

ISSN: 1665-4668



Revista

PAKBAL

Año 18, Agosto 2019 Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Chiapas

latindex

Folio: 23060
www.latindex.org



ingeniería



Puente Clearwater Memorial; Florida, EE.UU

DIRECTORIO

Dr. Carlos Faustino Natarén Nandayapa
Rector de la UNACH

Dra. María Eugenia Culebro Mandujano
Secretaria General-UNACH

Dra. Leticia del Carmen Flores Alfaro
Secretaria Académica-UNACH

CP. Roberto Cárdenas de León
Secretario Administrativo-UNACH

Dr. Manuel Iván Espinosa Gallegos
Director General de Planeación

Dra. María Guadalupe Rodríguez Galván
Directora General de Investigación y Posgrado

Dr. Gonzalo López Aguirre
Director General de Extensión Universitaria

FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Arcadio Zebadúa Sánchez
Encargado de la Dirección

Mtro. Ricardo Gabriel Suárez Gómez
Secretario Académico

COMITÉ CIENTÍFICO EXTERNO

Dra. Gabriela Buendía Abalos
Red de Centros de Investigación en Matemática Educativa A.C.

Dra. Alba Néllida García Beltrán
Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas"

Dra. Sandra Graciela Orlandi
Universidad Nacional de la Patagonia
San Juan Bosco, Argentina

Dr. Pedro Castro Borges
Departamento de Física Aplicada
CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Yucatán

Dr. Carlos Artemio Coello Coello
Departamento de Computación
CINVESTAV-IPN, Zacatenco

Dr. Luis Gil Espert
Universidad Politécnica de Catalunya
Campus Terrassa

Dr. Noé Villegas Flores
Universidad Federal de la Integración Latinoamericana (UNILA)
Foz de Iguazú, Brasil.

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNO

M.I. Juan José Muciño Porras
Ingeniería Hidráulica y Ambiental

M.I. Jorge Alfredo Aguilar Carboney
Prevención de Desastres Naturales

M.I. Fredy Humberto Caballero Rodríguez
Construcción Sustentable

Dr. Hipólito Hernández Pérez
Desarrollo y Didáctica de la Matemática Educativa

Dr. Hugo Alejandro Guillén Trujillo
Centro de Eco tecnologías y Desarrollo Sustentable

Dra. Daisy Escobar Castillejos
Coordinadora de Investigación y Posgrado de la Facultad

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Arcadio Zebadúa Sánchez
Dr. José Alonso Figueroa Gallegos
LCC. Marcela Aguilar Aquino

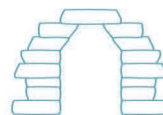
Dr. José Alonso Figueroa Gallegos
Director de la Revista

LCC. Marcela Aguilar Aquino
L.C. Miguel Alejandro Espino Guzmán
Departamento Editorial

LCC. Marcela Aguilar Aquino
Formación y Diseño Editorial

CONTENIDO

Editorial	3
Sumario	4
Estudio de morteros con uso de vidrio molido como sustituto parcial de agregado fino <i>Pérez R.I, Martínez- Camacho J.A, Hernández Cruz D., Godínez Domínguez E.A.</i>	5
Vulnerabilidad sísmica de los edificios del centro histórico de Tuxtla Gutiérrez <i>Ruiz Sibaja, J.A, Vidal Sánchez, F., Rodríguez Troyano, E., Santos Hernández, J.F.</i>	12
Desarrollo histórico del vector como obstáculo epistemológico de los procesos didácticos <i>Ortiz y Ojeda Pedro, Sánchez Iturbe Patricia G., Guadalupe O. Pedro A.</i>	20
Estructuras de concreto en zonas costeras usando barras de polímero reforzados con fibra de vidrio <i>Sánchez Hernández Juan A.</i>	26
La problemática del agua en la comunidad de Santa Martha, municipio de Berriozábal Chiapas: alternativas de solución <i>Mundo M. Martín D. , Pérez D José L.</i>	33



Publicación financiada con recursos PFCE-2019

Foto portada:

pxhere.com/es/photo/653976

EDITORIAL

Estimados Lectores..



Nos es grato presentar el número 45 de la Revista Pakbal, edición continua desde el año 2004 de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

Con este número continuamos las publicaciones del presente ciclo lectivo 2019, con el beneplácito del trabajo que estamos realizando, para que la revista logre alcanzar los estándares de calidad requeridos en publicaciones académicas de esta naturaleza, en beneficio de la comunidad universitaria y de la sociedad en general.

Los invitamos a seguir participando en esta publicación institucional con sus colaboraciones para dar a conocer los trabajos llevados a cabo por docentes e investigadores.

Los Editores

ESTUDIO DE MORTEROS CON USO DE VIDRIO MOLIDO COMO SUSTITUTO PARCIAL DE AGREGADO FINO

STUDY OF RECYCLED GROUND GLASS AS PARTIAL SUBSTITUTE OF FINE AGGREGATE IN MORTARS

Pérez-Pimentel R.I., Martínez-Camacho J.A., Hernández-Cruz D., Godínez- Domínguez E.A.

5

En el presente trabajo se propone el empleo de vidrio reciclado y molido de tonalidades blanca y ámbar como reemplazo de agregado fino en mortero base cemento portland, con porcentajes del 10%, 15% y 20%, y con una relación agua-cemento de 0.53 y se analiza el comportamiento mecánico de probetas, mediante pruebas de resistencia a la compresión.

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS EDIFICIOS DEL CENTRO HISTÓRICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MEXICO

SEISMIC VULNERABILITY OF EXISTING BUILDINGS IN THE HISTORIC DOWNTOWN OF TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MEXICO

Ruiz Sibaja, J. A., Vidal Sánchez, F., Rodríguez Troyano, E.², Santos Hernández, J. F.

12

Se presenta el análisis y resultados de la caracterización tipológica de 1942 edificaciones del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas aplicando la metodología EMS.

Los resultados señalan que una cuarta parte de las estructuras evaluadas necesitan medidas de refuerzo o su renovación y aconsejan un estudio de la vulnerabilidad en el resto de la ciudad para realizar un diagnóstico más completo que sea útil para la prevención de daños y la gestión de la emergencia sísmica.

DESARROLLO HISTÓRICO DEL VECTOR COMO OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO DE LOS PROCESOS DIDÁCTICOS

HISTORICAL DEVELOPMENT OF THE VECTOR AS AN EPISTEMOLOGICAL OBSTACLE OF DIDACTIC PROCESSES

Ortiz y Ojeda Pedro T. , Sánchez Iturbe Patricia Gpe., Guadalupe Ortiz Pedro A.

20

En este artículo se analizan algunas posturas epistemológicas y su relación en la construcción del concepto de vector, para ubicarlo dentro de la didáctica de las matemáticas. El desarrollo de un concepto matemático se inicia con su génesis, para después evolucionar con avances y retrocesos, este proceso permite entrever los elementos que forman la estructura epistemológica y lo que constituye un obstáculo para el aprendizaje que se desarrolla como un conocimiento lineal y secuenciado.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN ZONAS COSTERAS USANDO BARRAS DE POLÍMERO REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO

CONCRETE STRUCTURES IN COASTAL AREAS USING REINFORCED POLYMER BARS WITH GLASS FIBER

Sánchez Hernández J. A.

26

El presente trabajo, incluyen un resumen de diversas investigaciones en torno a la durabilidad del material y un comparativo de costos de elementos estructurales comunes en edificaciones habitacionales (las dalas y castillos) que muestran sus beneficios y competitividad.

LA PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN LA COMUNIDAD DE SANTA MARTHA, MUNICIPIO DE BERRIOZÁBAL CHIAPAS: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

ALTERNATIVE SOLUTIONS OF THE LACK WATER ON SANTA MARTHA IN BERRIOZABAL, CHIAPAS

Mundo Molina Martín D., Pérez Díaz José L.

33

En este artículo, se analizaron cuatro alternativas de solución para el suministro de agua a la comunidad de Santa Martha: 1. Diseño de una línea de conducción con una red abierta de agua potable, 2. Extracción de agua a través de un pozo profundo, 3. Colección de agua de niebla y 4. Colección de agua de Lluvia, mostrando que esta última es la más factible desde el punto de vista técnico y económico.

