

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON DEL MORTERO CEMENTO-ARENA PARA LA CIUDAD DE OAXACA Y ÁREA CONURBADA

DETERMINATION OF THE MODULE OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF THE CEMENT-SAND MORTAR FOR THE CITY OF OAXACA AND CONURBED AREA

M. C. Samuel Ramírez Arellanes ¹, Dr. Ramírez Ortiz Arturo Emanuel², Dr. Cosmes López Mario Fernando^{3*},
Ing. García Carrasco José Luis ⁴

¹ Maestro en Ciencias, Instituto Tecnológico de Oaxaca; Departamento de Planeación, Programación y Presupuestación (Equipamiento y Construcción), samuel.ramirez@itoaxaca.edu.mx, (951) 501 50 16, Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125, C.P. 68030, Oaxaca, Oaxaca

² Doctor en ciencias, Instituto Tecnológico de Oaxaca; Departamento de Ciencias de la Tierra, arturo.ramirez@itoaxaca.edu.mx, (951) 501 50 16, Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125, C.P. 68030, Oaxaca, Oaxaca

^{3*} Doctor en ciencias, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación, mario.cl@itoaxaca.edu.mx, (951) 501 50 16, Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125, C.P. 68030, Oaxaca, Oaxaca (Autor de correspondencia)

⁴ Ingeniero, Instituto Tecnológico de Oaxaca; Departamento de Ciencias de la Tierra, garcarrascojl@gmail.com, (951) 501 50 16, Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125, C.P. 68030, Oaxaca, Oaxaca

Resumen -- La resistencia mecánica de estructuras de ferrocemento, panel *W* y panel *convitec*, depende principalmente de las características del mortero utilizado (cemento-arena). Por lo tanto, es necesario determinar los parámetros de diseño como el módulo de elasticidad y el módulo de Poisson, para conocer el rango elástico real en el que trabajan. Para lo cual se elaboraron cilindros de mortero de 15 x 30 cm con proporciones cemento/arena de 1:2, 1:2.5 y 1:3, siguiendo la Norma NMX-C-128- ONNCCE-2013. Para medir las deformaciones longitudinal y transversal de los cilindros, se utilizó el dispositivo de anillos con medidores de carátula y en otros casos sensores eléctricos, para tener una referencia de las mediciones. Los resultados obtenidos son aplicables para el diseño de estructuras de ferrocemento que utilicen morteros elaborados con arena de bancos en la Ciudad de Oaxaca y cemento gris puzolánico Tipo CPP 30 R.

Palabras Clave: Deformaciones unitarias, elasticidad, ferrocemento, panel *convitec*, panel *W* y Parámetros de diseño.

Abstract -- The mechanical resistance of ferrocement structures, panel *w* and panel *convitec*, depends mainly on the characteristics of the mortar ratio (cement-sand). Therefore, it necessary to determine the design parameters such

as the modulus of elasticity and the Poisson's modulus, to know the real working parameters. Therefore, 15 x 30 cm cylinders were made with cement/sand (sand from different deposits) ratios of 1:2, 1:2.5 and 1:3, following the standard according the NMX-C-128- ONNCCE-2013. To measure the longitudinal and transverse deformation of the cylinders, the ring device used to meter cover and electrical sensors, for a reference measurement. The results obtained are applicable to the design of ferrocement structure that use mortars made with sand from deposits in the city of Oaxaca and gray pozzolanic cement type CPP 30 R.

Key words – Design parameters, elasticity, ferrocement, panel *convitec*, panel *W* and unitary deformations.

INTRODUCCIÓN

El mortero es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, principalmente en la sección de muros dado que se emplea en el junteo de las piezas y en el aplanado de los mismos para darle el terminado y acabado, aunque, en últimas fechas se ha incrementado el uso del mortero estructural a base de cemento y arena.

