerando el resultado como aceptable [36].

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

Por sus características, el impermeabilizante tiene potencial para ser empleado en azoteas de casas habitación, donde el acabado sea con lechada de mortero o enladrillado de petatillo.

Las pruebas de absorción y permeabilidad demuestran su capacidad, pese a que los resultados de la absorción muestran un incremento desproporcionado durante los siete días de la prueba, al cabo de una hora y de un día, la absorción disminuye y su crecimiento no tiene un aumentó repentino. Además, en el campo real, las azoteas tienen pendientes mínimas de 2% y bajadas de agua pluvial, por lo que una situación de estancamiento.

Sin embargo, con lo mencionado anteriormente, los resultados de permeabilidad cobran relevancia, para mortero

va de 0.00 (sin actividad capilar) a 1.61 (impermeable), Mientras que, para petatillo se encuentra entre 0.59 (baja permeabilidad) y 3.41 (permeabilidad muy alta), los resultados expuestos anteriormente demuestran que, la actividad permeable de la superficie es reducida significativamente con el impermeabilizante de nejayote. A pesar de la capacidad de impermeabilizar del recubrimiento, su rendimiento en función del tiempo es reducido debido a su baja viscosidad y adherencia. Generando la hipótesis de que, esta baja viscosidad podría ser la responsable de una baja adherencia y, consecuentemente, un alto porcentaje de absorción en etapas superiores a las 24 horas.

El costo-beneficio del proyecto es favorable, porque los beneficios del recubrimiento superan los costos, impermeabilizar un metro cuadrado cuesta \$11.10 (once 10/100 MXN).

Los resultados muestran la viabilidad del recubrimiento y que sus condiciones actuales reducen la permeabilidad en cualquier superficie, sin embargo, una recomendación es reformular para mejorar sus características.

En cuanto a la metodología, se recomienda repetir la prueba de viscosidad al impermeabilizante con un adaptador LCP compatible con un viscosímetro Premium para la medición de viscosidades bajas respecto a la del agua.

Referencias

1. N. Gonzalez Barrera. **Factores que inciden en una adecuada impermeabilización del concreto.** 2020. [En línea]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1344> (Activo Octubre de 2023).
2. A. Espinoza Canales. **Caracterización técnica-económica para la implementación de impermeabilizantes naturales en vivienda de autoconstrucción, popular y de interés social.** 17 Mayo 2016. [En línea]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/664> (Activo Octubre de 2023).
3. C. R. Villena Ccorpa. **Impermeabilización tradicional en el mantenimiento de losas aligeradas en la ciudad de huancavelica.** 2019. [En línea]. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9c10c0ae-bad9-40c4-bcac-a783ea89bfff/content> (Activo Octubre de 2023).
4. A. Espinoza Canales y M. A. Soto Zamora, **Caracterización técnica-económica para la implementación de impermeabilizantes naturales en vivienda de autoconstrucción, popular y de interés social.** Mayo 2016. [En línea]. https://www.researchgate.net/profile/Ariel-Espinoza-Canales/publication/303326283_CHARACTERIZACION_TECNICA_ECONOMICA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_IMPERMEABILIZANTES_NATURALES_EN_VIVIENDA_DE_AUTOCONSTRUCCION_POPULAR_Y_DE_INTERES_SOCIAL/links/573ce09508ae9ace84. (Activo Noviembre de 2023).
5. C. E. Santos Pinedo. **Influencia de impermeabilizantes caseros en las infiltraciones de losas aligeradas en la ciudad de huancayo.** 2022. [En línea]. https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/5349/T037_43531738_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (Activo Noviembre de 2023).
6. E. D. A. Lugardo González. **Propuesta de plan de pruebas para determinar el nivel de calidad de una pintura base cal para impermeabilización.** Mayo 2022. [En línea]. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/ce7c1d21-f26c-41c5-821c-f1b4366adbbb/content>. (Activo Noviembre de 2023).
7. REVISTA DEL CONSUMIDOR. **Impermeabilizantes 5A.** Febrero 2016. [En línea]. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/100338/Impermeabilizantes.pdf>. (Activo Noviembre 2023).
8. J. C. Rodríguez Uribe, J. Serrano Arellano y K. M. Velázquez Lucho. **Sistemas de impermeabilizantes para protección de cubiertas en viviendas.** *Journal of Scientific and Technical Applications*, vol. 7, n° 20, pp. 24-30, 30. Diciembre 2021.
9. G. A. Cobos Morantes. **Guía práctica para el control previo y posterior en impermeabilizaciones en losas para cubiertas de concreto.** 10 Marzo 2020. [En línea]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/22327/2020CobosGuillermo.pdf?sequence=7&isAllowed=y> (Activo Octubre de 2023).
10. J. L. Moltiel Miguel. **Impermeabilización de losas, cisternas y cimentación de casas habitación.** Marzo 2014. [En línea]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7300/TESINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Activo Octubre de 2023).
11. M. Antunes Ricardo y J. Gutiérrez Uribe. **El nejayote: un residuo del maíz pero benéfico para la salud.** 21 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://tecscience.tec.mx/es/divulgacion-ciencia/el-nejayote-un-residuo-benefico-para-la-salud-y-clave-de-la-economia-circular/> (Activo Octubre de 2023).
12. J. Olea, A. Ruiz, A. Sánchez y A. Silva. **Evaluación de un impermeabilizante a base de nejayote para su uso en azoteas de una casa habitación.** 2022. [En línea]. <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/5526> (Activo Octubre de 2023).
13. A. S. Jaramillo Benavides, Z. M. Patricio Karnopp y L. Ilha Librelotto. **Durabilidad de los materiales naturales de construcción: percepciones de proyectistas, constructores y usuarios en Florianópolis, Brasil.** *Revista de Arquitectura*, vol. 21, n° 02, 11. Febrero 2019.