ESTUDIO DE MORTEROS CON USO DE VIDRIO MOLIDO COMO SUSTITUTO PARCIAL DE AGREGADO FINO

STUDY OF RECYCLED GROUND GLASS AS PARTIAL SUBSTITUTE OF FINE AGGREGATE IN MORTARS

Pérez-Pimentel R.I.¹, Martínez-Camacho J.A.¹, Hernández-Cruz D.²,
Godínez-Domínguez E.A.²

RESUMEN

En este artículo, se propone el empleo de vidrio reciclado y molido de tonalidades blanca y ámbar como reemplazo de agregado fino en mortero base cemento portland, con porcentajes del 10%, 15% y 20%, y con una relación agua-cemento de 0.53. Se analiza el comportamiento mecánico de probetas, mediante pruebas de resistencia a la compresión. Además, se realizaron análisis por Difracción de Rayos X (DRX) en algunos componentes utilizados, para conocer la estructura cristalina, la morfología y la composición de los materiales. La incorporación del vidrio molido incrementa, en general, hasta en un 27% en promedio, el valor de la resistencia a la compresión, principalmente utilizando porcentajes entre el 15% y 20%, comparado con el espécimen de control. Por el incremento observado en la resistencia mecánica, se considera que estas mezclas podrían emplearse en procesos constructivos, como mortero para pegue de piezas de mampostería y para la elaboración de bloques.

Palabras clave: Residuos sólidos, vidrio molido, mortero, resistencia a la compresión.

ABSTRACT

In this paper the authors summarize the results of a study devoted to show the effect of

using recycled ground glass both, white (transparent) and amber as replacement of fine aggregate in mortar, using percentages of replacement of 10%, 15% and 20%, with water-cement ratio of 0.53. Compressive strength test was carried out. Besides, X-Ray Diffraction (XRD) were also performed, in order to identify the crystal structure, the morphology and composition of the materials. The replacement of the ground glass, in general, increases the compressive strength of mortars mixtures in 27% in average, when percentages between 15% and 20% of glass replacement are used, compared to the control specimen results. Based these results, mortar mixes with recycled ground glass, as fine aggregate replacement, could be use as joint of blocks of simple masonry building houses, to fabricate blocks, due to the increment in compressive strength values obtained.

Keywords: Solid waste, ground glass, mortar, compressive strength.

INTRODUCCIÓN

La industria del vidrio y el cemento se han enfrentado a diversos desafíos como el aumento del costo de los combustibles, el uso de mayor energía, las necesidades para reducir la enorme cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente las emisiones de CO₂ y el suministro de las materias primas en cantidades y calidades suficientes.

Recientemente se estimó que el consumo de energía de la industria del cemento aumentó entre el 12% y 15%. Además, la producción de cada tonelada de clinker de cemento consume entre 1.5 y 1.7 toneladas de las materias primas. Como ejemplo, la industria cementera China consume anualmente alrededor de 1,500 millones de toneladas de piedra caliza y arcilla (Yahya et al. 2014). En 2011, fue el país líder en la producción mundial, como se muestra en la Figura 1.

¹ Estudiante de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas

² Profesor-Investigador, Facultad de Ingeniería- Universidad Autónoma de Chiapas

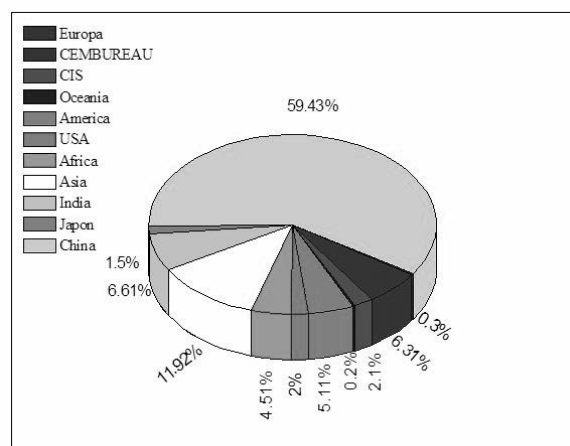


Figura 1. Esgurrimientos en la presa La Angostura (SRGHC, 2017)

De acuerdo con Yahya et al. (2014), la emisión global de CO₂ aumentará en más del 50% para el año 2030 debido al aumento en la tasa de producción anual de cemento. Es decir, se espera que la producción anual de cemento mundialmente aumente a unos 4,000 millones de toneladas por año (Schneider et al. 2011). Por lo que se tiene que buscar un mecanismo para la disminución en la generación de CO₂ por la industria cementera, el cual puede ser sustituyendo o reemplazando este producto, con otros materiales que tengan propiedades similares.

Además, estas emisiones de CO₂ son también generadas por el transporte de las extracciones de agregados pétreos (arena o grava) que está repercutiendo gravemente en los ríos, ecosistemas costeros y marinos, así como las montañas de varias localidades, provocando entre otras, la pérdida de tierras por erosión, la disminución de los niveles freáticos, la reducción del suministro de sedimentos, cambios en los patrones climáticos al no contar con las barreras naturales que representan los cerros, por ejemplo, contra corrientes de viento.

Por otra parte, refiriéndose a la industria del vidrio, se puede tener una ventaja, pues se considera teóricamente que, se puede reciclar infinitamente sin perder ninguna de sus propiedades químicas (Schneider et al. 2011), sin embargo, después de ser recogido de la corriente de residuos domésticos son de color mixto, dando como resultado impurezas y contaminantes que pueden afectar las propiedades de la nueva producción de vidrio (Bian, 2003).

Debido a los volúmenes de desechos y los crecientes costos de disposición y reducción, se ha dado

lugar a una tendencia definitiva hacia el reciclaje o el uso de una amplia variedad de materiales de desecho sólido (Tam et al. 2006). De esta manera, se propone el uso de material de desecho sólido, vidrio, que podría reducir en cierta medida la emisión de CO₂, entre un 5% y un 20%, dependiendo del porcentaje de reemplazo de vidrio como agregado fino, de acuerdo a Yahya et al. (2014). Mohjarani et al. (2017), además de que abordan este tema, también enfatizan el hecho en la controversia o contradicción de diversos autores respecto a los distintos resultados que presentan, ya sea por el efecto del tamaño de partícula del vidrio, por el tipo de vidrio (tonalidad y fuente de obtención) o por las reacciones físico-químicas que no se conocen en su totalidad. Pese a todo esto, valoran el uso de vidrio reciclado como sustituto de agregados finos para mejorar las propiedades de los morteros, concretos o asfaltos.

Por lo anterior, en este trabajo se busca identificar el efecto de la variación del porcentaje de vidrio a emplear en morteros, como remplazo de agregado fino (arena), evaluando su eficiencia mediante pruebas de resistencia mecánica en que se obtiene como parámetro básico la resistencia a compresión simple (f'c).

MÉTODO

Materiales

Los agregados pétreos empleados para la elaboración de los morteros, como la arena, cumplen con las especificaciones de la norma NMX C 111 ONNCCE 2014. En este caso, la granulometría se determinó con base en el procedimiento establecido en la norma NMX C 077 ONNCCE 1997.

Se utilizó vidrio de botellas trituradas, de tonalidad blanca (transparente) y ámbar. Del pulverizado, se obtuvieron partícula de entre 25 µm a 250 µm, después de ser tamizado con una malla #60. Para el pulverizado se utilizó un molino planetario de bolas de la marca Retsch modelo PM 400/2, con una velocidad de 200 revoluciones/min en un tiempo de 5 minutos.

Se empleó cemento Portland compuesto (CPC) tipo II 30R RS, de la marca Cemex, que cumple con las especificaciones de la norma NMX C 414 ONNCCE 2015 de México y la ASTM C 595 de los Estados Unidos de Norteamericana.

Elaboración de probetas

Se empleó la norma ASTM C 270 para elaborar el diseño de mortero con resistencia mínima a compresión simple ($f'c$) a 28 días de 176 kg/cm².

Los morteros fueron colados en moldes cúbicos de 5 cm x 5 cm x 5 cm, de acuerdo a la norma ASTM C 109. El proceso de curado cumple con la norma NMX C 148. Para monitorear la temperatura y humedad de las probetas de mortero se empleó un dispositivo arduino, con el sensor DHT 11, para realizar el registro de dichos parámetros, que en promedio indicaba 29°C, con 98% de humedad.

Difracción de rayos X (DRX)

Para los análisis de composición de los materiales se empleó un difractómetro de Rayos X RIGAKU, modelo Smartlab (con un emisor de Cu α), el voltaje y la corriente empleados para las mediciones fue de 40 Kv y 44 con un modo de operación de $\theta/2\theta$.

De acuerdo al difractograma mostrado en la figura 2, se confirma que la naturaleza del vidrio es amorfa, tanto para el de tonalidad ámbar, como para el de tonalidad blanco (transparente). Mientras tanto, en la figura 3 se muestra el difractograma de la arena, la cual está formada principalmente por silicatos: Albita ordenada (Na Al Si₃ O₈), Microclina (K (Al Si₃ O₈)) y Cuarzo (Si O₂). Por otra parte, en la figura 4 se muestra el difractograma del Cemento tipo II, se observa el alto contenido de silicatos cálcicos.