El módulo de elasticidad del mortero, es el resultado de las diferentes combinaciones de los

materiales utilizados (Rosell Amigó, J. R 2011). Las propiedades mecánicas de estos dependen en general del tipo de cemento, de su relación agua/cemento, del tipo, calidad y origen de agregado usado (de Guzmán, D. S. 2001). Aunque, el módulo de elasticidad es un factor determinante dentro de los cálculos estructurales, no es el único que se debe de tomar en cuenta, ya que está relacionado directamente con el módulo de poisson, que juega un papel determinante en el desempeño de los materiales base cemento (Quimbay Herrera, R. 2012). Por lo tanto, es importante considerar la relación que guardan entre de ellos, ya que afectaran el comportamiento de estructuras más complejas como el ferrocemento, panel W o panel covintec entre otros (Centeno P. E. M., et al 2015, Rivas, H. W. 2014).

Las variaciones en el módulo de elasticidad y relación de Pooisson implican variaciones en las capacidades de deformación en el rango elástico del material como es el caso del uso del mortero para aplicaciones en ferrocemento, panel W o panel covitec. En el diseño de estructuras es importante estimar las distorsiones que estas puedan sufrir y que no sobre pasen lo que indican los códigos de construcción (Santibáñez et al. 2004). Actualmente solo se tiene valores propuestos en las Normas Técnicas Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto de la Gaceta

Oficial del Distrito federal (GOBIERNO, D. D. F. 2004), pero no se especifican parámetros para mortero. Sin embargo, esto puede ser solventado estudiando las características mecánicas de los morteros (Sánchez, M. A et al 2015).

El ferrocemento es un material ampliamente utilizado en la construcción debido a su fácil aplicación, bajo costo y adaptabilidad (Rosado, O. F. 2017). En el estado de Oaxaca (Mecott Gómez, S. 2007), se han realizado diversos estudios y experimentos sobre este material, como se puede observar en las figuras 1, 2, 3 y 4. Estas edificaciones han presentado excelentes resultados al paso del tiempo, de las inclemencias naturales y de los sismos, por lo cual es importante conocer las características mecánicas que le permiten mantenerse en pie (Maldonado García, M. A. 2012, Hernández Toledo, U. I. 2010).

La presente investigación tiene como objetivo determinar los módulos de elasticidad y relación de

Poisson de morteros de cemento-arena elaborados con tres diferentes proporcionamientos y de cinco bancos de materiales. Los resultados servirán como parámetros en el diseño de mortero estructural de estructuras de ferrocemento, panel W o convitec.

DESARROLLO MATERIALES Y MÉTODO

En la elaboración de las muestras de mortero se ocupó agregado fino procedente de cinco bancos de materiales de la región del valle de Oaxaca (Tabla 1), los cuales fueron muestreados con base en la norma NMX C-030-ONNCCE-2004.

Tabla 1. Relación agua/cemento para las diferentes proporciones cemento: arena.

Bancos	Proporción en volumen (cemento:arena)		
	1:3	1:2.5	1:2
Guadalupe I	0.57	0.5	0.44
Guadalupe II	0.56	0.49	0.42
San Lorenzo	0.56	0.49	0.42
Magdalena Apasco	0.56	0.49	0.42
Xochimilco	0.56	0.49	0.42

Cada muestra fue reducida hasta obtener una porción suficiente para realizar las pruebas de caracterización de granulometría, densidad y absorción. Para cada material se fabricaron cilindros de mortero con mezclas en proporciones de cemento:arena 1:2, 1:2.5 y 1:3.

Obteniéndose relaciones agua cemento en peso para cada banco de material como se indica en la tabla 1. Como material cementante se utilizó cemento portland tipo CPP 30R (resistente a sulfatos).

Se elaboraron especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto siguiendo lo especificado en la norma NMX-C-ONNCCE-083-2014 para especímenes de concreto hidráulico, ya que para la elaboración de especímenes cilíndricos de mortero no existe normativa en México. Además de los cilindros, se elaboraron cubos de mortero de 5 cm por lado de acuerdo a la norma NMX C-061-ONNCCE-2016.