14. A. G. Kanashiro y S. R. C. Bezerra. **Sistemas de Aterramiento con la Utilización de Conductores y Barras Envueltos en Concreto.** *Información Tecnológica*, vol. 23, n° 03, pp. 129-136, 01 Diciembre 2012.
15. L. M. Vélez. **Permeabilidad y Porosidad en Concreto.** *TecnoLógicas*, n° 25, pp. 169-187, 25 Diciembre 2010 (Activo Octubre de 2023).
16. W. H. Barreda Arias y F. A. Cacahuata Mercado. **Evaluación de la permeabilidad del concreto utilizando aditivos impermeabilizantes por cristalización aplicado a estructuras hidráulicas de concreto armado.** 2018. [En línea]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/1d13099f-a493-4fe6-a313-0f753e6436e4> (Activo Octubre de 2023).
17. INEGI. **Censo de Población y Vivienda. 2020.** [En línea]. <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/vivienda.aspx?tema=P#:~:text=embarre%20o%20bajareque.-,Fuente%3A%20INEGI,de%20Poblaci%C3%B3n%20y%20Vivienda%202020.&text=El%20techo%20de%20las%20viviendas,%2C%20palma%2C%20paja%20y%20teja.> (Activo Octubre de 2023).
18. E. Y. García Ramírez, E. Lozada Amador, F. O. Lagarda García y V. Rendón Hidalgo. **De la Arquitectura Vernácula a la autoconstrucción en el estado de Hidalgo México.** 05 Enero 2023. [En línea]. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/9187>. (Activo Octubre de 2023).
19. Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. **Autoproducción de vivienda adecuada en México.** 2021. [En línea]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/724543/Ok_Autoproduccion_de_Vivienda_Adecuada_en_Mexico31122021_2.pdf. (Activo Octubre de 2023).
20. G. Lara. **Estos son los errores más comunes de autoconstrucción en México.** 14 Septiembre 2022. [En línea]. <https://obras.expansion.mx/construccion/2022/09/14/estos-son-los-errores-mas-comunes-de-autoconstruccion-en-mexico> (Activo Octubre de 2023).
21. L. Atarés. **Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro.** *s.f.* [En línea]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12655/11.%20Art%C3%ADculo%20docente.%20Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20densidad%20de%20un%20l%C3%ADquido%20co> (Activo Octubre de 2023).
22. S. d. Economía. **NORMA MEXICANA NMX RECUBRIMIENTO, PINTURAS, BARNICES Y PINTURAS AFINES- DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD POR LOS MÉTODOS STORMER Y BROOKFIELD.** 2012. [En línea]. <https://es.scribd.com/document/432758187/NOM-U-038-Determinacion-de-viscosidad-stormer-y-brookfield> (Activo Octubre de 2023).
23. S. d. Economía. **NORMA MEXICANA NMX-U-007-SCFI-2011. RECUBRIMIENTOS, PINTURAS, BARNICES Y PRODUCTOS AFINES - MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PH DE LIXIVIADOS DE PIGMENTO, PINTURAS, RECUBRIMIENTOS Y EMULSIONES BASE AGUA.** 2011. [En línea]. <https://docplayer.es/130681639-Norma-mexicana-nmx-u-007-scfi-2011.html> (Activo Octubre de 2023).
