

## **INFLUENCIA DEL USO DE FIBRAS DE BAGAZO DE MAGUEY EN LA TRABAJABILIDAD DEL MORTERO HIDRÁULICO**

### **INFLUENCE OF THE USE OF MAGUEY'S BAGAZO FIBERS ON THE WORKABILITY OF THE HYDRAULIC MORTAR**

**Autores:** Valentín Juventino Morales Domínguez<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-3207-6793>

Gladys Francisco Ramos<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-9631-4092>

Margarito Ortiz Guzmán<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-9891-8172>

**Institución:** <sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, México

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México

**Correo electrónico:** [valentin\\_md@yahoo.com.mx](mailto:valentin_md@yahoo.com.mx)

[gladysfrancisco46@gmail.com](mailto:gladysfrancisco46@gmail.com)

[margarito\\_og@yahoo.com](mailto:margarito_og@yahoo.com)

## **RESUMEN**

El presente proyecto de investigación se ha basado en la influencia del uso de la fibra de bagazo en la trabajabilidad del mortero hidráulico como alternativa renovable para la industria de la construcción del estado de Oaxaca, planteando la alternativa de uso de éste en la vivienda, principalmente en estructuras a base de mortero estructural para lo cual se diseñaron 24 mezclas, con diferentes tamaños de fibra, midiendo su trabajabilidad con equipos de laboratorio y en forma práctica. El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de la inclusión de fibras en la trabajabilidad de mezclas de mortero hidráulico. Los diseños de las mezclas de mortero tuvieron como base el método de diseño de mezclas de concreto de Abrams, al que se le realizaron algunas modificaciones, entre las principales la omisión de la grava, debido a que se trabajó bajo un concepto de mortero partiendo de la resistencia y el revenimiento que es una medida de trabajabilidad. Se realizaron pruebas prácticas para analizar la variable del bagazo, donde se utilizó un diseño experimental basado en una estructura de ferrocemento armado con malla electrosoldada 6x6 6/6, reforzada con malla tipo hexagonal y metal desplegado. Conforme a los factores de trabajabilidad, costo e impacto ambiental, el diseño de mortero con proporción volumétrica 1:3 con contenido de fibra de 0.25 % y bagazo cuya longitud corresponde a 2 cm, fue la más apta para la aplicación y realización del acabado final manteniendo estabilidad tanto en prueba práctica, como

en ensayos.

**Palabras clave:** Bagazo de maguey, Fibras, Impacto Ambiental, Mortero, Trabajabilidad.

## **ABSTRACT**

This research project has been based on the influence of the use of bagasse fiber on the workability of hydraulic mortar as a renewable alternative for the construction industry in the state of Oaxaca, proposing the alternative of using it in housing, mainly in structures based on structural mortar, for which 24 mixtures were designed, with different fiber sizes, measuring their workability with laboratory equipment and in a practical way. The objective of this research was to evaluate the effect of the inclusion of fibers on the workability of hydraulic mortar mixtures. The mortar mix designs were based on the Abrams concrete mix design method, to which some modifications were made, among the main ones the omission of the gravel, due to the fact that it was worked under a mortar concept starting from resistance and slump which is a measure of workability. Practical tests were carried out to analyze the bagasse variable, where an experimental design was used based on a ferrocement structure reinforced with 6x6 6/6 electrowelded mesh, reinforced with hexagonal mesh and expanded metal. According to the workability, cost and environmental impact factors, the mortar design with a volumetric ratio of 1: 3 with a fiber content of 0.25 % and bagasse whose length corresponds to 2 cm, was the most suitable for the application and realization of the final finish. maintaining stability both in practical tests and in laboratory tests.

**Keywords:** Environmental Impact, Fibers, Maguey bagasse, Mortar, Workability.

## **INTRODUCCIÓN**

Según Arias (2016) el estado de Oaxaca es el principal productor de mezcal en la nación, en el que participa con gran porcentaje de la producción nacional, el agave es una especie de plantas que se utiliza como materia prima principal para obtener el licor antes mencionado, después de un largo proceso que incluye el cultivo, corte, cocción, se genera una gran cantidad de residuos orgánicos (bagazo) provenientes de las piñas de maguey, que son exprimidas durante la molienda, pasan por un proceso de fermentación y finalmente por la destilación (Vázquez, 2006). Dentro de los desechos de la destilación tenemos vinazas que se mezclan con el bagazo de maguey, estas vinazas presentan contaminantes como sales, ácidos, glicerina y nitrógeno amoniacal (Tejada, 2009; Yavuz, 2007) que afectan la estructura y fertilidad del suelo, además de envenenar las cosechas. El bagazo a su vez se convierte en un excedente, que es parte de los recursos naturales que no son aprovechados en su totalidad y que en