Para cada proporción de Cemento-Arena se elaboraron 5 cilindros de mortero, de los cuales 2

se ocuparon para resistencia a la compresión y 3 para las pruebas de módulo de elasticidad. Además, para cada proporción se elaboraron 3 cubos para determinar resistencia a la compresión. En total para cada banco de materiales se obtuvieron 15 cilindros y 9 cubos. Los ensayos de los cilindros y cubos se efectuaron a los 21 días después de la elaboración de los mismos.

El diseño de la mezcla, se realizó teniendo como base el Método de las Curvas y Monogramas del Dr. Abrams. Cabe hacer mención, que originalmente este método no contempla diseño de mezclas de mortero, por lo que fue necesario adecuarlo para obtener una dosificación de la mezcla de mortero con la resistencia requerida.

Las modificaciones que se hicieron fueron las siguientes:

- A la relación grava-arena en peso (G/S) se le asignó un valor constante de 0.
- Las condiciones de trabajo se mantuvieron rígidas (R).
- El consumo de agua se adecuó a la trabajabilidad de la mezcla.
- Se buscó que la relación en volumen diera valores de las proporciones volumétricas deseadas, es decir, 1:2, 1:2.5, 1:3 o 1:4, para lo cual el valor que se variaba era el de la fatiga de carga.

METODOLOGÍA

El mortero de cemento hidráulico que se diseño tiene como objetivo ser del tipo estructural aplicado para la ciudad de Oaxaca y su zona conurbada, por lo cual fue importante determinar los parámetros de módulo de elasticidad y relación de Poisson siguiendo la norma NMX-C-128-ONNCCE-2013 para concreto hidráulico.

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y LA RELACIÓN DE POISSON

DEFINICIONES

El Módulo de Elasticidad E representa la pendiente de la línea comprendida entre el esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 0.00005 y el esfuerzo equivalente al 40% de f_c (figura 1), siendo f_c la resistencia a la compresión

axial a los 28 días de edad de cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

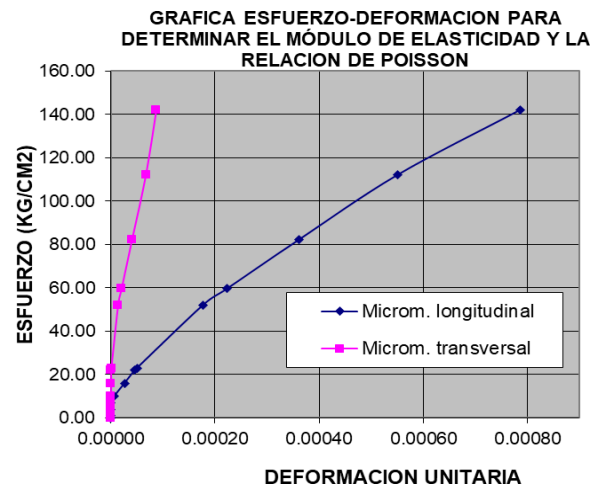


Figura 1. Gráfica Esfuerzo – deformación

La elasticidad, como la define Magdaleno (1982), es la propiedad que permite que un cuerpo sea capaz de deformarse bajo la acción de fuerzas externas, de tal manera que se establece una relación entre las fuerzas y desplazamientos y cuando dejan de actuar las cargas, el cuerpo debe recuperar su forma inicial.

También se define como la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria instantánea dentro de un límite proporcional considerado, extendiéndose al límite como la frontera del esfuerzo permisible, antes de que el material sufra una deformación permanente ó el punto donde la línea se aparta de la recta y comienza a ser curva.

El módulo de elasticidad bajo esfuerzos de tensión o compresión siempre estará regido por la pendiente de la curva esfuerzo-deformación del concreto bajo una carga uniaxial. En el caso del concreto como se ve en la figura 5, dicha curva no presenta un comportamiento lineal, por ello se utilizan tres métodos para determinar el módulo de elasticidad.

