

Revista CIENTÍFICA

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería
Volúmen 19, No. 1, 2022 ISSN 1993-3711 y en línea 1993-372X

Fortaleciendo
la **Investigación**



FIUSAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



latindex

Órgano Divulgativo del Centro de Investigaciones de Ingeniería

REP.	Autores	Centro de Investigaciones de Ingeniería Facultad de Ingeniería
No. 19	Título	Revista Científica Fortaleciendo la Investigación
	Dig /Ed	Guatemala, CII, USAC 2022
	Idioma	Esp.
	Descripción	104 p. : il. ; 27 cm.
	Ejemplares	Año MMXXII, No. I (publicación anual)
	ISSN	1993-3711 y en línea 1993-372X
	Temas	Ingeniería Revistas

Revista Científica

Fortaleciendo la Investigación

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigaciones de Ingeniería

Autoridades Universitarias

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis
Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero
Secretario General

Autoridades Facultad de Ingeniería

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
Secretario Académico

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería





Comité Editorial
Centro de Investigaciones de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

Presentación

Revista Científica

Fortaleciendo la Investigación

El presente número de la Revista Científica, del Centro de Investigaciones de Ingeniería contiene una serie de artículos con información de suma importancia. Se presentan artículos con temas de investigaciones que integran diferentes vertientes de la Ingeniería, como lo es Civil, Química e Industrial, con la participación de equipos multidisciplinarios.

El Ingeniero Civil Mario Rodolfo Corzo Ávila junto a su equipo de trabajo, presentan el artículo que se refiere a la "Redistribución de esfuerzos en las uniones de la losa y solera de corona en muros de mampostería". En el mismo se evalúan la redistribución de momentos de la base hacia los nudos de un sistema estructural arriostrado y sin arriostrar, por medio de pruebas de carga dinámica aplicadas a un módulo de losa prefabricada tipo vigueta-bovedilla, con muros reforzados, con pines y pruebas de carga estática horizontal, en un módulo de losa prefabricada tipo vigueta-bovedilla y con muros revestidos con poliestireno expandido.

La Sección de Estructuras liderada por el Ingeniero Civil Mario Rodolfo Corzo Ávila, también presenta el artículo que trata de la "Implementación de ensayos para geomalla bidireccional". En éste se estableció una metodología alternativa para ensayo de geomalla bidireccional, con lo que determinan los efectos generados en la geomalla y su comportamiento, al ser sometida a esfuerzos de trabajo por medio de la generación de una curva de carga-deformación, todo lo anterior expuesto, a partir de la aplicación de carga a tensión, en dos sentidos perpendiculares entre sí, en una muestra fijada en sus extremos por mordazas diseñadas con angulares metálicos prensados.

El Ingeniero Civil Mario Rodolfo Corzo Ávila, conjuntamente con su equipo de trabajo, presentan el artículo titulado "Ensayo carga lateral a muro placa-poste, NORMA ASTM E-564-76". En este estudio se evaluaron dos sistemas de muros tipo placa-poste por medio de la aplicación de carga lateral, con el fin de determinar si la configuración evaluada era consistente para su aplicación en muros de vivienda. Los ensayos se realizaron en base a la Norma American Society for Testing and Materials E564-76 (ASTM E564-76, 2015) Standard Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings, la cual determina los criterios mínimos para el ensayo aplicado.

Nuevamente la Sección de Estructuras, aborda una temática relacionada con movimientos telúricos a través del artículo titulado "Análisis de efectos en muro prefabricado con abertura, debido a la acción del sismo". Se evaluaron dos paneles prefabricados de 14 cm de espesor reforzados con joist como costillas, rellenos de poliestireno expandido y recubiertos con grout, aplicando carga lateral en dos configuraciones de abertura: puerta-ventana, donde la puerta está adyacente al punto de aplicación de carga, y ventana-puerta, donde la ventana está adyacente al punto de aplicación de carga. Una apropiada configuración de muros y sus respectivas aberturas permite que el sistema resista apropiadamente la acción del sismo.

La Sección de Metales y Productos Manufacturados, del Centro de Investigaciones de Ingeniería presenta el artículo titulado: "Resultados de adoquines de concreto fabricados con arena cuarzo-feldespática como agregado fino", una investigación de suma importancia, ya que los adoquines son elementos constructivos de uso vial y decorativos, con una fácil instalación, considerándolo como un pavimento flexible, estos son fabricados por el método de vibro-compactación.

En el contexto de la Ingeniería Civil, el Ingeniero Francisco Javier Quiñonez de la Cruz, expone importantes resultados con el artículo titulado “Depósito de ferrocemento treinta años después de estar en condiciones de servicio”. Se consideró que podría ser una alternativa en relación al concreto armado, de muy bajo costo, más liviano, utilizando mano de obra no especializada y para construirse en el lugar de destino, principalmente en el área rural. Con ese material y su sistema constructivo, se construyeron depósitos para almacenamiento de agua de diferentes capacidades. Este año, se realizó una evaluación para conocer el estado y la valoración del servicio prestado, a una muestra de diez recipientes, extraída de los depósitos construidos, después de haber estado en condiciones de uso por más de treinta años.

En esta edición, la Licenciada en Ciencias Químicas Ingrid Lorena Benítez Pacheco junto al equipo de Laboratorio Físico Químico de la Sección de Química Industrial del CII (LAFIQ) elaboraron un artículo en referencia a la “Evaluación de la capacidad antioxidante del residuo de café poslixiviado como alternativa de economía circular” en donde el residuo seco se sometió para la determinación de la capacidad antioxidante y un estudio granulométrico. Se obtuvieron los componentes antioxidantes, no sin antes realizar un estudio del mejor solvente para la muestra antes y después de lixiviar. La extracción se realizó por medio de la técnica de destilación con rota evaporación.

En la Sección de Tecnología de los Materiales y Sistemas Constructivos, del Centro de Investigaciones de Ingeniería, el Doctor e Ingeniero Civil Edgar Virgilio Ayala Zapata, junto a su grupo de trabajo, presentan un artículo que aborda la temática de “Control de calidad en el proceso de corte y cepillado de madera para la edificación de muros”. Este artículo se desarrolló con el apoyo de la Sección de Estructuras. Las maderas utilizadas provienen de diferentes comunidades en áreas manejadas y protegidas por concesiones forestales, en la Reserva de la Biósfera Maya en el Departamento de El Petén, supervisadas periódicamente por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Se evaluó la calidad en el proceso de corte y cepillado de la madera para la edificación de muros, se hizo la selección de las maderas para su caracterización física y mecánica en el laboratorio, se realizaron los procedimientos para corte y cepillado de las maderas seleccionadas, se profundizó en los conocimientos sobre las condiciones específicas de corte y cepillado de las maderas para la elaboración de muros.

Seguidamente el Ingeniero Industrial Saulo Moisés Méndez Garza, presenta un artículo titulado “Estudio de mercado para una planta de producción de materiales de construcción” donde los estudios dieron como resultado que el techo más utilizado era la lámina de zinc; y la teja de micro concreto era un producto nuevo y desconocido en la región, sin embargo, generó mucha expectativa y aceptación, debido a sus dimensiones y la composición de materiales para su fabricación.

Finalmente, otro artículo de relevancia fue el titulado “Comparativa Físico-Mecánica de madera plástica versus especies de madera de pino”, el cual fue desarrollado por el Mtro. e Ing. Pablo Christian de León junto al equipo de trabajo de la Sección de Metales y Productos Manufacturados. La madera plástica es un componente que presenta una buena alternativa, ya que la materia prima utilizada para su fabricación, son plásticos que se encuentran en vertederos o productos desechados por industrias diversas. El proceso de fabricación de la madera plástica, inicia con la limpieza y selección de distintos tipos de plástico, para su transformación por medio del molido, secado y peletizado, para posteriormente ser sometido a un proceso de extrusión y elaboración de piezas según se requiera.

El Centro de Investigaciones de Ingeniería, espera que esta revista sea un espacio de difusión científica cuyo contenido muestre los avances de trabajo de investigación en el ámbito de las ingenierías y que llene las expectativas al contribuir a la actualización permanente de los lectores.

Contenido

10

Redistribución de esfuerzos en las uniones de la losa y solera de corona en muros de mampostería

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil), mariorcorzo@gmail.com

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio), raulo68@hotmail.es

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra), tlcd.96@gmail.com

Sección de Estructuras CII/USAC

20

Implementación de ensayo para geomalla bidireccional

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil), mariorcorzo@gmail.com

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio), raulo68@hotmail.es

Luis Felix Chocojay Guamuch (Auxiliar de cátedra) felix.chocojay@gmail.com

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra), tlcd.96@gmail.com

José Andrés Rodríguez Cotóm (Estudiante Ing. Civil), jarc95@outlook.es

Sección de Estructuras CII/USAC

27

Ensayo carga lateral

a muro placa-poste Norma ASTM E-564-76

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de cátedra), raulo68@hotmail.es

Luis Felix Chocojay Guamuch (Auxiliar de laboratorio), felix.chocojay@gmail.com

Nelson Anibal Calán Tomás (Estudiante de Ingeniería Civil), nelsoncalan77@gmail.com

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil), mariorcorzo@gmail.com

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra), tlcd.96@gmail.com

Sección de Estructuras CII/USAC

35

Análisis de efectos en muro

prefabricado con cobertura debido a la acción del sismo

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil), mariorcorzo@gmail.com

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio), raulo68@hotmail.es

Luis Felix Chocojay Guamuch (Auxiliar de laboratorio), felix.chocojay@gmail.com

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra), tlcd.96@gmail.com

Sección de Estructuras CII/USAC

44

Estudio de mercado

para una planta de producción de materiales de construcción

Saulo Moises Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial), mendezgarza@yahoo.com

Sección de Ecomateriales CII/USAC

53

Resultado de adoquines

de concreto prefabricados con arena cuarzo-feldespática como agregado fino

Pablo Christian De León Rodríguez (MSc. Ing. civil), pablo291251@yahoo.com

Nester Giovani Ampérez Solíz (Ing. civil), n.ga.sol.001@gmail.com

Sección de Metales y Productos Manufacturados CII/USAC

62

Depósitos de ferrocemento

treinta años después de estar en condiciones de servicio

Francisco Javier Quiñónez de la Cruz (Ing. Civil), javierquinonez@yahoo.es

Sección de Ecomateriales CII/USAC

77

Evaluación de la capacidad antioxidante

del residuo de café polixividiado como alternativa de economía circular

Paula María Vásquez Cifuentes (Mtro. Energía y Ambiente), vasquezcifuentes.paula@gmail.com

Ingrid Lorena Benítez Pacheco (Mtro. Energía y Ambiente), licdabenitez@gmail.com

Sección de Química Industrial, Laboratorio de Análisis Físicoquímico -LAFIQ-

85

Control de calidad

en el proceso de corte y cepillado de madera para edificación de muros

Edgar Virgilio Ayala Zapata (Dr. Ing. Civil), virgilioayala@yahoo.com

Sección de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos CII/USAC

Saulo Moises Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial), mendezgarza@yahoo.com

Sección de Ecomateriales CII/USAC

95

Comparativa físico-mecánica

de madera plástica versus especies de madera de pino

Emerson Victor Manuel Pérez Méndez (Ing. Civil), m_rson7@outlook.com

Pablo Christian De León Rodríguez (MSc. Ing. civil), pablo291251@yahoo.com

Sección de Metales y Productos Manufacturados CII/USAC

Redistribución de esfuerzos en las uniones de la losa y la solera de corona en muros de mampostería

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
mariorcorzo@gmail.com

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio)
raulo68@hotmail.es

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de Cátedra)
tlcd.96@gmail.com



Redistribución de esfuerzos en las uniones de la losa y solera de corona en muros de mampostería

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
 marioacorzo@gmail.com
 Sección de Estructuras CII/USAC

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio)
 raulo68@hotmail.es
 Sección de Estructuras CII/USAC

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra)
 tlcd.96@gmail.com
 Sección de Estructuras CII/USAC

Resumen

Se evaluó la redistribución de momentos de la base hacia los nudos de un sistema estructural arriostrado y sin arriostrar, por medio de pruebas de carga dinámica aplicadas a un módulo de losa prefabricada tipo vigueta-bovedilla con muros reforzados con pines, y pruebas de carga estática horizontal en un módulo de losa prefabricada tipo vigueta-bovedilla con muros revestidos con poliestireno expandido. El arriostramiento en los nudos consiste en dos mecanismos; siendo placas rígidas y placas tipo biela formando un ángulo de 45°, sin reducir más del 20% de la altura total de los muros. Del sistema ensayado con carga dinámica se redistribuyeron los momentos por el arriostramiento, el cual aportó mayor tenacidad en su comportamiento plástico. En el sistema ensayado con carga estática horizontal, se redistribuyeron los momentos hacia los nudos que, se volvieron más dúctiles debido a la rigidización.

Palabras clave: redistribución de momentos, arriostramiento, losa prefabricada, muros de mampostería, biela, rigidizante, tenacidad, comportamiento elástico, comportamiento plástico.

Abstract

The redistribution of torque from de base to the nodes of a braced and not braced structural system was evaluated through dynamic load tests applied to a joist-vault prefabricated slab with pinned reinforced walls, and static load tests applied to a joist-vault prefabricated slab with polystyrene foam coated walls. The braced in nodes consists of two mechanisms being rigid plates and connecting rod like plates that forms a 45° angle, without reducing more tan 20% of the total wall height. In the system tested with dynamic load torques were redistributed because of the bracing which contributed more tenacity in it's plastic behavior. In the system tested with horizontal static load, torques were redistributed to the nodes which became more ductile because of the stiffening.

Keywords: torque redistribution, bracing, prefabricated slab, masonry walls, connecting rod, stiffening, tenacity, elastic behavior, plastic behavior.

Introducción

Un sistema de losa prefabricada tipo vigueta y bovedilla con muros de mampostería, genera un momento cero o cercano a cero en el nudo de la losa con el muro.

Esto indica que dicho nudo al estar sometido bajo efectos de carga vertical combinada con carga de sismo, provocará desplazamiento y/o rotación, dando a lugar que el ángulo de 90 grados, conformado por el elemento vertical y el elemento horizontal se modifique llevando el sistema a la falla e inevitablemente al colapso.

La investigación propone revertir los efectos causados por el desplazamiento y/o rotación por medio de la redistribución de los momentos, que se concentran en la parte inferior del muro hacia la parte superior del mismo, en el apoyo, disipando la energía en el sistema. Se busca que al disipar la energía por medio del arriostramiento de los nudos, se logre dar más estabilidad al sistema, generando mayor capacidad de energía cuando el sistema entre en su zona plástica.

Además, se busca que la metodología de arriostramiento empleada, pueda ser aplicada para generar el criterio del sistema de bielas al nudo de losa-muro, para que pueda variar el ángulo de 90 grados en el nudo a +/- 10 % sin afectar la integridad estructural del sistema. Este concepto no es comúnmente aplicado, actualmente a los sistemas constructivos y de diseño de sistemas de mampostería, por lo que esta investigación propone innovar este sistema constructivo velando siempre por la seguridad e integridad estructural de una forma práctica y eficiente.

Objetivos

General:

Evaluar la redistribución de esfuerzos en la unión de losa y solera de corona en muros de mampostería, al colocarse un arriostramiento a dicha unión.

Específicos

- a. Describir las propiedades mecánicas y estructurales de un sistema de losa prefabricada tipo vigueta y bovedilla con muros de mampostería.
- b. Analizar el comportamiento de un sistema de losa prefabricada tipo vigueta y bovedilla con muros de mampostería, aplicando carga vertical y carga horizontal.
- c. Determinar el aporte estructural de los materiales utilizados para la elaboración de estos sistemas de losa prefabricada tipo vigueta-bovedilla, con muros de mampostería.
- d. Comparar los efectos obtenidos en la unión losa-muro del sistema de losa tipo vigueta-bovedilla, con muros reforzados por aplicación de carga dinámica arriostrado y sin arriostrar.
- e. Comparar los momentos obtenidos en la unión losa-muro del sistema de losa tipo vigueta-bovedilla, con muros revestidos con poliestireno expandido por aplicación de carga lateral arriostrado y sin arriostrar.

Metodología

Sistema 1

Losa prefabricada y muros reforzados

Según Hernández (2017) y Sección de Estructuras CII (2019), el sistema de losa prefabricada tipo vigueta-bovedilla con muros reforzados, consiste en un sistema de losa y dos muros paralelos de mampostería reforzados con pines de acero según ACI 530 (2011), NSE 4-10 (2020), NSE 7.4 (2020), Amrhein y Porter (2009) y Poveda (2010).

Se colocó un tubo de concreto de 32" de diámetro y peso de 2.2 toneladas, de manera que el área de contacto sobre la losa fuera de una franja unitaria de 10 cm de espesor. Se tomaron lecturas con deformímetros en el sentido vertical y sentido horizontal para evaluar la onda generada en ambos sentidos. Se rodó el tubo generando una carga dinámica y tomando lecturas de deformación para cada ciclo de carga.

Para arriostrar este sistema, se colocaron cuatro placas de acero de 40 cm ancladas con tornillos tipo Hilti (pernos de anclaje) de 1.27 cm de diámetro y longitud de 10.16 cm y de 1.27 cm de diámetro y longitud de 5.08 cm.

Las placas se colocaron de dos formas, donde en un lado del sistema, se anclaron dos placas paralelas al rostro exterior de la losa y del muro, anclando los tornillos al centroide de cada elemento (placas rígidas), y en el otro lado, se anclaron dos placas en los rostros interiores de la losa y del muro, de manera que el mecanismo de acción sea similar a un sistema de bielas con la consideración que, las articulaciones para este caso serán rígidas (placas biela), aportando rigidez según McCormac y Csernak (2013), Colunga, Hernández y Vergara (2006) y Chavarría (2011).

Se agregó una configuración de madera dentro del espacio formado por las placas biela en el nudo para rigidizar más el sistema.

Con el sistema arriostrado, se aplicó sistema sin arriostrar, tomando datos de deformación de forma similar al sistema sin arriostrar.

Sistema 2

Losa prefabricada y muros revestidos con poliestireno expandido

Según Orozco (2019) y Sección de Estructuras CII (2018), el sistema de losa prefabricada tipo vigueta-bovedilla y muros revestidos con poliestireno expandido, consiste en un módulo de losa y dos muros paralelos conformados por celdas de concreto armado, que forman pequeños marcos estructurales que funcionen como tal, según el Código ACI 318-14, ACI-ASCE 352 y NSE 3-10, revestidos con poliestireno expandido.

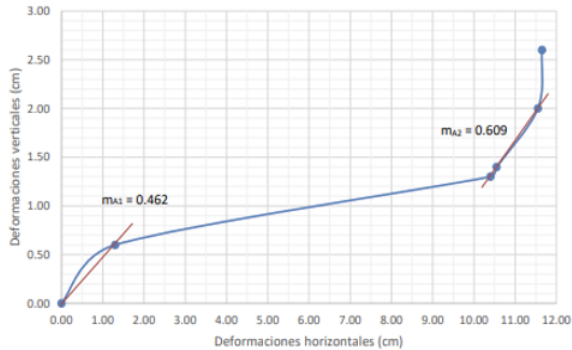
A este sistema se aplicó únicamente carga estática lateral cuando este estaba arriostrado y sin arriostrar.

El arriostramiento en este sistema es de la misma forma del primer sistema, colocando siempre las placas ancladas con pernos Hilti de la misma medida, de manera que las placas tipo biela se colocaron en los nudos paralelos, formados entre el muro con abertura y la losa, y las placas rígidas se colocaron en los nudos paralelos formados entre el muro sin abertura y la losa.

Resultados

Se realizó una comparación del sistema 1 en su estado arriostrado y sin arriostrar, por medio de una relación de deformaciones verticales-horizontales, resultando lo siguiente.

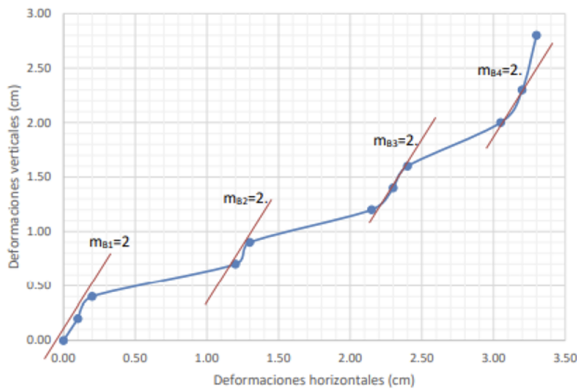
Figura No. 1. Resultante de deformaciones verticales-horizontales sistema sin arriostrar



Fuente de los datos: T. Cermeño, 2019

Nota. Ilustración resultante de deformaciones verticales-horizontales del sistema sin arriostrar, según informe Sección Estructuras por Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Figura No. 2. Resultante de deformaciones, sistema arriostrado

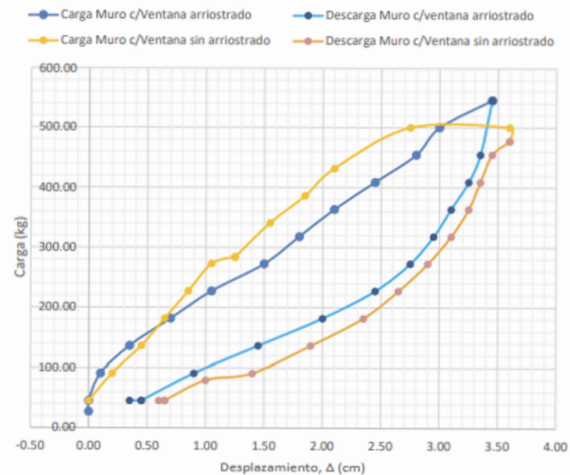


Fuente de los datos: T. Cermeño, 2019

Nota. Ilustración resultante de deformaciones verticales-horizontales del sistema sin arriostrar, según informe Sección Estructuras por Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Se realizó una comparación del sistema 2 en su estado arriostrado y sin arriostrar, por medio de la generación de la curva carga-deformación para cada muro, cuyos resultados aparecen en las figuras 3 y 4.

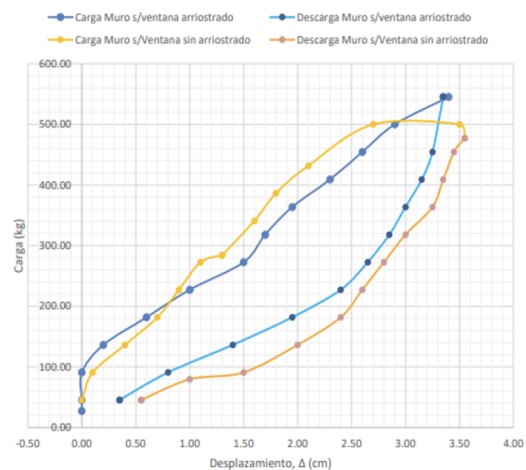
Figura No. 3. Carga-deformación del sistema del muro con abertura



Fuente de los datos: T. Cermeño, 2019

Nota. Ilustración resultante de deformaciones verticales-horizontales del sistema sin arriostrar, según informe Sección Estructuras por Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Figura No. 4. Carga-deformación del muro sin abertura



Fuente de los datos: T. Cermeño, 2019

Nota. Ilustración resultante de deformaciones verticales-horizontales del sistema sin arriostrar, según informe Sección Estructuras por Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Discusión de resultados

En el sistema 1, de la relación de las deformaciones horizontales y verticales en su estado no arriostrado, se obtiene una curva resultante que relaciona estos dos parámetros. Según Corzo (2008), la pendiente m^{A1} indica la zona de resiliencia del sistema. Debido a la flexibilidad de este sistema, la zona elástica se genera en una linealidad, según el Código Uniforme de Construcción (2017) y el Código Internacional de Construcción (1997), en la curva generada, a partir de la deformación horizontal de 1.3 cm, correspondiente a la deformación horizontal de 10.55 cm. Después de la deformación de 10.55 cm, la curva cambia su pendiente a m_{A2} , con un valor de 0.609. Este cambio de pendiente refleja la zona plástica del sistema. La diferencia entre pendientes evidencia que el sistema sin arriostrar es tan flexible que la zona elástica es mayor que la zona plástica.

La curva generada en la figura 2, indica la resultante entre deformaciones horizontales y verticales del sistema 1 arriostrado. La zona de resiliencia se genera en la región de la pendiente m_{B2} , la cual tiene un valor de 2.0. La zona elástica se genera en la región de la pendiente m_{B2} . La zona de transición o elastoplástica se genera en la región de la pendiente m_{B3} y la zona plástica se genera en la región de la pendiente m_{B4} . Tomando de referencia la pendiente en la zona elástica se observa que esta se mantiene en el resto de las zonas del sistema, lo que indica que el arriostramiento da mayor estabilidad al sistema, de manera que aporta mayor tenacidad y una mejor distribución de los momentos y esfuerzos generados.

Comparando las pendientes del sistema 1 arriostrado y sin arriostrar, se observa que la pendiente en el sistema arriostrado es mayor que las pendientes generadas en el sistema sin arriostrar. Con esto, se puede definir una relación entre m_{B4} y m_{A2} que permite conocer el

porcentaje de eficiencia del arriostramiento en el sistema tomando de referencia el comportamiento en su zona plástica. La relación entre la pendiente del sistema arriostrado con la pendiente del sistema sin arriostrar, da como resultado una eficiencia de 3.28, es decir; que el arriostramiento da una mejora de 3.28 veces al sistema de losa tipo vigueta-bovedilla con muros reforzados.

En la figura 3, se observan las curvas generadas en el muro con ventana del sistema 2, donde la amplitud de la curva generada se ve reducida con el arriostramiento, de manera que existe una diferencia evidente en la zona de cedencia de la curva durante el ciclo de carga, es decir; que el nivel de cedencia para el sistema sin arriostrar se alcanzó a los 284.09 kg en 1.25 cm de desplazamiento y para el sistema arriostrado sucede en 272.73 kg en 1.50 cm, por lo que el sistema arriostrado disminuye su nivel de cedencia por 11.36 kg.

Además, la resiliencia se ve aumentada debido al arriostramiento, ya que en el sistema 2 no arriostrado, este valor se encuentra en 45.45 kg aproximadamente, y el valor de resiliencia para el sistema arriostrado es de 90.91 kg aproximadamente. El arriostrado da una capacidad de resiliencia de 45.45 kg, que se ve reflejado en el punto máximo de la curva, ya que para el sistema sin arriostrar es de 500 kg, mientras que en el sistema arriostrado es de 545.45 kg.

El muro sin abertura del sistema 2, mantuvo un comportamiento similar al muro con abertura, como se observa en la figura 4, ya que el nivel de cedencia se alcanzó a los 284.09 kg en 1.30 cm de desplazamiento cuando no está arriostrado, y 272.73 kg en 1.50 cm cuando está arriostrado, disminuyendo el nivel de cedencia en la misma magnitud que el muro con abertura.

De la misma forma, se mantiene la capacidad de resiliencia del sistema en 45.45 kg.

El muro sin abertura mantiene una rigidez aún sin arriostramiento, de acuerdo con Velásquez (2012) y Ramírez (2015), pero también mantiene un comportamiento similar al muro con abertura, ya que para ambos el límite de la zona elástica se encuentra en 1 cm de desplazamiento, el muro y la rigidez que aporta el arriostramiento, funciona para mejorar el comportamiento y reacción del sistema en el rango plástico. Esto es debido a las características del muro, ya que el sistema 2 fue diseñado para un comportamiento muy flexible, así el arriostramiento da una tenacidad en la zona plástica, es decir; que el arriostramiento aumentó la capacidad del sistema en la zona baja, porque hace que trabaje más arriba y que en la base tenga un comportamiento como parcialmente articulado, según Bazán y Meli (2000), por lo que el arriostramiento ayuda a redistribuir la rigidez y los momentos a la parte superior del sistema, de acuerdo con López y Music (2016).

Considerando lo anterior y según Seisdodos (2016), el arriostramiento también aporta rigidez a la losa, por lo que esta aumenta su dureza en una porción, a la vez que rigidiza el muro y redistribuye los momentos generados en la parte superior del sistema.

Conclusiones

1. Se determinó que, al arriostrar cada sistema y ser estos considerablemente flexibles, se genera una redistribución de los momentos en la base al nudo superior losa-solera, donde el arriostramiento aporta al sistema, dando mayor capacidad de energía cuando el sistema entra a su zona plástica, sin afectar su capacidad en la zona elástica.
2. Se determinó que, en un ciclo de carga y descarga, la amplitud de la onda generada, disminuye considerablemente al arriostrar el sistema, por lo que el límite de cedencia y la resiliencia del sistema

aumentan, además, el arriostramiento genera que aumente la tenacidad cuando el sistema actúa en su zona plástica.