su mayoría pueden ser reutilizados para sustituir materiales no renovables. Por esa razón, se escogió este material para ser utilizado en el método de experimentación que se desarrolló en el CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca, con el tema de “Influencia del uso de fibras de bagazo de maguey en la trabajabilidad del mortero hidráulico”. Dicho proceso de experimentación se realizó en función de una estructura de ferrocemento, esto para conocer el comportamiento del mortero con la adición de fibras. Es importante mencionar la utilización de las fibras naturales en la industria de la construcción, según Antillón (2016), esta se remota desde muchos años atrás de la aparición del cemento Pórtland y del concreto, cuando tenían un auge muy interesante los materiales cuya procedencia era orgánica como por ejemplo el pasto, el hilo, varas e incluso el pelo de los animales con el fin de evitar fisuraciones y mejorar su comportamiento a la tensión. Según Bernat et al. (2018), mezclar fibras en mortero fresco es una forma efectiva de reforzar el material ante los problemas de baja resistencia a tracción y flexión, además de que el uso de fibras naturales es ecológicamente sostenible y competitivo. Para Santillán (2020), el concreto reforzado con fibras se utiliza en México en la construcción de túneles y obras subterráneas, así como en pisos, taludes y elementos prefabricados, menciona que la incorporación de fibras se puede colocar el concreto y el refuerzo al mismo tiempo, con ahorros en el tiempo de preparación y colocación. Entre los beneficios de las fibras se mencionan el control de fisuras, la resistencia al impacto, al fuego, a la flexión y aumento de tenacidad entre otros.

Hoy por hoy en los diferentes métodos constructivos la utilización del mortero es común en territorio nacional y en los diferentes países, esta vez se analiza en el estado de Oaxaca la utilización de este aglomerante es un material usado en la actualidad en las construcciones que se ejecutan continuamente en el estado, sin embargo es alarmante el desconocimiento y la falta de información en el manejo y uso de estos, lo que origina como resultado una mala calidad del producto final trayendo consigo el exceso de desperdicio, mal manejo de la trabajabilidad y como consecuencia deficiencias en el comportamiento de las estructuras.

El objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de la inclusión de fibras en la trabajabilidad del mortero hidráulico y ofrecer una alternativa de uso de residuos orgánicos (bagazo de maguey) en la vivienda, haciendo énfasis en el mortero estructural para lo cual se diseñaron 24 mezclas con diferentes tamaños de fibra de bagazo, obteniendo así datos precisos que pudieran ser aportes para investigaciones futuras, se aborda también el tema de sustentabilidad, por el alto impacto negativo que generan los materiales sintéticos hoy en día, y que además se está pugnando por eliminar su uso.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **MATERIALES**

Para la presente investigación se emplearon los siguientes materiales: Cemento Cruz Azul Tipo II Compuesto (CPC 30 R RS). Arena de río, obtenida de un banco natural del río Atoyac, procedente de las cercanías del CIIDIR IPN unidad Oaxaca, completamente seca de características particulares, la cual se sometió a diferentes métodos y pruebas de laboratorio. Agua de los yacimientos de pozos de la unidad CIIDIR-IPN el cual cumple con los requisitos de la norma NMX-C-122- ONNCCE y el bagazo del maguey que se puede considerar como un material de desecho que se genera en grandes cantidades en los valles centrales de nuestro estado, el material que se utilizó se consiguió en la comunidad de San Baltazar Guelavía, Tlacolula de Matamoros, del estado de Oaxaca. Al integrarlo como parte de los diseños de este proyecto requirió de una concentración detallada de procedimientos para su limpieza, hasta llegar al punto de cumplir con las características adecuadas para su buen manejo, entre las favorables que destacan se pueden mencionar: Facilidad de corte, secado rápido e integración factible con partículas de mortero.

### **MÉTODOS**

#### ***Diseño de mezclas***

Los diseños de las mezclas de mortero tuvieron como base el método de diseño de mezclas de concreto de Abrams (CFE, 1998), al que se le realizaron algunas modificaciones, entre las principales la omisión de la grava, debido a que se trabajó bajo un concepto de mortero partiendo de la resistencia y el revenimiento que es una medida de trabajabilidad. Se determinó la dosificación de una mezcla de concreto en nuestro caso se eliminó el componente grava para elaborar morteros y se fue iterando la resistencia y el contenido de agua para obtener proporciones volumétricas planeadas.