- **Módulo tangente:** Se determina por la pendiente de una línea tangente trazada en cualquier punto de la curva esfuerzo-deformación.

- **Módulo secante:** Esta dado por la pendiente de una línea recta trazada desde el origen a un punto correspondiente al 40% de la carga de la falla.
- **Módulo cuerda:** Se obtiene por la pendiente de una línea recta trazada desde un punto que representa una deformación unitaria longitudinal de 19.7×10^{-6} ucm/cm, al punto al 40% de la carga última.

En lo que se refiere al módulo de elasticidad del mortero, Wainshtok (1992) determinó mediante investigaciones que el mortero presenta un módulo de elasticidad generalmente inferior al del concreto de la misma resistencia, y que a falta de otras indicaciones especialmente elaboradas, se puede tomar como referencia la recomendación de la norma rusa para ferrocemento que permite estimar el módulo de deformación del mortero igual a 0.80 del módulo determinado para el hormigón de la misma resistencia.

MÓDULO O RELACIÓN DE POISSON

Fitzgerald (1990) expresa que, Simón Daniel Poisson, en 1828, presentó en la Academia de París el concepto de:

$$\mu = -\frac{\epsilon_{Transversal}}{\epsilon_{Longitudinal}} \quad \text{Ec. (1)}$$

el cual puede definirse como la proporción en que el espécimen se deforma transversalmente con respecto a lo que se deforma longitudinalmente y se expresa con el término μ . En tanto que, cuando a un elemento se somete a esfuerzos de tracción o compresión, además de la deformación en la dirección de la aplicación de la carga (deformación longitudinal), se generan deformaciones transversales o laterales, que al relacionar la deformación lateral unitaria con la deformación longitudinal unitaria se obtiene un valor conocido

como coeficiente o relación de Poisson μ

Como señala la Norma NMX-C-128- ONNCCE-2013, la relación de Poisson se calcula a partir de las deformaciones transversales medidas a la mitad de la altura del espécimen, según la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{\epsilon_{tB} - \epsilon_{tA}}{\epsilon_B - 0.000050} \quad \text{Ec. (2)}$$

En donde:

ϵ_{tB} = deformación transversal producida por un esfuerzo equivalente al 40% del esfuerzo de ruptura.

ϵ_{tA} = deformación transversal que se manifiesta con el esfuerzo que produce una deformación longitudinal de 50 millonésimas (0.000050).

ϵ_B = deformación unitaria longitudinal para el esfuerzo equivalente al 40% del esfuerzo de ruptura.

El equipo que se utilizó para las mediciones de módulo de elasticidad fue un Compresómetro-Extensómetro para cilindros de concreto, el cual mide tanto la deformación axial como la diametral de los cilindros. Consiste en dos anillos metálicos paralelos separados entre sí 15 cm, ambos colocados en la parte media de la altura del cilindro; el anillo inferior se fija a la muestra mediante punzones metálicos que penetran la capa superficial del mortero y el superior solo en dos puntos diametralmente opuestos con libertad de rotación. Estos anillos van unidos con un pivote y del lado opuesto se registran las deformaciones en un micrómetro de carátula con aproximación de 0.002 mm.

Existe un tercer anillo formado por dos segmentos y localizado entre los otros dos anillos mencionados, el cual se sujeta con dos punzones localizados diametralmente opuestos y en donde se unen los segmentos va alojado un micrómetro (figura 2).



Figura 2. Disposición del equipo de medición de módulo de elasticidad en cilindros

El procedimiento de prueba recomendado contempla disponer de 5 muestras (cilindros), dos para ensayarlas a compresión hasta su ruptura, que se denomina f_c del mortero y los otros tres cilindros se prueban hasta que rebasen moderadamente el 40% de esa carga máxima para calcular los Módulos de Elasticidad y de Poisson.