3. Se analizó que estos sistemas de losa prefabricada tipo vigueta-bovedilla con muros de mampostería al ser sometidos a distintos tipos de carga, los efectos generados consisten en desplazamientos que pueden llegar a ser mayores a su deriva máxima permisible, que representa el 1% de su altura total, sin generar fallas súbitas, debido a que tienen mayor capacidad de energía, cuando trabajan en su zona elástica y elastoplástica.
4. Se comparó el sistema con muros de mampostería reforzada arriostrado y sin arriostrar de manera que, cuando el sistema está arriostrado, la amplitud de la onda generada presenta oscilaciones más altas que cuando está arriostrado, ya que el sistema arriostrado disminuyó la amplitud de la onda, por lo que fue posible aumentar la carga sin generar cortes súbitos en las placas y en los pernos, evidenciando que se genera más momento en los nudos sin provocar un colapso súbito del sistema.
5. Se comparó el sistema de muros revestidos con poliestireno expandido de manera que, con el sistema sin arriostrar se generaron momentos más grandes a la base de los muros, que en los nudos A y B, pero cuando el sistema está arriostrado, los momentos se redistribuyen hacia los nudos, donde el nudo B es el que se comporta más rígido, debido a que el arriostramiento no solo rigidiza al muro, sino también en una porción a la losa.

Recomendaciones

1. Se recomienda evaluar la aplicación de la metodología de arriostramiento con las placas biela con articulaciones, que permita manejar la flexibilidad de estas.

2. Se debe evaluar el funcionamiento de la metodología de arriostamiento de placas biela articuladas en las esquinas embebidas en concreto, o bien, con un relleno sólido de madera o material de otro tipo, considerando las reacciones que esta aplicación resulta en el sistema.
3. Se recomienda que la longitud de anclaje de las placas biela en el muro no superen un 20% de la altura total de este, tomando en cuenta siempre de mantener un ángulo de inclinación de la placa de 45 grados, para evitar un efecto de columna corta que aumente drásticamente la rigidez del sistema en uno o ambos muros del módulo evaluado.
4. Se debe considerar que las aberturas en los muros por puertas o ventanas para estos sistemas flexibles, no sobrepasen un 20% del área total del muro, ya que las aberturas disminuyen la rigidez del muro que conforma el sistema.
5. En sistemas donde no hay muros perpendiculares al sentido de la losa, se recomienda aplicar la metodología de arriostamiento analizada para la mejora en la distribución de momentos en los muros y para dar estabilidad al sistema.

Referencias bibliográficas

- American Concrete Institute. ACI 530-11. (2011). Building Code Requirements and specification for masonry structures [Requisitos y especificaciones del código de construcción para estructuras de mampostería]. Farmington Hills: Masonry Standards Joint Committee (MSJC).
- American Concrete Institute. ACI-ASCE 352. (2010). Recomendaciones para el diseño de conexiones viga-columna en estructuras monolíticas de concreto reforzado. Farmington Hills.

American Concrete Institute. ACI 318S-14 y comentario ACI 318SR-14. (2014). Requisitos de Reglamento para concreto estructural. Farmington Hills.

Amrhein, J. y Porter, M. (2009). Reinforced Masonry Engineering Handbook [Manual de ingeniería de mampostería reforzada]. Washington: Masonry Institute of America; International Code Council.

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2010). NSE 3-10: Diseño estructural de edificaciones. Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala. Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2010). NSE 4-10: Requisitos prescriptivos para vivienda y edificaciones menores de uno y dos niveles. Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala.

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2010). NSE 7.4: Mampostería reforzada (NR9: 2000). Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala. Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.

Barrera, L. (2010). Validación del sistema constructivo prefabricado tipo poste pretensada placa ensamblada. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional.

- Bazán, E. y Meli, R. (2002). Diseño sísmico de edificios. Limusa S.A.
- Sección de Estructuras CII (2019). Ensayo de Losa a Flexión (Informe No. 01 ELF 26/04/2019). Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sección de Estructuras CII (2018). Ensayo de Losa a Flexión (Informe No. ELF 01- NOV2018) Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Chavarría, M. (2011). Análisis y determinación teórica de la rigidez de muros de mampostería reforzada en edificios de hasta dos niveles. [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC.
- Colunga, A., Hernández, G. y Vergara, J. (2006). Estimación de la rigidez lateral elástica de muros con aberturas. Revista internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil 11(2), 135-162. f https://www.scipedia.com/wd/images/2/27/Draft_Content_160063558Tena-Colunga_et_al_a.pdf
- Corzo, M. (2008). Notas mampostéricas de una sabandija. Guatemala: s.n., 2008. pág. 194.
- Hernández, G. (2017). Diseño de losas tipo vigueta y bovedilla no preesforzado. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional.
- International code council (2018) International Building Code [Código Internacional de Construcción] Country Club Hills.
- International Conference of Building Officials. (1997). Uniform Building Code. [Código Uniforme de Construcción]. Country Club Hills.
- López, C. y Music, J. (2016). Análisis del período y desplazamiento de edificios de hormigón armado considerando distintos grados de rigidez en sus elementos resistentes. Antofagasta.
- McCormac, J. y Csernak, S. (2013). Diseño de estructuras de acero. Alfaomega Grupo Editor.
- Orozco, P. (2019). Propuesta de vivienda unifamiliar utilizando muros de poliestireno expandido, reforzado con acero y concreto. (Tesis de licenciatura). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Povedá, Á. (2010). Edificios de mampostería. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Ramírez, M. (2015). Análisis y diseño estructural de viviendas unifamiliares de dos niveles, con diferente unidad de mampostería por nivel. [Tesis de licenciatura]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Seisdedos, D. (2016). Diseño computarizado de losas macizas en dos direcciones utilizando el método de los coeficientes. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional.

Velásquez, S. (2012). Análisis de aberturas máximas en un muro de mampostería, para considerarlo continuo. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional.

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
Ingeniero Civil, Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Avdías Raúl Ortiz Morales
Auxiliar de laboratorio de la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Telma Lorena Cermeño Dávila
Auxiliar de cátedra de la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Implementación de ensayo para geomalla bidireccional

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
mariorcorzo@gmail.com

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio)
raulo68@hotmail.es

Luis Felix Chocojay Guamuch (Auxiliar de cátedra)
felix.chocojay@gmail.com

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra)
tlcd.96@gmail.com

José Andrés Rodríguez Cotóm (Estudiante de Ingeniería Civil)
jarc95@outlook.es



Implementación de ensayo para geomalla bidireccional

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
mariorcorzo@gmail.com
Sección de Estructuras CII/USAC

Luis Felix Chocojay Guamuch (Auxiliar de cátedra)
felix.chocojay@gmail.com
Sección de Estructuras CII/USAC

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio)
raulo68@hotmail.es
Sección de Estructuras CII/USAC

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra)
tlcd.96@gmail.com
Sección de Estructuras CII/USAC

José Andrés Rodríguez Cotóm
(Estudiante de Ingeniería Civil)
jarc9596@outlook.es
Facultad de Ingeniería, USAC

Resumen

Se estableció una metodología alternativa para ensayo de geomalla bidireccional, por medio de la aplicación de carga a tensión en dos sentidos perpendiculares entre sí, en una muestra fijada en sus extremos por mordazas diseñadas con angulares metálicos prensados, para determinar los efectos generados en la geomalla y su comportamiento al ser sometido a esfuerzos de trabajo, por medio de la generación de una curva de carga-deformación. La curva permite evaluar la funcionalidad de la metodología aplicada para ensayo, de manera que se estableció una zona de resiliencia, una zona elástica total, compuesta por el límite elástico y el límite elastoplástico, y una zona plástica donde se genera el colapso o falla del material. Además, se determinó el esfuerzo a tensión que soporta cada hilo y cada hebra conformada por tres hilos, para cada sentido de la muestra en análisis.

Palabras clave: geomalla, tensión, resiliencia, límite elástico, límite elastoplástico, límite plástico.

Abstract

An alternative methodology was established for bidirectional geogrid testing by applying tension load in two directions perpendicular to each other in a sample fixed at its ends by jaws designed with pressed metal angles to determine the effects generated in the geogrid and its behavior when subjected to work efforts through the generation of a load-strain curve. The curve allows to evaluate the functionality of the methodology applied for testing, so that a resilience zone was established, a total elastic zone composed of the elastic limit and the elastoplastic limit, and a plastic zone where the collapse or failure of the material is generated. In addition, the tension stress supported by each wire and each strand consisting of three threads was determined for each direction of the sample under analysis.

Keywords: geogrid, tension, resilience, elastic limit, elastoplastic limit, plastic limit.

Introducción

Para la implementación de un ensayo para geomalla bidireccional se realizaron pruebas de carga al sistema implementado.

La metodología de ensayo propone una solución práctica para la selección de los criterios de la probeta, los datos a considerar para el análisis posterior y los cálculos necesarios para obtener parámetros comparativos con fichas técnicas del fabricante, empleando normas internacionales que aportan a esta investigación, según American Society for Testing and Materials D6647 (ASTM, 2015) para evaluar las propiedades a tensión de la geomalla y American Society for Testing and Materials D4759 (ASTM, 2011) para evaluar las características de los geosintéticos.

La geomalla bidireccional fue elaborada de un material polímero (polipropileno) que, según Tensor International (2010), el fabricante, tiene una resistencia a la degradación a largo plazo del 100%, así como una resistencia a la degradación por exposición a rayos UV del 100%.

Además, establece una resistencia a la tensión al 2% de deformación de 6.0 kN/m para un sentido y de 9.0 kN/m para el otro sentido. También establece una resistencia a la tensión al 5% de deformación de 11.8 kN/m para un sentido y de 19.6 kN/m para el otro sentido.

Metodología

El ensayo implementado para evaluar el comportamiento a tensión de la geomalla bidireccional, basado en la metodología descrita por Lainez (2019) y la Sección de Estructuras CII (2019), para geomallas unidireccionales, consiste en una aplicación de carga a tensión, como se indica a continuación.

Forma de la muestra:

La probeta seleccionada consiste en un rectángulo con un área efectiva de 90 cm x 60 cm, de manera que las esquinas serán recortadas de forma cuadrada, debido a la forma del equipo.

Mecanismo de equipo para ensayo

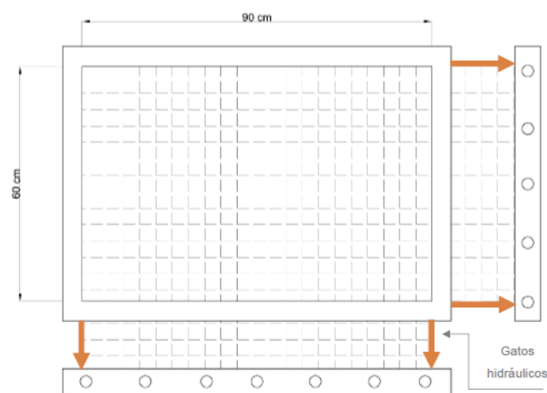
El equipo para ensayo consiste en un marco metálico con una abertura que pasa justo por el centro, de manera que la geomalla atraviese el marco.

En dos extremos adyacentes, la probeta se sujeta de forma fija con un arreglo de angulares que prensarán dos extremos de la geomalla.

En los otros dos extremos adyacentes, se coloca otro arreglo de angulares, con una longitud que permita la colocación de los gatos hidráulicos para la tensión.

Se emplea un juego de dos gatos para cada sentido, con el fin de tensar simultáneamente cada lado de la probeta.

Figura No. 1. Diagrama de mecanismo de ensayo



Fuente de los datos: T. Cermeño, 2022

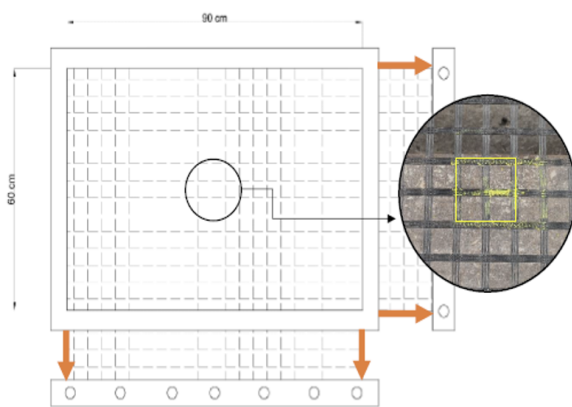
Nota. Ilustración del mecanismo de ensayo de la geomalla bidireccional, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con AutoCad.

Recolección de datos

Los datos recolectados consisten en deformaciones generadas al centro del área efectiva, que se muestra en la figura 2, y la carga correspondiente a cada deformación generada en cada sentido.

Se consideró un rectángulo pequeño equivalente al centro del área efectiva, que se muestra en la Figura 2. Se consideró este centro como el área más crítica de la probeta ensayada. Para este centro de referencia, se estableció el lado corto como “a” y el lado largo como “b”.

Figura No. 2. Centro de referencia para medición de deformaciones



Fuente de los datos: T. Cermeño, 2022

Nota. Ilustración del mecanismo de ensayo de la geomalla bidireccional, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con AutoCad.

Análisis de esfuerzos

Esfuerzos generados en el sentido A (corto)

Para este sentido, se determinó que el área efectiva contaba con 23 hebras de 3 hilos cada hebra. Para un recuadro resulta un ancho de 5.6 mm. Cada hilo tiene un espesor de 1.12 mm, para 23 hebras, el área es:

$$A_a = 0.56 \text{ cm} * 0.112 \text{ cm} * 23 \text{ hilos}$$

$$A_a = 1.44 \text{ cm}^2$$

La carga máxima aplicada fue de 3200 lb, lo que equivale a 1454.55 kg. Para un área de 23 hebras, el esfuerzo es:

$$T_{a_{23}} = \frac{1454.55 \text{ kg}}{1.44 \text{ cm}^2} = 1010.10 \text{ kg/cm}^2$$

Por hebra, el esfuerzo a tensión resulta:

$$T_a = \frac{1010.10 \text{ kg/cm}^2}{23 \text{ hebras}} = 43.92 \text{ kg/cm}^2$$

Y por hilo, el esfuerzo es:

$$T_{a_h} = \frac{43.92 \text{ kg/cm}^2}{3 \text{ hilos}} = 14.64 \text{ kg/cm}^2$$

Para tener un análisis por metro lineal, considerando que la longitud real para este sentido es de 58 cm, el esfuerzo a tensión por metro lineal es de:

$$T_{a_{ml}} = \frac{1010.10 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 100 \text{ cm}}{58 \text{ cm}}$$

$$T_{a_{ml}} = 1741.55 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 - \text{ml}}$$

Esfuerzos generados en el sentido (B) largo

Para este sentido, se determinó que el área efectiva contaba con 39 hebras de 3 hilos cada hebra. Un hilo tiene un ancho de 1.36 mm. Cada hilo tiene un espesor de 0.6 mm, en una sección no tensada. Para 39 hilos el área es:

$$A_b = 1.36 \text{ mm} * 3 * 0.6 \text{ mm} * 39 \text{ hilos}$$

$$A_b = 95.47 \text{ mm}^2 = 0.9547 \text{ cm}^2$$

La carga máxima aplicada fue de 2105 libras, lo que equivale a 1894.50 kg. Para un área de 39 hilos, el esfuerzo es:

$$T_{b_{39}} = \frac{1894.50 \text{ kg}}{0.9547 \text{ cm}^2} = 1984.39 \text{ kg/cm}^2$$

Por hilo, el esfuerzo a tensión resulta:

$$T_{b_h} = \frac{1984.39 \text{ kg/cm}^2}{39 \text{ hilos}} = 50.88 \text{ kg/cm}^2$$

Para tener un análisis por metro lineal, considerando que la longitud real para este sentido es de 96 cm, el esfuerzo a tensión por metro lineal es de:

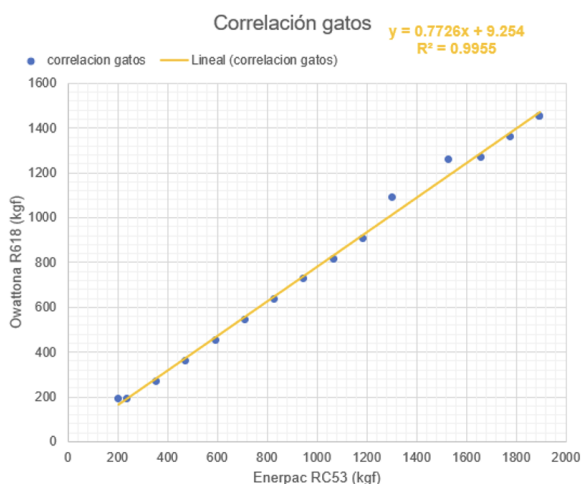
$$T_{b_{ml}} = \frac{1984.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 100 \text{ cm}}{96 \text{ cm}}$$

$$T_{b_{ml}} = 2067.07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 - \text{ml}}$$

Resultados

Se realizó una correlación lineal de las cargas aplicadas en cada sentido, así como una correlación de las deformaciones al centro de la muestra de geomalla bidireccional, considerando cada sentido. Los resultados se representan gráficamente en las figuras 3 a la 5.

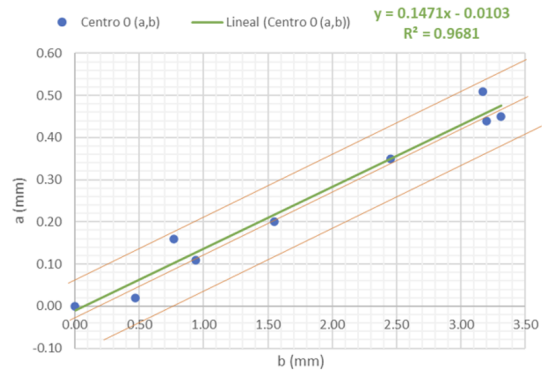
Figura No. 3. Correlación de carga aplicada en cada sentido



Fuente de los datos: T. Cermeño, 2022

Nota. Ilustración de la correlación de la carga-aplicada en cada sentido de la geomalla, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

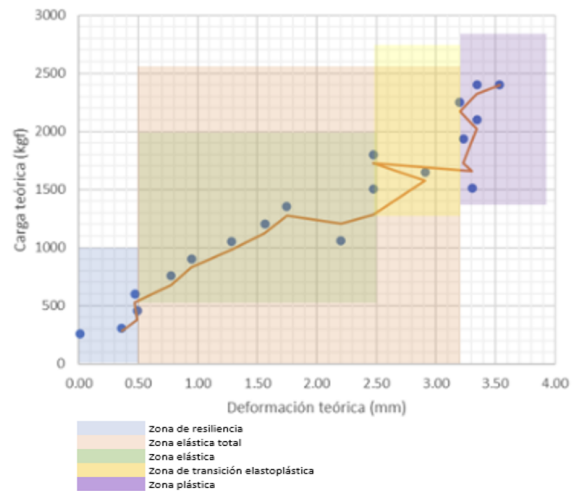
Figura No. 4. Correlación de deformaciones



Fuente de los datos: T. Cermeño, 2022

Nota. Ilustración del comportamiento por correlación de las deformaciones, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Figura No. 5. Carga-deformación resultante en geomalla bidireccional



Fuente de los datos: T. Cermeño, 2022

Nota. Ilustración de la carga vs deformación resultante del ensayo realizado en geomalla bidireccional, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Discusión de resultados

La Norma ASTM D 6637 (2015), establece que para determinar el valor máximo de ruptura promedio del material, se debe determinar la elongación de falla para

cada ensayo en cada sentido, considerando una medida base del calibre de los hilos sin elongar. En la metodología planteada, se tomó el calibre base de un hilo para cada sentido (a y b), con el fin de determinar un calibre patrón, de manera que al aplicar carga e ir tensando el material en ambos sentidos, se determinaron elongaciones instantáneas correspondientes a un esfuerzo de tensión, para las cuales se obtuvo una correlación de datos obtenidos con un R^2 de 0.9681.

Las mismas Normas ASTM D6637 (2015) y ASTM D4759 (2011), establecen la posibilidad de realizar pruebas de tensión para geomallas especiales, aplicando cambios a la metodología de ensayo estandarizada por estas mismas. En la figura 5, se obtuvo la curva carga-deformación que establece el comportamiento a tensión del material. La zona azul corresponde a la zona de resiliencia, donde el material tiene una capacidad de recuperación en su totalidad.

Pasado este límite, se encuentra la zona elástica total, que se compone por el límite elástico y el límite elastoplástico o zona de transición elastoplástica, pero al pasar esta zona, se llega a la zona plástica. Al llegar a esta última zona, el material no tiene recuperación, por lo que las deformaciones se vuelven permanentes y se hace notar por la elongación de hilos o hebras descompuestas en los nudos de unión, y posiblemente en la falla o colapso del material.

De la curva, en la zona de transición elastoplástica, se hace evidente el incremento de esfuerzo soportado por el material, y debido a que no se encontraron fallas por deslizamiento en los extremos de sujeción, denota que, por la naturaleza del material, existe una cristalización interna al tensar cada vez más la probeta, hasta llegar a la falla que provocó desprendimiento de hilos en sus nudos de unión.

Conclusiones:

1. Se determinó que las Normas ASTM D6637 (2015) y D4759 (2011), permiten establecer metodologías alternativas para ensayar geomallas especiales, siempre y cuando no existan fallas por deslizamiento o rupturas en los extremos de sujeción.
2. Se determinó que es posible establecer una metodología de ensayo alternativa para geomallas bidireccionales, evaluando el comportamiento de las hebras en ambos sentidos.
3. Se estableció un tamaño de probeta que permite estudiar una zona efectiva, en donde se hace evidente los efectos generados por la aplicación de carga a tensión, que por la naturaleza del material, a mayor elongación, mayor será la cristalización de las hebras hasta su colapso.
4. Se analizó que el anclaje o sujeción en los extremos de la probeta, afectan el desarrollo del ensayo, pudiendo demostrar resultados con certeza aceptable.

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar ensayos de otras dimensiones de geomallas, para consolidar la metodología propuesta.
2. Se recomienda que tanto el fabricante de la geomalla como el usuario que la emplea, realicen los ensayos correspondientes, con la finalidad de garantizar las propiedades geométricas y mecánicas de la geomalla.
3. Se debe realizar un protocolo de transporte y almacenaje de las geomallas del ensayo pudiendo demostrar resultados con certeza aceptable.

Referencias bibliográficas

ASTM D4957. Standard Practice for Determining the Specification Conformance of Geosynthetics [Práctica estándar para determinar la conformidad con las especificaciones de los geosintéticos]. ASTM International. West Conshohocken, PA, 2011. 5 p.

ASTM D6637. Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method [Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de las geomallas, mediante el método de tracción de una o varias nervaduras]. ASTM International. West Conshohocken, PA, 2015. 6 p.

Sección de Estructuras CII (2019). Ensayo a flexión geomalla (Informe EFC 19/05/2016). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Lainez, A. (2019). Propuesta de mejora en la conexión entre bloques segmentados de concreto y refuerzo geo sintético, en muros de contención segmentados. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional.

Tensar International. (2010). Product Specification - Biaxial Geogrid Type 2. Georgia, Estados Unidos.


Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
Docente de la Escuela de Ingeniería Civil
Jefe de la Sección de Estructuras CII/USAC

Avdías Raúl Ortiz Morales
(Auxiliar de laboratorio)
Sección de Estructuras CII/USAC

Luis Felix Chocojay Guamuch
(Auxiliar de cátedra)
Sección de Estructuras CII/USAC

Telma Lorena Cermeño Dávila
(Auxiliar de cátedra)
Sección de Estructuras CII/USAC

Jose Andrés Rodríguez Cotóm
(Estudiante de Ingeniería Civil)
Facultad de Ingeniería, USAC



Ensayo carga lateral a muro placa-poste Norma ASTM E-564-76

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio)
raulo68@hotmail.es

Luis Felix Chocojay Guamuch (Auxiliar de cátedra)
felix.chocojay@gmail.com

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
mariorcorzo@gmail.com

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra)
tlcd.96@gmail.com

Nelson Anibal Calán Tomás (Estudiante de ingeniería Civil)
nelsoncalan77@gmail.com



Ensayo carga lateral a muro placa-poste Norma ASTM E-564-76

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio)
raulo68@hotmail.es
Sección de Estructuras CII/USAC

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
mariorcorzo@gmail.com
Sección de Estructuras CII/USAC

Luis Felix Chocojay Guamuch (Auxiliar de cátedra)
felix.chocojay@gmail.com
Sección de Estructuras CII/USAC

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de Cátedra)
tlcd.96@gmail.com
Sección de Estructuras CII/USAC

Nelson Anibal Calán Tomás (Estudiante de Ingeniería Civil)
nelsoncalan77@gmail.com
Sección de Estructuras CII/USAC

Resumen

Se evaluaron dos sistemas de muros tipo placa-poste, por medio de la aplicación de carga lateral, con el fin de determinar si la configuración evaluada era consistente para su aplicación en muros de vivienda. Se realizaron los ensayos según Norma American Society for Testing and Materials E564-76 (ASTM, 2015), que determina los criterios mínimos para el ensayo. Se determinaron mejoras al sistema evaluado con el fin de garantizar la integridad estructural, por medio del análisis de la curva carga-deformación y de la evaluación de los elementos que componen el sistema. Se determinó que una correcta simetría en el armado de las placas, hace que estas trabajen en conjunto como sistema, además, de que el amarre entre postes y solera de corona garantiza un confinamiento adecuado al sistema.

Palabras clave: placa-poste, placas de concreto armado, postes, solera de corona, muro confinado.

Abstract

Two systems of plate-pole type were evaluated due to lateral load with the purpose of determining if the evaluated condition is consistent for applying it on housing walls. Test were made according to American Society for Testing and Materials E564-76 (ASTM, 2015) which defines the minimum criteria for the testing. Improvements were established for the system with the final purpose to guarantee the structural integrity, through the analysis of the load-deformation curve and the evaluation of the elements that forms the system. A proper symmetry in the reinforcement of the plates makes that the plates work altogether as a system, besides that the junction between poles and top beam guarantees an appropriate confinement to the system.

Keywords: plate-pole, reinforced concrete plates, poles, top beam, confined wall.

Introducción

El sistema de muro placa-poste #1. tiene un largo total de 2.90 m, una altura de 2.50 m, un espesor promedio de placas de 5.00 cm y un espesor promedio de poste de 14 cm; los postes de sección H con una altura de 3.00 m, lados perpendiculares de 0.14 m en ambos sentidos y un grosor promedio del ala de 0.043 m y el alma de 0.053 m; las placas de un largo de 1.37 m (con bordes macho y hembra), una altura de 0.30 m (con biselado en un extremo y el otro plano) y un espesor promedio de 0.05 m; la solera de corona tipo U invertida, con un largo de 1.30 m, un espesor de 0.09 m y una base de 0.14 m.

Las dimensiones del muro 2 son similares para las placas y postes; la diferencia consiste en que la parte inferior tiene adosada una fundición de 5 cm de espesor de concreto, reforzada con electro malla, metodología similar para el refuerzo de las placas, como base para el piso y elemento rigidizante del sistema placa-poste, se fundió con una corona de 5 cm de alto y 5 cm de espesor adicional.

La otra diferencia es que, la solera de corona fue fundida en sitio con dos hierros longitudinales No. 3 (comercial) y eslabones No. 2.

La tercera diferencia es que, se incorporó una varilla longitudinal a la mitad de la altura del muro, unidas en los postes extremos por medio de una resina epóxica.

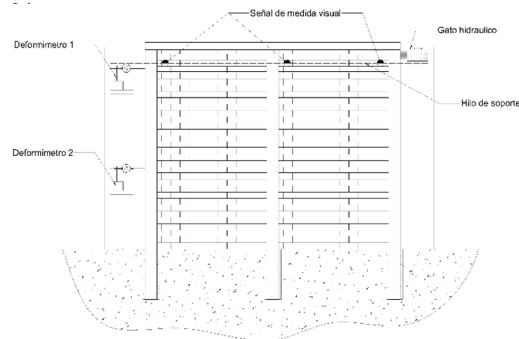
Se evaluó el desempeño en ambos sistemas de muro placa-poste en condiciones de carga, buscando llegar a la carga de falla; la aplicación de la carga se realizó en la parte superior de uno de los extremos, para evaluar su resistencia en el sentido paralelo al plano longitudinal, siguiendo el procedimiento del péndulo invertido.

Metodología

Sistema placa-poste #1.

El procedimiento del primer ensayo, consistió en someter el sistema de muro placa-poste a una carga lateral puntual en dirección longitudinal al muro, utilizando un cilindro hidráulico. La carga aplicada se incrementó progresivamente hasta llegar a la carga de diseño y el factor de seguridad requerido por el fabricante.

Figura No. 1. Esquema del sistema de ensayo para muro placa-poste #1.



Fuente: F. Chocojay 2022

Nota. Ilustración del ensayo para muro placa-poste #1., con localización del cilindro hidráulico y los instrumentos de medición, según informe Sección Estructuras de Félix Chocojay. Elaboración propia, realizado con AutoCad.

La ejecución del ensayo se realizó considerando lo indicado en las Normas de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, NSE 3 (AGIES, 2018), determinando a partir de estas, los parámetros de medición necesarios, como la deriva máxima tolerable ΔU para la carga máxima correspondiente. Para la medición en el sistema Placa-Poste #1., se ubicaron dos deformímetros, como se muestra en la figura 1. Este sistema tiene un peso total de 4290.55 kg.