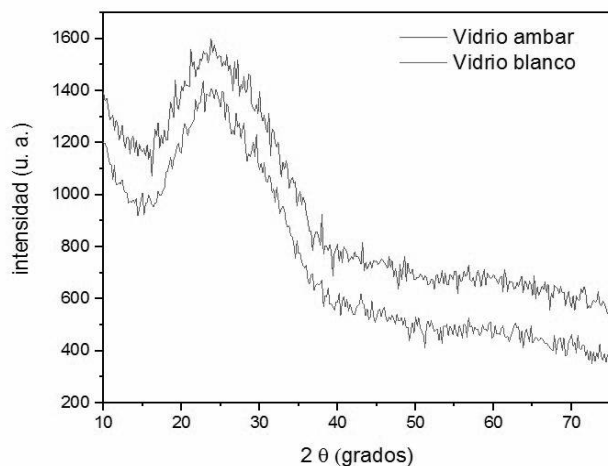


Figura 2. Difractograma del vidrio de tonalidad ámbar y blanco (transparente). Fuente: Elaboración propia.

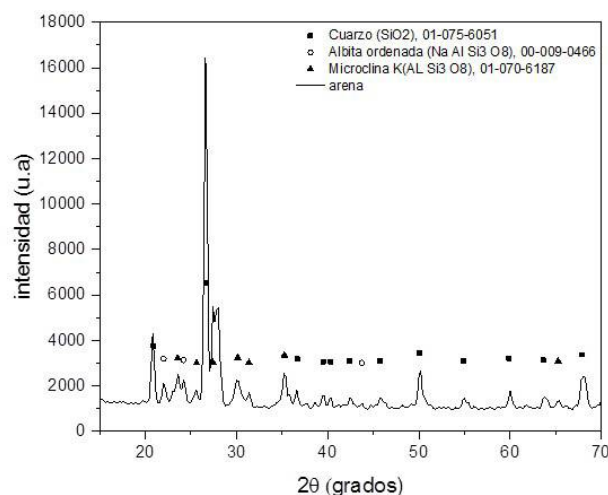


Figura 3. Difractograma del árido (arena). Fuente: Elaboración propia.

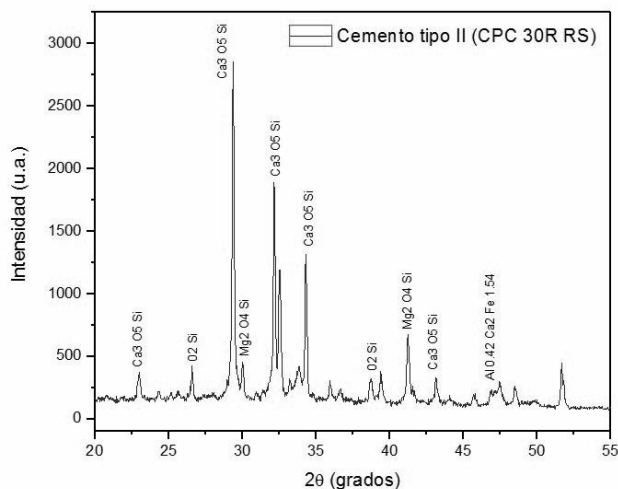


Figura 4. Difractograma del cemento tipo II (CPC 30R RSS). Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1, se presenta, únicamente como referencia, la composición química de dos tipos o tonalidades de vidrio reportados por Yahya et al. (2014), semejantes a los empleados en este estudio. Mientras, en la Tabla 2, se muestra la composición química típica del cemento tipo II (reportada por Cemex, concretos). En ambos casos, la composición fue obtenida por medio de espectroscopia de fluorescencia de Rayos-X (XRF).

Tabla 1. Composición química del vidrio ámbar y blanco, obtenida por XRF.

Composición	Vidrio Blanco	Vidrio Ámbar
	% Peso	% Peso
SiO ₂	72.42	72.21
Al ₂ O ₃	1.44	1.37
CaO	11.5	11.57
Fe ₂ O ₃	0.07	0.36
MgO	0.32	0.46
Na ₂ O	13.64	13.75
K ₂ O	0.35	0.20
SO ₃	0.21	0.10
TiO ₂	0.035	0.041

Fuente: Yahya et al 2014

Microscopía electrónica de Barrido (SEM)

Las imágenes y caracterizaciones de los elementos de las muestras fueron tomadas con un microscopio de alta resolución Marca SU5000 con el sistema MonoCL4 principal de CL. Las muestras en polvo de vidrio fueron montadas sobre cinta de carbón, en un porta muestras de aluminio.

Tabla 2. Composición de óxidos en un Cemento Portland, obtenida por XRF.

Oxido	% Peso
CaO	63.00
SiO ₂	22.00
Al ₂ O ₃	6.00
Fe ₂ O ₃	2.50
MgO	2.60
K ₂ O	0.60
Na ₂ O	0.30
SO ₃	2.00

Fuente: Cemex, concretos

RESULTADOS

El tamaño de partícula del vidrio desempeña un papel de gran relevancia en las reacciones y rendimiento del mortero, en cuanto más fino sea el vidrio mayor es su actividad puzolánica (Caijun et al. 2004), la reacción álcali-sílice (ARS) podría aumentar de acuerdo al tamaño de partícula empleada (Yahya et al. 2014), la resistencia a compresión simple puede aumentar o disminuir de acuerdo al porcentaje de sustitución y tamaño de partícula del agregado fino (Ling et al. 2013).

En este caso y de acuerdo a lo reportado en la figura 5, podría tenerse el efecto como puzolana (por el porcentaje de finos incluido menor a 75 micras) o

como agregado pétreo (arena), según el tamaño de partícula observado, entre 25 μm a 250 μm . Estos valores concuerdan con el tamaño de partícula que deja pasar la malla #60, utilizada para realizar el tamizado.

Como referencia de la morfología típica del cemento tipo II (CPC 30R RS), la figura 6 muestra una micrografía obtenida por Tescan Orsay Holding S.A., en la que se observan partículas finas, medianas y grandes, con formas angulosas e indefinidas no hidratadas.

Para realizar el diseño del mortero se empleó la norma ASTM C 270 (Especificaciones para morteros de mampostería). La tabla 3 presenta el respectivo diseño de mortero, en donde se utilizó una relación agua/cemento de 0.53.

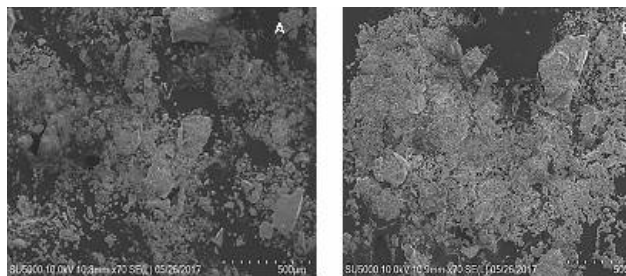


Figura 5. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de vidrio ámbar (izquierda) y blanco (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

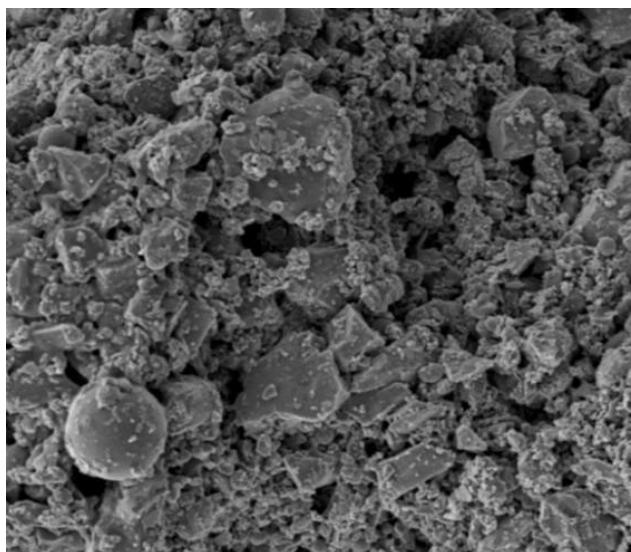


Figura 6. Imagen de microscopía electrónica de barrido del cemento tipo II (CPC 30R RS) no hidratada.

Fuente: Tescan Orsay Holding S.A.

Tabla 3. Diseño de mortero

	Agua	Cemento	Agregado Fino
Masa (kg/m ³)	278.77	530	1433.88
Mat. A usar (gr)	345.11	656.14	1775.14
Proporciones	0.53	1	2.7

En la prueba mecánica de resistencia a compresión simple (f'_c) las probetas cumplieron con los diagramas de falla especificados (Figura 7) de la norma NMX C 083, esto indica que la carga aplicada fue uniforme.