24. SCT. **M-MMP-2-02-004-04 MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.** *s.f.* [En línea]. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-004-04.pdf> (Activo Octubre de 2023).
25. RUSTICATTO. **Petatillo.** 2020. [En línea]. http://rusticatto.com.mx/05_petatillo.html (Activo Octubre de 2023).
26. IMCyC. **Industria de la Construcción-Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones-Determinación de la Absorción de agua y absorción inicial de agua NMX-C-037-ONNCCE-2005.** Marzo 2014. [En línea]. <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/marzo2014/problemas.pdf>. (Activo Octubre de 2023).
27. I. García Gómez. **Estudio de permeabilidad en adobe implementando agregados naturales.** Diciembre 2017. [En línea]. http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/13322.pdf. (Activo Octubre de 2023).
28. NANOFACORY. **Informe de prueba.** 08 Junio 2021. [En línea]. https://impershield.com/wp-content/uploads/2021/06/IMPERSHIELD_REPORT_02_06_2021_ABSORPTION_.pdf. (Activo Octubre de 2023).
29. L. Churata. **Determinación de patrones de rugosidad en una plancha de acero A-36 con una arenadora de laboratorio "extra fuerza" para determinar la adherencia con recubrimiento de pintura epóxica.** 2021. [En línea]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/042bd12e-ccce-4821-b8e6-6e19601403e5>. (Activo Octubre de 2023).
30. SENA. **Costeo Directo.** 1978. [En línea]. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4182/unidad_12_costeo_directo.pdf;jsessionid=17F0CFBC1DD530D4D0B1C02312CF14F7?sequence=1. (Activo Octubre de 2023).
31. PROFECO. **Estudios de Calidad Profeco IMPERMEABILIZANTES DE CATEGORÍA 10A.** Febrero 2020. [En línea]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/533028/ESTUDIO_CALIDAD_IMPERMEABILIZANTES.pdf. (Activo Octubre de 2023).
32. FESTER. **FESTER A3, A5, A5 Fibratado y A7. Impermeabilizante acrílico elastomérico base agua y de secado rápido.** 07 junio 2022. [En línea]. <https://dm.henkel-dam.com/is/content/henkel/fester-a3-a5-a5-fibratado-y-a7-junio-2022>. (Activo Octubre de 2023).
33. COMEX. **TOP PRIMARIO "A" Primario asfáltico base agua.** 07 noviembre 2007. [En línea]. <https://divisionprofesional.comex.com.mx/getattachment/14d36d50-a9a0-491f-815a-3ce695d7d868/.aspx/>. (Activo Noviembre de 2023).

-
34. FESTER. **FESTER AA Fibratado.** *Mayo 2019.* [En línea]. <https://www.fester.com.mx/content/dam/uac/fester/master/fichas/2018/fester-AA-fibratado.pdf>. (Activo Noviembre de 2023).
 35. UNIBLOCK. **UNIMPER IMPERMEABILIZANTE TÉRMICO UNIBLOCK.** *11 Noviembre 2023.* [En línea]. https://www.uniblock.com.mx/fichas/UNIBLOCK_FICHA-TECNICA-5-ANOS-DE-GARANTIA-IMPERMEABILIZANTE.pdf. (Activo Noviembre de 2023).
 36. PROFECO. **Impermeabilizantes Categoría 3A Blancos.** *Revista del Consumidor. Abril 2023.* [En línea]. https://www.profeco.gob.mx/revista/RevistaDelConsumidor_554_Abril_2023.pdf. (Activo Octubre de 2023).