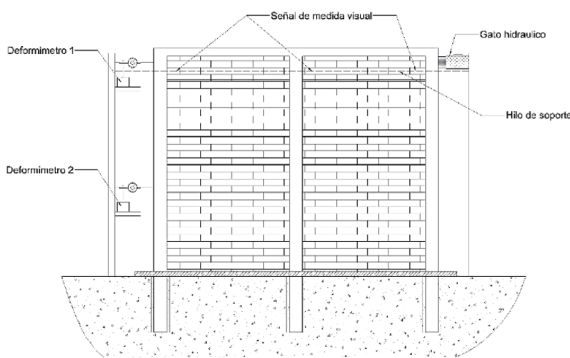
Se realizó un segundo ensayo, con el fin de someter al sistema placa-poste #1. a una carga máxima que permita conocer su comportamiento, luego de exceder sus límites de resistencia reales. Los instrumentos de medición y aplicación de carga, se ubicaron en las mismas posiciones del ensayo 1.

Sistema placa-poste #2.

Se implementaron mejoras en el sistema de muro placa-poste #2., como la fundición de una plancha de concreto para reforzar la cimentación, la fundición en campo de la solera de corona tipo U y el anclaje o conexión entre postes, mediante varillas de acero entre la unión de placas.

El ensayo 2, se desarrolló igual que el ensayo 1, aplicado al sistema placa-poste #1.

Figura No. 2. Esquema del sistema de ensayo para muro placa-poste #2



Fuente: F. Chocojay 2022

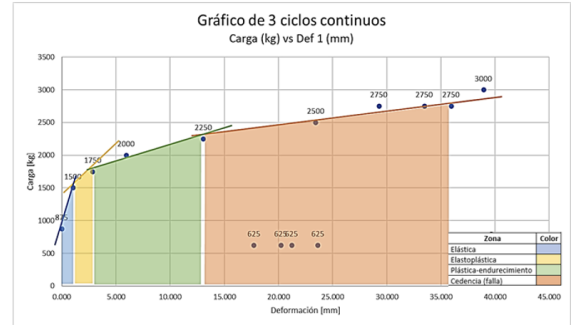
Nota. Ilustración del ensayo para muro placa-poste #2., con localización del cilindro hidráulico y los instrumentos de medición, según informe Sección Estructuras de Félix Chocojay. Elaboración propia, realizado con AutoCad.

Resultados

Sistema placa-poste #1 ensayo 1

Se aplicaron 3 ciclos continuos de carga y descarga al sistema para generar esfuerzos por carga lateral aplicada según metodología, obteniendo la curva carga-deformación.

Figura No. 3. Carga-deformación del sistema placa-poste #1, ensayo #1



Fuente de datos: F. Chocojay 2022

Nota. Ilustración de la carga vs deformación del sistema placa-poste #1, según informe Sección Estructuras de Félix Chocojay. Elaboración propia, realizado con Excel.

La deriva máxima resultante de los tres ciclos de carga aplicada, es de 38.94 mm.

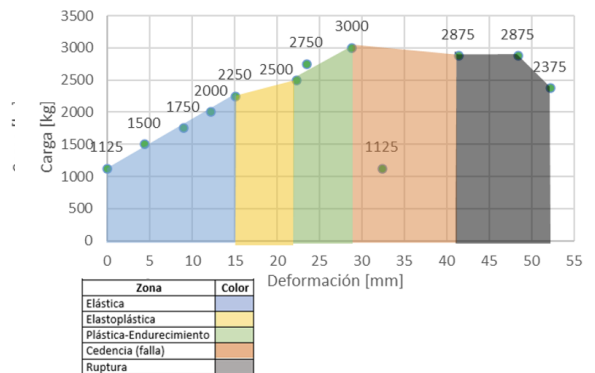
$$\Delta_{desp} > \Delta_{m\acute{a}x,S,R}$$

$$38.94 \text{ mm} > 15.0 \text{ mm}$$

Evaluando generalmente los 3 ciclos de aplicación de carga, el valor de carga que corresponde a la falla por corte resultó ser de 1750 kg.

Sistema placa-poste #1., ensayo 2

Figura No. 4. Curva carga-deformación de sistema placa-poste #1, ensayo #2



Fuente de datos: F. Chocojay 2022

Nota. Ilustración de la carga vs deformación del sistema placa-poste #1, según informe Sección Estructuras de Félix Chocojay. Elaboración propia, realizado con Excel.

El sistema presentó una deriva de 52.22 mm al sobrepasar la carga de colapso.

$$\Delta_{desp} > \Delta_{máx_{S,R}}$$

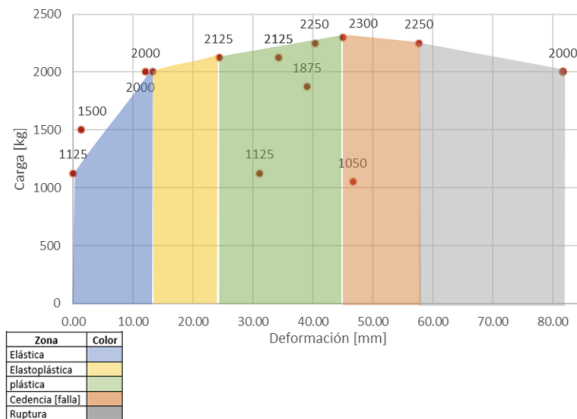
$$52.22 \text{ mm} > 15.0 \text{ mm}$$

La carga a la que se presentó la falla a corte fue de 2500 kg, el incremento se debe a que el sistema ya había sufrido una falla en el primer ensayo, por lo que fue necesaria la aplicación de una carga mayor para poder ocasionar una falla similar en el sistema.

El sistema colapsó ante una carga de 3000 kg, gráficamente se establece esta como la carga de ruptura, debido a que, a partir de esta, el sistema empezó a ceder, lo cual se traduce a que su deformación comenzó a ser inversamente proporcional a la carga aplicada.

Sistema placa- poste #2

Figura No. 5. Carga-deformación del sistema placa-poste #2



Fuente de datos: F. Chocojay 2022

Nota. Ilustración de la carga vs deformación del sistema placa-poste #2, según informe Sección Estructuras de Félix Chocojay. Elaboración propia, realizado con Excel.

El sistema presentó un exceso de desplazamiento, la deriva máxima resultante fue de:

$$\Delta_{desp} > \Delta_{máx_{S,R}}$$

$$81.73 \text{ mm} > 15 \text{ mm}$$

La carga a la que se presentó la falla de corte fue de 2125 kg, a partir de esta carga, el sistema presentó un comportamiento plástico.

El sistema presentó falla por fatiga, luego de la carga máxima de 2300 kg, a partir de esta carga, la deformación del sistema es inversamente proporcional a la carga aplicada.

Discusión de resultados

De acuerdo con lo establecido en la Norma AGIES NSE-7.4 (2018); la cuantía mínima para refuerzos verticales debe ser mayor a 0.00075 y el refuerzo horizontal será el complementario, para alcanzar una cuantía total mínima de 0.0020 para el sistema, por lo tanto, se requiere como mínimo una cuantía de 0.00175 para el refuerzo horizontal, el cual se distribuye entre el refuerzo longitudinal de la solera de corona, refuerzos intermedios longitudinales del muro y el refuerzo de las placas que conforman el sistema.

Sobre las especificaciones de carga en el sistema, la carga de trabajo debe ser al menos de 1400 kg. La carga de diseño deberá ser al menos de 1700 kg. La carga de falla deberá ser al menos de 2300 kg. El factor de seguridad debe ser de $\Phi = 0.75$.

Los postes cuentan con un refuerzo longitudinal con dos distintos diámetros de varilla, lo cual puede complicar la elaboración de armado, mientras que un solo diámetro de varilla para el refuerzo longitudinal, permite soldar adecuadamente el refuerzo transversal.

Los nudos de poste y solera, al no ser enlazados correctamente, carecen de amarres entre las extensiones de refuerzo de ambos elementos. Al unir ambos elementos con alambre de amarre, se asegura una mejora en la sujeción de elementos.

La longitud de desarrollo del refuerzo en ambos elementos (postes y solera de corona), mantiene una variabilidad de gran magnitud, al grado de ser nula en algunos refuerzos longitudinales; este es uno de los factores principales que ocasionan que el sistema no trabaje en conjunto, ya que permite que cada elemento mantenga diversos grados de libertad.

Conclusiones

1. Se determinó que la cuantía mínima para el refuerzo vertical es de 0.00075 y la cuantía mínima del refuerzo horizontal es de 0.00175, para garantizar una cuantía mínima total en el sistema de 0.0020, según lo solicitado por los códigos de diseño.
2. Se establecieron los valores de las cargas en el sistema, de manera que la carga de trabajo debe ser al menos de 1,400 kg, la carga de diseño de 1,700 kg y la carga de falla al menos de 2,300 kg, considerando un factor de seguridad de resistencia de 0.75.
3. Se determinó que la falta de simetría en el armado de refuerzo de las placas, afecta el desarrollo de estas en el sistema, que genera desplazamientos fuera del plano de carga, aportando menor resistencia al sistema.

4. Se estableció que los postes, estando unidos a la solera de corona, garantiza un confinamiento adecuado para que el sistema funcione como muro de vivienda.
5. Se determinó que la homogeneización de la longitud de desarrollo del refuerzo en postes y solera, permite que el sistema trabaje en conjunto y se eviten problemas de asimetría en el refuerzo.

Recomendaciones

1. Se recomienda incrementar el peralte de solera a 14 cm, para provocar una mejor distribución de carga entre los tres postes que conforman el sistema vertical.
2. Se recomienda mantener una longitud de desarrollo en ambos elementos, que permita la realización de dobleces adecuados para los nudos.
3. Se recomienda unir los postes con la solera de corona con alambre de amarre o cualquier otro método, para mantener una mejor sujeción entre elementos.
4. Se debe utilizar un solo diámetro de varilla para el refuerzo longitudinal de los postes, que permita soldar adecuadamente el refuerzo transversal.
5. Mantener una cuantía mínima de 0.00175 del refuerzo horizontal, el cual se debe distribuir entre el refuerzo longitudinal de la solera de corona, refuerzos intermedios longitudinales del muro y el refuerzo de las placas que conforman el sistema.

Referencias bibliográficas

- American Concrete Institute, ACI 530-11. (2011). *Building Code Requirements and specification for masonry structures* [Requisitos y especificaciones del código de construcción para estructuras de mampostería]. Farmington Hills: Masonry Standards Joint Committee (MSJC).
- American Concrete Institute ACI-ASCE 352. (2010). *Recomendaciones para el diseño de conexiones viga-columna en estructuras monolíticas de concreto reforzado*. Farmington Hills.
- American Concrete Institute. ACI 318SR-14 (2014). *Requisitos de Reglamento para concreto estructural*. Farmington Hills.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* [Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras]. Reston, Virginia, Estados Unidos.
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2018). NSE 3: *Diseño estructural de edificaciones. Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala*. Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2018). NSE 7.4: *Diseño de estructuras de mampostería*. Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
- ASTM E-564-76 (2015). *Standard Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings* [Práctica estándar para la prueba de carga estática para la resistencia a cortante de muros enmarcados para edificios]. West Conshohocken, PA.
- Sección de Estructuras Cii. (2019). *Ensayo sistema placa-poste (Informe No. 01 ELF 30/06/2022)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Corzo, M. (2008). *Notas mampostéricas de una sabandija*. Guatemala: s.n., 2008. pág. 194.
- Guzmán, N. (2018). *Muros de retención, utilizando sistema placa poste tipo tablestaca para alturas no mayores a dos metros*. (Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala). Repositorio institucional

Avdías Raúl Ortiz Morales
(Auxiliar de laboratorio)
Sección de Estructuras CII/USAC

Luis Félix Chocojay Guamuch
(Auxiliar de cátedra)
Sección de Estructuras CII/USAC

Nelson Aníbal Calán Tomás
(Estudiante con cierre de pensum de
Ingeniería Civil)
Facultad de Ingeniería/USAC

Mario Rodolfo Corzo Ávila
(Ingeniero Civil)
Docente de la Escuela de Ingeniería Civil
Jefe de la Sección de Estructuras CII/USAC

Telma Lorena Cermeño Dávila
(Auxiliar de cátedra)
Sección de Estructuras CII/USAC

Agradecimientos:

Sarahí Muñoz

Gerente de ventas de Grupo Cimientos,
S. A. por su aporte de materiales a la
Sección de Estructuras para estudio
realizado.

Ing. Elmer Sian

Ingeniero Civil, Supervisor de Colocación y
Armado de Sistema, Grupo Cimientos, S. A.

Ing. Herber Pérez

Ingeniero Civil, Supervisor de Colocación y
Armado de Sistema, Grupo Cimientos, S. A.

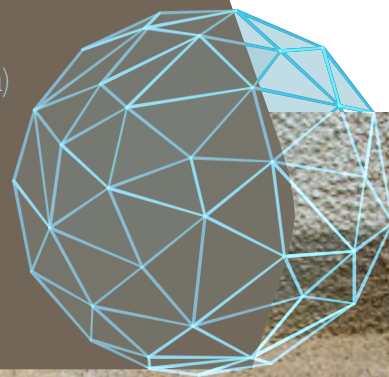
Análisis de efectos en muro prefabricado con abertura debido a la acción del sismo

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
mariocorzo@gmail.com

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio)
raulo68@hotmail.es

Luis Felix Chocojay Guamuch (Auxiliar de cátedra)
felix.chocojay@gmail.com

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra)
tlcd.96@gmail.com



Análisis de efectos en muro prefabricado con abertura debido a la acción del sismo

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ing. Civil)
 marioacorzo@gmail.com
 Sección de Estructuras CII/USAC

Luis Felix Chocojay Guamuch (Auxiliar de cátedra)
 felix.chocojay@gmail.com
 Sección de Estructuras CII/USAC

Avdías Raúl Ortiz Morales (Auxiliar de laboratorio)
 raulo68@hotmail.es
 Sección de Estructuras CII/USAC

Telma Lorena Cermeño Dávila (Auxiliar de cátedra)
 tlcd.96@gmail.com
 Sección de Estructuras CII/USAC

Resumen

Se evaluaron dos paneles prefabricados de 14 cm de espesor, reforzados con joist como costillas, rellenos de poliestireno expandido y recubiertos con grout, aplicando carga lateral en dos configuraciones de abertura: puerta-ventana, donde la puerta está adyacente al punto de aplicación de carga, y ventana-puerta, donde la ventana está adyacente al punto de aplicación de carga. Se determinó la acción del sismo en cada panel, evaluando los efectos generados al aplicar carga lateral. Se consideró una deriva máxima del 0.7 % de una altura efectiva a no menos de un 80 % de la altura total. Se determinó que la posición de las aberturas en muros, afecta la reacción de estos, ante la acción del sismo, ya que este último viaja en ondas que van y vienen. Una apropiada configuración de muros y sus respectivas aberturas permite que el sistema resista apropiadamente la acción del sismo.

Palabras clave: panel prefabricado, panel con abertura, ventana, puerta, dintel, deriva máxima, sismo.

Abstract

Two prefabricated panels were evaluated, with 14 cm thickness and reinforced with joist as columns, filled with polystyrene foam and covered with grout, by applying lateral load on two opening configuration walls: door-window, where the door is adjacent to the load point, and window-door, where the window is adjacent to the load point. The earthquake effect was determined in the two walls by applying lateral load. The maximum drift was considered as 0.7 % of an effective height no less than 80 % of the total wall height. The position of openings affects the reactions on these walls in view of the earthquake action force as it travels in waves that come and go. An appropriate configuration of walls and wall openings allows that the system properly resists the earthquake action force.

Keywords: prefabricated panel, wall opening, window, door, lintel, maximum drift, earthquake.

Introducción

Los paneles prefabricados, consisten en muros con espesor de 14 cm y un revestimiento de grout de 2 cm a cada rostro del muro, siguiendo el estudio de Orozco (2019). Los muros están rellenos de poliestireno expandido y reforzados con joist de 9.5 cm de ancho.

Se evaluaron dos paneles con abertura de puerta y ventana, analizando según los criterios mínimos de diseño por los códigos ACI 530-11, ACI-ASCE 352, ACI 318-14, ASCE-7, NSE 3-10, NSE 4-10 y NSE 7.4.

El panel 1 tiene una altura de 2.44 m y un ancho de 3.06 m. Las dimensiones de la puerta son de 210 cm x 88 cm y la ventana de 100 cm x 98 cm.

El dintel tiene un peralte de 35 cm y el sillar de 1.09 m.

De la fibra extrema del panel al borde de la ventana, existe una longitud de 47 cm. De la fibra extrema del panel al borde de la puerta, existe una longitud de 23 cm. La distancia entre puerta y ventana es de 51 cm.

El panel 2 tiene una altura de 2.45 m y un ancho de 3.05 m. Las dimensiones de la puerta son 210 cm x 89 cm y de la ventana de 100 cm x 98 cm. El dintel tiene un peralte de 36 cm y el sillar de 1.09 m.

De la fibra extrema del panel al borde de la ventana, existe una longitud de 49 cm.

De la fibra extrema del panel al borde de la puerta, existe una longitud de 21 cm. La distancia entre puerta y ventana es de 48 cm.

Están sujetos ambos paneles a una base tipo viga, de 15 cm x 20 cm, reforzado con 4 varillas longitudinales.

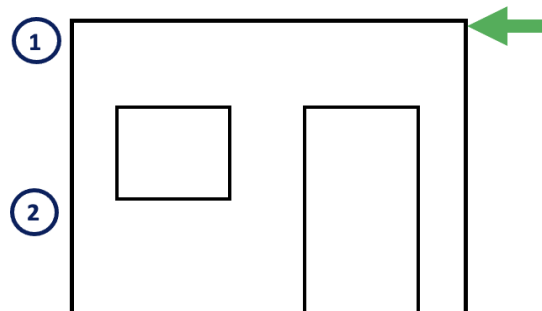
Se aplicó carga lateral a ambos paneles, evaluando el comportamiento del sistema al ser sometido a la acción del sismo, simulando una onda de ida (panel 1, puerta-ventana) y de vuelta (panel 2: ventana-puerta), aplicando la carga en el extremo adyacente a la ventana para un panel y adyacente a la puerta en el otro panel, para definir el comportamiento del sistema por carga lateral, según Corzo (2008), en dos posibles configuraciones de aberturas.

Metodología

Panel 1: puerta-ventana

La metodología empleada, consiste en la aplicación de carga lateral con un cilindro hidráulico de capacidad de 50 toneladas en el extremo adyacente a la puerta. Además, se tomaron datos de deformación, correspondientes a cada aumento de carga lateral, en dos puntos del panel, siendo estos, en la fibra extrema superior del panel (punto 1) y a una altura de la fibra extrema inferior en la abertura por ventana (punto 2).

Figura No. 1. Diagrama de aplicación de carga en panel 1



Fuente: T. Cermeño 2022

Nota. Ilustración de aplicación de carga lateral, simulando acción sismo panel 1, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con AutoCad.

Se aplicó carga lateral de forma gradual hasta llegar aproximadamente a una deformación cercana a la deriva máxima en el punto 1.

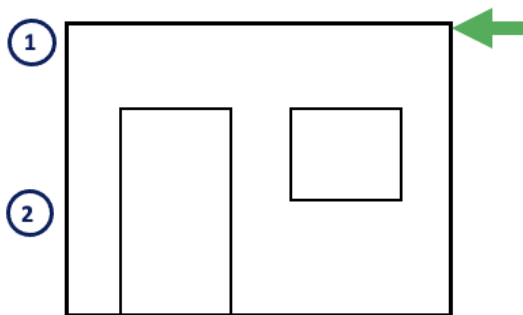
La deriva máxima teórica para este sistema, se ha considerado en un 0.7% de la altura total efectiva. Según Corzo (2008) y Tapia y Tena (2010), se considera que la altura efectiva del panel no debe ser menor al 80% de la altura total, por lo que la altura efectiva consiste en 195.2 cm.

Se realizó un ensayo de un ciclo de carga y un ensayo con dos ciclos de carga, hasta llevar a la falla.

Panel 2: ventana-puerta

La metodología empleada, es similar a la aplicada al panel 1, con la diferencia de que la carga aplicada por el cilindro hidráulico de 50 toneladas, se colocó en el extremo adyacente a la ventana. Además, se tomaron datos de deformación correspondientes a cada aumento de carga lateral, en dos puntos del panel, siendo estos en la fibra extrema superior del panel (punto 1) y a una altura de la fibra extrema inferior en la abertura por ventana (punto 2).

Figura No. 2. Diagrama de aplicación de carga en panel 2



Fuente: T. Cermeño 2022

Nota. Ilustración de aplicación de carga lateral simulando acción sismo panel 2, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con AutoCad.

De la misma forma que en el panel 1, se aplicó carga lateral de forma gradual hasta llegar aproximadamente a una deformación cercana a la deriva máxima en el punto 1.

La deriva máxima teórica para este sistema, se ha considerado en un 0.7% de la altura total efectiva. Al igual que el panel 1, la altura efectiva del panel, no debe ser menor al 80% de la altura total, por lo que la altura efectiva consiste en 196 cm.

Se realizó un ensayo de cuatro ciclos de carga y un ensayo con tres ciclos de carga hasta llevar a la falla.

Resultados

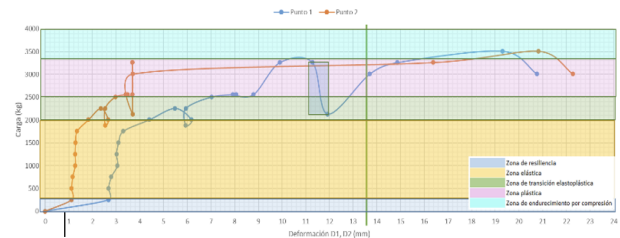
Panel 1

La deriva máxima teórica se establece como el 0.7% de la altura efectiva, por lo que será:

$$\Delta_{máxT} = 0.7\% * 1952 \text{ mm} = 13.66 \text{ mm}$$

Con las deformaciones resultantes correspondientes a cada carga aplicada, durante el ensayo 1 del panel 1, se obtuvo la curva de carga-deformación.

Figura No. 3. Carga-deformación en panel 1, ensayo 1

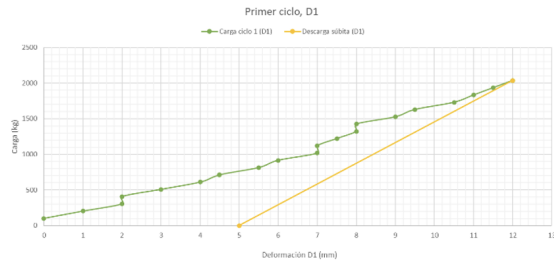


Fuente: T. Cermeño 2022

Nota. Ilustración de carga vs deformación del panel 1, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Excel.

Con las deformaciones resultantes correspondientes a cada carga aplicada, durante el ensayo 2 del panel 1, se obtuvo la curva de carga-deformación del primer ciclo de carga.

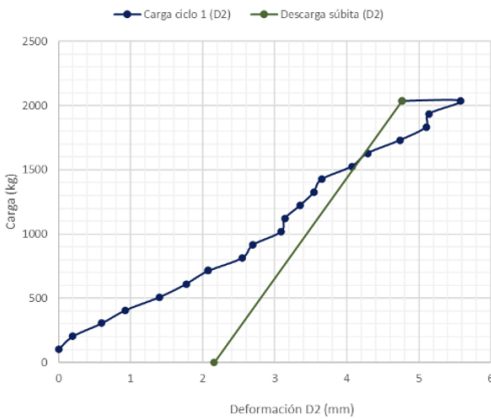
Figura No. 4. Carga-deformación panel 1, punto 1



Fuente: T. Cermeño 2022

Nota. Ilustración de carga vs deformación del panel 1 en el punto 1 de localización de la carga, primer ciclo de carga del ensayo 2, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura No. 5. Carga-deformación panel 1, primer ciclo de carga punto 2

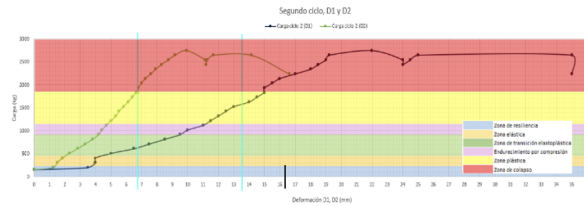


Fuente: T. Cermeño 2022

Nota. Ilustración de carga vs deformación del panel 1, en el punto 2 de localización de la carga, primer ciclo de carga del ensayo 2, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Excel.

Con las deformaciones resultantes correspondientes a cada carga aplicada durante el ensayo 2 del panel 1, se obtuvo la curva de carga-deformación del segundo ciclo de carga.

Figura No. 6. Carga-deformación panel 1, segundo ciclo de carga, ensayo



Fuente: T. Cermeño 2022.

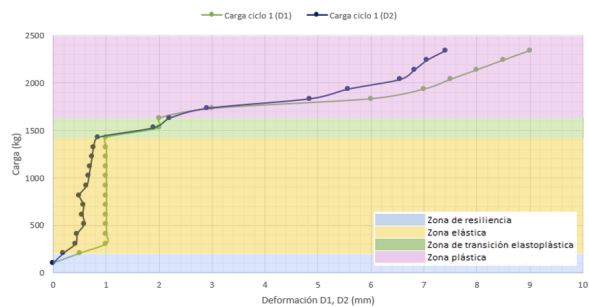
Nota. Ilustración de carga vs deformación del panel 1, segundo ciclo de carga, ensayo 2, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Excel.

Panel 2

La deriva máxima teórica se establece como el 0.7% de la altura efectiva, por lo que será:

$$\Delta_{m\acute{a}xT} = 0.7\% * 1960 \text{ mm} = 13.72 \text{ mm}$$

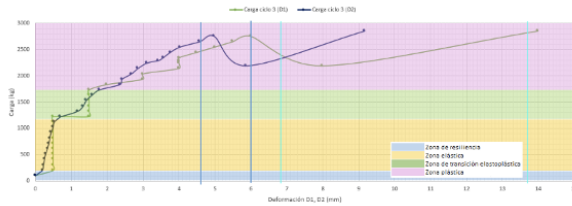
Figura No. 7. Carga-deformación panel 2, primer ciclo, carga para ensayo 1



Fuente: T. Cermeño 2022

Nota. Ilustración de carga vs deformación del panel 1 en el punto 1 de localización de la carga, primer ciclo de carga del ensayo 2, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura No. 8. Carga-deformación panel 2, tercer ciclo, carga para ensayo 1

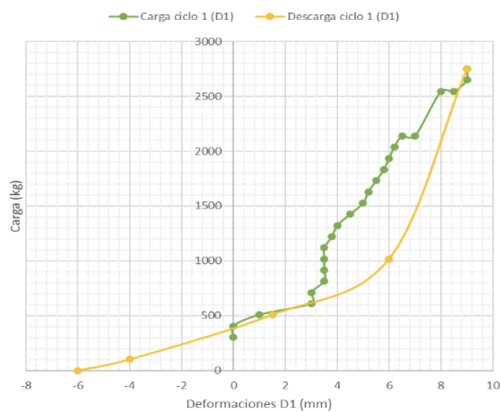


Fuente: T. Cermeño 2022

Nota. Ilustración de carga vs deformación del panel 2, tercer ciclo de carga del ensayo 1, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Excel.

Con las deformaciones resultantes correspondientes a cada carga aplicada durante el ensayo 2 del panel 2, se obtuvo la curva de carga-deformación que forma una hoja de la curva de histéresis.

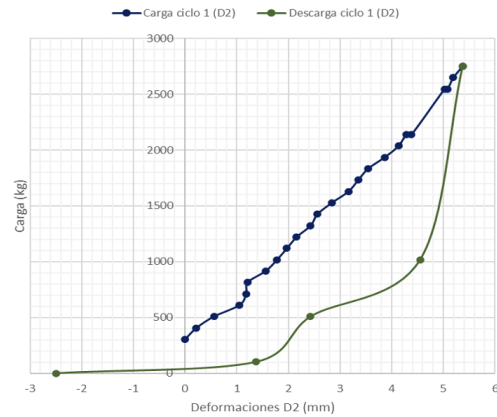
Figura No. 9. Carga-deformación en panel 2, punto 1 para ensayo 2



Fuente: T. Cermeño 2022

Nota. Ilustración de carga vs deformación del panel 2, en el punto 1 de localización de la carga del ensayo 2, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura No. 10. Carga-deformación en panel 2, punto 1 para ensayo 2



Fuente: T. Cermeño 2022

Nota. Ilustración de carga vs deformación del panel 2, en el punto 1 de localización de la carga del ensayo 2, según informe Sección Estructuras de Telma Cermeño. Elaboración propia, realizado con Excel.

Discusión de Resultados

Panel 1

Analizando el comportamiento del panel 1, en el primer ensayo, se establecieron los límites del comportamiento elástico, elasto-plástico y plástico del sistema.

La diferencia en la amplitud de la curva del punto 1, respecto al punto 2, se debe a que el punto 1 es menos rígido que el punto 2.

El límite de la zona elástica se encuentra en 2,000 kg, mientras que el esfuerzo último (valor de diseño), antes de la falla, se encuentra en 3,400 kg.