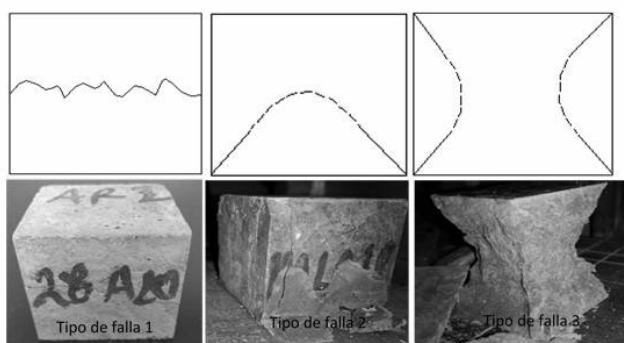


Figura 7. Tipos de falla de las probetas ensayadas, falla 1, falla 2 y falla 3. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 8 y 9 se ilustran los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia mecánica a la compresión simple a los 7, 14 y 28 días, de los dos tipos o tonalidades de vidrio (blanco y ámbar) que sustituyen de forma parcial al agregado fino en diferentes porcentajes (10%, 15% y 20%).

Se puede apreciar que las probetas ensayadas superan la resistencia mínima del mortero convencional, y que conforme aumenta el porcentaje de vidrio, la resistencia a compresión simple incrementa.

CONCLUSIÓN

Basándose en los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas, y observaciones físicas, se puede concluir que el uso de vidrio molido reciclado en la construcción es viable y positivo, ya que se obtuvieron valores de resistencia mecánica prometedores, que ofrecen una solución para reducir diversos desafíos que actualmente enfrenta la industria de la

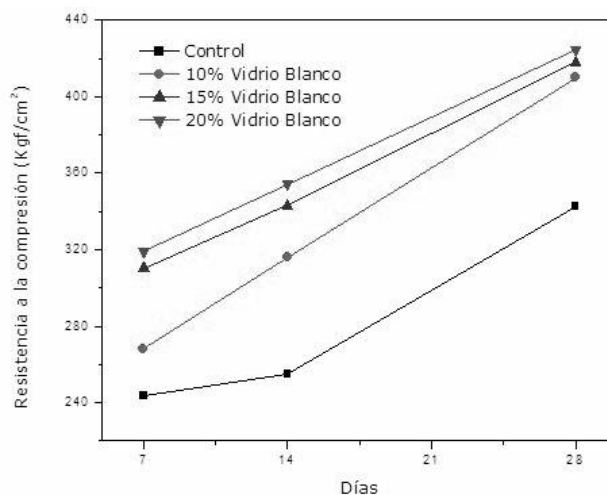


Figura 8. Gráficas de resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días para probetas con vidrio blanco y control. Fuente: Elaboración propia.

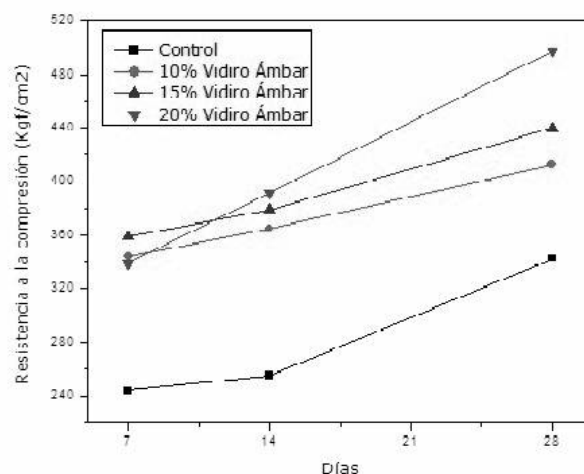


Figura 9. Gráficas de resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días para probetas con vidrio ámbar y control. Fuente: Elaboración propia.

construcción, reducir contaminantes (generación de CO₂), reducción en la explotación de bancos de materiales proyectándose hacia una construcción sustentable, mediante el uso de dichos residuos sólidos. Es importante aclarar que es necesario verificar otras variables físicas que influyen en el comportamiento de los morteros al momento de emplearse con fines estructurales, uno de ellos la absorción.

En cuanto a los resultados de las mezclas de mortero cuyos áridos (arena) se sustituyeron en diferentes porcentajes con vidrio molido con el 10%, 15% y 20% en las dos tonalidades, con una relación agua-

cemento de 0.53, se encontró que superan los valores de resistencia a compresión simple al mortero convencional (o espécimen de control) a los 7, 14 y 28 días, para las probetas con vidrio blanco se obtuvieron incrementos de 19.76%, 22.05% y 23.89% y con vidrio ámbar de 20.49%, 28.35% y 45.36% respectivamente, lo cual indica que no solo puede ser utilizado para juntas entre piezas de mampostería, como se propone, sino que su uso puede ampliarse para la fabricación de blocks y revestimiento de muros. Aunque la mezcla es poco trabajable, no se utilizó ningún aditivo para mejorar la fluidez.

Cabe aclarar que, cuando se utiliza el polvo de vidrio ámbar, hay mayor incremento de resistencia a la compresión a los 28 días, sin embargo, el aumento de dicha resistencia no es lineal para los tres porcentajes de sustitución, esto puede deberse a la composición misma del vidrio, pues podría retardar la reacción química entre los 7 y 28 días, para un 15% de reemplazo, mientras que para el 20%, el incremento es sustancial.

Aunque en este artículo se muestra que el reúso de los residuos sólidos utilizados como sustitutos de agregados finos en morteros convencionales es prometedor, debido a los porcentajes de incremento de la resistencia mecánica; se necesitan realizar pruebas de carbonatación, expansión (reacción alkali-silice, ASR), intemperismo (temperatura, humedad y exposición UV) y degradación, para conocer cómo estos factores afectan la durabilidad de la probeta bajo estudio, principalmente para su uso en concretos, tal y como lo discute Mohajerani et al. (2017). Este trabajo se encuentra en proceso y se presentará en futuras contribuciones.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Ariadna Trujillo Estrada, Dra. Marina Vlasova, Dr. Pedro A. Marquez Aguilar, del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), por sus valiosos comentarios al trabajo realizado. Al Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (sede UNACH), en convenio con el Laboratorio de materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, contando con el apoyo del Dr. Eddy González García y la M.I. Nguyen Molina Narváez e Ing. José Alfredo Gómez

Rodríguez. Al laboratorio de concreto de la empresa GEORTEC S.A. DE C.V., por permitir el uso de sus instalaciones y equipo. Al M.I. Enrique Mario De Coss Gómez por sus valiosos comentarios. A la Mtra. Edith Ponce Recino del CIDTER-UPChiapas, por su apoyo en la realización de los análisis de DRX.

REFERENCIAS

- ASTM C 109/C109M-16a (2019) Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or 50mm cube specimens)
- ASTM C 595/C595M-19 (2019) Standard specification for blended hydraulic cements
- ASTM C 270-19a (2019) Standard specification for mortar for unit masonry
- Caijun, S., Yanzhong, W., Riefler, C., & Wang, H. (2005). Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders. *Cement and concrete research*, 35, 987-993.
- Cemex concretos, Concreto (S.F). Manual del constructor: <https://www.cemexmexico.com/documents/27057941/45587277/aplicaciones-manual-construccion-general.pdf/772d227d-d168-efc4-a2e3-86ba78c80cb4>
- Ling, T., Poon C. (2013). Management and recycling of waste glass in concrete products: Current situation in Hong Kong. *Resources, conservation and recycling*, 70, 25-31.
- Mohajerani, A., Vajna, J., Homan Cheung, T.H., Kurmus, H., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S. (2017). Practical recycling applications of crushed waste in construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 156, 443-467
- NMX C 077 ONNCCE (1997). Industria de la construcción. Agregados para concreto análisis granulométrico, métodos de prueba.
- NMX C 083 (2002) Industria de la construcción. Determinación de la resistencia a la compresión de probetas, método de ensayo.
- NMX C 111 ONNCCE (2014). Industria de la construcción. Agregados para concreto hidráulico, especificaciones y método de ensayo.
- NMX C 414 ONNCCE (2015). Industria de la construcción cementantes hidráulicos especificaciones y métodos de ensayo.
- NMX C 148 ONNCCE (2002). Industria de la construcción cementos hidráulicos. Gabinetes y cuartos húmedos y tanques de almacenamiento para curado de probetas de mortero y concreto de cementante hidráulicos.
- Sanjuán, M., & Chichón, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland. Universidad de Alicante. Editorial Unión de editoriales universitarias españolas (UNE).
- Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., & Bolio, H. (2011). Sustainable cement production-present and future. *Cement and concrete Research*, 41(7), 642-650.
- Tam, V., & Tam, C. (2006). A review on the viable Technology for construction waste recycling. *Resources, Conservation on Recycling*, 47, 29-221.
- Tescan Orsay Holding A.S., (S.F). PERFORMANCE IN NANOSPACE. SEM in the cement industry. Application Example: http://library.tescan.com/attachments/article/96/AE_160317_SEM-in-Cement-Industry-sub.pdf
- Yahya, J., & Hogland, W. (2014). Waste glass in the production of cement and concrete - A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1767-1775.