Una vez que se colocó el dispositivo de medición al cilindro, se ajustaron los micrómetros a la lectura cero y se aplicaron dos o tres ciclos de precarga y descarga, comprendidas entre un 10 a 15% de la carga máxima, procedimiento que es útil para verificar y ajustar la operación del equipo. Para cada aplicación de carga se registraron las deformaciones correspondientes y posteriormente se calcularon los respectivos Módulos.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

AGREGADOS

La granulometría de los materiales muestreados en cada banco se indica en la figura 3, observándose que algunos de ellos no cumplen con la Norma NMX-C-077- ONNCCE-2019, ya que salen del límite superior principalmente el banco de San Lorenzo, y en mallas mayores al número 16 el banco de Xochimilco y Magdalena.

Después de realizar el análisis granulométrico de las arenas, observamos que todas presentan granulometrías de una arena gruesa con base en su módulo de finura (Tabla 2), aun cribando las arenas por la malla número cuatro, observamos la misma tendencia, siendo estas adecuadas para su empleo

en la elaboración de morteros y concretos hidráulicos.

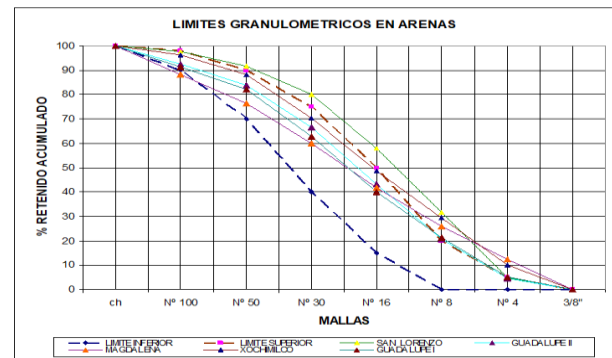


Figura 3. Granulometría de arenas de los Bancos muestreados

Tabla 2. Propiedades físicas del agregado fino.

Bancos	Módulo de finura	Densidad (g/cm ³)	Absorción (%)	Peso Vol. Seco Suelto (kg/m ³)
Guadalupe I	3.03	2.59	2.09	1531
Guadalupe II	3.05	2.57	2.2	1519
San Lorenzo	3.64	2.64	1.4	1535
Magdalena Apasco	3.43	2.69	1.4	1585
Xochimilco	3.04	2.54	2.4	1523

MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

Para determinar la relación del conjunto de datos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad se graficaron los resultados obtenidos de los ensayos tanto para cilindros como para cubos y se ajustaron a una función lineal obteniendo coeficientes de determinación de 0.8859 para los cubos y 0.62 para los cilindros (figura 4).

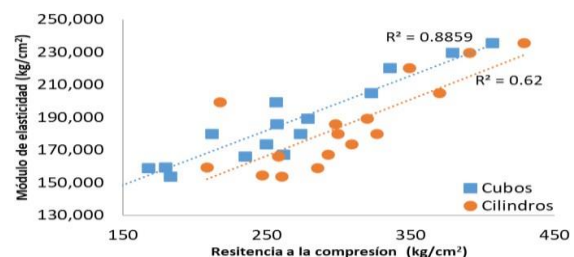


Figura 4. Relación entre módulo de elasticidad y resistencia a la compresión

Las normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto de la ciudad de México (GOBIERNO, D. D. F. 2004) establece una ecuación que permite estimar el módulo de elasticidad del concreto con base en la raíz cuadrada del $f'c$, por lo cual se procedió a

graficar los valores de $\sqrt{f'c}$ y el módulo de Elasticidad (figura 5). A partir de esto, se define la ecuación general (ecuación 1) de todos los bancos para determinar el Módulo de Elasticidad del mortero (E_m) en función de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión de cilindros de mortero cemento-arena ($f'c$).