Este último es el valor de capacidad última del muro, ya que después de este punto, el sistema pierde energía, lo que genera más desplazamiento.

En la zona resalta entre 12 y 13 mm de deformación, el sistema pierde energía, pero por su configuración, este se reacomoda de manera que adquiere una porción de energía, pero el desplazamiento continúa hasta llegar al colapso.

Relacionando el límite elástico y el esfuerzo último, se determina que el factor de reducción de resistencia, según Código ACI (2014), capítulo 21, es $\Phi = 0.58$.

En el segundo ensayo, la figura 4 muestra una curva de carga-deformación en el punto 1, donde se generan gradas que denotan el comportamiento de los elementos, que conforman el panel, es decir, la primera grada a 2 mm de deformación, corresponde al reacomodo de la columna adyacente a la puerta, donde se aplica carga; la segunda grada indica la columna entre el vano de puerta y ventana; la tercera indica la columna al extremo final del panel, adyacente a la ventana.

La relación de reacomodo del sistema es de 100 kg. La figura 5 denota una curva similar a la anterior, pero en esta ocasión para el punto 2, donde los desplazamientos son menores, debido a que el sillar de la ventana aporta rigidez al sistema, de manera que mantiene linealidad en su deformación. La grada que se forma, indica el comportamiento de la columna adyacente a la puerta, que actúa como columna esbelta.

Las líneas celestes en la figura 6, indican la posición de las derivas máximas teóricas del panel, para cada altura de cada punto, por consecuente, la deriva máxima real del sistema se encuentra en 13 mm para el punto 1 y 6.64 mm para el punto 2.

Panel 2

En el panel 2, se considera que la acción del sismo actúa del lado contrario que en el panel 1. La figura 7 denota la curva carga-deformación que indica que este panel resiste más la acción del sismo, debido a que la columna adyacente a la ventana, en donde se aplica la carga en esta ocasión, genera mayor rigidez, absorbiendo la energía provocada por la acción del sismo.

La columna entre la ventana y la puerta, trabaja como columna corta, mientras que la columna del extremo final adyacente a la puerta, actúa como apoyo. Tomando en cuenta que el sismo actúa como una onda que va y viene, en el panel 2 se evaluaron los efectos de retorno de la onda por sismo, por lo que en este momento la columna adyacente a la ventana, amortigua la acción del sismo por ser más rígida, atenuando la onda del sismo, que se ve reflejado en la forma de la curva de la figura 7.

La curva carga-deformación de la figura 8, indica las zonas de elasticidad y plasticidad del panel. De esta curva se obtienen las derivas máximas reales del sistema, indicadas por las líneas azules. Para el punto 1, la deriva máxima real es de 6 mm y para el punto 2 es de 4.58 mm.

En el segundo ensayo, se obtuvo una hoja de la curva de histéresis para el panel 2, en los dos puntos analizados como se indica en las figuras 9 y 10. Las curvas denotan una diferencia en la amplitud de cada una, ya que para el punto 1, la amplitud de la curva es menor que la del punto 2, esto se debe a que en el punto 1, se presenta un comportamiento de menor rigidez a diferencia del punto 2, que es más rígido.

Comparación de paneles

Relacionando la deriva máxima real del panel 1, con la deriva máxima real del panel 2, se obtiene el factor de amortiguamiento $\varepsilon = 0.36$.

El panel 1, presentó mayor desplazamiento que el panel 2, debido a que el panel 2 resiste más la acción del sismo, porque la onda del sismo llega por su lado más rígido. A pesar de que la configuración de aberturas de los paneles es muy similar, la forma de cómo reciben la acción del sismo, es diferente, ya que el elemento en cada extremo donde se aplicó la carga, es más rígido uno del otro, es decir, es más rígido el del panel 2 que el del panel 1.

Conclusiones

1. Se determinó que la configuración del panel 2, absorbe más la energía generada por la acción del sismo, por ser más rígido que el panel 1.
2. Se calcularon las derivas máximas reales para una altura efectiva en cada panel, siendo de 13 mm para el panel 1 y de 6 mm para el panel 2.
3. Se determinó el factor de reducción de resistencia para paneles prefabricados, con configuración de abertura de puerta y ventana, que es de 0.58.
4. Se estableció el factor de amortiguamiento del sistema, comparando las derivas máximas reales de cada panel siendo este de 0.36.

Recomendaciones

1. Se debe considerar la acción del sismo como una onda que va y viene para el diseño de paneles con aberturas.
2. Se debe tomar en cuenta que a mayor rigidez en un sistema, menor será el desplazamiento del mismo.
3. Se recomienda evaluar un módulo de vivienda utilizando los dos paneles unidos como sistema tipo cajón para establecer un análisis del comportamiento por la acción del sismo.

Referencias bibliográficas

- American Concrete Institute. ACI 530-11 (2011). Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures [Requisitos y especificaciones del código de construcción para estructuras de mampostería]. Farmington Hills: Masonry Standards Joint Committee (MSJC).
- American Concrete Institute ACI-ASCE 352. (2010). Recomendaciones para el diseño de conexiones viga-columna en estructuras monolíticas de concreto reforzado. Farmington Hills.
- American Concrete Institute. ACI 318S-14 y comentario ACI 318SR-14. (2014). Requisitos de Reglamento para concreto estructural. Farmington Hills.
- American Society of Civil Engineers. (2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures [Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras]. Reston, Virginia, Estados Unidos

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2010). NSE 3-10: Diseño estructural de edificaciones. Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala. Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2010). NSE 4-10: Requisitos prescriptivos para vivienda y edificaciones menores de uno y dos niveles. Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala. Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2010). NSE 7.4: Mampostería reforzada (NR9: 2000). Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala. Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.

Corzo, M. (2008). Notas mampostéricas de una sabandija. Guatemala: s.n., 2008. pág. 194.

Orozco, P. (2019). Propuesta de vivienda unifamiliar utilizando muros de poliestireno expandido, reforzado con acero y concreto. (Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala). Repositorio institucional

Tapia Hernández, E., y Tena Colunga, A. (2010). Observaciones sobre criterios de diseño sísmico de edificios con marcos de acero. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 15(2), 159-182

Mario Rodolfo Corzo Ávila
(Ingeniero Civil)
Docente de la Escuela de Ingeniería Civil
Jefe de la Sección de Estructuras CII/USAC

Avdías Raúl Ortiz Morales
(Auxiliar de laboratorio)
Sección de Estructuras CII/USAC

Luis Felix Chocojay Guamuch
(Auxiliar de cátedra)
Sección de Estructuras CII/USAC

Telma Lorena Cermeño Dávila
(Auxiliar de cátedra)
Sección de Estructuras CII/USAC

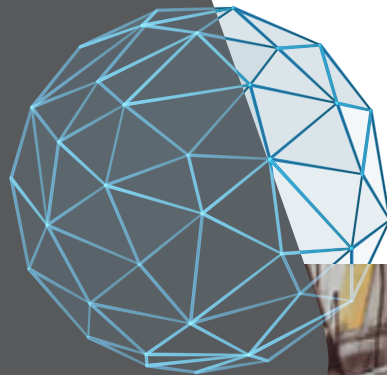
Agradecimientos

Ing. Civil Eduardo Oliva
Gerente Regional de Operaciones,
GRUPO PRECON, S.A.

Arfaxad Echeverría
Jefe de Control de Calidad,
MONOLIT, S.A.

Estudio de mercado para una planta de producción de materiales de construcción

Saulo Moises Méndez Garza (MSc.Ing. Industrial)
mendezgarza@yahoo.com



Estudio de mercado para una planta de producción de materiales de construcción

Saulo Moises Méndez Garza (MSc. Ingeniero Industrial)
mendezgarza@yahoo.com
Sección de Ecomateriales CII/USAC

Resumen

El estudio de mercado se realizó en el casco urbano de la cabecera departamental de Retalhuleu, a través de dos consultas dirigidas a la población. Se diseñaron dos instrumentos tipo encuesta, utilizados para la recolección de la información, se calculó la muestra de personas que serían encuestadas sobre el material de cubierta de las viviendas. La primera encuesta fue dirigida a los productores y proveedores de materiales de construcción, -especialmente bloques de concreto-, los resultados de esta encuesta mostraron que el bloque de concreto de 15 x 20 x 40 cm es el más utilizado por los constructores de viviendas, y su demanda fue de 496,800 unidades mensuales; la segunda encuesta, se dirigió a los consumidores de techos o cubiertas para viviendas, se estableció que la muestra para esta encuesta, era de 108 personas. Los resultados indicaron que el techo más utilizado era la lámina de zinc; y la teja de micro concreto era un producto nuevo y desconocido en la región, sin embargo, generó mucha expectativa y aceptación, debido a sus dimensiones y la composición de materiales para su fabricación.

Palabras clave: teja de micro concreto, block de concreto, instrumentos, comercio, desarrollo comunitario.

Abstract

The market study was carried out in the urban area of the departmental capital of Retalhuleu, through two consultations addressed to the population. Two survey-type instruments used for the collection of information were designed, the sample of people who would be surveyed about the roofing material of the houses was calculated. The first survey was addressed to the producers and suppliers of construction materials, -especially concrete blocks-, the results of this survey showed that the concrete block of 15 x 20 x 40 cm. it is the most used by home builders, and its demand was 496,800 units per month; the second survey was addressed to consumers of roofs or covers for homes, it was established that the sample for the second survey would be 108 people, the results obtained indicated that the most used roof was zinc sheet; and the micro concrete tile was a new and unknown product in the region, however, it generated a lot of expectation and acceptance, due to its dimensions and the composition of materials for its manufacture.

Keywords: Micro concrete tile, concrete block, instruments, trade, community development.

Introducción

La fabricación y consumo de materiales de construcción en Guatemala, es una actividad comercial que provee soluciones al sector construcción, ofreciéndole productos de buena calidad, resistentes y puestos en el lugar de trabajo con prontitud y sin mayor complicación.

Este tipo de negocios se ven por toda la república, algunos de ellos poseen maquinaria automatizada; y otros, que son los que suman la mayoría, cuentan con procesos artesanales de producción con un mínimo control de calidad, estos últimos se tornan insuficientes para competir, debido a que su capacidad instalada está por debajo de lo que demanda el mercado.

En una comunidad de Retalhuleu, existe una planta de producción de materiales de construcción, que no cuenta con la personería jurídica para llevar a cabo actividades comerciales, pues, fue creada por la organización Arquitectos Sin Fronteras, de Galicia, España, con el objeto de elaborar y proveer los materiales para un proyecto dirigido por este organismo internacional, el cual consistía en la construcción de viviendas nuevas y reforzamiento de otras, en diferentes comunidades del Municipio de Champerico, Retalhuleu.

De acuerdo con la planificación original de Arquitectos sin Fronteras, el proyecto estaba contemplado a ejecutarse en los años 2010 y 2011, según consta en el acuerdo marco del Programa Oxlajuj T'ikin.

Es por ello que, para que la planta de producción continúe sus operaciones de forma autónoma, era necesario que contara con los permisos para realizar operaciones comerciales con terceros.

El estudio de mercado, permitió evaluar las principales opciones de personería jurídica comercial, que se adaptaran a las necesidades de la planta comunitaria de producción de materiales de construcción; así mismo, se analizó la oferta y la demanda de materiales de construcción en las comunidades de Retalhuleu y Champerico.

Para la obtención de la información necesaria, se definieron dos instrumentos tipo encuesta: uno para los proveedores y vendedores de materiales de construcción, y el otro para los consumidores de cubiertas de viviendas. La consulta para el segundo grupo, se hizo a una muestra de 108 personas.

Finalmente se analizaron los resultados obtenidos del estudio de mercado.

Marco Conceptual

Diferencia entre una Empresa Cooperativa y una Sociedad Mercantil

Se estudiaron los diferentes escenarios comerciales, finalmente las opciones se redujeron a dos de ellas: la cooperativa de responsabilidad limitada y la sociedad anónima.

Según (Herrarte, 1996), las cooperativas desarrollan actividades productivas, financieras y comerciales en forma similar a las sociedades mercantiles; sin embargo, existen diferencias entre ambas.

En el mercado local, además de los escenarios comerciales, también se analizaron algunos aspectos como la oferta y la demanda de materiales de construcción, en varios sitios comerciales, como: ferreterías y ventas de insumos para la construcción.

La oferta, según (Solloy, 2009), es la cantidad de bienes o servicios que los productores están dispuestos a ofrecer, a diferentes precios y condiciones dadas, en un determinado momento.

Para este proyecto, la oferta se centra en el análisis de las empresas que fabrican bloques de concreto, no así, las de tejas de micro concreto, debido a que, en el tiempo en que se realizó la investigación en la región, no existían industrias ni salas de venta que ofrecieran este material de cubierta.

Por otro lado, los que demandan los suministros para la construcción en la región, son personas y empresas dedicadas a la construcción de viviendas, edificios y obras municipales.

(Solloy, 2009), al referirse a la demanda, dice que es la cantidad de bienes o servicios que los consumidores están dispuestos a adquirir, dado un nivel determinado de precios.

En síntesis, la investigación del mercado de materiales de construcción en el Municipio de Champerico, ha sido fundamental, previo a que la planta de producción inicie con las operaciones comerciales de compra y venta, pues es necesario identificar la oferta de bienes y servicios, así como la demanda.

Según (Sampedro, 2002), los mercados son lugares donde se concentran, por un lado, vendedores que ofrecen sus mercancías a cambio de dinero y, por otro, compradores que aportan su dinero para conseguir esas mercancías.

Existe, por lo tanto, una oferta y una demanda, lo que se paga, es el precio.

Según (Vásquez, 2000), los bloques de concreto son elementos que se utilizan apilados, ensamblados o unidos con un mortero u otro material similar, para conformar muros, dentro de los sistemas constructivos conocidos como mampostería o albañilería.

Figura No. 1. Fabricación de bloques de concreto en la planta de producción



Fuente: Garza, 2011

Por otro lado, la teja de micro concreto es un material de cubierta, cuyas cualidades térmicas, hidráulicas, acústicas, de duración y resistencia mecánica a los impactos, son iguales o superan las de otros similares.

Por eso se cree que la teja de micro concreto, compite con las cubiertas tradicionales, convirtiéndose en una opción viable desde el punto de vista económico, técnico y ecológico. (Meléndez y otros, 2004).

Figura No. 2. Tejas de micro concreto fabricadas en la planta de producción



Fuente: Garza, 2011

La teja de micro concreto está siendo utilizada en muchos países, sobre todo en América Latina y África (Meléndez y otros, 2004), como se muestra a continuación:

América Latina: República Dominicana, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Perú, Ecuador, Jamaica, Haití, Bolivia, Cuba, Panamá, Brasil, Costa Rica, Colombia, Guatemala, México.

África: Costa de Marfil, Burkina Faso, Nigeria, Ghana, Tanzania, Madagascar, Kenia, Zimbabwe, Namibia, entre otros); en Asia (India, Nepal, Vietnam, Laos, Sri Lanka, Bangladesh, Filipinas, y Tailandia); y Asia Central (Tadjikistán).

Metodología

Investigación de mercado

Se realizó un recorrido por el casco urbano de la cabecera departamental de Retalhuleu para observar el mercado de materiales de construcción.

Para ello se diseñó un instrumento tipo encuesta, para efectuar un levantamiento de información acerca de los

fabricantes de bloques de concreto liviano en la zona meta. (Ver tabla No. 1).

Debido a que la cantidad de establecimientos de ventas de materiales de construcción en la cabecera departamental de Retalhuleu no es muy grande, se visitaron todos los establecimientos.

Durante la ejecución de la investigación, en el año 2010, aún no existían plantas de producción de materiales de construcción en las comunidades de Champerico.

Tabla No. 1. Encuesta a proveedores de materiales de construcción

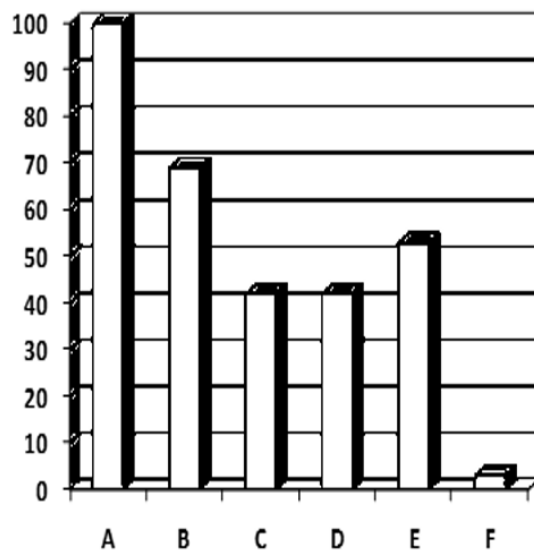
Nombre de la empresa:	
Dirección:	
1. ¿Es usted fabricante y vendedor de bloques o sólo vendedor?	
a) Fabricante y vendedor	<input type="radio"/>
b) Vendedor	<input type="radio"/>
2. ¿Qué tipo de bloques fabrica para vender?	
A	
B	
C	
D	
3. ¿Qué materiales utiliza para la fabricación de los bloques?	
A	
B	
C	
D	
4. ¿Cuál es el bloque que prefiere la gente y por qué?:	
5. ¿Cuál es su precio?	
6. ¿Cuántos bloques se venden por mes?:	
7. ¿En qué meses del año el bloque se vende más y en qué meses se vende menos? Y por qué	
Meses en que se vende más:	
Meses en que se vende menos:	
¿Por qué?:	
8. ¿Cuál es la forma en que dan a conocer su producto?:	

Fuente: Garza, 2011

Los tipos de cubierta de viviendas más conocidos en la zona meta, respecto a la pregunta No. 6 de la encuesta, sobre la utilidad de la teja de micro concreto, son los siguientes:

Lámina de zinc, 100%; Palma, 69%; Lámina fibrorreforzada; 42%; Manaque, 42%; Teja de barro, 53% y; Teja de micro concreto, 3%.

Figura No. 3. Cubiertas de viviendas más conocidas



Fuente: Garza, 2011

Selección de la muestra de consumidores de tejas

Se diseñó un instrumento tipo encuesta para saber la opinión de las personas, luego que se les mostrara la teja de micro concreto, y, para ello, la actividad se desarrolló en algunas comunidades de Retalhuleu y Champerico:

Santa Cruz Cajolá; La Verde; Caserío San Juan; Línea Férrea; Barrio El Palmo, Comunidad Andrés Girón; San Miguel Las Pilas; Axtlán; Montecristo y; Caserío La Sureña.

Se utilizó la siguiente fórmula, para determinar los 108 encuestados (Garza, 2011).

$$M = \frac{Nz^2 pq}{e^2(N-1)+z^2 pq}$$

En donde:

- M = Tamaño de la muestra
- N = Tamaño de la población
- z = Valor de z para un intervalo de confianza
- p = Prevalencia esperada del parámetro a evaluar
- q = 1 - p
- e = Error de muestreo

a) Se trabajó con un nivel de confianza del 95% para reducir el intervalo de error en la información.

b) El nivel de confianza fue del 95% y el valor de z fue de 1.96.

c) Como el universo fue separado por estratos, para obtener un menor error en las estimaciones, se espera que el estrato elegido proporcione un 90% del consumidor potencial esperado, para el producto en estudio.

d) El complemento a utilizar será del 10%, para un total del 100%.

e) El error de muestreo máximo, que se estableció para el estudio a los consumidores, es del 5%.

Sustituyendo valores:

- M = Tamaño de la muestra
- N = 138
- z = 1.96
- p = 50%
- q = 50%
- e = 5%

Luego de realizadas las operaciones en la ecuación, se estableció que el número de personas a encuestar sería de 108.

Es necesario recordar que esta encuesta fue diseñada para conocer el comportamiento y la intención de compra de las personas, respecto al uso y preferencia de la teja como material de cubierta en las viviendas.

Tabla No. 2. Encuesta sobre la utilidad de la teja de micro concreto para techo

1. Edad:			
2. Es usted padre o madre de familia:			
P			M
4. Actualmente vive en:			
casa propia		casa alquilada	
5. ¿Qué tipos de techos para viviendas conoce?			
A			
B			
C			
Otros			
6. ¿De qué material es el techo de su casa?:			
7. ¿Conoce usted la teja de concreto para techo?			
Si		No	
8. ¿Si usted tomara la decisión de reemplazar el techo actual de su casa y en su lugar pusiera teja de concreto, cuáles serían sus razones para hacerlo?			
A			
B			
C			
D			
Otro			
9. ¿Qué ventajas y desventajas encuentra en la teja de micro concreto?			
Ventajas:			
Desventajas			
10. ¿Conoce los lugares en donde se fabriquen y se vendan tejas de concreto?			
Si		No	

Fuente: Garza, 2011

Las encuestas utilizadas como instrumentos para la obtención de la información, consistieron en dos cuestionarios, que funcionaron como guía para la entrevista sobre los dos productos en mención.

Las personas fueron entrevistadas en el mes de marzo de 2010, y se procedió así: primero, para los proveedores de bloques, la información principal se centró en conocer el precio de venta de los productos y su capacidad instalada de producción, para atender una demanda. Segundo, para los consumidores de tejas, la información se centró en saber su opinión acerca de las ventajas y desventajas que se puedan identificar en este producto.

Tabla No. 3. Respuesta a la pregunta 9 de la encuesta, sobre la utilidad de la teja de micro concreto

Ventajas	Desventajas
• No se cae	• Se quiebra si se le lanza una piedra
• Es resistente	• Es frágil
• Tarda mas tiempo	• Se requiere de muchas vigas para su instalación
• Es durable	• Tiene un canal muy angosto para el traslape
• No se oxida	• Es muy pesada, especialmente por los temblores
• Es buena	• El tamaño es pequeño
• Es mas fresca que la lámina de zinc	• No sabría qué hacer si se quiebra una
• Corre mas el agua cuando llueve	• Es quebradiza
• No hace ruido cuando llueve	• Es mas cara
• No se pica	• No se compra solo una
• Bonito estilo	• La estructura es muy cara
• Aunque fuera cara duraría mas tiempo	• En el transporte se pueden quebrar
• No se hunde ni se dobla	• No hay pruebas para su total seguridad
• Evita el incendio	• Si está mal hecha puede gotear
• Buena calidad	
• Resiste el humo	
• Es gruesa	
• Es fresca	
• No se destruye fácilmente	
• Es práctica para colocar	
• Es de lujo	
• Protege mas	
• De fácil elaboración	
• Resiste la sal	
• Es mas segura	
• Está bien hecha	
• No calienta	
• Producto nuevo	

Fuente: Garza, 2011

Figura No. 4. Muestra de cubierta de teja de micro concreto



Fuente: Garza, 2011

Resultados

- Se identificaron las principales opciones razones comerciales: la Cooperativa de Responsabilidad Limitada, y la Sociedad Anónima.
- Se definieron la oferta y la demanda de materiales de construcción en la cabecera departamental de Retalhuleu.
- Se elaboraron dos instrumentos para la obtención de la información: una encuesta para proveedores de materiales de construcción y otra más para los consumidores de cubiertas de viviendas.
- Se definió que el total de la muestra a entrevistar en la segunda encuesta sería de 108 personas.
- Se analizaron y evaluaron los resultados del estudio de mercado realizado en las comunidades de Retalhuleu y Champerico.

Discusión

- Entre las dos opciones comerciales analizadas, la Cooperativa de Responsabilidad Limitada, es la

que mejor se adaptó a las necesidades de la planta de producción.

- Para los bloques de concreto, se analizaron tanto la oferta del material como la demanda, no así para la teja de micro concreto, debido a que se trataba de un producto nuevo, por lo que, de este, se obtuvo la opinión de las personas para uso de cubiertas.

Conclusiones

1. Se determinó que la razón comercial para que la planta de producción pueda operar de forma autónoma, es la Cooperativa de Responsabilidad Limitada.
 2. Se determinó e identificó el total de proveedores de materiales de construcción, en la cabecera departamental de Retalhuleu.
 3. Se conoció la opinión de las personas acerca de los bloques de concreto y tejas de micro concreto, a través del uso de dos encuestas elaboradas para el efecto.
 4. Se determinó que 108 personas serían entrevistadas para conocer su opinión, sobre la teja de micro concreto, sin embargo, no hubo necesidad de calcular una muestra de proveedores de materiales de construcción, ya que, eran muy pocos y se entrevistó a todos.
 5. Los resultados de las encuestas proporcionaron información importante para la toma de decisiones, con relación a la estructura comercial más conveniente para la planta comunitaria de producción de materiales de construcción, en las comunidades de Retalhuleu y Champerico.
- producción de materiales de construcción en las comunidades de Retalhuleu.

Recomendaciones

1. La Cooperativa de Responsabilidad Limitada, es una opción que favorece a la comunidad con fuentes de trabajo, mejores precios y las utilidades llegan a más personas.
2. Según los resultados de la encuesta de proveedores, estos son muy pocos comparado con el crecimiento constante de las comunidades de Retalhuleu y Champerico, por lo que es conveniente que la oferta se extienda a más comunidades, promoviendo el desarrollo.
3. Es conveniente que haya proveedores de teja de micro concreto en las comunidades mencionadas, para disminuir las altas temperaturas en las viviendas de las comunidades de Retalhuleu y Champerico.
4. Con el crecimiento de la población, habrá más demanda de materiales de construcción, por consiguiente, se tendrá que ampliar la muestra, así como mejorar los instrumentos para la obtención de la información.
5. Es importante considerar los resultados obtenidos en las encuestas, toda vez que la información y los medios para obtenerla, proporcionen los datos correctos para tomar las mejores decisiones.

Referencias bibliográficas

Garza, S. M. (2011). Estudio de pre-factibilidad para el plan de mejora de una planta de producción y venta de materiales de construcción en el Municipio de Champerico, Retalhuleu, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Herrarte, C. A. (1996). Formulación y capacitación de recursos humanos en la empresa cooperativa (región metropolitana). Universidad de San Carlos de Guatemala.

Meléndez, M., Espinosa, O., Rhyner, K., & Noboa, M. (2004). Un techo que cubre al mundo: la teja de microconcreto. EcoSur.

Sampedro, J. L. (2002). El mercado y la globalización. Barcelona: Destino.

Solloy, K. M. (2009). Estudio de factibilidad para la fabricación y comercialización de piso, utilizando maderas nacionales. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Vásquez, D. T. (2000). Procedimiento de control de calidad en el proceso de fabricación de bloques de concreto. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Saulo Moisés Méndez Garza
(Maestro en Formulación y Evaluación de Proyectos, Ingeniero Industrial)
Profesor Investigador de la Sección de Ecomateriales del Centro de Invetigaciones de Ingeniería, Miembro de la Comisión Intersectorial de Calidad del CONCYT.

Resultados de adoquines de concreto prefabricados con arena cuarzo-feldespática como agregado fino

Pablo Christian De León Rodríguez (MSc.Ing. Civil)
Pablo291251@yahoo.com

Nester Giovanni Ampérez Soliz (Ing. Civil)
n.ga.sol.001@gmail.com



Resultados de adoquines de concreto fabricados con arena cuarzo-feldespática como agregado fino

Pablo Christian De León Rodríguez (MSc.Ing. Civil)
Pablo291251@yahoo.com
Jefe, Sección de Metales
y Productos Manufacturados CII/USAC

Nester Giovanni Ampérez Solíz (Ing. Civil)
n.ga.sol.001@gmail.com
Laboratorista, Sección de Metales
y Productos Manufacturados CII/USAC

Resumen

Debido a la demanda de bancos de materiales para materias primas en la fabricación de mampuestos, elementos de concretos entre otros, se han implementado investigaciones de elementos de concretos con diferentes agregados y materiales acumulados en diferentes industrias como la de vidrio, la cual cuenta con acumulación de arena cuarzo-feldespática, en la cantera de San Miguel Pochuta, en el departamento de Chimaltenango. Los adoquines son elementos constructivos, de uso vial y decorativos, con una fácil instalación, considerándolo como un pavimento flexible, estos son fabricados por el método de vibro-compactación, por tal motivo son fáciles de fabricar e ideales para la utilización materias primas poco convencionales en la industria. Las muestras fueron obtenidas de adoquines elaborados con un diseño de mezcla teóricamente realizado, cumpliendo con una resistencia a compresión para un adoquín tipo A, donde se utilizó arena cuarzo-feldespática como agregado fino, grava de 3/8" como agregado grueso, cemento ARI como aglomerante y agua, la tener los resultados de los ensayos realizados como lo indicar la norma para un adoquín de concreto, fueron comparados los resultados de los ensayos a flexión, abrasión, absorción de agua y compresión en el laboratorio con la Norma COGUANOR 41086. Los 12 adoquines ensayados a flexión, de las 4 cuatro muestras (A, B, C y D) cumplieron con el valor de la resistencia para un adoquín y con el promedio de 3. En el ensayo de absorción de agua de igual manera cumplieron los 12 adoquines con los parámetros establecidos en la norma. En cuanto a los ensayos de abrasión uno de los 12 adoquines (A-8) fue el único que no cumplió con el dato de desgaste para un adoquín y con el ensayo a compresión los 12 adoquines sobre pasaron el valor de 280 kg/cm², establecido en el diseño de mezcla, por lo tanto, se establece que los adoquines al ser comparados con la norma están por arriba de la resistencia para un adoquín tipo A.