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS EDIFICIOS DEL CENTRO HISTÓRICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MEXICO

SEISMIC VULNERABILITY OF EXISTING BUILDINGS IN THE HISTORIC DOWNTOWN OF TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MEXICO

Ruiz Sibaja, J. A.¹, Vidal Sánchez, F.², Rodríguez Troyano, E.², Santos Hernández, J. F.¹

RESUMEN

La caracterización tipológica de 1942 edificaciones del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas se ha estimado con el criterio de la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98). Los resultados del análisis tipológico muestran que la gran mayoría (91.81 %) de las edificaciones son de mampostería de adobe, ladrillos o bloques, la mayoría 78.26 % de ellas con diafragma rígido (la mitad de estas son estructuras confinadas) y el resto flexible. Un 7.93 % son estructuras de pórticos de concreto reforzado CR (1/3 con buen diseño sismorresistente pero no las restantes) y un 0.26 % de acero. Los resultados aplicando la metodología EMS indican que una cuarta parte de las edificaciones analizadas son de vulnerabilidad muy alta (clase A, 15.75 %) y alta (10.04 %, clase B), que la mayoría (64.41 %) son de vulnerabilidad media (clase C) y solo el 10.0% del total tienen vulnerabilidad baja o muy baja (9.22% clase D, 0.62% clase E y 0.21% clase F). Los resultados señalan que una cuarta parte de las estructuras eva-

luadas necesitan medidas de refuerzo o su renovación y aconsejan un estudio de la vulnerabilidad en el resto de la ciudad para realizar un diagnóstico más completo que sea útil para la prevención de daños y la gestión de la emergencia sísmica.

Palabras clave: vulnerabilidad sísmica, método tipológico, evaluación estructural, centros históricos, Tuxtla Gutiérrez.

ABSTRACT

Typological characterization and seismic vulnerability of 1942 buildings in the Historic Downtown of Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, have been estimated with the criteria of the European macroseismic scale (EMS-98) and by the seismic vulnerability index method (VIM). Typological analysis results show that the vast majority (91.81%) are masonry buildings of adobe, bricks or blocks, most of them 78.26% with rigid diaphragm (half of these are confined structures) and flexible ones the rest. A 7.93% are RC frames structures (1/3 with good seismic design but not the rest) and 0.26% steel. The results using EMS methodology indicate that a quarter of the analyzed buildings have very high (A, 15.75%) and high vulnerability (10.04%, class B), the majority (64.41%) have medium vulnerability (class C) and only 10.0% of the total have low or very low vulnerability (9.22% class D, 0.62% class E and 0.21% class F). The results indicate that a quarter of the evaluated structures need reinforcement measures or their renewal. In addition, a study in the rest of the city would provide a more complete vulnerability diagnosis for earthquake damage prevention and seismic emergency planning.

Keywords: Seismic vulnerability, typological method, structural assesment, historic city centres, Tuxtla Gutierrez.

¹ Profesor, Facultad de Ingeniería, Campus I, Universidad Autónoma de Chiapas, Boulevard Belisario Domínguez Km. 1081, Del. Terán, 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (México), Tel. (+52) 961.61.780.00, ext. 1560, Fax. (+52) 961.61.503.22, ext. 206, Email: ruizsibaja@gmail.com, jsantos@unach.mx

² Investigador, Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, Universidad de Granada (España), C/ Profesor Clavera Nº 12, 18071, Granada (España), Tel. (+34) 958.24.35.56, Fax (+34) 958.16.09.07, fvidal@ugr.es, evilla95969@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se aplica un método empírico de evaluación de la vulnerabilidad sísmica: el basado en la Escala de Intensidad Macrosísmica Europea EMS-98 (Grünthal, 1998), que denominaremos MEMS. Este es un método simple que asigna clases de vulnerabilidad EMS a los edificios considerando fundamentalmente su tipología constructiva, el material predominante usado en la construcción del sistema resistente, y factores modificadores de la vulnerabilidad como: calidad de la construcción, estado de preservación, regularidad, reforzamiento y el nivel de diseño sísmorresistente. El presente estudio, se basa en una inspección y clasificación detallada de las 1942 edificaciones pertenecientes al Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez, para evaluar su vulnerabilidad sísmica con el método mencionado y analizar la distribución espacial de dicha vulnerabilidad en esta parte de la ciudad.

DATOS

Las 1942 edificaciones estudiadas pertenecen a las 84 manzanas del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez mostradas en la Figura 1. La zona abarca un área aproximada de 80 hectáreas. Las edificaciones son de diversas tipologías estructurales, desde mura-rias de adobe, ladrillo o bloques, hasta estructuras de concreto reforzado y de acero. En la Figura 2 se muestran dos ejemplos de estructuras.

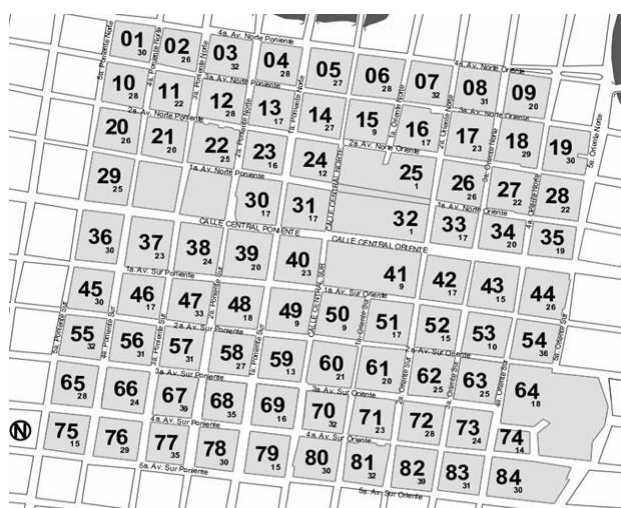


Figura 1. Ubicación de las 84 manzanas del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez (1942 edificaciones) analizadas en este estudio. La cifra grande indica la numeración asignada a cada manzana y la pequeña el número de edificios que hay en ella.

Para recoger de forma organizada, sencilla y relativamente rápida la información estructural relevante y el estado de las edificaciones se confeccionó una ficha técnica. En ella se incluyeron las características principales de los edificios considerando cuatro aspectos:

-*Información general de la edificación:* ubicación, número de plantas y de sótanos, fecha de la construcción, uso, ocupación, instalaciones, etc.

-*Características de los elementos estructurales y no estructurales:* tipo de estructura, sistema de piso, tipo y pendiente del terreno, cimentación, elementos no estructurales, otros elementos, etc.

-*Otros datos relacionados con la vulnerabilidad, según sean estructuras de mampostería o de concreto reforzado:* nivel de código sísmico, número de pisos, irregularidad en planta o en altura, ubicación dentro de la manzana, juntas sísmicas, edad, información sobre el grado de deterioro, etc.

-*Observaciones e información fotográfica:* donde se muestran imágenes generales y de detalles de la estructura y de su estado que serían difíciles de describir en el formulario, mostrando, en su caso, la gravedad de los problemas observables y anotaciones correspondientes a otros factores relevantes para la estimación de la vulnerabilidad.

Después de registrar en las fichas técnicas las características de cada una de las 1942 edificaciones investigadas in situ, éstas se agruparon de acuerdo con su uso, ubicación en la manzana (y relación con colindantes) y sus características estructurales: tipo de material de construcción (mampostería de adobe, ladrillo o bloques, concreto reforzado y acero), cimentación y sistema de piso-techo, de modo que fuese más fácil evaluar su vulnerabilidad final con el método MEMS, que se describe a continuación.



Figura 2. Ejemplos de dos de los edificios analizados, estructura muraria de ladrillo (izquierda) y de marcos de CR con cerramientos de ladrillo (derecha).

ALTURA DE LOS EDIFICIOS DEL CENTRO HISTÓRICO

Gran parte de las edificaciones del Centro Histórico de Tuxtla (1569 edificaciones o el 81.22 % del total) de la zona estudiada son de uno o dos niveles (de baja altura), tal como se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 3. Puesto que la baja altura de los edificios de mampostería es uno de los factores fundamentales en su resistencia a los terremotos, es muy probable que, de forma empírica los habitantes de Tuxtla Gutiérrez hayan aprendido a limitar la altura de sus edificaciones.

Tabla 1. Clasificación de edificaciones por número de niveles.

Nº Niveles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Edificaciones	842	727	235	71	45	15	2	3	1	1

En recientes estudios se ha encontrado que los periodos de las edificaciones de mampostería (entre uno y cuatro niveles) del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez, son cercanos a los periodos predominantes del suelo, lo que podría explicar la concentración de los daños observados en los terremotos de 1995 y 2011 (González Herrera et al., 2014). Esta situación puede incrementar la vulnerabilidad individual de estos edificios, dado que podría presentarse el fenómeno de resonancia suelo-estructura ante eventos sísmicos.