#### ***Mezclas preliminares***

Se realizaron pruebas preliminares, con la intención de ir corroborando el diseño de mezclas propuesto a manera de evaluar la trabajabilidad de cada diseño y el efecto que se producía al incluir cada tipo de fibra. Se aplicó un criterio para determinar la cantidad de agua en cada mezcla. Una cantidad de agua en exceso se torna aguda y, por el contrario, una mezcla con poca agua no logra una unión entre los materiales utilizados. La cantidad de agua se midió con una probeta y se verificó que la mezcla cumpliera con características peculiares de trabajabilidad y adherencia.

Se realizaron pruebas preliminares en distintas etapas de la elaboración de morteros en estado fresco realizando en cada una la prueba de consistencia (fluidez) y el cono

de Abrams. Las proporciones volumétricas ensayadas fueron; 1:2, 1:3 y 1:4. Los porcentajes de fibra fueron 0.25 %, 0.5 %, 0.75 % y 1 %, con dos tamaños: 2 y 3 cm de longitud.

Se realizó pruebas en la mesa de fluidez con la finalidad de diseñar mezclas iniciales con la fluidez suficiente, como se muestra en la figura No. 1, para que se le pudiera agregar hasta el 1 % de bagazo de maguey y aun conservara cierta trabajabilidad, para que pudiéramos observar el efecto de ir agregando fibra a la mezcla.



Figura 1. Detalle del uso de la mesa de fluidez para obtener una consistencia de mezcla adecuada para la adición de fibras.

### ***Descripción del procedimiento de mezclas***

Se limpiaron los moldes antes de utilizarlos, con una esponja y agua, también se pesó cada material en las proporciones a utilizar, se utilizó una mezcladora que indica la norma mexicana NMX-C-085-ONNCCE-2010, “Método estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos”.

### ***Mezclado***

La mezcla fue realizada en una revolvedora de trompo con una capacidad de 20 L. Primero se pesaron las cantidades adecuadas de materiales y agregados para hacer las pruebas, se humedecieron parte de los agregados (fibras) antes del mezclado para después mantenerlos en reposo antes de ser incorporados a la revolvedora esto con la intención de que mantuvieran una cierta hidratación y no afectara la relación agua cemento de la mezcla. Posteriormente se agregó un poco de agua para mantener la reacción del polvo estable en la revolvedora, para luego agregar la arena seguida de la fibra. Se mezcló durante un promedio de 3 a 5 minutos, para después agregar el cemento y el agua restante y nuevamente mantener el mezclado durante un promedio de 2 a 4 minutos. Las fibras se adicionaron manualmente durante el primer tiempo de mezclado tratando de evitar que se entrelazaran, lo cual no se consiguió totalmente

ya que cuando se vació al recipiente se tuvo que, en algunos casos, separar la fibra manualmente. La mezcla se vació en moldes de diferentes características para realizar las diferentes pruebas de trabajabilidad.

### ***Criterio de mezclado en mortero***

El proceso de mezclado está basado en la norma mexicana NMX-C-085-ONNCCE-2010 "Método estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos". Con una variación en el proceso al integrar las fibras. El mezclado fue con mezcladora de concreto de manejo manual marca Gilson de 1 hp bajo el siguiente procedimiento:

- Se humedeció el recipiente de mezclado y el aspa, para evitar que se absorbiera el agua de mezclado.
- Se adicionó un porcentaje mínimo de agua dejando la otra parte para ser vertida en la fase final, seguido de la colocación de arena en su totalidad.
- Se integró la fibra en su totalidad a la revoladora (inclinación 2) manualmente para evitar entrelazamientos durante 60 segundos aproximadamente.
- Se agregó lentamente todo el cemento a la mezcla, en un lapso de 30 segundos, seguido de la totalidad del agua en otros 30 segundos.
- Se cambió la inclinación de la mezcladora (inclinación 1), y se mezcló durante 90 segundos.
- Se apagó la mezcladora, en un promedio total de 60 segundos de los cuales en los primeros 30 se arrastró el material adherido en las paredes al fondo del recipiente metálico y se movió a inclinación 3 para vaciar la mezcla.
- Finalmente, la mezcla se vertió en una carretilla metálica para someterse a pruebas y al final era homogeneizada de manera manual para realizar los posteriores ensayos.