Palabras clave: Absorción, compresión, flexión, muestras, pavimento.

Abstract

Due to the demand for material banks for raw materials in the manufacture of masonry, concrete elements, among others, investigations of concrete elements with different aggregates and materials accumulated in different industries such as glass, which has accumulation of quartz-feldspathic sand, in the San Miguel Pochuta quarry, in the department of Chimaltenango. The paving stones are constructive elements, for road and decorative use, with an easy installation, considering it as a flexible pavement, these are manufactured by the vibro- compaction method, for this reason they are easy to manufacture and ideal for the use of unconventional raw materials. in the industry. The samples were obtained from pavers made with a mix design theoretically carried out, complying with a compressive strength for a type A paver, where quartz- feldspathic sand was used as fine aggregate, 3/8" gravel as coarse aggregate, ARI cement. as a binder and water, having the results of the tests carried out as indicated by the standard for a concrete paver, the results of the flexural, abrasion, water absorption and compression tests were compared in the laboratory with the COGUANOR 41086 standard. The 12 paving stones tested in flexion, of the 4 four samples (A, B, C and D) met the resistance value for a paving stone and with the average of 3. In the water absorption test, they also met the 12 pavers with the parameters established in the standard. Regarding the abrasion tests, one of the 12 paving stones (A-8) was the only one that did not meet the wear data for a paving stone and with the compression test the 12 paving stones exceeded the value of 280 kg/cm², established in the mix design, therefore, it is established that the pavers when compared with the standard are above the resistance for a type A paver.

Keywords: Absorption, compression, bending, samples, pavement.

Introducción

La arena cuarzo-feldespática por ser un desecho mineral de la industria del vidrio, es un material que no ha sido empleado en fabricación de elementos en la industria de la construcción, por lo tanto, se ha implementado en la fabricación de adoquines de concreto.

Con los resultados obtenidos se pueden evaluar las propiedades mecánicas en los diferentes ensayos que estable la Norma COGUANOR 41086 para adoquines de calidad comercializados en Guatemala.

Los adoquines fueron elaborados por el método de vidrio-compactación y a los 28 días de la fabricación fueron ensayados en el laboratorio de la sección de metales y productos manufacturados del, centro de investigaciones de ingeniería, USAC.

Con la innovación de elementos constructivos y la importancia de garantizar el cumplimiento de las características físicas y propiedades mecánicas según lo establecido en las Normas COGUANOR, en concreto con la fabricación de adoquines de concreto con arena cuarzo-feldespática como agregado fino, se realiza la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión, absorción de agua, abrasión y compresión, para establecer la clasificación y resistencia de los adoquines, poder determinar su uso y comercialización en el país y considerarlos como adoquines me calidad alcanzando los resultados para un adoquín tipo A, que es utilizado para tránsito pesado.

Desarrollo del estudio

La investigación se enfoca en la comparación de los resultados de los ensayos obtenidos en el laboratorio de los adoquines con los parámetros que se establecen en la Norma COGUANOR 41086.

Con la comparación se pretende establecer la clasificación y calidad de los adoquines fabricados con materiales no convencionales a los utilizados en la industria y determinar el uso de estos elementos constructivos en diferentes áreas de la construcción donde son utilizados actualmente.

“Los adoquines son elementos de concreto, prefabricado, con la forma de prisma recto” (COGUANOR NTG 41085, 2015. p. 6). Los adoquines cuentan con un diseño de mezcla de concreto con dos distintas arenas de cuarzo de dos distintos bancos de materiales de la fábrica, el de Borda y el de Torres 1, las cuales se obtuvieron de la cantera SICASA, de San Miguel Pochuta, departamento de Chimaltenango, teniendo las muestras con los siguientes porcentajes;

Muestra A: 50 % arena de Borda y 50 % arena de Torres 1, y aglomerante hidráulico.

Muestra B: 50 % arena de Borda y 50 % arena de Torres 1, agregado grueso y aglomerante hidráulico,

Muestra C: 25 % arena de Borda y 75 % arena de Torres 1, agregado grueso y aglomerante hidráulico y

Muestra D: 75 % arena de Borda y 25 % arena de Torres 1, agregado grueso y aglomerante hidráulico.

Las características físicas de los agregados utilizados para el diseño de mezcla propuesto teóricamente fueron realizadas en la sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigación de Ingeniería CII, USAC. Los agregados caracterizados fueron; las arenas cuarzo- feldespática del banco de materiales de Borda, las arenas del banco de materiales de Torres 1 (agregados finos) y el piedrín de 3/8” (agregado grueso), Figura No.1.

Figura No. 1. Arena cuarzo-feldespática



Fuente: Ampérez, N. (2019).

Las arenas tanto las del banco de materiales de Borda como de Torres 1, en los resultados de laboratorio en sus características físicas, no cumplieron con el módulo de finura por lo tanto al momento de realizar el diseño de mezcla se optó por agregar un factor de seguridad, para garantizar un diseño de mezcla apto para los elementos a fabricar.

El diseño de mezcla propuesto para la fabricación de los adoquines es de 280kg/cm^2 , equivalente a 4 000 Psi. En la Figura No. 2, se aprecian los adoquines fabricados posteriormente colocados en el área de secado bajo techo, para evitar la pérdida de humedad.

Figura No. 2. Adoquines fabricados



Fuente: Ampérez, N. (2019)

Los adoquines fueron fabricados con la colaboración de la empresa Super Girón Linda Vista, la cual se encuentra en el kilometro 57,7 de la carretera Interamericana en el departamento de Chimaltenango, dicha empresa se dedica a la fabricación de adoquines y bloques de concreto de diferentes medidas.

Los adoquines fabricados fueron de tipo cruz, debido a que es una de las formas más comunes en el mercado de productos prefabricados.

La máquina utilizada para la fabricación de adoquines es de motor monofásico de corriente eléctrica de 220 voltios, con un sistema de vibro compactación y es controlada por un operador. La máquina contiene un molde para producir dos adoquines tipo cruz a la vez, con dimensiones de 24 cm de largo, 22 cm de ancho y un espesor de 10 cm.

Para iniciar con la realización de los ensayos de los adoquines a flexión y absorción de agua estos son identificados, medidos y pesados, luego permanecen sumergidos en agua por $24\text{h} \pm 2\text{h}$ antes del ensayo. Se dejaron escurrir durante 1 min el exceso de agua sobre una malla metálica.

El sistema de apoyos es colocado sobre la placa inferior de la máquina universal, el adoquín es colocado sobre el sistema de apoyos con la superficie de desgaste hacia arriba, se coloca la varilla de acero de $\varnothing 14.98\text{ mm}$ y se aplica la carga al adoquín hasta su ruptura.

Una mitad del adoquín ensayado se pesa para determinar su peso húmedo, el mismo se coloca en el horno por 24 horas para determinar su peso seco, esto se realiza para obtener el porcentaje de absorción del adoquín.

Para iniciar con la realización de los ensayos de los adoquines para abrasión estos son cortados para obtener una probeta cubica de 71 ± 1.5 mm. Se realizan dos mediciones de la altura por cada lado de la probeta y sobre la superficie contraria al desgaste se les coloca cinta adhesiva donde se identifican y marca cada ciclo del ensayo.

Las probetas son colocadas en el accesorio porta probetas sobre el disco giratorio de la máquina de Böhme, se vierten 20 gramos de material abrasivo por cada ciclo de 22 revoluciones cada uno. Después de cada ciclo se limpia el disco y la cara de contacto de la probeta y se gira progresivamente la probeta hasta cumplir con 4 ciclos por lado. Y por último se miden las alturas de los lados de la probeta.

Para iniciar con la realización de los ensayos de los adoquines para compresión estos son identificados, medidos y pesados, se corta un cubo con superficie de 10 cm por 10 cm y del espesor del adoquín, una de las porciones sobrantes del corte se sumerge en agua por $24h \pm 2h$, pasadas las horas se pesa para obtener su peso húmedo, luego se coloca en el horno 24h para obtener su peso seco, con esos datos de determina el porcentaje de absorción del adoquín.

Luego los adoquines son colocados en la máquina universal para la realización del ensayo a compresión, donde se obtiene la carga soportada por el cubo, como se puede apreciar en la figura 3 el cubo del adoquín A-4 siendo sometido a carga danto como resultado un esfuerzo a la compresión de 532.32 kg/cm^2 , superando al esfuerzo propuesto en el diseño de mezcla de 280 kg/cm^2 .

Figura No. 3. Adoquín sometido a ensayo a compresión



Fuente: Ampérez, N. (2019)

Resultados obtenidos

Por ser la Norma COGUANOR 41086 standard 41086 establece las especificaciones la que para adoquines de concreto en Guatemala, los resultados de los ensayos realizados fueron comparados con los parámetros que en ella se establecen para clasificar a un adoquín según su resistencia.

“La clasificación se realiza por la resistencia a flexión” (COGUANOR 41086 standard NTG 41086, 2012. p. 10). Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los adoquines en el laboratorio se procede a compararlos con los parámetros que estable de la norma.

Los adoquines fueron sometidos a los ensayos de flexión, absorción de agua y abrasión según lo establece la Norma COGUANOR 41086 y a compresión para su comparación con el diseño de mezcla realizado, debido que para este ensayo en estos elementos no se cuenta con una norma en específico debido que los ensayos más críticos para adoquines son los de flexión, abrasión y el porcentaje de agua.

Para la obtención de la flexión “Cada adocuin debe de llegar hasta la ruptura como una viga simplemente apoyada” (COGUANOR 41086 standard NTG 41087 h 1, 2012.). En la Tabla No.1 se encuentran los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de los adocuiques de cada muestra con los £ Coguanor tanto flexión como porcentaje de absorción.

Tabla No. 1. Resultados a flexión

Muestra	Ensayo a Flexión kg/cm ²	Ensayo a flexión Norma NTG 41086 ⁽¹⁾ kg/cm ²	Promedio kg/cm ²	Promedio Norma NTG 41086 ⁽²⁾ kg/cm ²	Absorción de agua en (% de masa)	Absorción de agua Norma NTG 41086 ⁽³⁾ en (% de masa)
A-1	145.03	46.8	160	55	4.55	≤ 7.7
A-2	176.17	46.8			3.74	≤ 7.7
A-3	158.79	46.8			3.72	≤ 7.7
B-1	114.66	46.8	116.45	55	3.66	≤ 7.7
B-2	122.89	46.8			3.97	≤ 7.7
B-3	111.80	46.8			4.22	≤ 7.7
C-1	74.39	46.8	79.91	55	5.12	≤ 7.7
C-2	80.15	46.8			4.73	≤ 7.7
C-3	85.18	46.8			4.81	≤ 7.7
D-1	94.23	46.8	98.82	55	4.52	≤ 7.7
D-2	103.25	46.8			4.26	≤ 7.7
D-3	98.99	46.8			3.99	≤ 7.7

Fuente: Ampérez, N. (2019)

¹ La norma indica que uno de los tres adocuiques como mínimo, debe de tener una resistencia a flexión de 46.8 kg/cm².

³ El promedio de los tres adocuiques deben tener una resistencia a flexión de 55 kg/cm², como mínimo.

² El valor máximo individual para el porcentaje de absorción de agua debe de ser 7.7, para un adocuin A, y 9.9 para B y C. También el promedio de tres adocuiques no debe de superar el 7%, para un adocuin A y 9 para B y C.

En la figura 4, se aprecia un adocuin de los 12 adocuiques para el ensayo de flexión, sometiéndolo a carga para llevarlo a la ruptura y con los datos obtener el esfuerzo que este elemento logro soportar, siendo el adocuin identificado como C-1, soportando un esfuerzo de 74.39 kg/cm², superando a lo que estable la Norma COGUANOR 41086 standard de 46.8 kg/cm², de resistencia para adocuiques individuales.

Figura No. 4. Resultados a flexión.



Fuente: Ampérez, N. (2019)

En la Tabla 2 se encuentran los resultados de los ensayos a compresión y de absorción de las muestras de los adocuiques ensayados en el laboratorio, el ensayo a compresión se realiza para obtener la resistencia en laboratorio y compararla la resistencia del diseño de mezcla teóricamente propuesto.

Tabla No. 2. Resultados de esfuerzo a compresión y absorción

Muestra	Esfuerzo a compresión kg/cm ²	Esfuerzo del diseño de mezcla propuesto kg/cm ²	Absorción de agua en (% de masa)	Absorción de agua Norma NTG 41086 en (% de masa)
A-4	532.32	280.00	5.08	≤ 7.7
A-5	488.28	280.00	5.27	≤ 7.7
A-6	543.56	280.00	4.66	≤ 7.7
B-4	424.00	280.00	4.44	≤ 7.7
B-5	377.41	280.00	3.77	≤ 7.7
B-6	490.00	280.00	4.08	≤ 7.7
C-4	358.00	280.00	5.51	≤ 7.7
C-5	352.00	280.00	5.86	≤ 7.7
C-6	358.42	280.00	6.4	≤ 7.7
D-4	420.79	280.00	4.25	≤ 7.7
D-5	383.84	280.00	4.83	≤ 7.7
D-6	406.57	280.00	4.23	≤ 7.7

Fuente: Ampérez, N. (2019)

La abrasión se realiza por el método de Böhme “Se calcula el desgaste por abrasión después de 16 ciclos como pérdida de volumen de la probeta” (COGUANOR 41086 standard NTG 41087 h 2, 2012. p. 18). En la tabla 3 se encuentran los resultados de los ensayos de abrasión de las muestras de los adoquines con su respectiva comparación de los parámetros de la Norma COGUANOR 41086 standard.

Tabla No. 3. Resultados de abrasión

Muestra	Ensayo de Abrasión volumen (cm ³)	Ensayo de Abrasión Norma NTG 41086 ⁽¹⁾ volumen (cm ³)
A-7	19.629	20.00
A-8	20.120	20.00
A-9	14.567	20.00
B-7	12.309	20.00
B-8	14.111	20.00
B-9	14.297	20.00
C-7	16.351	20.00
C-8	17.023	20.00
C-9	13.397	20.00
D-7	13.962	20.00
D-8	14.748	20.00
D-9	13.099	20.00

Fuente: Ampérez, N. (2019)

¹ La norma indica que el volumen desgastado del cubo, no debe de ser mayor a 20,000 mm³ (20 cm³).

Discusión de resultados

- Los adoquines en los ensayos a flexión de las cuatro muestras cumplieron con los valores mínimos que establece la Norma COGUANOR 41086 standard 41086, tanto como individual y promedio de 3, los valores obtenidos en los ensayos son altos, y se puede determinar que los adoquines están arriba de los valores para un adoquín tipo A, que se tomó como referencia por ser de mayor calidad y resistencia, establecido en la norma, (46.8 kg/cm², para resistencia en adoquines individual y de 55 kg/cm² en promedio de 3), Ver en nota debajo de Tabla No. 1.

- Las muestras A y B cuentan con las mismas proporciones de agregado fino (50 % Borda y 50 % Torres 1), cemento y agua, con la única diferencia que los adoquines de las muestras B contienen agregado grueso, Los de la muestra B bajaron de resistencia, se puede considerar que, al contener agregado grueso en la mezcla, los agregados no tengan una buena adherencia y las muestras C y D lo único que varían son por porcentajes de arenas de cada banco de material, muestras C (25 % arena de Borda y 75 % arena de Torres 1) y muestras D (75 % arena de Borda y 25 % arena de Torres 1), Estas dos muestras a pesar de tener los valores más bajos de las cuatro, si cumplieron con los valores mínimos individuales y promedio de tres según lo establece la norma.
- En los resultados obtenidos de los ensayos a compresión, la resistencia fue superada a la establecida teóricamente al inicio siendo esta de 280 kg/cm^2 , siendo las muestras C las que obtuvieron la resistencia menor de las cuatro muestras establecidas, pero arriba de la resistencia teórica.
- Las cuatro muestras de los adoquines cumplieron con lo establecido por la norma en cuando a la absorción de agua en parámetros individuales como en promedio de 3.
- Los adoquines de las muestras A, fueron los que tuvieron mayor desgaste en comparación de las muestras B, C y D, siendo la muestra A-8 la que no cumplió con el valor mínimo de 20 cm^3 que estable la Norma COGUANOR NTG 410187 h 2.
- Esto se puede establecer debido a que esta muestra no contiene agregado grueso en su diseño de mezcla. En las muestras C y D, los

adoquines de la muestra C, tuvieron mayor desgaste en comparación con la D, pero cumplieron con los valores mínimos de desgaste que establece la norma

Conclusiones

1. Como agregado fino la arena cuarzo- feldespática tuvo un buen desempeño en el diseño de mezcla para los adoquines.
2. La resistencia a flexión de las muestras fue superada por el doble o triple que estable la Norma COGUANOR 41086 standard 41086.
3. La resistencia a compresión en las muestras supero a la establecida teóricamente de 280 kg/cm^2 considerando el diseño de mezcla elevado, considerando realizar otros diseños de mezclas.
4. Los adoquines pueden establecerse como adoquines del tipo A debido a los resultados obtenidos en los ensayos, y superando a los parámetros que son establecidos en la Norma COGUANOR 41086 standard 41086.

Recomendaciones

1. Realizar investigaciones con otros tipos de mampuestos donde se pueda utilizar la arena cuarzo-feldespática como agregado fino.
2. Realizar adoquines de concreto con diferentes proporciones en el diseño de mezcla para estar entre los valores que la Norma COGUANOR 41086 standard 41086 establece para un adóquín tipo A.
3. Elaborar adoquines de los tres tipos que se establecen en la Norma COGUANOR 41086 standard 41086.

Referencias bibliográficas

Ampérez, N. (2019). Elaboración de adoquines de concreto utilizando como agregado fino arena cuarzo-feldespática. (tesis de licenciatura), Facultad de Ingeniería, Guatemala. Universidad de san Carlos de Guatemala.

Comisión Guatemalteca de Normas. (2015). NTG 41085. Guía técnica de instalación de adoquines de concreto.

_____(2012). NTG 41086. Adoquines de concreto para pavimentos. Especificaciones.

_____(2012). NTG 41087 h 1. Métodos de ensayo. Determinación del módulo de ruptura de los adoquines de concreto.

_____(2012). NTG 41087 h 2. Métodos de ensayo. Determinar la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto.

Pablo Christian De León Rodríguez
MSc. Ing. Civil con Maestría en Energía y Ambiente, Jefe de la Sección de Metales y Productos Manufacturados CII/USAC

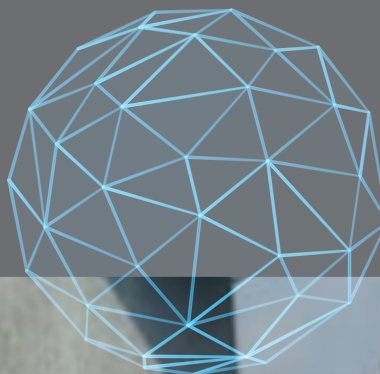
Nester Giovani Ampérez Solíz
Auxiliar de Laboratorio en Sección de Metales y Productos Manufacturados, CII.
Diplomado en Tecnología de Materiales de Construcción, Ing. Civil con especialidad en Hidrogeología, Facultad de Ingeniería-USAC

Agradecimientos

A Laboratorio de Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC y al equipo de trabajo que lo conforma.

Depósitos de ferrocemento: treinta años después de estar en condiciones de servicio

Francisco Javier Quiñónez de la Cruz (Ing. Civil)
javierquinonez@yahoo.es



Depósitos de ferrocemento: treinta años después de estar en condiciones de servicio

Francisco Javier Quiñónez de la Cruz (Ing. Civil)
javierquinonez@yahoo.es
Sección de Ecomateriales CII/USAC

Resumen

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, en los años ochenta y noventa, se desarrollaron investigaciones, ensayos y aplicaciones con técnicas de ferrocemento. En esa época, era un nuevo material que utilizaba mortero de cemento, refuerzo de malla de alambre de pequeño espesor y muy versátil para construir en diferentes formas. Se consideró que podría ser una alternativa en relación al hormigón armado, de muy bajo costo, más liviano, utilizando mano de obra no especializada y para construirse en el lugar de destino, principalmente en el área rural. Con ese material y su sistema constructivo, se construyeron depósitos para almacenamiento de agua de diferentes capacidades. En el año 2022, se realizó una evaluación para conocer el estado y la valoración del servicio prestado, a una muestra de diez recipientes, extraída de los depósitos construidos, después de haber estado en condiciones de uso por más de treinta años. El objetivo de este artículo es presentar los resultados satisfactorios obtenidos.

Palabras clave: Almacenamiento de agua, técnicas constructivas alternas, desarrollo rural, construcción liviana

Abstract

In University of San Carlos of Guatemala, in the eighties and nineties research, tests and applications with ferrocement techniques were developed. At that time, it was a new material that used cement mortar and wire mesh reinforcement, with a small thickness and very versatile to build in different shapes. It was considered that it could be an alternative to reinforced concrete very low cost, lighter, using unskilled labor and to be built at the destination, mainly in rural areas. With this material and its construction system, water storage tanks of different capacities were built. This year, an evaluation was carried out to know the state and the value of the service provided, to a sample of ten containers, extracted from the deposits built, after having been in conditions of use for more than thirty years. The objective of this article is to present the highly satisfactory results obtained. The objective of this article is to present the highly satisfactory results obtained.

Keywords: Water storage, alternative construction techniques, rural development, light construction

Introducción

El ferrocemento es un material no convencional, muy parecido al hormigón reforzado, con la diferencia que es de pequeño espesor y el acero usado es malla galvanizada, por lo regular hexagonal (malla de gallinero), la cual es colocada sobre un esqueleto de varillas de acero de pequeño diámetro, y, además, el mortero está hecho solamente a base de agregados finos, cemento y agua.

Las estructuras de ferrocemento son generalmente de espesor delgado, cuando se les compara con aquellas construidas con hormigón reforzado, por lo tanto, tienden a ser más livianas, lo que hace posible que sean trasladadas de un lugar a otro con relativa facilidad, aunque no es muy recomendable en estructuras de gran tamaño, ya que pueden llegar a tener alguna lesión.

El ferrocemento tiene otras cualidades a su favor, como la economía, en comparación con el hormigón reforzado, resistencia, durabilidad y fácil construcción. Uno de los puntos importantes a considerar en el diseño de ferrocemento, son las fisuras, es normal que aparezcan de la misma manera que en el concreto reforzado, siendo las del ferrocemento mucho más pequeñas.

Cuando el material es sometido a esfuerzos de tensión, mayores a la resistencia del mortero, ocurren grietas superficiales que se observan a simple vista, es cuando cobra importancia la primera grieta, la cual se usa como parámetro de diseño, ello no significa que se evite este fenómeno, ya que es normal, solo se debe controlar.

Se ha observado que los esfuerzos a la primera grieta, están en función, principalmente de la superficie específica del refuerzo en la dirección de la carga y de la resistencia última del mortero a tensión.

Depósitos cilíndricos de ferrocemento han sido construidos y ensayados con diferentes condiciones de carga, encontrándose que el agrietamiento ocurría en las paredes, cuando el esfuerzo de tensión excedía al esfuerzo de tensión a la primera grieta, estableciéndose este entre 2 y 6 MPa, lo que significa que el esfuerzo a la primera grieta debe limitarse en este intervalo.

Los cilindros de ferrocemento, son estructuras que trabajan a esfuerzos de compresión que son soportados por el mortero, y esfuerzos de tensión que son contrarrestados por el acero de refuerzo y las mallas de alambre de pequeño diámetro.

La superficie específica y la fracción de volumen de refuerzo, juegan un papel muy importante en el comportamiento al agrietamiento.

Algunos autores definen la fracción de volumen de refuerzo, como la relación del volumen de refuerzo y el volumen del compuesto de ferrocemento.

Mientras que Quiñónez (1989), indica que la fracción de volumen de refuerzo de cualquier tipo de malla, está en función del número de capas de malla, el peso unitario de la malla de refuerzo y el espesor del elemento.

Por otra parte, la superficie específica del refuerzo, es la relación que existe entre el área total lateral del refuerzo adherido al compuesto y el volumen del compuesto de ferrocemento.

Para determinar la superficie específica de cualquier tipo de malla, se debe considerar el diámetro del alambre de la malla y la fracción de volumen total de refuerzo.

El estado de agrietamiento de un material compuesto como el ferrocemento, puede ser ilustrado por el mecanismo clásico de agrietamiento del hormigón reforzado, basado en la suposición que los esfuerzos de tensión en el mortero rodeando el refuerzo, están uniformemente distribuidos sobre una sección transversal efectiva y, además, existe una distribución de esfuerzos de adherencia a lo largo del refuerzo.

En el mecanismo clásico de agrietamiento del hormigón reforzado, el esfuerzo de tensión en el acero, es transmitido parcialmente al hormigón por medio de adherencia, asimismo, ocurre en el ferrocemento, cuando el esfuerzo de tensión en el mortero, es mayor a la resistencia a tensión del material. Es cuando suceden las primeras grietas en las secciones más críticas de la estructura.

En estas secciones, el esfuerzo en el acero es mayor en comparación con las secciones donde no ocurren grietas, este mecanismo de agrietamiento está sujeto a una variabilidad.

El ancho y la separación de grietas, pueden variar en cuanto al método de elaboración y el curado que se dé a las estructuras.

Se ha demostrado que el ancho de las grietas en estructuras de hormigón reforzado, puede reducirse, incrementando la adherencia entre el refuerzo y el hormigón, aumentando la distribución del refuerzo y reduciendo el recubrimiento; estas condiciones son favorables en el ferrocemento, ya que el ancho de la grieta es casi cero adyacente al refuerzo y aumentan hacia la superficie, por lo que su distancia debe ser reducida (Quiñónez, 1989).

Considerando que el ferrocemento es un material de espesor delgado, se debe recordar que al reducir el recubrimiento, se debe tomar en cuenta los valores límite, para evitar que se cause algún daño por corrosión en el refuerzo, por reducir el ancho de grietas, que quizá esté en un rango permisible.

Se ha recomendado que el valor máximo del ancho de las grietas, deba estar debajo de 0,1-0,2 mm para estructuras que sean usadas para el almacenamiento y 0,05 mm para medios corrosivos y estructuras retenedoras de líquidos.

El esqueleto de refuerzo de varillas de pequeño diámetro, sirve para hacer la armazón de la estructura, sobre la cual se colocan las capas de malla; se distribuyen uniformemente y se separan hasta una distancia de 30 cm, generalmente no son tratadas como refuerzo estructural, sino que se les considera como soporte de la malla de refuerzo.

En algunos casos, las varillas de acero de la armazón se separan a una distancia de 7,5 cm, de centro a centro, actuando así, como un elemento de refuerzo de la malla de alambre (Quiñónez, 1989).

Las barras de acero de pequeño diámetro tienen como función principal, ser un respaldo para la malla de alambre, colocándolas a más de 15 cm y hasta 30 cm entre cada una de ellas; estas pueden ser desde 3 hasta 10 mm de diámetro, si se requiere, también pueden usarse para resistir esfuerzos juntamente con la malla, colocándolas de 5 a 15 cm de espacio entre cada una, como lo menciona Fuentes (2010).

Cada material usado en el ferrocemento, debe ser de buena calidad y previamente seleccionado, cumpliendo con los requisitos respectivos, para que cada uno de estos pueda desempeñarse y brindar en conjunto una buena trabajabilidad.

El acero en el ferrocemento se presenta de dos formas: las barras de acero para formar el esqueleto, las que deben cumplir con la Norma NTG 36011 "Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto" (COGUANOR, s.f.). Según esta Norma, las barras deben estar libres de óxido suelto, escamas u otras sustancias perjudiciales. La malla en el ferrocemento funciona como una formaleta, da forma a la estructura, soporta el mortero en estado fresco, y absorbe los esfuerzos de tensión, que el mortero por sí solo no sería capaz de resistir en estado sólido, por su baja resistencia a la tensión.

Existen diferentes tipos de mallas, cuadrada electrosoldada, cuadrada tejida, cuadrada soldada, de metal expandido y hexagonal (malla de gallinero), esta última es la más usada en la mayoría de los países, por ser la más económica y fácil de manejar.

El cemento se puede pedir con ciertas características especiales, según se requiera para el tipo de construcción que se desea. El más usado para el ferrocemento es el cemento Portland modificado, con el propósito de obtener estructuras con resistencia a la compresión, dureza, impermeabilidad, resistencia al ataque químico, consistencia uniforme, libre de materia extraña y terrones; debe cumplir con las especificaciones de la Norma ASTM C-595 (tipo I PM) "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements" (ASTM, 2021), esa especificación corresponde a los cementos hidráulicos mezclados para uso general y

aplicaciones especiales, usando cenizas o puzolanas o ambas, con Cemento Portland o clinker de Cemento Portland, o escoria con cal.