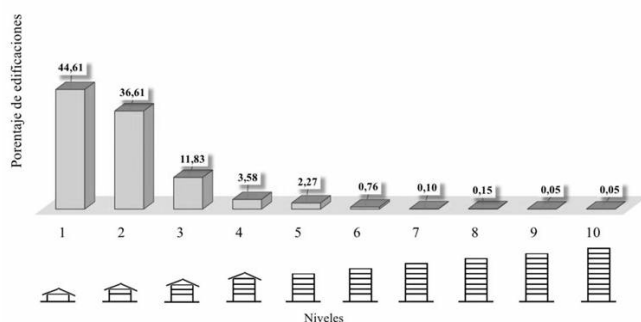


Figura 3. Porcentajes de edificaciones por número de niveles. La gran mayoría de las edificaciones son de baja altura y media altura (1, 2 o 3 plantas).

EDAD DE LAS EDIFICACIONES

La edad de las construcciones está relacionada de forma directa con algunos de los daños observados en los sismos, e incide en la capacidad resistente de una estructura. De manera general, una estructura “vieja” normalmente ha sufrido daño por sismo, presenta deterioro por falta de mantenimiento y se ha diseñado con reglamentos antiguos. En los edificios de mampostería el deterioro de los ladrillos y/o del mortero causado por el desgaste debido a factores meteorológicos con el paso de los años, merma su comportamiento resistente frente a acciones tanto verticales como horizontales. En la Figura 4 se representa la edad media de los edificios de las manzanas del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez.

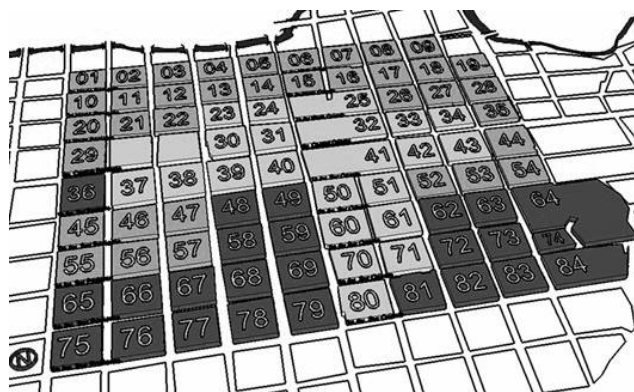


Figura 4. Edad media de los edificios de cada manzana del Centro Histórico. Las que tienen entre 40 y 30 años (con edificios más antiguos) se muestran en verde oscuro, entre 30 y 20 años en verde oliva y donde están las más recientes, menos de 20 años en verde claro.

TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS ENCONTRADAS

La mayor parte de las edificaciones en el Centro Histórico de Tuxtla (91.81% del total) son de mampostería de ladrillo, de bloque de concreto o de adobe; el 7.93% de las edificaciones restantes son de concreto reforzado CR (con o sin diseño sismorresistente DSR) y únicamente el 0.26% son de acero estructural (Figura 5). No se encontraron estructuras de madera.

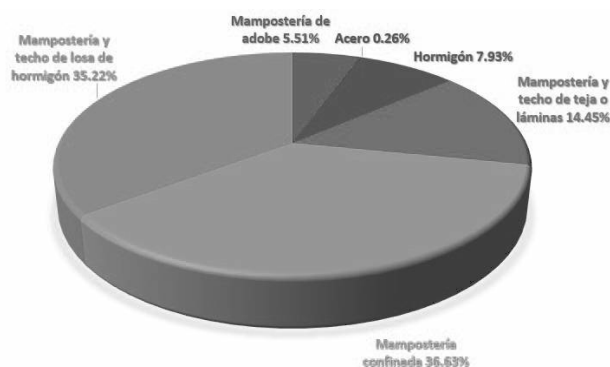


Figura 5. Reparto de las distintas tipologías constructivas del Centro Histórico de Tuxtla.

Las construcciones de adobe (un 5.51% del total) son las menos abundantes de mampostería, son generalmente de planta rectangular, muros altos (dimensiones más comunes de $5 \times 8 \times 4$ m3), con techo de teja, lámina de zinc, lámina de asbesto o losa de hormigón y con pocas y pequeñas aberturas para puertas y ventanas. Ruiz-Sibaja y Vidal (2015) comprobaron, con ensayos en laboratorio, que las piezas de adobe de la zona eran de cierta calidad, con una resistencia a compresión simple de 18.64 kg/cm^2 (mayor que 16.31 kg/cm^2 indicada por Rotondaro y Patrone, 2009), una resistencia a flexión de 2.11 kg/cm^2 , y una resistencia a compresión de las pilas de 5.36 kg/cm^2 , valores inferiores a 3.0 kg/cm^2 y 6.00 kg/cm^2 , respectivamente, indicada por otros investigadores (p.e. Hernández et al., 1981).

Las construcciones de mampostería de ladrillo o bloque sin confinar y con forjado flexible (techos de madera con teja, o de láminas de zinc o amianto) son un 14.45% del total. Es un sistema constructivo tradicional de origen colonial, que consiste en la ejecución de muros de carga, sin confinar ni reforzar, de piezas de ladrillo o de bloque de hormigón de unos 3 a 3.5 m de altura. Los techos ligeros no pueden considerarse como diafragmas rígidos y por tanto no contribuyen a la distribución de fuerzas horizontales entre los muros. Esta tipología ya no está permitida en obra nueva porque la falta de rigidez del piso no evita el vuelco de los muros, las roturas a cortante, ni el colapso de la estructura ante sismos de excepcional intensidad.

Las construcciones de mampostería de ladrillo o de bloque de concreto sin confinar con forjados rígidos de losa de concreto reforzado son abundantes,

un 35.22% del total. La altura del muro de mampostería es de unos 3 a 3.5 m, y la losa de hormigón más usada es la aligerada, de entre 10 y 12 cm y colado in situ.

Las construcciones de mampostería confinada de ladrillo o de bloque de concreto con forjados rígidos de losa de CR son las más abundantes, un 36.63% del total. En este tipo, a la mampostería no reforzada se le colocan elementos confinantes perimetrales de sección pequeña de hormigón armado verticales (columnas de amarre, castillos,) y horizontales (vigas de amarre, dalas), que encadenan los muros y los ligan con las losas. El marco confinante es flexible y proporciona una liga efectiva con los elementos adyacentes, por lo que esta tipología tiene mejor comportamiento sísmico que los anteriores.

La mayoría de las estructuras de mampostería (78.25 %) tienen diafragma rígido (losa de CR) y conforman un 71.85% del total mientras que las de diafragma flexible son el 19.96% del total.

Las estructuras de marcos de CR son solo el 7.93% del total. La mayoría de ellas (63.63%) son de bajo nivel de diseño sísmico (o sin él), con muros de cerramiento no estructurales y diafragmas rígidos de CR. Ninguna de estas edificaciones de CR tiene muros de corte, y su sistema resistente es a base de marcos rígidos. Su comportamiento sísmico es muy dependiente del nivel de diseño sísmo-resistente.

Las estructuras de acero son recientes (menos de 20 años) y tienen diseño sísmo-resistente. Son muy escasas en Tuxtla, un 0.93 % del total.

MÉTODO DE LA ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA EMS

El daño que sufre una edificación durante un terremoto está relacionado con la intensidad del movimiento del terreno (que depende fuertemente de las características del sitio) y con la vulnerabilidad de la construcción (que depende de su tipología, nivel de diseño, calidad de la ejecución, geometría, irregularidades en planta y elevación, discontinuidades, número de plantas, ductilidad, posición con edificios aledaños, estado de conservación, patologías, etc.).

La tipología estructural probablemente es el factor más importante al estudiar la vulnerabilidad de las edificaciones, ya que está ligada tanto a la calidad del material con que se realiza la estructura (puesto

que las construcciones se utilizan durante muchos años) como al modo de construirla (condicionado al diseño y a la ejecución de la obra). De ahí que las características resistentes del material y la forma en que se dispone en la estructura en cada región y época son las propiedades que fundamentalmente se han considerado para clasificar las tipologías constructivas.

La diferenciación clara de las tipologías constructivas en función de su comportamiento sísmico es decisiva para la evaluación de la vulnerabilidad. Esta diferenciación tipológica ha sido el factor clave para clasificar la vulnerabilidad de las construcciones en las escalas de intensidad tales como la Modificada de Mercalli MM-56 (versión Richter, 1958), la escala MSK-1964 (Medvedev et al, 1965) o la EMS-98 (Grüntal, 1998).

La Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) establece seis clases de vulnerabilidad ordenadas de menor a mayor resistencia sísmica (A, B, C, D, E, F). Generalmente, dentro de estas clases, A representaría la vulnerabilidad de construcciones de mampostería de adobe o de piedra suelta, B las de ladrillo o bloques y C las de estructuras de concreto reforzado sin DSR o las de mampostería con forjado de losa. La clase D correspondería a estructuras de CR con DSR medio o a las de mampostería confinada o reforzada y E las estructuras de CR con DSR alto o de acero, ambas reflejarían descensos significativos de la vulnerabilidad. La clase F representaría aquellas estructuras con la más baja vulnerabilidad sísmica, de CR o de acero con nivel muy alto de DSR.

Estas clases establecen las características más probables de comportamiento ante fuerzas sísmicas (especialmente ante las laterales) de cada tipología constructiva, aunque considera la posibilidad de que diferentes tipos de edificios pueden pertenecer a una misma clase de vulnerabilidad y también que edificios de una tipología pueden presentar respuestas sísmicas diferentes (Barbat y Pujades, 2004) y por tanto vulnerabilidades diferentes.

La escala EMS-98 considera cuatro categorías en función del material y de la construcción de su sistema resistente: Mampostería, Concreto Reforzado, Acero y Madera. Dentro de cada categoría considera diversos tipos de edificios caracterizados en función de los materiales empleados en su construcción y de las características de diseño, en total 15 tipos. Cada

tipología de edificios admite diversos rangos posibles de pertenencia a clases de vulnerabilidad definidos como: más probable, probable y menos probable o excepcional (véase Grüntal, 1998).

Tras la identificación de la tipología constructiva a la que pertenecía cada edificación se le asignó la clase de vulnerabilidad EMS-98 más probable correspondiente a su tipología y luego, teniendo en cuenta los aspectos observables visualmente (mencionados anteriormente) que influyen en sus características sismorresistentes, superiores o inferiores a la media de esa tipología se le consideró una clase de menor o mayor vulnerabilidad, respectivamente.

RESULTADOS CON EL MÉTODO EMS

En la Tabla 2 se muestra la clase de vulnerabilidad EMS-98 estimada de los edificios de cada tipología al aplicar la clasificación tipológica y los criterios de la escala EMS y el número total de edificios de cada clase. Los resultados indican que la mayoría de las edificaciones son de vulnerabilidad media o clase C (64.41%). La mayor parte corresponde a la tipología de mampostería de ladrillo o de bloque de concreto con diafragma rígido y en buenas condiciones; también hay abundantes edificios de clase C en tipologías de mampostería confinada y de concreto reforzado sin DSR de menos de 35 años.

La segunda clase más común es la A, o de vulnerabilidad muy alta, representa un 15.76% del total. A esta clase corresponden todas las edificaciones de adobe y una gran parte de las de mampostería con tejados flexibles.

Las estimadas como de clase B (un 10.04% del total de las edificaciones) son mayormente el resto de tipologías de forjados flexibles y parte de las edificaciones de mampostería mal confinada o de ladrillo y losa con defectos o signos de mal estado.

La clase D (9.22% del total de edificaciones) está representada por las tipologías de concreto reforzado con diseño sismorresistente y las de menos de 15 años y en buen estado y por más de la mitad de las edificaciones de mampostería confinada recientes que están en buenas condiciones y son de baja altura.

Las clases E y F apenas representan un 0,83% de las construcciones evaluadas, corresponden a edificios de CR o de acero con alto nivel de diseño sismo-

resistente, y generalmente coinciden con edificios administrativos y hoteles del Centro Histórico.

En la Figura 6 se muestra la representación volumétrica de las edificaciones de la manzana 27 en el que se refleja la clase EMS obtenida con este método.

Para tener una visión general de la distribución de la vulnerabilidad en el Distrito Centro, en la Figura 7 se muestra el número de edificios de cada clase de vulnerabilidad por manzana. Como puede observarse, es muy notable el predominio de la clase C (vulnerabilidad media-alta, color amarillo) en casi todas las manzanas. Las clases A y B son aproximadamente más de la cuarta parte y las de clase D (en

verde claro) son, de media, casi 7 veces menos que las de C. Las clases E y F (colores verde oscuro y azul) son muy pocas o raras, respectivamente.

Como las construcciones de clases A y B son las más susceptibles de sufrir colapso y daños muy graves en sacudidas sísmicas muy fuertes, en la Figura 8 se muestran el número de cada una de ellas en cada manzana. La abundancia de construcciones de vulnerabilidad muy alta y alta es un claro indicador de la necesidad de medidas preventivas y mitigadoras frente al sismo en este distrito, sobre todo en algunas de las manzanas.

Tabla 2. Matriz de tipología estructural y clase de vulnerabilidad EMS-98 asignada.

Tipología estructural	Número de edificios	Vulnerabilidad EMS					
		A	B	C	D	E	F
Adobe de barro y techo de teja de barro recocido	72	72					
Adobe de barro y techo de lámina de zinc	25	25					
Adobe de barro y techo de lámina de asbesto	9	9					
Adobe de barro y losa maciza de HA	1	1					
Ladrillo sin techo (abandonado)	4	4					
Ladrillo y techo de teja	125	77	48				
Ladrillo y techo de lámina de zinc	107	81	26				
Bloque de concreto y techo de lámina de zinc	2		2				
Ladrillo y techo de lámina de asbesto	43	33	10				
Ladrillo y techo de losa maciza de HA	587	3	39	542	3		
Bloque de concreto y techo de losa maciza de HA	97		32	65			
Mampostería confinada con techo de losa	711	1	31	582	97		
Concreto reforzado sin DSR	98		7	51	40		
Concreto reforzado con DSR	56			6	37	13	
Acero estructural	4				2	2	
Acero estructural atirantado	1						1
Todos	1942	306	195	1246	179	15	1

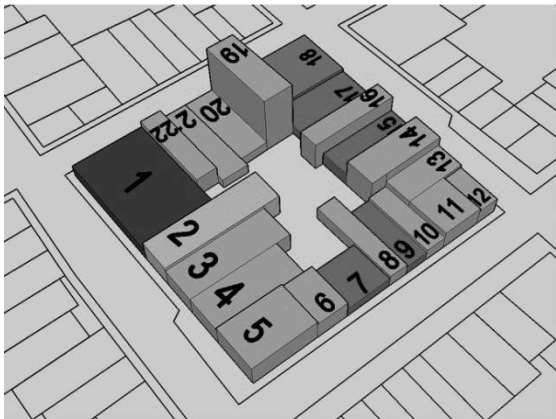


Figura 6. Clases de vulnerabilidad EMS de los edificios de la manzana 27 con el MEMS.

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de los datos de las 1942 edificaciones del Distrito Centro de Tuxtla, Chiapas, muestran que el sistema estructural predominante (91.81 %) es el de muros de carga (de adobe, de ladrillos o de bloques), la mayoría con diafragma rígido (78.26 %, la mitad estructuras de mampostería confinada) y el resto flexible. Las estructuras de pórticos de concreto reforzado (CR) sin muros de corte son el 7.93 %, de las que sólo el 36.37 % tienen un buen diseño sismorresistente (DSR) pero no las restantes, cuyo nivel es bajo o sin él. Las estructuras de acero estructural son muy escasas (0.26 %) y no hay ninguna tipología de madera.

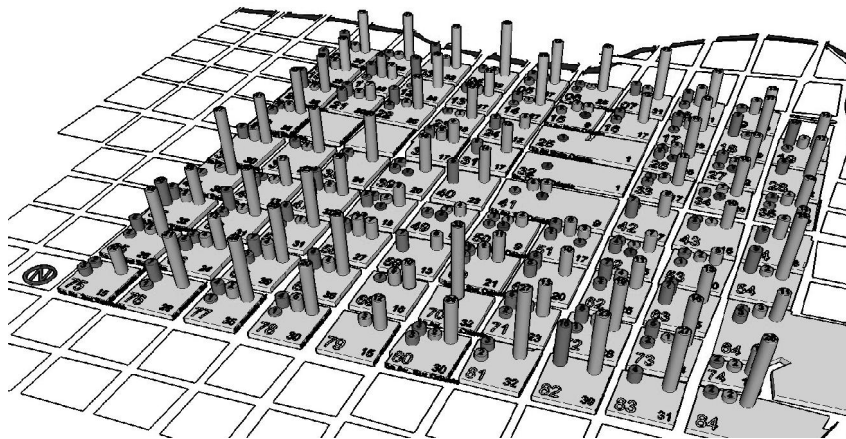


Figura 7. Representación del número de edificaciones de cada clase en cada manzana del Distrito Centro de Tuxtla. Es apreciable el predominio de la clase C (vulnerabilidad media, color amarillo) en casi todas las manzanas. Los números pequeños sobre cada columna indican el número de edificios de cada clase de vulnerabilidad en esa manzana y los números grandes el número de la manzana. Las clases de vulnerabilidad equivalente EMS se indican con los colores usados anteriormente.