### ***Tiempo de mezclado***

Para producir un mortero de composición uniforme y con un resultado de trabajabilidad satisfactoria, se utilizó un tiempo promedio de mezclado con una duración de 7 minutos. Generalmente cuando se emplean ciertos tipos de agregados como en este caso la fibra, aunado con las condiciones de trabajo, así como la temperatura ambiente del lugar, modifican el tiempo del mezclado que se requiere para cada mezcla.

## ***PRUEBAS DE TRABAJABILIDAD***

### **a) Revenimiento en cono estándar**

Se humedeció el molde y se colocó en una superficie no absorbente a la humedad. El molde se llenó en tres capas de la muestra de mortero obtenida como lo indica la norma mexicana NMX-C-156-ONNCCE-2010, cada una aproximadamente a 1/3 de la

capacidad total del molde. Al vaciar cada porción de mortero, se compactó de acuerdo a lo mencionado en la norma, teniendo cuidado de asegurar una adecuada distribución del mortero dentro del molde.

### **b) Revenimiento en cono escalado**

Se realizó bajo el mismo procedimiento del cono estándar.

### **c) Fluidez**

Se llevó a cabo conforme al método especificado en la norma mexicana NMX-C-061-ONNCCE-2010.

### **PRUEBAS PRÁCTICAS**

Se utilizó un diseño experimental en una estructura de ferrocemento armado con malla electrosoldada 6x6 6/6, reforzada con malla tipo hexagonal y metal desplegado, como se muestra en la figura 2.

La manera más adecuada de realizar cada prueba de embarrado, fue con una cuchara de albañil como herramienta, empleando la parte posterior de la cuchara con una inclinación de 30° a 45° y la presión adecuada para aplicar la mezcla sobre la estructura, teniendo cuidado de dejar una superficie rugosa que facilite la adhesión adecuada de las capas de mortero posteriores, después se colocaba uniformemente la pasta de mortero en toda el área experimental teniendo esta previamente humedecida. Se cubrió la estructura brindando al aplanado el mismo espesor en toda el área de prueba, manejando un promedio de 0.5 a 2 cm de espesor. A continuación, se afinó la superficie con la misma herramienta. Con la ayuda de una muestra de embarrado experimental anterior que ya había fraguado, se realizaba el acabado de cada mezcla.



Figura 2. Detalle de la estructura de ferrocemento donde se realizaron las pruebas de embarrado.

### **Mortero-Bagazo**

Para este material se encontraron resultados cuyas características se observaron muy favorables, como se puede observar en las figuras 3 y 4; en algunos diseños se

obtenían muy buenos resultados colocando la mezcla a presión sobre la estructura de ferrocemento, para posteriormente uniformizar el mortero hasta obtener un acabado adecuado, en algunos casos la fibra no quedaba retenida en el mortero y dada su rigidez, restituía su forma original dejando un acabado muy rustico, cabe mencionar que estos casos se presentaban en diseños con 0.75 % y 1.0 % de fibra.



Figura 3. Proceso de aplicación manual de mortero



Figura 4. Muestra de aplicación final de mortero

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien no se encontraron investigaciones relacionadas con la trabajabilidad del mortero con la adición de fibras de maguey, se puede destacar y coincidir con respecto al término de trabajabilidad del concreto reforzado con fibras como lo menciona Antillón (2016), esta dependerá de la dosificación de la fibra en la mezcla, su cantidad, la forma de las fibras, su tamaño, el estado superficial, el enlace entre ellas y las dimensiones de los agregados. Como se pudo constatar durante el proceso de experimentación, el tamaño de las fibras influyó en la trabajabilidad, observándose un mejor comportamiento cuando el tamaño de las fibras era de dos centímetros, con el tamaño de tres centímetros se

tuvo una mayor dificultad para integrarla a la mezcla de mortero facilitando la formación de grumos un tanto difíciles de desintegrar, especialmente con los mayores porcentajes de fibra en la mezcla de mortero. La fibra de bagazo de maguey presenta una rigidez tal que no permite mantener la forma que la mezcla de mortero le propicia, sino que tiende a recuperar su forma. En lo que respecta a la cantidad, en los porcentajes altos de fibra se propiciaba el sangrado de las mezclas.

Para utilizar el bagazo de maguey, es necesario quitar todo el excedente de sales, tierra y toda materia orgánica que interfiera en la calidad de la fibra y eliminar los materiales contaminantes mencionados por Tejada (2009) y Yavuz (2007).

Toda la fibra recolectada se introdujo en una tina, de ser posible es recomendable utilizar agua reciclada ya sea agua pluvial, o agua jabonosa de lavado de ropa para amortiguar tanto el costo del proceso, como el impacto ambiental, en el caso de este proyecto se utilizó agua de recolección pluvial.