En este material, se usa el agregado fino únicamente, debe ser de grano duro y libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas y cumplir con las características requeridas de la Norma Técnica Guatemalteca NTG-41007 "Agregados para concreto. Especificaciones" (COGUANOR, s.f.). Esta norma es esencialmente equivalente a la Norma ASTM C33/C33-08 "Agregados para concreto. Especificaciones" (ASTMa, 2018), en la cual está basada, con algunas modificaciones para adecuarla a las condiciones locales de Guatemala.

Esta especificación, define los requisitos para graduación y calidad del agregado fino y grueso (otros como agregados de peso ligero o peso pesado), para uso en hormigón.

El agua utilizada para la mezcla de mortero y curado, debe ser libre de impurezas, libre de basura, no usar agua de mar, ya que puede alterar la composición mecánica y química del mortero, tanto fresco como endurecido; por ello debe usarse agua potable. Debe satisfacer los requerimientos de la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41073 "Agua de mezcla para uso en la producción de concreto de cemento hidráulico.

Especificaciones" (COGUANOR, s.f.). Esta norma es esencialmente equivalente a la Norma ASTM C1602/C1602M-06 "Especificación estándar para agua de mezcla utilizada en la producción de hormigón de cemento hidráulico" (ASTMb, 2018), en la cual está basada, e incluye la designación propia de las normas guatemaltecas.

El mortero es una mezcla de cemento, arena, agua y algunas veces aditivos para mejorar sus propiedades; debe ser trabajable, tener buena consistencia. Para que el ferrocemento ya terminado no pierda sus propiedades, se debe considerar la mayor resistencia a la compresión, una buena impermeabilidad, resistencia a agentes químicos y factores externos.

Durante los años ochenta y noventa, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se experimentó con esta técnica, habiendo realizado investigaciones sobre el comportamiento del material en los laboratorios y luego se llevaron a cabo aplicaciones, para satisfacer necesidades de la población. Así, entre 1986 y 1988, se obtuvo apoyo de la Dirección General de Investigación, DIGI, para desarrollar con más profundidad las investigaciones. Como resultado se construyeron, entre otras aplicaciones, depósitos para almacenamiento de granos en comunidades rurales (Quiñónez, 1989). Más tarde, hubo interés en utilizar los depósitos para almacenamiento de agua, buscando satisfacer otras necesidades, principalmente en el área rural, en los lugares donde el agua era escasa.

Esos depósitos han estado en funcionamiento, cumpliendo el fin para el cual fueron construidos, sin embargo, es importante hacer una evaluación de su estado actual y determinar la valoración que sus usuarios les han dado. Con tal propósito, se realizó esta investigación, cuyo objetivo general fue evaluar el estado en que se encuentran los depósitos construidos, después de treinta años de estar en condiciones de uso.

Más específicamente, se buscó establecer la ubicación de los depósitos y contactar a los usuarios, para llevar a cabo la evaluación; diseñar un formato para la evaluación visual del estado actual de los depósitos y finalmente evaluar las

condiciones y el funcionamiento de una muestra de diez, de los depósitos localizados.

La evaluación era importante, porque las cuantías del refuerzo utilizado en la construcción de los recipientes, desafió a las cuantías establecidas en la teoría de ese entonces.

Efectivamente, los resultados evidencian que los depósitos construidos, han logrado satisfacer a los usuarios a largo plazo, a pesar de algunas patologías, que no han sido determinantes para evitar el logro de los propósitos iniciales.

Análisis y diseño de los depósitos cilíndricos

Para el análisis y diseño, se utilizaron los parámetros usados en los cilindros de paredes delgadas. Las siguientes especificaciones fueron consideradas:

- Se supone que las tensiones que se generan en la pared, están uniformemente distribuidas en el espesor de la pared.
- La relación del espesor de la pared al radio de curvatura, no debe exceder de 0,10 pulgadas, además, no debe haber discontinuidad en la estructura.
- Por ser el espesor pequeño, comparado con su radio de curvatura, no se originan momentos flectores de mayor importancia en las paredes de escaso espesor, y son los esfuerzos de tensión los que gobiernan el diseño.
- El espesor mínimo para un depósito de ferrocemento es de 2 cm y aumenta conforme el tamaño.

Una sección de longitud L del cilindro que conforma el depósito, se corta por la mitad en el eje longitudinal, mostrando un plano diametral, en donde las fuerzas que actúan van a la derecha y otras a la izquierda. Las componentes horizontales, se equilibran una con otra. Mientras las componentes verticales actúan hacia arriba, debe existir una fuerza P que actúa en las paredes del cilindro, en sentido contrario para mantener el equilibrio.

La fuerza resultante, se puede obtener multiplicando la presión interna por la proyección horizontal de la superficie sobre la que actúa. La fuerza P , es la resultante de las fuerzas de cada sección y pasa a través del centroide del área considerada. Por consiguiente, el esfuerzo en las paredes del cilindro, puede determinarse por la relación de la fuerza P entre el área. En este caso, el área sobre la que actúa la fuerza, es la longitud L por el espesor de la pared del cilindro.

Método constructivo utilizado para la construcción de un depósito de ferrocemento y algunas especificaciones

El método de construcción del ferrocemento no es tan complicado, pues no requiere de mano de obra calificada, ya que, con solo seguir las recomendaciones dadas, una orientación y supervisión de alguien con experiencia, se puede construir. La siguiente información, es una síntesis del método constructivo.

2. Proporciones de la mezcla del mortero

Las proporciones recomendadas para la elaboración de la mezcla son: 1:2:0.45 (cemento, arena y agua), por peso. La relación puede ser incrementada a 1:2.5, cuando se use mortero lanzado, para compensar las pérdidas de partículas, sobre todo de agregado fino en el rebote (Sierra, 1986).

El asentamiento del mortero, debe ser lo más bajo posible, que permita una buena compactación, no debe exceder de 5 cm. El control del módulo de finura de la arena y la relación agua-cemento, debe ser mantenida cuidadosamente, para proveer propiedades uniformes en toda la estructura.

La arena y el cemento se mezclan juntos y después se añade la cantidad de agua necesaria, para formar una pasta uniforme y el tiempo de mezclado deberá ser aproximadamente de 3 minutos.

2. Armado del refuerzo

La elaboración de la jaula de refuerzo, consiste en cortar las varillas de acero a los tamaños requeridos. Dependiendo de la capacidad del depósito, se hacen anillos para formar el refuerzo a lo largo del diámetro; estos anillos se unen con las varillas que son colocadas desde la parte superior del depósito, hasta la parte inferior. Para la base del depósito, se pueden hacer algunos cortes, para adecuar la malla de gallinero cuando se coloque.

Las capas de malla de alambre deben ser cuidadosamente atadas a las varillas del armado, de manera que proporcione un espesor uniforme; evitar el movimiento durante la colocación del mortero y cualquier discontinuidad del refuerzo.

Debe proporcionarse un traslape adecuado para las mallas de alambre de pequeño diámetro, el cual debe seguir las siguientes recomendaciones: Por lo menos 75 milímetros de traslape. La localización de las aberturas en la estructura, debe hacerse preferiblemente en los lugares donde los esfuerzos y presiones sean mínimas. Debe colocarse un refuerzo adecuado alrededor de las aberturas, tomando en cuenta la concentración de esfuerzos.

3. Colocación del mortero

La colocación del mortero se considera la fase más crítica en la técnica de la construcción de ferrocemento. Antes de iniciar la colocación del mortero, debe asegurarse que todas las barras de acero y la malla estén en la posición correcta.

El mortero debe ser compactado durante su colocación, para evitar vacíos alrededor del refuerzo; vibradores pueden ser usados, para proporcionar una mejor penetración y distribución del mortero.

También deberá ser colocado en un tiempo razonable, después del contacto del cemento con el agua, evitando la segregación de la mezcla durante su manejo y colocación. Se describe una técnica manual, la cual es lenta pero efectiva, colocando una mano de cada lado de la malla y presionando la mezcla entre ellas, dejando la malla ahogada entre el mortero, siendo esta la primera capa, 24 horas después se aplica una segunda capa de mortero, con las mismas proporciones que la anterior, para sellar agujeros que hayan quedado en la primera capa y obtener una textura agradable.

En esta segunda fase, el mortero es lanzado con una cuchara y emparejado con una plancha de madera, teniendo el cuidado de no dejar refuerzos de alambre o malla sin recubrimiento, especialmente en la parte interior, lo cual podría producir oxidación, durante el almacenaje de agua.

4. Recubrimiento de mallas

En las mallas de refuerzo, el recubrimiento mínimo de mortero debe ser de 3 a 6 mm, dependiendo del ambiente donde se usará, se sugieren los siguientes recubrimientos: en ambiente protegido 3 mm; en ambiente expuesto 4 mm; en ambiente agresivo 5 mm y en ambiente muy agresivo 6 mm.

5. Revestimiento o pintura

El depósito podrá ser revestido o pintado en ambas caras. Cualquier revestimiento o pintura debe ser estable y durable. Cuando sea posible, es recomendable aplicar una pintura epóxica, sin embargo, cuando por economía no sea posible, la aplicación de una lechada de cal o cemento, proporciona buenos resultados.

6. Curado

Los depósitos, así como otras estructuras de hormigón, deben ser curadas una vez que el mortero ha llegado a su fraguado inicial, lo mismo ocurre en el ferrocemento, es necesario un curado, después de la aplicación del mortero. El método de curado más aconsejable es con agua rociada y debe mantenerse la humedad, por lo menos durante 7 días. Una práctica que ha proporcionado buenos resultados, es llenar los depósitos, después de 3 días de untado del mortero (CEPIS/OPS/COSUDE, 2013).

Metodología

Los depósitos evaluados, se seleccionaron conociendo la ubicación actual de cada uno de ellos. Algunos se construyeron como punto de estudio del Centro de Investigaciones de Ingeniería, otros fueron objeto de trabajos de graduación de estudiantes de ingeniería civil y algunos construidos con el fin de poner en práctica el conocimiento.

Después de su localización, fueron evaluados mediante el llenado de un formato que consideró los aspectos relevantes de evaluación, acorde a las recomendaciones del Instituto Americano del Concreto y a la participación de usuarios, así como constructores y diseñadores, que participaron en su construcción. Finalmente, esa información permitió hacer la evaluación del estado actual de los depósitos.

Una forma de saber el estado en que se encuentra una estructura, es por medio de la observación y el análisis de daños que presenta; para este trabajo no se realizaron ensayos destructivos, la evaluación se llevó a cabo por inspección ocular y entrevistas a personas, que de alguna manera han tenido alguna relación con estos elementos. A través de los aspectos evaluados en los depósitos, se analizó la funcionalidad del ferrocemento en los elementos construidos.

Para la recopilación de información correspondiente, se utilizaron herramientas de diagnóstico, así como la observación y la entrevista, en las cuales participaron propietarios, usuarios, albañiles y personas que intervinieron en su elaboración. A través de la observación y las apreciaciones de las personas indicadas, se pudo conocer el uso, la eficacia, mantenimiento, funcionamiento y los posibles daños que se suscitaron durante los años de vida de la estructura.

Los aspectos evaluados en los depósitos fueron: desarrollo de grietas y filtraciones, corrosión, durabilidad y deterioro. Ante la presencia de grietas y filtraciones, se denomina fisura a la separación incompleta entre dos o más partes del material, con o sin espacio entre ellas. Este fenómeno no se puede evitar en el hormigón reforzado, ni en el ferrocemento, pero sí puede controlarse, esto contribuye a minimizar el riesgo de corrosión del refuerzo y, a la vez, mejora el servicio y la apariencia de la estructura.

Es importante conocer si las grietas son profundas o superficiales, por ejemplo: en un depósito de agua que presenta filtraciones, se considera que las grietas son profundas, en caso contrario estas son superficiales.

Hay grietas que son causadas por alguna circunstancia ajena a la estructura y otras que se desarrollan, debido al

comportamiento físico o mecánico del ferrocemento. El ancho de las grietas es casi cero en las superficies de contacto del acero y el mortero, y aumenta hacia el área superficial, por lo tanto, mientras menor sea el recubrimiento, se llegará a espesores de grietas también menores. Considerando que el ferrocemento es un material de espesor delgado, se debe recordar que, al reducir el recubrimiento, se debe tomar en cuenta los valores límite ya mencionados anteriormente.

Toda estructura es vulnerable a la corrosión, cuando se encuentra expuesta a un ambiente propicio para que esta se desarrolle. El ferrocemento corre mayor riesgo a sufrir corrosión que el hormigón reforzado, debido a su corto espesor, también por el uso que se le dé. Al inspeccionar cada estructura, se identificó un punto clave, para determinar si existe corrosión en el refuerzo. En las grietas y filtraciones, dependiendo su magnitud, se genera una probabilidad de corrosión interna.

El Instituto Americano del Hormigón, define a la durabilidad, como la habilidad que poseen las estructuras, para soportar las inclemencias del tiempo, sin que sufra deterioro alguno. La durabilidad indica, qué tanto la estructura ha soportado interna y externamente efectos físicos, químicos y mecánicos, sin tener cambios significativos en sus características y propiedades. Algunos factores que se deben tomar en cuenta, que afectan la durabilidad y que se consideraron en este trabajo, como aspectos relevantes son:

Deterioro: se denomina deterioro a cualquier cambio adverso de los mecanismos normales, de las propiedades físicas o químicas, o ambas, en la superficie o en el interior del elemento, generalmente a través de la separación de sus componentes. En este trabajo, se tomaron indicativos de deterioro, que fueron incluidos en un formato de evaluación de daños, como parte del

diagnóstico del estado de la estructura; usados también para la evaluación de estructuras de hormigón reforzado. Esos indicadores fueron definidos como se indica a continuación.

Fisuración: algún tipo de fisuración muy fina que pueda o no causar pequeñas filtraciones.

Desintegración: deterioro en pequeños fragmentos o partículas por causa de algún deterioro.

Distorsión: cualquier deformación anormal de su forma original.

Eflorescencia: depósito de sales, usualmente blancas que se forman en las superficies (Monzón, 1986).

Exudación: líquido o material como gel viscoso que brota de los poros, fisuras o aberturas en la superficie.

Incrustaciones: costra o película generalmente dura que se forma en la superficie de concreto o de la mampostería.

Picaduras: desarrollo de cavidades relativamente pequeñas en la superficie debido a fenómenos tales como la corrosión o cavitación o desintegración localizada.

Cráteres: salida explosiva de pequeñas porciones de la superficie de concreto debido a presiones internas en el concreto que permite en la superficie la formación típicamente cónica.

Escamas: pueden ser cerca de la superficie del concreto o mortero.

Polvo: desarrollo de material de polvo sobre la superficie dura.

Corrosión: desintegración o deterioro del hormigón o del refuerzo por el fenómeno electroquímico de la corrosión.

Goteras: humedad causada por las aguas contenidas en el depósito.

Condiciones de servicio: las condiciones de servicio de una estructura, son fundamentales para evaluar el estado general en que se encuentran, sean condiciones buenas o deficientes, esto depende del mantenimiento que se dé y daños internos de la estructura, sobre todo la calidad del servicio que presta; por ejemplo, un depósito de agua de ferrocemento que tiene fisuras y otros daños superficiales, al observar el agua de almacenamiento, incolora, sin sabor, inolora, y sin basura, se puede considerar que la estructura se encuentra en buen estado, ya que satisface una necesidad, asignando mayor importancia a la calidad del servicio y no tanto a los daños superficiales, que puede presentar por la edad.

Resultados y Discusión

- Entre los depósitos construidos con ferrocemento en el período mencionado, que fueron localizados en la primera parte de la investigación, se seleccionaron diez al azar, cuyas características dimensionales (diámetro, altura y espesor), se indican en la Tabla I, en la cual se puede encontrar también, el tiempo de servicio y el uso actual.
- La patología observada en los depósitos evaluados, se presenta en detalle, en la Tabla II. Esa patología incluye los efectos presentes en las estructuras, por efecto de acciones mecánicas, físicas o químicas, debidas a los agentes climatológicas o condiciones propias de su exposición a los agentes externos.

Resultados

Tabla No. I. Características de los depósitos evaluados

Depósito No.	Dimensiones			Tiempo de Servicio (años)	Uso actual
	Diámetro (m)	Altura (m)	Espesor (cm)		
1	1.2	1.3	2.5	28	depositar agua
2	1.1	0.8	2.5	35	depositar agua
3	0.9	0.9	2.5	35	depositar agua
4	1.5	2.5	2.5	31	depositar agua
5	1	1.5	3	31	depositar agua
6	0.8	1.2	3	30	depositar agua
7	0.25	0.3	3	33	maceta
8	0.8	0.8	2.5	33	maceta
9	2.6	1.8	3	33	depositar agua
10	2.5	1.8	3	33	depositar agua

Fuente de los datos: elaboración propia

Tabla No. II. Patología observada en los depósitos de ferrocemento evaluados

Patología	Número de depósito evaluado e indicación SI muestra o NO la patología									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fisuración	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
Desintegración	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deformación	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Eflorescencias	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO
Incrustaciones	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Picaduras	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Cráteres	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Escamas	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Polvo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Corrosión	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Goteras	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Filtraciones	SI	NO	LEVES	NO	SI	NO	NO	NO	NO	SI

Fuente de los datos: elaboración propia

Algunas patologías se pueden observar en fotografías tomadas en el campo, las cuales se incluyen en las Figuras 1-4.

Figura No. 1. Depósito que evidencia fisuración múltiple, pero leve, con poca filtración, en funcionamiento normal durante varios años



Créditos: (Quiñónez, 2022)

Figura No. 2. Fisuración por contracción del mortero y leve filtración, sin formación de goteo, en funcionamiento normal



Créditos: (Quiñónez, 2022)

Figura No. 3. Depósito con fisuración de origen mecánico, con filtración, eflorescencias y escamas. Leve goteo, sin embargo, en funcionamiento permanente



Créditos: (Quiñónez, 2022)

Figura No. 4. Depósito con leve fisuración superficial, sin filtraciones y en perfecto estado de funcionamiento



Créditos: (Quiñónez, 2022)

Discusión

El 90 % de los depósitos, presentó fisuración múltiple, lo cual era de esperarse, ya que el refuerzo de malla se redujo al máximo, sin embargo, solo en el 30 % de los casos se presentaron filtraciones leves, a excepción del depósito que se muestra en la Figura 2, en la cual se puede apreciar la formación de musgos, por la excesiva filtración, goteo y la presencia de algunas escamas.

En ese caso, el usuario indicó que esa fisuración fue mecánica, como resultado de haber rodado el depósito en una zona pedregosa, para lo cual no estaba diseñado. En los otros casos en que aparecieron filtraciones leves, estas no comprometieron su funcionalidad. Los depósitos que se muestran en las Figuras 1, 3 y 4, evidencian detalles típicos de filtraciones leves.

El depósito 4 de la Tabla I, indica desintegración y corrosión, sin embargo, ello se debió a una deliberada demolición del recipiente, por razones de utilización del lugar que ocupaba, para otros usos. En ningún caso se presentaron deformaciones, incrustaciones, picaduras, cráteres o polvo. El único caso evidente de corrosión, fue en el depósito 4 de la Tabla I. Ese efecto se presentó posteriormente a la demolición que ya se indicó. El depósito de mayor volumen evaluado, es el identificado con el número 9 en la Tabla 1, mostrado también en la Figura 4. Ese recipiente se ubica en la ciudad universitaria, fue objeto de construcción en un trabajo de graduación de un estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil (Sierra, 1986).

La síntesis de la información proporcionada en las entrevistas, se presenta a continuación.

De los diez depósitos, ocho son usados para almacenamiento de agua, dos son usados como macetas y uno de estos ya no existe, fue totalmente demolido, debido a que se optó por darle otro uso al lugar donde se construyó.

En general, siete depósitos no han recibido mantenimiento externo (pintura), ni interno (limpieza por dentro); cinco de ellos fueron pintados una vez, desde que se construyeron, solamente uno recibe mantenimiento periódicamente, a base de pintura. Sin embargo, las estructuras que no recibieron ningún mantenimiento periódicamente, no mostraron indicios de que el agua almacenada estuviera contaminada por basura, hongos u otras sustancias, y se pudo observar internamente, que permanecen sin daño alguno. Por su tamaño, dos depósitos sufrieron caídas e inconvenientes en el traslado de un lugar a otro, uno de estos fue el más afectado, causando daños, específicamente en el mortero de las paredes y en su base; sin embargo, aún presta el servicio. Lo indicado se muestra en la figura 4.

Según los resultados obtenidos y tabulados, del formato de evaluación visual de daños y las entrevistas realizadas a las personas, la mayoría de las estructuras de ferrocemento, están en buen estado. Existe un nivel aceptable en el grado de fisuración, por lo que este sistema ha sido funcional a través del tiempo. Únicamente el depósito que sufrió daños severos a causa de una caída, puede ser que presente corrosión interna, debido a las grandes grietas observadas, mayormente en la base. El grado de corrosión, no pudo determinarse por razones obvias.

Las fisuras fueron el tipo de daño que más se observó en la mayoría de los depósitos, aunque de una forma superficial, catalogándolas así, por su escasa profundidad, al no generar filtraciones importantes.

Este fenómeno es inevitable como ya se había indicado al inicio, aunque, probablemente, la mayor parte de estas, aparecieron inmediatamente, cuando el material endureció en la etapa inicial, presentándose una fisuración por contracción, por la cuantía de refuerzo o bien por una deficiencia de curado.

Conclusiones

1. Se localizaron varios depósitos, de los cuales se seleccionaron diez al azar, con propósitos de evaluación.
2. Se contactaron a los usuarios y propietarios de los depósitos y se entrevistó a la mayoría de ellos.
3. A través del formato de evaluación diseñado, se tabularon los datos para conocer el número de estructuras que presentaron algún tipo de patología.
4. En la evaluación visual de los depósitos de ferrocemento, se identificaron daños y deterioros causados por factores ambientales, tiempo transcurrido y condiciones de servicio y de mantenimiento.
5. La información recabada y registrada en los formatos diseñados para la evaluación, la evaluación visual realizada y los comentarios de los usuarios y propietarios de los depósitos, permite establecer que el ferrocemento, a pesar de ser de espesor delgado, es un material duradero para estas aplicaciones, resistente y funcional, tanto como el hormigón reforzado.

Referencias bibliográficas

- ASTM (2018) VOLUME 04.02. ASTM C-0033/C-0033-18 Standard Specification for Concrete Aggregates. DOI: 10.1520/C0033/C-0033-18. https://www.astm.org/c0033_c0033m-18.html
- ASTM (2021) VOLUME 04.01. ASTM C-595/C595 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements. DOI: 10.1520/C0595_C0595M-21. https://www.astm.org/c0595_c0595m-21.html
- CEPIS/OPS/COSUDE (2,013). Guía de construcción para estructuras de ferrocemento. (O P S / C E P I S / 0 3 . 9 2) . https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55447/OPSCEPIS0392_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS – COGUANOR-a (s.f.). NTG 36011 Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. Especificaciones. https://conred.gob.gt/normas/NRD3/9_otros_materiales_de_construccion/ntg_36011_astm_a615-a615_m-12.pdf
- COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS – COGUANOR-b (s.f.). NTG 41007 Agregados para concreto. Especificaciones. <file:///C:/Users/javie/Downloads/norma%20coguanor%20ntg%2041007%20astm%20c33.pdf>
- COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS – COGUANORc- (s.f.). NTG 41073 Agua de mezcla para uso en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/norma_coguanor_ntg_41073_astm_c1602.pdf
- Fuentes, Y. (2010). Evaluación del sistema de edificaciones residenciales de ferrocemento (SERF) ante cargas de viento y sismo. (Tesis de grado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. <http://tinyurl.com/57aje2zm>

Monzón, M. (1986). Situación Actual del ferrocemento de acuerdo con el comité 549 de ACI y algunas aplicaciones estudiadas en Guatemala. (Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala). http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1126_C.pdf

Quiñónez, F.J. (1989). Construcción de depósitos para almacenamiento de granos en comunidades rurales. (Informe de investigación, Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala). <http://tinyurl.com/t2kumb9w>

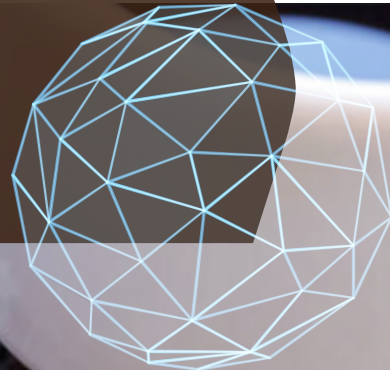
Sierra, H. (1986). Análisis de construcción y evaluación de un tanque de ferrocemento para almacenamiento de agua. (Trabajo de graduación de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala). http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1147_C.pdf

Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Ingeniero Civil con especialización en investigación en ingeniería de materiales, actualmente jefe de la Sección Ecomateriales del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala CII/USAC y coordinador de la Unidad de Investigación de la Escuela de Ingeniería Civil UIEIC / EIC / USAC. Miembro de la Junta Directiva de la Comisión Técnica Sectorial de Construcción del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de Guatemala. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Red Protterra Mesoamericana.

Evaluación de la capacidad antioxidante del residuo de café poslixiviado como alternativa de economía circular

Paula María Vásquez Cifuentes (Mtro. en Energía y Ambiente)
vasquezcifuentes.paula@gmail.com

Ingrid Lorena Benítez Pacheco (Mtro. en Energía y Ambiente)
licdaibenitez@gmail.com



Evaluación de la capacidad antioxidante del residuo de café poslixiviado como alternativa de economía circular

Paula María Vásquez Cifuentes (Mtro. en Energía y Ambiente)
vasquezcifuentes.paula@gmail.com
Sección de Química Industrial, Laboratorio Físicoquímico LAFIQ

Ingrid Lorena Benítez Pacheco (Mtro. en Energía y Ambiente)
licdabenitez@gmail.com
Sección de Química Industrial, Laboratorio Físicoquímico LAFIQ

Resumen

Siguiendo los objetivos del Acuerdo Gubernativo 281-2015, se estudió el residuo de café molido poslixiviado, más conocido como borra de café, a fin de comprobar su futura implementación en un proceso de economía circular. El residuo seco se sometió para la determinación de la capacidad antioxidante y un estudio granulométrico. Se obtuvieron los componentes antioxidantes, no sin antes realizar un estudio del mejor solvente para la muestra antes y después de lixiviar. La extracción se realizó por medio de la técnica de destilación con rota evaporación. Luego se procedió a determinar la capacidad antioxidante, por medio del método DPHH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo). Finalmente, se realizó un estudio estadístico de datos pareados, para evaluar la diferencia entre medias de capacidad antioxidante del grano molido de café, antes y después de lixiviado, demostrando la efectividad de su implementación, como fuente de antirradicales, ya que la capacidad antioxidante remanente es atractiva para procesos industriales.

Palabras clave: Economía circular, residuos sólidos, borra, antirradical libre, valor agregado

Abstract

Following the objectives of Government Agreement 281-2015, the residue of post-leached ground coffee, better known as coffee grounds, was studied in order to verify its future implementation in a circular economy process. The residue was dried for the determination of the antioxidant capacity and the granulometric study. The antioxidant components were obtained, after the best solvent study for the sample before and after leaching. The extraction was carried out by the distillation technique with rotary evaporation. Then proceeded to determine antioxidant capacity by the DPHH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) method. Finally, a statistical study of paired data was carried out to evaluate the difference between the mean antioxidant capacity of the ground coffee bean before and after leaching, proving the effectiveness of the implementation as a source of antioxidants for industrial processes.

Keywords: Circular economy, solid waste, coffee grounds waste, anti-free radicals, added value

Introducción

La borra de café, es un residuo sólido, el cual no cuenta con tratamiento adecuado y su disposición final es el botadero municipal. La normativa sobre la gestión de residuos sólidos, se rige específicamente por el Acuerdo Gubernativo 281-2015. Siguiendo con los objetivos de la política del Acuerdo Gubernativo, la investigación tiene como objetivo dar las bases para una futura implementación de economía circular del residuo analizado, por medio de su propiedad antioxidante; compuestos que son requeridos en la elaboración de cosméticos, fármacos y alimentos.

El café, paralelo a ser utilizado en la preparación de la bebida, se considera una fuente de antirradicales. La industria de alimentos, utiliza compuestos antioxidantes como conservantes, evitando el enranciamiento de los lípidos, que causan cambios drásticos en las propiedades organolépticas de los alimentos (Gordon, Pokorny y Yanishlieva, 2001).

Según Castaño y Hernández (2018), la capacidad antioxidante ayuda a neutralizar el estrés oxidativo de la piel y así retrasar su envejecimiento; evitando la reacción en cadena de radicales libres. Estos compuestos también son aplicables en afecciones dermatológicas (Lupo y Stallings, 2009).

En el área de salud, Aragón, Macías, Morones y Villanueva (2016), estudiaron beneficios de los antioxidantes, específicamente como antiinflamatorios en el área dental, específicamente del ácido cafeico, el cual no induce posibles efectos secundarios. Además, se ha estudiado una relación inversa, entre el padecimiento de enfermedades como diabetes, enfermedades de daño hepático, otras enfermedades neurodegenerativas y el consumo de compuestos antioxidantes (Gotteland y de Pablo, 2007).