$$E_m = -0.0007 \sqrt{f'c} + 0.1468 \quad \text{Ec. (3)}$$

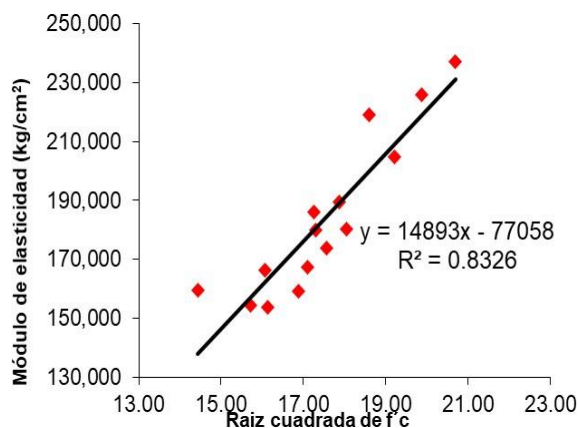


Figura 5. Relación entre los valores de la raíz cuadrada de $f'c$ y módulo de Elasticidad de cilindros de mortero hidráulico

De igual manera, se graficaron los valores de la raíz cuadrada del $f'c$ y relación de Poisson obtenidos en los

cilindros de mortero hidráulico, generándose la gráfica de la figura 6. Observándose que el coeficiente de determinación lineal es muy bajo, no se puede tener con certeza una expresión que relacione ambos parámetros:

$$\mu_m = -0.0007 \sqrt{f'c} + 0.1468 \quad \text{Ec. (4)}$$

Una vez obtenidas las ecuaciones de módulo de elasticidad y la relación de Poisson en forma general, se observa que los coeficientes de determinación de los ajustes lineales son bajos, lo

que llevo a calcular ecuaciones del módulo elasticidad para cada banco de materiales, esto debido que cada banco de materiales presenta diferente comportamiento granulométrico (tamaño y forma de la partícula). Los ajustes lineales de cada banco de materiales se presentan en la figura 7, en los cuales se observan mejores tendencias con base en su coeficiente de determinación R^2 , excepto para el banco Guadalupe 2 cuyo coeficiente de determinación es menor al promedio del ajuste de todos los bancos.

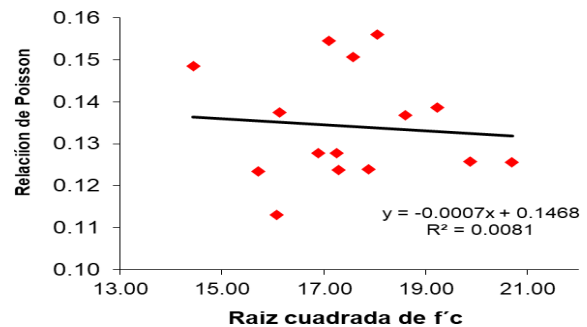


Figura 6. Relación entre los valores de raíz cuadrada de $f'c$ y relación de Poisson de cilindros de mortero hidráulico.

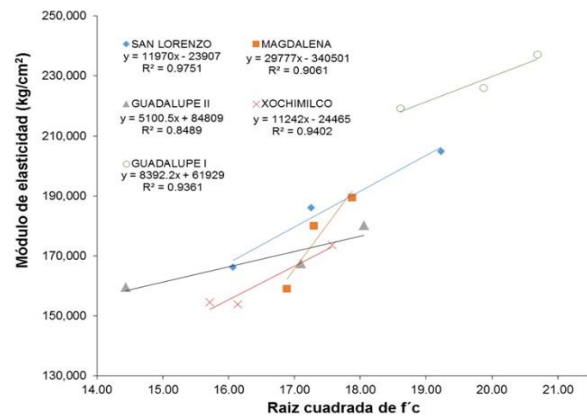


Figura 7. Ajustes lineales de cada banco para la relación entre la raíz cuadrada de $f'c$ y módulo de elasticidad de cilindros de mortero

Como se puede observar en la figura 8, los morteros elaborados con el agregado del banco de Guadalupe I presentan mayores módulos de elasticidad que el resto, esto puede deberse a que presenta una mejor distribución de sus partículas (figura 8) y genera morteros más densos, a diferencia de lo que se observa para los demás bancos.