Generalmente la fibra queda limpia al tercer o cuarto ciclo de lavado, el agua de cada ciclo se recicla para continuar el proceso de lavado del bagazo restante.

Cuando el bagazo está totalmente limpio, se expone al sol para su secado y se pesa de acuerdo al diseño de mezcla adecuado, posteriormente cuando se utiliza se remoja para obtener un estado de hidratación. Antes de introducirlo a la revolvedora se tiene que humedecer, teniendo en cuenta que no debe tener exceso de humedad, simplemente debe estar hidratado.

Las fibras naturales pueden suplir las artificiales, esto con relación a la facilidad con la que puede ser compactado el mortero al momento de su aplicación, es decir desde el término de trabajabilidad.

Los resultados obtenidos en la presente investigación respecto al mortero reforzado con fibras, generan diversas interrogantes que nos encaminan a considerar investigaciones futuras como, por ejemplo, conocer la durabilidad de las fibras en el mortero y la condición térmica que puede ofrecer.

Con un porcentaje a partir del 0.75 % en cualquiera de las dos dimensiones propuestas y proporciones volumétricas, se presentó acumulación de fibra, favoreciendo la formación de grumos. Por consecuencia, la preparación y aplicación representa mayor esfuerzo aunado al excedente de desperdicio que se genera.

## CONCLUSIONES

- Con base al tema de trabajabilidad, el diseño de mezcla con proporción 1:3 de bagazo cuya longitud corresponde a 2 cm con contenido de fibra de 0.25 %, fue la más factible manteniendo estabilidad tanto en prueba práctica, como en ensayos.

- Utilizar un porcentaje de 0.75 % de fibra es adecuado cuando se pretenda obtener una textura de acabado. Se observó que emplear 1.00 % de fibra de cualquier tipo de material es inadecuado desde el término de trabajabilidad.
- Para fibras naturales con longitud de 2 cm, la herramienta más adecuada para medir la trabajabilidad en campo será el cono de revenimiento escalado. Para fibras naturales con longitud superior a los 2 cm, la herramienta más adecuada para medir la trabajabilidad en campo será el cono de revenimiento estándar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAS SANTOS Dayana Alejandra (2016). Análisis del Sistema Agroindustrial Maguey-Mezcal en el Estado de Oaxaca. Veracruz, Ver. 62 h. Tesis en opción al título de Licenciado en Agronegocios Internacionales. Universidad Veracruzana.
- BERNAT-MASOA Ernest ...[et al.] (2018). Additioning alfa fibres in cement mortar. *Revista de la Construcción*. Santiago, Escuela de Construcción Civil Pontificia Universidad Católica de Chile. Vol. 17, No. 1, pp.72-84.
- ANTILLÓN, Jorge (2016). Uso de fibras en el concreto. Construcción y tecnología en concreto. Instituto Mexicano de Cemento y del Concreto A.C. Disponible en: <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/enero2016/experto.pdf>. Visitado 10 marzo de 2022.
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (1998). Cálculo y diseño de estructuras por el método de Duff Abrams. México, CFE.
- ONNCCE S.C. (2010). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. NMX-C-061-ONNCCE-2010. Industria de la Construcción – Cementos Hidráulicos-Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos.
- ONNCCE S.C. (2010). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. Industria de la Construcción Cementantes hidráulicos Determinación de la Consistencia Normal. NMX-C-085-ONNCCE-2010. Industria de la construcción-Cementos hidráulicos-Método estándar para el mezclado de pastas y morteros cementantes hidráulicos.
- ONNCCE S.C. (2010). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. NMX-C-156-ONNCCE-2010 Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco. México.
- SANTILLÁN, M. L. (2020). Concreto reforzado con fibras aporta beneficios a la construcción. Ciencia UNAM. Disponible en: <https://ciencia.unam.mx/leer/1069/concreto->

[reforzado-con-fibras-aporta-beneficios -a-la-construccion](#). Visitado: 10 febrero de 2022.

- TEJADA, M., GARCIA-MARTINEZ, A.M. y PARRADO, J. (2009). Effects of a vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration. *CATENA*. Vol. 77, No. 3, pp. 238-247.
- VÁZQUEZ, B. (2006). Análisis de la eco eficiencia en la producción del mezcal. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/151/Tesis%20Adrian%20Vazquez%20Beltran.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Visitado el 2 de febrero de 2020.
- YAVUZ, Y. (2007). EC and EF processes for the treatment of alcohol distillery wastewater. *Separation and Purification Technology*. Vol. 53, No. 1, pp.135-140.