Generalmente, el café guatemalteco cuenta con una acidez pronunciada, buen cuerpo (densidad adecuada), cambiando su sabor y olor, según la región en la que se cultivó.

Entre sus propiedades fisicoquímicas, cuenta con fenoles totales, hasta por arriba del 90.40 µg de ácido gálico/g de extracto (región de Santa Rosa), siendo un marcador de sus buenas cualidades organolépticas; así como una excelente capacidad antioxidante, en promedio 1.23 mg/mL como CI50, (Cruz, Marroquín, Pinales y Ramos, 2018).

El estudio se centró en la extracción de los compuestos antioxidantes por medio de un rotavapor, extracto utilizado para la determinación de capacidad antioxidante. Los resultados dan pauta para la integración del residuo, en un círculo económico viable, para generadores e interesados en fuentes antioxidantes, por lo que es factible proporcionar un valor económico al residuo de café molido poslixiviado, por medio de su capacidad antioxidante.

Objetivos

1. Determinar la viabilidad del residuo de café molido poslixiviado como materia prima en procesos industriales, a través de su capacidad antioxidante.
2. Evaluar la capacidad antioxidante del residuo sólido de café molido poslixiviado, por medio del método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo.
3. Comparar la capacidad antioxidante pre y post lixiviado del café molido, determinando su porcentaje residual.

Metodología

La determinación de capacidad antioxidante, se dividió en cuatro fases: muestreo, extracción, evaluación por DPPH y análisis estadístico; procedimiento realizado tanto para el café, previo a la preparación de la bebida, como para el residuo poslixiviado, con el fin de determinar el porcentaje residual de la propiedad en cuestión.

La primera fase consistió en el muestreo del residuo de café en cafeterías de alto consumo, en distintos puntos de la Ciudad de Guatemala. Se realizó un muestreo homogéneo y aleatorio por quince días, tanto de café molido, como su residuo lixiviado.

Las muestras fueron sometidas a temperaturas no mayores de 40 °C, para evitar la volatilización de los compuestos antioxidantes. El proceso de secado concluyó al llegar a un porcentaje de humedad menor al 10 %, variable crítica en el proceso de extracción.

Se realizó un estudio granulométrico al café seco, por medio de tamices, desde una abertura de 0.75 mm hasta 0.075 mm, tamiz 24 y 200 respectivamente, utilizando 50 gramos de muestra; determinando por diferencia de peso, el porcentaje retenido en cada uno de los tamices.

La extracción del residuo de café, se realizó luego de determinar el mejor solvente, analizando el residuo soluble en soluciones de diferentes porcentajes de etanol, por medio de recipientes de boquilla regulable, con algodón y papel filtro en el interior; se agrega un gramo de muestra y el solvente, hasta cubrir el recipiente, dejando reposar por 24 horas; pasado el tiempo, se recibió la tintura, para determinar los sólidos disueltos en cada uno.

La tintura para la extracción, se obtuvo por medio de la percolación del solvente (etanol al 70 %). La muestra se colocó en un rotavapor, prosiguiendo con la extracción de los sólidos disueltos. Este proceso se realizó durante 4 a 5 horas, por 21 días. Finalmente, se retiró el extracto de las paredes del balón, para realizar la tercera fase.

La tintura para la extracción, se obtuvo por medio de la percolación del solvente (etanol al 70 %). La muestra se colocó en un rotavapor, prosiguiendo con la extracción de los sólidos disueltos. Este proceso se realizó durante 4 a 5 horas, por 21 días. Finalmente, se retiró el extracto de las paredes del balón, para realizar la tercera fase.

Figura No. 1. Extracto de café por sistema rotavapor



Fuente: propiedad del autor, Septiembre 2021

El radical DPPH, tiene la característica de formar una asíntota al reaccionar con el extracto, por lo que se realizó una correlación lineal de la actividad antioxidante, reportando el punto medio de la reacción. La solución madre fue de 20 mg/mL. A partir de ella, se realizaron 5 diluciones con factores de 0.50 a 0.25, con metanol, en un volumen total de 1 mL.

Cada punto se evaluó cinco veces, dejando actuar 20 μ L de muestra con 200 μ L de DPPH. Las diluciones previamente preparadas, se dejaron reaccionar por 30 minutos sin iluminación. Por último, se determinó la absorbancia, por un lector de microplacas.

Finalmente, se determinó el IC50, por medio de curvas de calibración, con el que se realizó el estudio estadístico de datos pareados y la comparación con la capacidad antioxidante, estudiada con anterioridad.

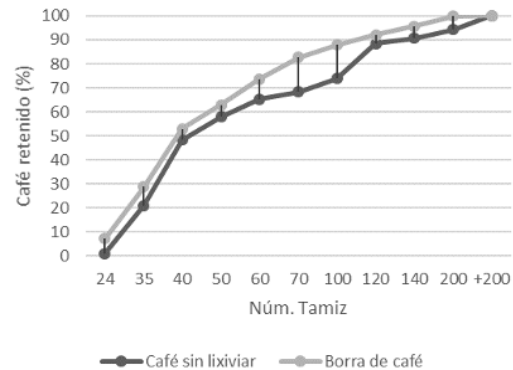
Resultados y discusión

El proceso de lixiviación por el que pasa el grano molido para la obtención de la bebida de café, disuelve las partículas más finas. Los sólidos disueltos en la bebida de café, es el 15 % del peso en tableta (20 gramos), dejando un 85 % como borra, con una partícula de mayor diámetro. En la figura 2, en la última sección de partículas finas, se visualizan gráficamente las partículas disueltas en la bebida.

Se determinó el solvente, cuidando el mantenimiento de la bomba de succión, a menor presión de vapor, menor trabajo en la bomba y menor tiempo de extracción. La selección del solvente para ambos extractos fue del 70 %, ya que es preferible mayor concentración de etanol, con una presión de vapor menor y por lo tanto, la presión de vacío no es crítica.

El rendimiento de la extracción de metabolitos de café, refleja los sólidos disueltos en la preparación de la bebida; entre extractos, hubo una variación de rendimiento; la borra cuenta con un rendimiento del 7.50 %, 3 veces menor que el café puro; por medio de un análisis financiero, se puede incorporar su uso a nivel industrial.

Figura No. 2. Granulometría de café molido pre y poslixiviado, presentado en porcentaje acumulado.



Fuente: elaboración propia, con Excel, octubre 2021

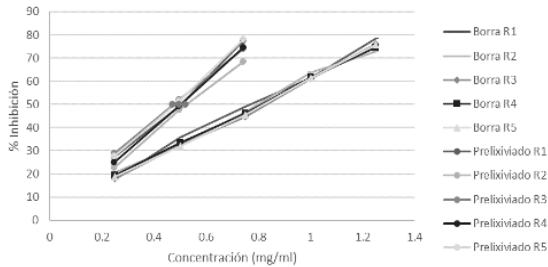
El tamaño de grano influye inversamente en la solubilidad de metabolitos, mientras más fino es el grano, se disuelve con mayor facilidad. El tiempo y la cantidad de metabolitos extraídos, se ven afectados por esta variable, dejándose ver en la selección del solvente y en el rendimiento de la extracción.

La capacidad antioxidante se determinó por medio de curvas del porcentaje de inhibición del radical, por parte del extracto. El método reporta la concentración a la que inhibe el 50 % del radical, entre más baja es la concentración CI50, es mejor la actividad antioxidante, llegando a su punto máximo, con una menor cantidad de extracto.

El comportamiento de inhibición del grano molido sin lixiviar, tiene una pendiente más pronunciada, que da indicios de una mejor capacidad antioxidante, llegando a un porcentaje mayor con menores concentraciones.

El 50 % de inhibición del residuo de café, CI50 del café puro sin lixiviar, es 1.60 veces la capacidad en la borra de café; es decir, en la bebida de café se perdió aproximadamente el 60 % de la propiedad.

Figura No. 3. Comportamiento de inhibición de radical DPPH por café antes y después de lixiviar



Fuente: elaboración propia, con Excel, octubre 2021

Tabla No. 1. Capacidad antioxidante del café, antes y después de lixiviar

Café	CI ₅₀ (mg/ mL)	Desviación Estándar
Poslixiviado	0,799	±0,013
Prelixiviado	0,496	±0,025

Fuente: elaboración propia, con Excel, octubre 2021

La actividad presentada sigue teniendo un valor atractivo como fuente de antioxidantes, comparado con el del grano de café guatemalteco, evaluado en siete regiones, valor promedio de 1.24 mg/mL (Cruz et al., 2018).

Se realizó un estudio de datos pareados, en el cual se rechaza la hipótesis nula, determinando que la diferencia entre la capacidad antioxidante del café molido, antes y después de la preparación de la bebida de café no es nula, son estadísticamente diferentes. Esto no quiere decir, que el residuo no sea una fuente potencial de antioxidantes, su concentración en mg/mL es indicador de una excelente actividad antioxidante.

Conclusiones

1. Es viable valorizar el residuo de café molido, mediante su actividad antioxidante, para su uso en industrias farmacéuticas, cosméticas y de alimentos, implementando su economía circular.
2. El residuo de café molido, es una excelente fuente de antioxidantes, contiene 1.5 veces la actividad antioxidante del grano de café guatemalteco, ofreciendo una alternativa ecológica a la industria.
3. La actividad antioxidante del residuo de café molido, no es estadísticamente igual al café molido sin lixiviar, según la prueba de datos pareados con un 95 % de confianza. La preparación de la bebida disminuye la propiedad en un 60 %. A pesar de la diferencia, el residuo sigue siendo una fuente atractiva de antioxidantes.

Recomendaciones

1. Implementar un programa de economía circular acorde al Acuerdo Gubernativo 281-2015, involucrando entes generadores de residuos sólidos de café, e interesados en fuentes antioxidantes como materia prima.
2. Integrar el extracto en formulaciones para productos cosméticos, farmacéuticos y en alimentos, ya que cuenta con capacidad antioxidante superior al café molido guatemalteco.
3. Realizar un análisis financiero del proceso de extracción y recolección del residuo, proporcionándole un valor económico, con el fin de agregarlo a la producción en industrias que requieran fuentes antioxidantes.

4. Adicional a la capacidad antioxidante, aprovechar de manera similar el residuo, realizando una caracterización completa de metabolitos.

Referencias bibliográficas

- Acuerdo Gubernativo No. 281-2015. Política Nacional para la Gestión de Residuos y Desechos Sólidos. Diario de Centro América. Guatemala, 15 de diciembre de 2015.
- Aragón, M., Macías, S., Morones, J., y Villanueva, G., (septiembre, 2016). Efecto antiinflamatorio del ácido cafeico sobre la pulpitis en un modelo experimental en Cobayos. *Revista ADM*, 73(5), 250-254. Recuperado de:

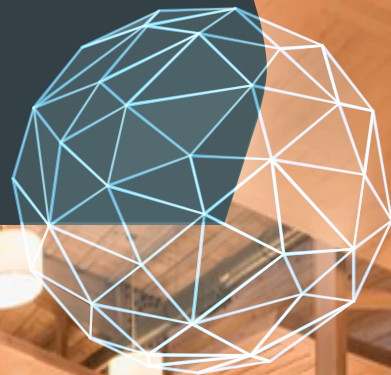
<https://www.medigraphic.com/pdfs/COMPLETEOS/adm/2016/od165.pdf#page=34>
- Cruz, S., Marroquín, N., Pinales, S. y Ramos, M. (noviembre, 2018). Evaluación de la actividad antioxidante y detección de marcadores químicos en extractos de hojas y granos de siete variedades de café comercializadas en Guatemala. Guatemala. (Informe de investigación) Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC, Guatemala. Recuperado de: <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puicb/INF-2018-12.pdf>
- Gordon, M., Pokorny, J., y Yanishlieva, N. (marzo, 2001) Antioxidants in Food: Practical Applications. *The British journal of nutrition* 87(4), 391-391. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.1079/BJN2001510>
- Gotteland, M. y de Pablo V, S. (junio, 2007). Algunas verdades sobre el café. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000200002>
- Lupo, M. y Stallings, A. (junio, 2009). Practical uses of botanicals in skin care. *Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*, 2(1), 36–40.
Recuperado de:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2958188/>
- Paula María Vásquez Cifuentes
Ingeniera Química, M.Sc. Energía y Ambiente de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ingrid Lorena Benítez Pacheco
Licenciada en Química, USAC. M.Sc Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Cádiz, España y USAC Guatemala. Profesora e Investigadora en la Facultad de Ingeniería, USAC.
- Agradecimientos*
Laboratorio de Análisis Físicoquímicos –LAFIQ- del Centro de Investigaciones de Ingeniería y del Área de Físicoquímica de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Laboratorio de Investigación de Productos Naturales –LIPRONAT- de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Control de calidad en el proceso de corte y cepillado de madera para la edificación de muros

Edgar Virgilio Ayala Zapata (Dr. Ing. Civil)
virgilioayala@yahoo.com

Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial)
mendezgarza@yahoo.com



Control de Calidad

en el proceso de corte y cepillado de madera para la edificación de muros

Edgar Virgilio Ayala Zapata (Dr. Ing. Civil)
virgilioayala@yahoo.com
Sección de Tecnología de los Materiales
y Sistemas Constructivos

Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial)
mendezgarza@yahoo.com
Sección de Ecomateriales

Resumen

El corte y cepillado de madera, es un componente esencial en el proyecto de investigación, realizado en conjunto entre la Sección de Tecnología de Materiales y la Sección de Estructuras, del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Las maderas utilizadas provienen de diferentes comunidades en áreas manejadas y protegidas por concesiones forestales en la Reserva de la Biósfera Maya, en el Departamento de El Petén, supervisadas periódicamente por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Se evaluó la calidad en el proceso de corte y cepillado de la madera para la edificación de muros, se hizo la selección de las maderas para su caracterización física y mecánica en el laboratorio, se realizaron los procedimientos para corte y cepillado de las maderas seleccionadas, se profundizó en los conocimientos sobre las condiciones específicas de corte y cepillado de las maderas para la elaboración de muros. Se determinaron las características físicas y las propiedades mecánicas de las especies seleccionadas y se evaluó la calidad en el corte y cepillado a través de investigaciones realizadas en el CII. Se investigaron tres especies de maderas: Santa María (*Calophyllum Brasiliense Camb*), Manchiche (*Lonchocarpus Castilloi standl*) y Danto (*Vatairea lundellii*), y su aplicación en la construcción, se realizó una investigación bibliográfica y de campo sobre las maderas seleccionadas.

Palabras clave: maderas tropicales, procedimientos, calidad, comunitario, áreas protegidas

Abstract

The cutting and planing of wood is an essential component in the research project, carried out jointly between the Materials Technology Section and the Structures Section, of the Engineering Research Center, of the University of San Carlos of Guatemala. The wood used comes from different communities in areas managed and protected by forest concessions in the Maya Biosphere Reserve in the department of El Petén, periodically supervised by the National Council of Protected Areas (CONAP). The quality in the process of cutting and brushing the wood for the construction of walls was evaluated, the selection of the woods was made for its physical and mechanical characterization in the laboratory, the procedures for cutting and brushing the selected woods were carried out, knowledge was deepened on the specific conditions for cutting and brushing wood for the elaboration of walls. The physical characteristics and mechanical properties of the selected species were determined and the quality of cutting and brushing was evaluated through research carried out at the CII. Three species of woods are investigated: Santa María (*Calophyllum Brasiliense Camb*), Manchiche (*Lonchocarpus Castilloi standl*) and Danto (*Vatairea lundellii*), and their application in construction, a bibliographical and field research was carried out on the selected woods.

Keywords: tropical wood, procedures, quality, community, protected areas

Introducción

El corte y cepillado de madera son componentes importantes del proyecto de investigación denominado: Implantación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros, utilizando maderas nacionales, ejecutado en el año 2006 y financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT).

El proyecto ha sido realizado en las Sección de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos y en la Sección de Estructuras, del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Las maderas seleccionadas y utilizadas para la investigación, provienen de comunidades que poseen áreas del bosque en calidad de concesiones forestales del Departamento de El Petén, las cuales operan legalmente con supervisión periódica del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-.

Se investigaron tres especies de madera, provenientes de la Zona de Usos Múltiples -ZUM- de la Reserva de la Biósfera Maya -RBM- en el Departamento de El Petén: Santa María (*Calophyllum Brasiliense Camb*), Manchiche (*Lonchocarpus Castilloi standl*) y Danto (*Vatairea lundellii*).

Según (Tecún, 2006), la normalización de la madera es muy importante, debido a que, siendo un elemento estructural de gran auge en las sociedades de hoy en día, repercute el no saber llevar un control de calidad. Sabiendo de antemano las características de la madera, en si, como un elemento del ámbito constructivo, se puede usar como guía para deducir las características de cada una de las especies que se

evaluaron, o en su caso se utilizarán en los distintos países, para ello cada país se verá en la necesidad de regirse por una norma descrita, llevando un estricto control de los ensayos realizados para determinar las propiedades de este elemento.

Con las piezas de madera, debidamente cortadas y cepilladas, se diseñaron muros para ser ensayados a corte y compresión en la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Marco Conceptual

Según (Forster, 2002), se describe que: El único sustituto directo de la caoba que existe en volúmenes interesantes es la Santa María (*Calophyllum brasiliense*). En cuanto a las especies de peso específico mediano, alcanzan volúmenes importantes la Santa María y el Danto (*Vatairea lundellii*). También menciona: puede decirse que el establecimiento de la forestería comunitaria ha permitido frenar sustancialmente los procesos de destrucción de los bosques latifoliados en regiones de frontera agrícola.

En relación con la comercialización de las maderas, menciona que: Las pequeñas empresas que en la Ciudad de Guatemala se especializan en la instalación de pisos trabajan con especies, como la Santa María (*Calophyllum brasiliense*), el Danto (*Vatairea lundellii*), el Chichipate (*Sweetia panamensis*), el Tzalam (*Lysiloma bahamensis*) y la Teca (*Tectona grandis*).

Sobre la exportación de las maderas describe que: Las especies que comúnmente se exportan a México son las preciosas y algunas para pisos, como el Tzalam (*Lysiloma bahamensis*), el Manchiche y el Bálsamo.

El proceso de trabajar con las maderas es complejo, menciona que: Las maderas pesadas requieren herramientas especiales para poder ser trabajadas convenientemente (máquinas más pesadas, filos recubiertos de estelita o de carburo de tungsteno).

Con el impulso de la industria de la madera, se incrementarán los precios de esta, con ello se motiva el uso de procesos tecnológicos más eficientes, tanto en el manejo de bosques naturales, como en el cultivo del bosque. Cabe señalar que en los últimos treinta años fueron deforestadas dos millones de hectáreas en suelos con potencial forestal, las que deben ser recuperadas para atenuar los efectos ambientales que de la deforestación se derivan. (Cossío, 2006).

Según (Zambrano, 2005), su facilidad de adaptación a los diferentes niveles de prefabricación y la mejora de las técnicas de protección, hacen de la madera un material deseable para procesos de construcción limpios, secos y rápidos, haciendo las edificaciones de madera competitivas, tanto por su coste inicial como por su bajo coste de mantenimiento, aspectos que se combinan con la idoneidad de este material para ajustarse a nuevas funciones. Se investigaron las características físicas y propiedades mecánicas de las tres especies de madera utilizadas para corte y cepillado, los resultados se muestran en la Tabla No. 1.

Santa María (*Calophyllum Brasiliense Camb*), clasificada como madera pesada, con contracción mediana y estable. Su resistencia mecánica es aceptable, sin embargo, es la menor con respecto a las otras dos especies. Tiene buena respuesta a cargas axiales de tracción muy alta. Padece de deformación rápida ante la presencia de carga (Rivas Boch & Joachin Bautista, 2006).

Tiene buena respuesta a cargas axiales de tracción muy alta. Padece de deformación rápida ante la presencia de carga (Rivas Boch & Joachin Bautista, 2006).

Tabla No. 1: Características físicas de las especies investigadas

Nombre de Ensayo	Santa María	Manchiche	Danto
Porcentaje de humedad %	18,12	26,00	25,10
Peso específico (g/cm ³) (kg/m ³)	0,44 440,00	0,45 450,00	0,46 460,00
Densidad verde (g/cm ³) (kg/m ³)	0,64 640,00	0,88 880,00	0,74 740,00
Densidad seca (g/cm ³) (kg/m ³)	0,57 570,00	0,81 810,00	0,68 680,00
Contracción volumétrica %	11,27	8,17	7,34
Contracción volumétrica (cm ³) (m ³)	0,73 730,00	0,96 960,00	0,93 930,00

Fuente: Bautista, 2006

Manchiche (*Lonchocarpus Castilloi Standl*), clasificada como extremadamente pesada, con contracción volumétrica alta y muy estable. Su resistencia es bastante alta y superior a las maderas que se han analizado en esta investigación, con poca deflexión y deformación axial, bajo carga (Rivas Boch & Joachin Bautista, 2006).

Danto (*Vatairea Lundellii*), clasificada como pesada, con contracción volumétrica alta y medianamente estable. Tiene una resistencia aceptable cuando es sometida a compresión, corte, dureza y flexión con respecto a la especie Santa María (Rivas Boch & Joachin Bautista, 2006).

Corte y cepillado

El corte de las maderas tropicales investigadas, se realiza dentro de un contexto de sostenibilidad del bosque, a manera que se aproveche al máximo la pieza por cortar.

Cada especie requiere de condiciones de corte diferentes, debido a sus características físicas.

La madera de Danto expele un olor particular, muy fuerte para quienes se encuentran realizando el corte y el cepillado, es necesaria una adecuada protección de la boca y la nariz.

Según (Martí, 1998), La manipulación de maderas procedentes de árboles tropicales, puede ser motivo de fenómenos tóxicos, producidos por sustancias activas contenidas en ellas. Así mismo, describe que, por el manejo de ciertas maderas, puede presentarse el síndrome respiratorio, el cual es bastante frecuente, puede revestir caracteres benignos en forma de prurito nasal, rinorrea y estornudos.

En otros casos, esta sintomatología presenta mayor intensidad, con obstrucción nasal, epistaxis y disfonía con dolor laríngeo.

Metodología

Control de calidad

El procedimiento para el control de calidad del corte y cepillado, da inicio en la bodega de madera secada y termina en el área de armado de bastidores, y se compone de la forma siguiente:

Corte en el laboratorio

En esta actividad, se procedió al corte de la madera a las medidas determinadas por el diseño, las cuales fueron, para el bastidor de cada panel: 3 piezas de 7,5 cm por 5 cm por 244 cm, 5 piezas de 7,5 cm por 5 cm por 120 cm, 4 piezas inclinadas del centro a las orillas de 7,5 cm por 5 cm por 75 cm.

i) Corte de reglas longitudinales y transversales

Para llevar a cabo esta fase del procedimiento, la madera es llevada en lotes de 30 reglas (9 reglas largas de 285 cm, 9 reglas cortas de 150 cm y 12 reglas medianas de 180 cm), de la bodega donde permaneció luego de haber sido secada, hacia la carpintería posteriormente, con la ayuda de una canteadora se les hacen cortes de rebanado a las reglas en dos de sus lados.

Los cortes en mención se hacen para obtener una escuadra de la siguiente manera:

Primero en dos lados de la regla, después las reglas pasan a la cierra circular, donde se realizan dos cortes longitudinales para obtener las medidas de 7,5 cm por 5 cm, luego las reglas son trasladadas hacia la sierra radial, donde se corta una de sus puntas, esto se hace para escuadrarla, posteriormente se hace un corte en la otra punta para lograr las medidas de 244 cm, 120 cm, 100 cm (estas piezas corresponden al marco del bastidor) y 79 cm (estas reglas corresponden a los arriostres), estas obedecen al diseño predeterminado de los muros.

Una vez realizados los cortes de las reglas en carpintería, la madera es trasladada al área de armado de bastidores y forro.

ii) Corte de tablas

La madera que se utiliza para el forro de los muros, es transportada en lotes de 68 tablas (de 20,32 cm por 2,54 cm por 180 cm de largo), de la bodega de secado hacia la carpintería, donde se realizan cortes rebanadores a través de la cepilladora, hasta alcanzar los 2,22 cm de grueso, luego se lleva a la estación de canteo, donde se procede a rebanar uno de sus cantos para escuadrar las tablas, al terminar, se traslada a la sierra circular donde se corta a 17,14 cm de ancho, tomados del costado escuadrado, luego se transporta a la sierra radial, donde se corta a 60 cm y 120 cm de largo.

Después se traslada a la estación de corte circular, donde se corta a 2 cm de ancho y 1,27 cm de alto, para formar el batiente. Este proceso se realiza en ambos lados de la tabla, una vez terminados los cortes a las tablas, se procede al traslado al área de armado de bastidor y forro.

Procedimiento para el corte longitudinal y transversal de reglas (ver Tabla No. 2)

- Nombre del proyecto: Implementación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales.
- Objeto del diagrama: procedimiento para el corte longitudinal y transversal de las reglas de madera dimensionada
- Método: proceso
- Inicia en: bodega de madera secada
- Termina en: bodega de madera preparada

El corte de las piezas de Danto produjo trastornos en la salud de los técnicos, debido a los olores emanados durante su manipulación, quienes experimentaron dificultad en la respiración y alergias en la piel.

a.) Cepillado en el laboratorio

Para el forro de los muros, se procedió a cepillar las tablas, para darles una medida de 7/8 de pulgada de grueso y dejarla con un acabado, para posteriormente cortarlas a las medidas siguientes:

- 8 tablas de 17,14 cm por 2 cm por 120 cm y,
- 16 tablas de 17,14 cm por 2 cm por 100 cm de cada lado.









Procedimiento para el corte y cepillado de tablas (ver Tabla No. 3)




- Nombre del proyecto: Implementación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros, utilizando maderas nacionales.
- Objeto del diagrama: procedimiento para el corte longitudinal y transversal de las reglas de madera dimensionada
- Método: proceso
- Inicia en: bodega de madera secada.
- Termina en: bodega de madera preparada

El detalle de las actividades realizadas en el Laboratorio de la Sección de Tecnología de Materiales, se muestra en las siguientes tablas, en donde se narran los diagramas, la descripción de las actividades y la persona responsable de la actividad.

El equipo utilizado y la ubicación, es decir; las áreas determinadas y establecidas de acuerdo con el desarrollo lógico de los procesos realizados.

Tabla No. 2: Procedimiento de cortes longitudinal y transversal, y resumen

DIAGRAMA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	EQUIPO	UBICACIÓN
	Bodega para madera secada			
	La madera es trasladada de la bodega para madera secada a la carpintería	Jefe de sección, auxiliares de laboratorio y carpinteros	Carretón para monta cargas	Bodega de madera secada
	A las reglas se les hacen cortes de rebanado en dos de sus lados	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Canteadora	Carpintería
	Transporte de la madera de la cantadora hacia la Sierra Circular	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Carretón para monta cargas	Carpintería
	Se realizan dos cortes longitudinales para lograr las medidas de 7.5cm X 5cm	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Sierra Circular	Carpintería
	Transporte de la madera de la Sierra Circular hacia la Sierra Radial	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Carretón para monta cargas	Carpintería
	Se corta una de sus puntas, esto se hace para escuadrar la regla, posteriormente se hace un corte en la otra punta para lograr las medidas de 244cm, 120cm, 100cm (estas reglas corresponden al marco del bastidor) y 79cm (estas reglas corresponden a los arriostres)	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Sierra Radial	Carpintería
	Transporte de la madera de la Sierra Radial hacia la bodega de madera preparada	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Carretón para monta cargas	Bodega de madera preparada

RESUMEN		
SIMBOLO	SIGNIFICADO	No. DE ACTIVIDADES
	BODEGA	2
	OPERACIÓN	3
	TRANSPORTE	4

Fuente: Ayala, 2006

En las Figuras 1-4, se muestra el proceso de cortes longitudinal y transversal, realizado por los técnicos en el Laboratorio de la Sección de Tecnología de Materiales del CII.

Dichos cortes son necesarios, considerando que la madera de origen fue despachada por los proveedores en perfiles estándar y medidas comerciales, tal y como fueron solicitadas por el proyecto de investigación, el mismo caso se aplica para el cepillado de las piezas.