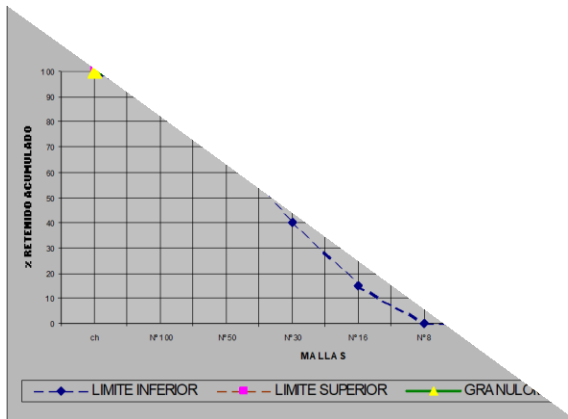


Figura 8. Distribución granulométrica del agregado fino del banco Guadalupe I

Las ecuaciones de ajuste de los diferentes bancos se presentan en la Tabla 3, de donde se puede determinar que las pendientes de los ajustes son más parecidos entre los bancos de Guadalupe I, San Lorenzo y Xochimilco. Las tendencias cambian con el banco de Guadalupe II con una menor pendiente que el promedio y el banco de Xochimilco con una mayor pendiente que el promedio.

Tabla 3. Ecuaciones de los ajustes lineales.

Ba	
Guadalupe I	
Guadalupe II	5,10
San Lorenzo	$11,970\sqrt{f'c}$
Magdalena Apasco	$29,777\sqrt{f'c} - 340$
Xochimilco	$11,242\sqrt{f'c} - 24465$

Si bien los coeficientes de determinación del ajuste mejoran al hacer el análisis de las tendencias de manera individual, se debe considerar un rango mayor en el proporciona miento para determinar una tendencia más clara de la relación entre la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión de morteros y su módulo de elasticidad.

Los resultados obtenidos se pueden emplear para estimar el módulo de elasticidad de morteros con las proporciones propuestas y tener mayor certeza en el diseño de elementos estructurales elaborados con este material para la ciudad de Oaxaca y su zona conurbada dependiendo del banco del cual se obtenga el agregado fino.

CONCLUSIONES

El método de diseño de las curvas y monogramas del Dr. Abrams puede emplearse para el diseño de mezclas de mortero, con las modificaciones que se mencionan en la sección de materiales y método.

Las variaciones de los parámetros físicos del agregado fino entre bancos de material modifican las tendencias en la obtención de una ecuación general que ajuste que relaciona la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del concreto con su módulo de elasticidad.

Una mejor distribución granulométrica del agregado fino mejora el comportamiento mecánico del mortero.

Los resultados de este estudio son importantes para el medio técnico, ya que pueden aplicarse para el diseño de estructuras de ferrocemento, panel W y panel convitec.

Se requiere de mayor investigación que lleven a la determinación de normas que sean aplicables en el diseño de estructuras que empleen al mortero en forma estructural.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional IPN Oaxaca por el apoyo en el uso de equipo e instalaciones para llevar a cabo la presente investigación, así como a los Maestros en Ciencias Valentín Juventino Morales Domínguez y Margarito Ortiz Guzmán por el apoyo y asesoría técnica en el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Centeno, P. E. M., Salazar, R. A. R., Rico, J. A. T., Barragán, P. A. R., & Arjona, S. D. (2015). Evaluación de las propiedades mecánicas de paneles de ferrocemento con agregado fino reciclado. Informador técnico, 79(2), 146-155.
- [2] de Guzmán, D. S. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana.
- [3] GOBIERNO, D. D. F. (2004). Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto (NTC-C). Gaceta Oficial del Distrito Federal. México.
- [4]Hernández Toledo, U. I. (2010). Efecto de una puzolana de desperdicio agrícola y el tiempo de curado en la corrosión del ferrocemento.
- [5] Maldonado García, M. A. (2012). Efecto de la adición de ceniza de bagazo de caña en la microestructura y durabilidad del ferrocemento.

- [6] Mecott Gómez, S. (2007). Vivienda bioclimática con paneles modulares de ferrocemento y materiales aislantes alternativos para la ciudad de Oaxaca, Oax.
- [7] Quimbay Herrera, R. (2012). Estimación del módulo de elasticidad del concreto y del mortero mediante TCTM. Facultad de Ingeniería.
- [8] Rivas, H. W., & Hernández, Y. L. (2014). El uso del ferrocemento en la construcción civil. Experiencia cubana. Revista científica de Arquitectura y Urbanismo, 35(1), 96-101.
- [9] Rosado, O. F. (2017). Aplicación del ferrocemento en la construcción de viviendas. Veritas, 10(1), 39-44.
- [10] Rosell Amigó, J. R., & Rodríguez Cantalapiedra, I. (2011). Método simple para determinar el módulo de Young dinámico a partir de una excitación por impacto, aplicado a morteros de cal y cemento. Materiales de construcción (Madrid), 61(301), 39-48.
- [11] Sánchez, M. A., Molina, W. M., Guzmán, E. M. A., Chávez, H. L., García, C. L. G., Acosta, A. A. T., ... & Ávalos, V. Contribución de fibras pulverizadas de nopal sobre las propiedades mecánicas del mortero de cal, así como su contribución mecánica en muretes de mampostería. Facultad acreditada por CACEI, febrero 2010-2015, 8.
- [12] Santibáñez, R. A. U., & Andrés, R. (2004). Diseño, fabricación y ensayo de vigas con perfil doble "T" de ferrocemento. Universidad Austral de Chile. Valdivia.
- [13] FITZGERALD, Robert W. (1990). Mecánica de los materiales. ed. Alfaomega: México, D. F.
- [14] MAGDALENO, Carlos. (1982). Análisis matricial de estructuras reticulares. Unidad Profesional de Zacatenco: México, D. F.
- [15] WAINSHOK Rivas, Hugo. (1992). Ferrocemento, diseño y construcción. ed. Félix Varela: La Habana, Cuba.

NORMAS

- [16] ONNCCE. (2004). Norma mexicana. NMX C-030-ONNCCE-2004. Industria de la construcción – agregados– muestreo. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C. México.
- [17] ONNCCE. (2013). Norma mexicana. NMX-C-128- ONNCCE-2013. Industria de la construcción – concreto sometido a compresión – determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson. Organismo Nacional de

Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C. México.

- [18] ONNCCE. (2014). Norma mexicana. NMX-C-ONNCCE-083-2014. Industria de la construcción – concreto – determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C. México.
- [19] ONNCCE. (2015), Norma mexicana. NMX C-061-ONNCCE-2016. Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.
- [20] ONNCCE. (2019). Norma mexicana. Norma NMX-C-077- ONNCCE-2019. Industria de la construcción – agregados para concreto – análisis granulométrico – método de prueba. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C. México.

Rol de contribución	Autores
Conceptualización, Metodología, Validación, Análisis Formal, Investigación, Escritura - Preparación del borrador original, Escritura - Revisión y edición	M. C. Samuel Ramírez Arellanes (principal)
Conceptualización, Metodología, Validación, Análisis Formal, Investigación, Escritura - Preparación del borrador original, Escritura - Revisión y edición	Dr. Ramírez Ortiz Arturo Emanuel (igual)
Conceptualización, Metodología, Validación, Análisis Formal, Investigación, Escritura - Preparación del borrador original, Escritura - Revisión y edición	Dr. Cosmes López Mario Fernando (igual)
Escritura - Revisión	Ing. García Carrasco José Luis



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.