Figura No. 1: Proceso de corte transversal para la elaboración de bastidores
















Fuente: Ayala, 2006



Figura No. 2: Corte longitudinal para la edificación de bastidores



Fuente: Ayala, 2006

Tabla No. 3: Procedimiento de cepillado y resumen

DIAGRAMA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	EQUIPO	UBICACIÓN
	Bodega para madera seca			
	La madera es trasladada de la bodega para madera seca a la carpintería	Jefe de sección, auxiliares de laboratorio y carpinteros	Carretón para monta cargas	Bodega de madera seca
	Se le realizan cortes rebanadores, hasta alcanzar los 2.22cm de grueso	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Cepilladora	Carpintería
	Transporte de la madera de la cepilladora hacia la cantadora	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Carretón para monta cargas	Carpintería
	A las tablas se les hacen cortes de rebano en uno de sus lados para escuadrarla	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Canteadora	Carpintería
	Transporte de la madera de la cantadora hacia la Sierra Circular	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Carretón para monta cargas	Carpintería
	Se realiza un corte a 17.14cm de ancho, tomados del costado escuadrado	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Sierra circular	Carpintería
	Transporte de la madera de la Sierra Circular hacia la Sierra Radial	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Carretón para monta cargas	Carpintería
	Se corta una de sus puntas para escuadrar la tabla, luego se corta la otra punta para lograr las medidas de 60cm y 120cm de largo (estas tablas corresponden al forro del bastidor)	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Sierra radial	Carpintería
	Transporte de la madera de la Sierra Radial hacia la Sierra Circular	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Carretón para monta cargas	Carpintería
	Donde se realizan dos cortes a 2cm de ancho y 1.27cm de alto para formar el batiente en cada uno de sus lados	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Sierra circular	Carpintería
	Transporte de la madera de la Sierra circular a la bodega de madera preparada	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Carretón para monta cargas	Carpintería
	Bodega de madera preparada.			Bodega de madera preparada

RESUMEN		
SIMBOLO	SIGNIFICADO	No. DE ACTIVIDADES
	BODEGA	1
	OPERACIÓN	5
	TRANSPORTE	6

Fuente: Ayala, 2006

Figura No. 3: Corte transversal de piezas para forro de muros



Fuente: Ayala, 2006

Figura No. 4: Cepillado de madera en dimensiones para la edificación de muros



Fuente: Ayala, 2006

Resultados

1. El sistema de control de calidad en el corte y cepillado de las maderas, requiere de conocimientos específicos de las especies seleccionadas, las cuales tienen diferentes comportamientos y características durante el corte y el cepillado.
2. Para el corte y cepillado se requiere de personal especializado en el trabajo de las maderas, así como equipo e instalaciones apropiadas.
3. Es importante documentar los procesos y procedimientos del corte y cepillado, en donde se refleje con el detalle necesario, en qué consisten las actividades, quién las realiza, los equipos, herramientas que utiliza y la ubicación de la estación de trabajo.

Discusión

- Se realizó la evaluación de calidad en los procesos de corte y cepillado de la madera para la elaboración de muros, dicha tarea ha demandado conocimientos específicos sobre maderas y su uso en la construcción.
- El corte y cepillado de la madera reunió aspectos importantes: personal capacitado para desarrollar las actividades y la utilización del equipo especializado, además, de las instalaciones adecuadas para la transformación de la madera.

- La documentación de los procesos y procedimientos sobre el corte y cepillado de la madera, ha permitido observar a través de diagramas de flujo, la transformación de dicho material, los diagramas han provisto información sobre quién realiza la actividad, el equipo, herramienta que utiliza, la identificación y ubicación de las estaciones de trabajo que permiten la transformación de la madera.

Conclusiones

1. La selección de las maderas se ha realizado en función del manejo adecuado de las especies, con el objeto de identificar sus aplicaciones en el mercado.
2. La caracterización de las especies ha permitido una mejor comprensión para el corte y cepillado, debido a que se ofrece mayor información de las maderas utilizadas en la construcción y otros usos en la industria.
3. La propuesta del sistema de control de calidad, ha permitido conocer cada una de las fases del proceso del corte y cepillado para la elaboración de muros, además, permite monitorear los procesos y procedimientos en las diferentes etapas del sistema, con lo que se garantiza un valor agregado al producto final.
4. Los diagramas de flujo han aportado un conocimiento ordenado y sistemático sobre los procedimientos de cada fase del proceso. Por medio de un diagrama, se ha podido identificar los componentes definidos para este proyecto.

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar investigaciones con las demás especies de madera de las concesiones forestales, que permitan su aprovechamiento racional y de acuerdo con un plan de manejo adecuado.
2. Es necesario realizar más investigación que sean orientadas a la caracterización física, mecánica y química de otras especies maderables desconocidas, que, por el hecho de ignorar sus características básicas, son despreciadas comercialmente como materias primas y por consiguiente como productos terminados.
3. Para todos los procesos y procedimientos del corte y cepillado que se ejecutan en la edificación de muros, se recomienda que sean mostrados como operaciones integrales en donde se especifique con el grado de entendimiento sencillo el diagrama de flujo, la descripción de este, el responsable de dicha actividad, el equipo que se utilice y la ubicación física.

Referencias bibliográficas

- Ayala, V. (2006). Implantación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales. Guatemala: SENACYT.
- Cossío, N. Y. (2006). Propuesta de comercialización de madera en aserrío para una concesión forestal comunitaria en El Petén. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Forster, R. (2002). Comunidades forestales y el mercadeo de maderas tropicales poco comerciales de Mesoamérica. (R. Forster, Ed.) México: USAID.

Martí, M. A. (1998). Aspectos ecotoxicológicos de las maderas tropicales. Madrid, España: Servicio de Publicaciones.

Rivas B och, C. L., & Joachin Bautista , J. C. (2006). Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera de Petén. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tecún, S. (2006). El piso de madera: su elaboración, instalación y Normalización. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Zambrano, O. O. (2005). Propuesta de un sistema constructivo de paredes para edificaciones utilizando maderas nacionales. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Edgar Virgilio Ayala Zapata

Doctor en Ingeniería Civil

Profesor investigador, Jefe de la Sección de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos CII/USAC

Saulo Moisés Méndez Garza

Maestro en Formulación y Evaluación de Proyectos Ingeniero Industrial, Profesor Investigador de la Sección de Ecomateriales CII/USAC

Comparativa físico-mecánica de madera plástica versus especies de madera de pino

Emerson Víctor Manuel Pérez Méndez (Ing. Civil)
m_rson7@outlook.com

Pablo Christian De León Rodríguez (MSc.Ing. Civil)
pablo291251@yahoo.com



Comparativa físico-mecánica de madera plástica versus especies de madera de pino

Emerson Victor Manuel Pérez Méndez (Ing. Civil)
mrson7@outlook.com
Sección de Metales y Productos Manufacturados

Pablo Christian De León Rodríguez (MSc. Ing. Civil)
pablo291251@yahoo.com
Jefe, Sección de Metales
y Productos Manufacturados CII/USAC

Resumen

En Guatemala ha cobrado auge el reciclaje de plástico para la fabricación de diversos productos. En la construcción, estos productos pueden ser decorativos, estructurales, o una combinación de ambos. Siendo el objeto de este artículo un producto denominado "madera plástica", como sustituto de la madera natural, se determinó que el plástico que se recolecta en centros de acopio, es el material que da origen a la madera plástica. Posterior a la recolección, el plástico se clasifica según su composición química, distinguiéndose en esta clasificación el polietileno (PE), poliestireno (PS), PVC, termoplástico, estireno y polipropileno (PP). Se identificó que el proceso de fabricación de madera plástica consta de seis pasos, siendo estos: recolección, limpieza, molienda, secado, peletizado y extrusión del plástico. Para conocer las propiedades físico-mecánicas de la madera plástica se realizaron pruebas de laboratorio conforme a la norma ASTM D143-94, aunque la norma se aplica a muestras de madera natural, se buscó emular las mismas condiciones en las pruebas de la madera plástica, para hacer una comparación más objetiva. Los resultados obtenidos fueron comparados con una tabla de resultados de las propiedades físico-mecánicas de varias especies de madera natural de pino, presentada en la tesis del Ing. William Godínez. Conforme a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, se definieron las ventajas y desventajas de la madera plástica sobre la madera natural. Se comprobó que las ventajas de la madera plástica son: posee propiedades que le permiten resistir esfuerzos a compresión, aplicados en cualquiera de sus caras y esfuerzos por cortante. Una desventaja es su baja resistencia a los esfuerzos por flexión. Se concluyó que, pese a que estructuralmente un elemento de madera plástica no responde igual que un elemento de madera natural, es posible su uso, siempre que se adapten metodologías constructivas acorde a las bondades del material.

Palabras clave: ASTM D143-94, reciclaje, tensión, compresión, flexión.

Abstract

In Guatemala, plastic recycling for the manufacture of various products has gained momentum. In construction, these products can be decorative, structural, or a combination of both. Being the object of this article a product called "plastic wood", as a substitute for natural wood, it was determined that the plastic that is collected in collection centers is the raw material that gives rise to plastic wood. After collection, the plastic is classified according to its chemical composition, distinguishing in this classification polyethylene (PE), polystyrene (PS), PVC, thermoplastic, styrene and polypropylene (PP). It was identified that the plastic wood manufacturing process obeys the sequence of: grinding, drying, pelleting and extrusion of the plastic. Laboratory tests were carried out in accordance with the ASTM 143-94 standard, which are applied to natural wood samples, to know the physical-mechanical properties of plastic wood and whose results were compared with those obtained in tests carried out on wood samples. natural. According to the results obtained in the laboratory tests, the advantages and disadvantages of plastic wood over natural wood were defined. It was found that the advantages of plastic wood are: it has properties that allow it to resist compressive stresses applied to any of its faces and shear stresses, however, a disadvantage is its low resistance to bending stresses. It is concluded that structurally, due to its conformation and nature, plastic wood is not a good substitute for natural pine wood. It was established that it has a high resistance to adverse weather conditions, vectors and pathogens, as well as its long useful life.

Keywords: ASTM D143-94, recycling, plastics, strain, compression, flexion.

Introducción

La alta cantidad de desechos plásticos producidos en Guatemala, ha abierto oportunidades en el sector empresarial, de manufacturar productos que utilicen como material de origen, el plástico reciclado; tal es el caso de un producto de interés conocido en el mercado guatemalteco como “madera plástica”, creado con la visión de imitar y sustituir a la madera natural. Actualmente, con este material se manufacturan productos que pueden ser utilizados en el sector constructivo, como elementos decorativos o como elementos que tendrán una función estructural.

Este material está fabricado con distintos tipos de plásticos, entre los que se encuentran el polietileno, pvc, termoplástico, estirenos y polipropileno, a los que debe sus características de impermeabilidad, flexibilidad y resistencia a los agentes atmosféricos.

El presente artículo fue motivado por el interés académico de analizar las propiedades físico-mecánicas de la madera plástica y contrastarlas con las propiedades físico-mecánicas de la madera natural de pino, a efecto de determinar si la madera plástica puede ser un sustituto de la madera natural.

Para lograr este objetivo, se utilizó la metodología que establece la norma ASTM D 143-94 para pruebas estándar de muestras pequeñas de madera; dicha metodología fue aplicada tanto a las muestras de madera natural de pino, como a las muestras de madera plástica.

Se considera que la madera plástica es una alternativa ecológica, ya que permite transformar grandes volúmenes de material de desecho, durante su proceso de fabricación; materiales que, de no ser reciclados en su mayoría, terminarían en el lecho de algún río o en botaderos en las márgenes de la ciudad.

Desarrollo de estudio

Las pruebas para determinar las propiedades físico-mecánicas de las distintas muestras de madera plástica y madera natural de pino, se realizaron en el laboratorio de la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Las propiedades físico-mecánicas se obtuvieron por medio de la experimentación, mediante ensayos que se aplicaron al material de interés, determinando así, los diferentes valores de esfuerzos a los que estuvo sometido.

Para esta fase experimental, se elaboraron probetas de madera plástica y probetas de madera natural de pino, según las especificaciones de la norma ASTM D 143- 94.

Para definir las propiedades mecánicas de la madera, se llevaron a cabo las siguientes pruebas de laboratorio, de acuerdo establecido en la norma ASTM D 143-94:

- Resistencia a la tensión
- Resistencia a compresión
- Resistencia a corte
- Resistencia a clivaje
- Resistencia a flexión.

Cabe resaltar que las pruebas para determinar estas resistencias en la madera, contemplan en algunos casos, aplicar una carga de tracción o compresión paralela a la fibra y perpendicular a la fibra, dada las propiedades anisotrópicas de la madera natural. Por otro lado, la madera plástica es un material isotrópico, por lo que se espera

Las propiedades físicas de la madera que fueron definidas para los materiales de interés, son las siguientes:

- Densidad
- Dureza
- Impermeabilidad
- Tenacidad
- Flexibilidad
- Resistencia a agentes atmosféricos
- Anisotropía

Metodología

Las muestras de materiales se obtuvieron en el mercado nacional, a través de un fabricante nuevo de madera plástica, que proporcionó muestras de diferentes lotes.

En el laboratorio de la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de la USAC se fabricaron las probetas de madera plástica, las cuales se utilizaron en las pruebas de laboratorio descritas con anterioridad y que servirían para determinar sus propiedades físico- mecánicas.

Una vez fabricadas las probetas, se procedió a limpiarlas y a verificar que estuvieran libres de defectos, tal como lo establece la norma ASTM D 143-94. El siguiente paso consistió en la identificación y toma de datos de cada una de las probetas.

Se procedió con la realización de las pruebas mecánicas. En cada prueba se analizaron tres probetas de la madera plástica, a fin de obtener un resultado representativo de cada una de las pruebas requeridas por la norma. Se inició con la prueba para determinar la resistencia a la tensión paralela a la fibra.

Las probetas de madera plástica tuvieron una ligera variante en cuanto a su forma, respecto a lo que indica la norma, esta variación no afecta los resultados, puesto que ellos son presentados en unidades de esfuerzo.

Las probetas utilizadas para esta prueba, fueron sujetadas de sus extremos en la máquina universal, aplicando una fuerza de tracción, en el sentido longitudinal. Al finalizar el ensayo, se anotó la carga máxima aplicada.

La prueba que permitió determinar la resistencia a la tensión perpendicular o radial a la fibra, se realizó utilizando una máquina universal y un dispositivo conocido como “quijadas”, en ella se colocó una probeta a la que se le aplicó una carga controlada de tracción. Se registró la carga máxima aplicada.

La prueba de resistencia a la compresión paralela a la fibra, se realizó utilizando una probeta que tiene la forma de un prisma de sección cuadrada de 5 cm y una longitud de 20 cm. El procedimiento consistió en aplicar la carga de compresión, sobre la sección cuadrada de la probeta, e identificar la carga máxima soportada.

La resistencia a la compresión perpendicular a la fibra, se obtuvo aplicando una carga de compresión sobre el lado más largo, de una probeta de sección cuadrada de 5 cm por lado y una longitud de 15 cm. Se registró la carga máxima soportada.

Para conocer la resistencia al corte, se ensayaron probetas con una forma particular, que les permite posicionarse en un accesorio de la máquina universal, utilizada para tal fin. Se aplicó una carga de compresión y se registró la máxima carga soportada por la probeta.

Para la resistencia al clivaje, se utilizó una probeta con forma especial, que le permite ajustarse a un accesorio de la máquina universal, utilizado para este tipo de pruebas. Se aplicó la carga de tracción y se registró la carga máxima.

La resistencia a la flexión estática, se determinó de la

siguiente manera: una probeta prismática de sección cuadrada de 5 cm por lado y una longitud de 75 cm, se colocó sobre un accesorio de la máquina universal, cuyos apoyos están a 70 cm de separación; posteriormente, se aplicó una carga al centro de la luz libre y se anotó la carga máxima.

Las pruebas de laboratorio destinadas a conocer las propiedades físicas de la madera plástica y de la madera natural de pino, se realizaron en el laboratorio de la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC.

Densidad: se obtuvo de la relación de la masa entre el volumen. La masa se obtuvo por medio de una balanza analítica. Por otro lado, el volumen de cada muestra se determinó midiendo cada uno de los lados de la pieza.

Dureza: se prepararon las muestras, las cuales debían tener una sección cuadrada de 5 cm por lado y una longitud de 15 cm. La masa se obtuvo utilizando una balanza. Las muestras se colocaron en la máquina universal, sobre una base de apoyo articulado, utilizando un accesorio esférico de 1.13 cm de diámetro. Se aplicó carga a la muestra en todas las caras del sentido más largo de la muestra y se tomó lectura de la carga máxima soportada.

Tenacidad: En este ensayo se colocaron dos piezas de madera plástica unidas por medio de tornillos, con el fin de determinar la carga última que el material soporta, antes de fallar.

Colocada la pieza en la máquina universal se ensayó de dos formas. La primera de ellas se ensayó a corte, el tornillo quedó posicionado de forma perpendicular a la dirección en que fue aplicada la carga, con el fin de determinar si el material se rasga o si ocurre otro tipo de falla. Otra de las posibilidades, es que colapse el material con el que fue unido.

En el segundo ensayo para determinar la tenacidad de la madera, los tornillos que unen las dos piezas de madera quedan posicionados de forma paralela a la dirección en que fue aplicada la carga. Con estas pruebas se determinó la carga última a la cual se sometió el material, antes de desprenderse uno del otro.

Resultados obtenidos

Con la información generada luego de haber realizado cada una de las pruebas de laboratorio, conforme a lo establecido en la norma ASTM D 143-94, en cada una de las probetas, se procedió a realizar los cálculos correspondientes para determinar las distintas propiedades mecánicas de la madera plástica.

Se tabularon los resultados de las propiedades mecánicas de las siete especies de pino, evaluadas por el Ingeniero Mario Domingo Samayoa Flores, correspondiente a su trabajo de graduación, con el fin de hacer una comparación de los resultados obtenidos respecto a la madera plástica. A continuación, se presentan los datos generados a través de las pruebas, para determinar las propiedades mecánicas de la madera plástica.

Tabla No. 1. Resumen de resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio para conocer las propiedades mecánicas de la madera plástica

Flexión	
Modulo Ruptura	Modulo Elasticidad
Kg/cm ²	Kg/cm ²
177.87	6399.98

Compresión paralela	
Esfuerzo máximo	Modulo Elasticidad
kg/cm ²	kg/cm ²
177.43	2762.3

Compresión Perpendicular	
Esfuerzo máximo	
kg/cm ²	
65.46	

Corte Paralelo	
Esfuerzo máximo	
kg/cm ²	
75.64	

Dureza	
kg	
201.7	

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos generados en pruebas de laboratorio

A continuación, se presentan los datos generados a través de las pruebas para determinar las propiedades físicas de la madera plástica.

Tabla No. 2. Resumen de resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio para conocer las propiedades físicas de la madera plástica

Densidad	
kg/cm ³	822,65

Dureza	
kg	201,7

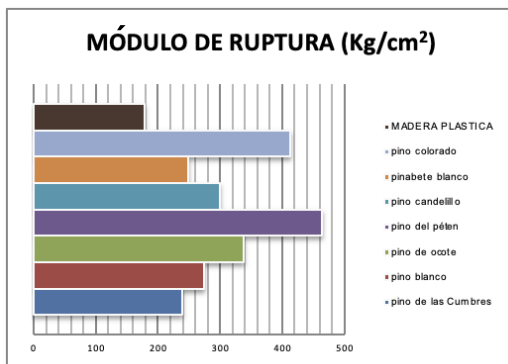
Tenacidad	
kg	182,5

Fuente: Elaboración propia, ensayo de flexión realizado en máquina universal de la Sección de Metales Productos Manufacturados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC

Discusión de resultados

En lo que respecta al ensayo de flexión, la madera plástica tiene un valor de 10 veces menor que el valor más bajo obtenido para los distintos pinos, en comparación al pinabete blanco; esto se debe a que la madera es un material compuesto de fibras, lo que hace que tenga un mejor comportamiento bajo cargas flexionantes.

Figura No. 1. Comparación del módulo de ruptura a la flexión, de distintos tipos de madera y madera plástica



Fuente: Elaboración propia, a partir de datos generados en pruebas de laboratorio y con apoyo de resultados expuestos en tesis del Ing. William Godínez

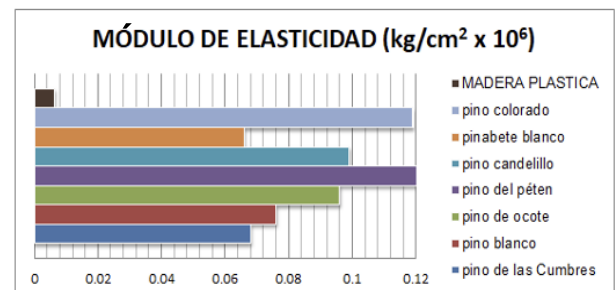
Figura 2. Ensayo de Flexión para determinación del módulo de ruptura



Fuente: Elaboración propia, ensayo de flexión realizado en máquina universal de la Sección de Metales y Productos Manufacturados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC

Según lo observado en estudios previos, el módulo de ruptura para distintas especies de pino, oscila en un rango de 230 a 470 kg/cm². Los datos calculados a partir del ensayo a flexión para obtener el módulo de ruptura, dieron como resultado un valor promedio de 177.87 kg/cm²; siendo aproximadamente 60 kg/cm² menor que el valor más bajo de los datos de los pinos, en comparación con el pino de las cumbres.

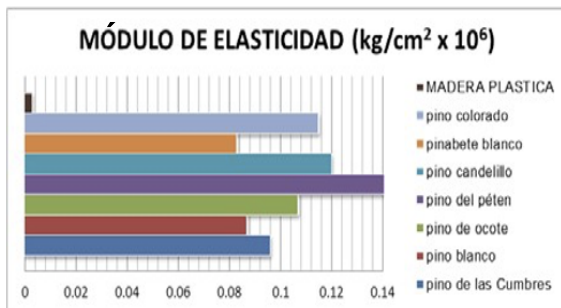
Figura No. 3. Comparación gráfica del módulo de elasticidad a la flexión de distintos tipos de madera y madera plástica



Fuente: Elaboración propia, a partir de datos generados en pruebas de laboratorio y con apoyo de resultados expuestos en tesis del Ing. William Godínez

Como se observa en la figura 3, el valor promedio calculado para las probetas ensayadas a flexión, es 10 veces menor que el menor valor obtenido para los distintos pinos, en comparación al pinabete blanco; esto se debe a que la madera es un material compuesto de fibras, lo que hace que tenga un mejor comportamiento bajo cargas flexionantes.

Figura No. 4. Comparación gráfica del módulo de elasticidad en la prueba de compresión paralela, de distintos tipos de madera y madera plástica.



Fuente: Elaboración propia, a partir de datos generados en pruebas de laboratorio y con apoyo de resultados expuestos en tesis del Ing. William Godínez

Como se puede observar en la figura 4, el módulo de elasticidad calculado a partir de los resultados del ensayo de compresión paralela, representado por la primera barra, es aproximadamente 29 veces menor que el valor mínimo obtenido para las especies de pino en comparación, valor que corresponde al pinabete blanco.

Debido a la naturaleza del material, los resultados calculados para el esfuerzo máximo en el ensayo de compresión paralela, muestran un valor muy similar al de tres de las siete especies de pino en comparación; arrojando una deformación máxima promedio de 0.4928 cm.

Tabla No. 3. Datos de esfuerzo máximo para la prueba de compresión perpendicular, de distintas maderas de pino y madera plástica

COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
ESFUERZO MÁXIMO	
Nombre	(kg/cm ²)
pino de las cumbres	38.9
pino blanco	52.6
pino de ocote	73.6
pino del Petén	79.9
pino candelillo	58.7
pinabete blanco	53.5
pino colorado	86.6
MADERA PLÁSTICA	65.46

Fuente: Fuente: Elaboración propia, a partir de datos generados en pruebas de laboratorio

Conclusiones

1. La madera plástica es un material fabricado a base de distintas clases de plástico, que son reciclados mediante un proceso de selección, limpieza, molido, peletizado y extruido para elaborar piezas según se requiera.
2. Realizado el estudio para conocer las propiedades físico-mecánicas de la madera plástica, se obtuvo como resultado que es un material apto para soportar esfuerzos de compresión, no importando en qué cara se aplique la fuerza; así también, resulta un material apto para soportar esfuerzos cortantes, propiedad que hace que este material pueda ser empleado en conjunto o como sustituto de la madera, para estos casos.

3. Debido a la conformación y naturaleza del material (no posee nudos, no desarrolla hendiduras, posee un módulo de elasticidad muy bajo, no es un material fibroso), los resultados obtenidos hacen que no pueda clasificarse estructuralmente, de la misma forma que se hace con la madera.

Recomendaciones

1. La utilización de este material en condiciones en las que se requiera poco o ningún mantenimiento (bancas para parques, pérgolas exteriores y basureros utilizados en lugares públicos), resulta ideal debido a que, por estar fabricado a base de plásticos reciclados, tiene un período de vida casi indefinido, no necesita recubrimientos y el color del material se fija con un tinte en el proceso de fabricación.
2. La madera plástica es un material apto para la fabricación de distintos elementos, que son diseñados para trabajar bajo esfuerzos de compresión y corte.
3. Estructuralmente, la madera plástica puede llegar a ser un sustituto de la madera natural, siempre que se mejore el proceso de producción y a su vez, algunas características como la densidad, para una mejor respuesta en las pruebas físico-mecánicas y su uso en la construcción.
4. De acuerdo con los valores de resistencia a flexión obtenidos en laboratorio, para el uso de la madera plástica en elementos que estén sometidos a grandes esfuerzos flexionantes (arriba de 80 kg/cm²), se recomienda confinar los elementos de madera plástica y reducir la luz libre entre apoyos; no es recomendable utilizar las configuraciones de elementos de madera plástica, que usualmente se utilizan en elementos de madera natural.

5. Este material es altamente utilizable en ambientes en los cuales el nivel de higroscopía es muy alto, ambientes salinos y cualquier otra condición que para la madera sería adversa, debido al riesgo de pudrición, corrosión o ser susceptible a cualquier agente que reduzca sus propiedades físico-mecánicas (capacidad de carga, tiempo de vida útil, etc.).

Referencias bibliográficas

- Godínez, W. (1996). Ingeniería de la madera en Guatemala. (Tesis de licenciatura), Facultad de Ingeniería, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- American Society for Testing and Materials. (1989). ASTM D-143. Ensayos para probetas pequeñas de madera libre de defectos.
- Rivas, C. (2006). Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén. (Tesis de licenciatura), Facultad de Ingeniería, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Samayoa, M. (1972). Estudio Preliminar de las propiedades físico-mecánicas de siete especies de pino en Guatemala. (Tesis de licenciatura), Facultad de Ingeniería, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.18.html

Emerson Victor Manuel Pérez Méndez

(Ing. Civil)

Auxiliar de Investigación Científica

Sección de Metales y Productos Manufacturados

CII/USAC

Pablo Christian De León Rodríguez

(MSc.en Energía y Ambiente Ing. Civil)

Jefe Sección de Metales y Productos

Manufacturados CII/USAC

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Centro de Investigaciones de Ingeniería
Comité Editorial CII
correo electrónico: comite.editorialcii@gmail.com

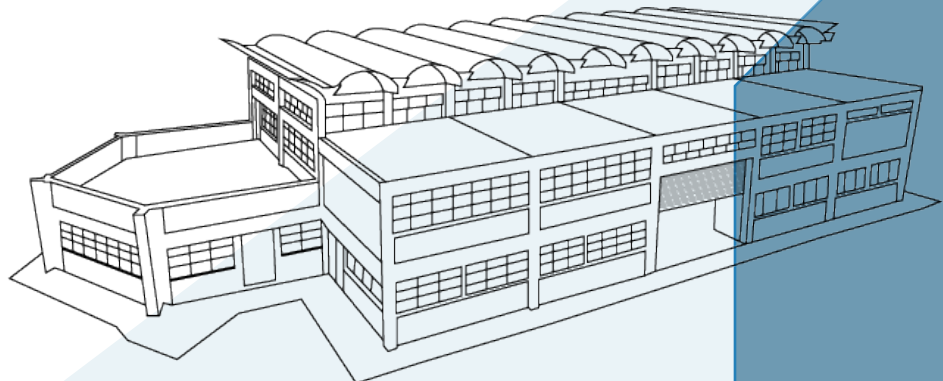
Edificio -Emilio Beltranena-, Edificio T-5 y Área de Prefabricados
Campus Central zona 12, Código Postal 010012
Teléfono: (502) 2418-9121 y 2418-9115
Guatemala, Ciudad

<https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/cii>
Página electrónica: Centro de Investigaciones de Ingeniería

Edición
Centro de Investigaciones de Ingeniería

Diseño y Diagramación
Lda. Mónica Paola Girón Castro

La Revista Científica Fortaleciendo la Investigación
fue editada en la Ciudad de Guatemala, C.A.
Año MMXXII



Invitación a los autores

La *Revista Científica -Fortaleciendo la Investigación- del Centro de Investigaciones de Ingeniería*, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es una publicación que se edita anualmente, con fondos directamente de la institución.

Se ha tratado de que la misma se encuentre elaborada de acuerdo al normativo de LATÍNDEx, sistema que rige la edición de revistas académicas y científicas para América Latina, El Caribe, España y Portugal.

La revista es científica y los artículos que la conforman, son resultados de investigaciones experimentales que se han llevado a cabo en diferentes laboratorios.

Están invitados a escribir en dicha revista, los docentes y profesionales que pertenezcan a la Facultad de Ingeniería.

Para escribir sus artículos, los autores deben basarse en las instrucciones para la presentación de artículos en la *Revista Científica del CII*, elaboradas por el Comité Editorial de la institución.

**Coordinación
Comité Editorial CII**
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



USAC

Educación Superior
pública y gratuita

Revista **CIENTÍFICA**

Fortaleciendo la Investigación

Volúmen 19, No. 1, 2022 ISSN 1993-3711 y en línea 1993-372X



Universidad de San Carlos de Guatemala,
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigaciones de Ingeniería