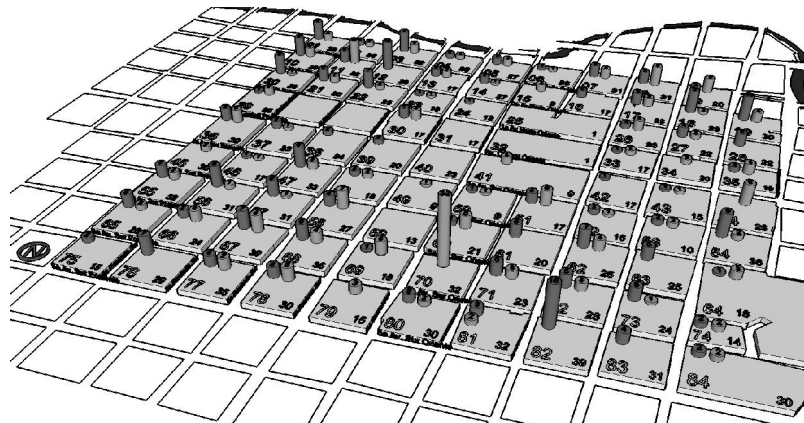


Figura 8. Representación del número de edificaciones de clases A y B en cada manzana del Distrito Centro de Tuxtla, que muestra claramente la abundancia de las construcciones más vulnerables y la necesidad de medidas correctoras.

La valoración de la vulnerabilidad sísmica, utilizando la clasificación tipológica y los criterios de la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), indica que la mayoría de las edificaciones (64.15%) son de vulnerabilidad media-alta (clase C), generalmente estructuras de mampostería con diafragma rígido. Un número significativo (15.75 %) son de vulnerabilidad muy alta (clase A) y un 10.04 % son de vulnerabilidad alta (clase B), que corresponden a estructuras de mampostería de adobe o de ladrillo en mal estado y a mampostería con diafragma flexible, respectivamente. Las estructuras de clase D (9.22 %) son las de concreto reforzado de buena calidad de construcción (normalmente menos de 15 años) y buen nivel de DSR, mientras que aquellas con alto nivel de diseño sísmico, junto con las de acero, se clasificaron (0,83 % del total) como E o F.

Esto indica que las construcciones menos vulnerables se encuentran en el núcleo administrativo del Distrito (en la parte central), con edificios como el Palacio Federal, de clase E. Sin embargo, a medida que nos alejamos del centro los niveles de vulnerabilidad aumentan considerablemente, al haber más edificaciones de mampostería, que son generalmente más antiguas y muchas de ellas producto de la auto-construcción.

Se confirma que la vulnerabilidad sísmica estimada con el método EMS es rápida y sirve para dar una primera aproximación aplicable a inventarios muy grandes de edificaciones.

Estos resultados, en una zona de peligro sísmico alto, son un indicador de las condiciones del riesgo sísmico alto existente en el Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez y ponen de manifiesto la necesidad que tienen el 90 % de las estructuras existentes en la zona estudiada de medidas de renovación, en las primeras, y de refuerzo, en las segundas. Igualmente indican la necesidad de efectuar un estudio de la vulnerabilidad del resto de la ciudad para realizar un diagnóstico completo que sea útil para la prevención de daños y la gestión de la emergencia sísmica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración en la toma de datos in situ realizada por estudiantes de la Universidad Autónoma de Guerrero y el apoyo logístico del Mtro. Ricardo Suárez Gómez de la Universidad Autónoma de Chiapas.

REFERENCIAS

- Barbat, A. y Pujades, L. (2004). Metodología de estimación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones clasificadas de "importancia especial" en la NCSE-02. Informe Técnico N° IT-438, Noviembre 2004. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona, España.
- González Herrera, R., Mora Chaparro, J. C., Aguirre González, J., Aguilar Carboney J. A., Narcía López, C. (2014). Análisis de los daños históricos por sismo en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En "Memorias del XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural". Artículo 04, Puerto Vallarta, Jalisco.
- Grünthal, G., (ed.), (1998). European Macroseismic Scale 1998, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie Volume 15, Luxembourg.
- Hernández, O., Meli, R., Padilla, M. y Valencia, E. (1981). Refuerzo de vivienda rural en zonas sísmicas. Estudios experimentales. Informe 441, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Medvedev, S. W., Sponheuer W. and Karnik V. (1965). Seismic Intensity Scale (version MSK 1964). Working Group on Seismicity and Seismo-Tectonics (First meeting Tbilisi, 8-12 June 1965). Unesco Archives: UNESCO/NS/SEISM/28. Paris, 7 May 1965.
- Richter, C. F., (1958). Modified Mercalli Intensity Scale (MM-56). Elementary Seismology. W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 135-149; 650-653.
- Rotondaro, R. y Patrone, J. C. (2009). La construcción con tierra, una tecnología posible para el hábitat. Revista Saber Cómo, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina.
- Ruiz Sibaja, A. y Vidal, F. (2015). Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez. ESPACIO I+D, Innovación más Desarrollo • Vol. IV, No. 7, Febrero 2015 • ISSN: 2007-6703

DESARROLLO HISTÓRICO DEL VECTOR COMO OBSTÁCULO ESPISTEMOLÓGICO DE LOS PROCESOS DIDÁCTICOS

HISTORICAL DEVELOPMENT OF THE VECTOR AS AN EPISTEMOLOGICAL OBSTACLE OF DIDACTIC PROCESSES

Ortiz y Ojeda Pedro T.¹, Sánchez Iturbe Patricia Gpe.²,
Guadalupe Ortiz Pedro A.³

RESUMEN

La historia de las matemáticas se puede considerar como un laboratorio experimental del nacimiento de ideas y de su evolución. En este texto se analizan algunas posturas epistemológicas y su relación en la construcción del concepto de vector, para ubicarlo dentro de la didáctica de las matemáticas. El desarrollo de un concepto matemático se inicia con su génesis, para después evolucionar con avances y retrocesos, este proceso permite entrever los elementos que forman la estructura epistemológica y lo que constituye un obstáculo para el aprendizaje que se desarrolla como un conocimiento lineal y secuenciado.

Palabras Claves: Historia, Epistemología, Didáctica.

ABSTRACT

The history of mathematics can be considered as an experimental laboratory for the birth of ideas and their evolution. In this text some epistemological positions and their relationship in the construction of the vector concept are analyzed, to place it within the teaching of mathematics. The development of a mathematical concept begins with its genesis, and then evolves with advances and setbacks, this process allows to glimpse the elements that form the epistemological structure and what

constitutes an obstacle to learning that develops as a linear and sequenced knowledge.

Keywords: History, Epistemology, Didactic.

INTRODUCCIÓN

En el desenvolvimiento de los conceptos matemáticos es importante captar los elementos que tengan consistencia e incidencia en la formación de la cultura matemática formal. Lo sobresaliente no es inventar esos hechos, sino develarlos en sí mismos, por ser creaciones geniales de la humanidad, ya de por sí históricas.

Se necesitan estudiar los procedimientos y la lógica en la historia de la matemática para conocer este proceso, así como sus replanteamientos conceptuales, como los del flujo y el cambio, la representación y la realidad, la estructura y la forma; así como la racionalidad, representados en las drásticas rupturas, representadas por las filosofías de Heráclito, Platón, Aristóteles, Descartes, Kant y Comte, que pueden generarse por el devenir evolutivo de una idea o concepto en el tiempo y que inciden sobre los procesos de enseñanza.

Con relación a los procesos de construcción del conocimiento científico, existen rupturas epistemológicas, como el caso del positivismo de Comte, quien según Copleston (2015), se distingue por afirmar que hay una dependencia en los procesos de observación en la construcción de la realidad bajo una subjetividad metodológica. Como en la mecánica, donde la realidad es relativa y provisional según Hegel en Copleston (2015), esto conduce a una explicación de la independencia de los cuerpos respecto a una referencia, en forma uniforme en todos los sistemas.

Como parte de la filosofía, la epistemología no inventa el desarrollo de las nociones de conocimiento, ni su estructura lógica y la verdad que representa,

¹Profesor, Facultad de Ingeniería- UNACH.ITTG; ptoymx@yahoo.com

²Profesor, Facultad de Ingeniería- UNACH.ITTG, sancheziturbe@yahoo.com.mx

³Profesor, ITM. portiz130@gmail.com

sino que éstos se deben extraer de los hechos históricos y del trabajo real de los científicos y matemáticos que las generan y desarrollan como nociones germinales o fundamentales que luego evolucionarán.

La historia es la base de un conocimiento cultural, que siempre ha estado para aclarar las ideas, retirando la apariencia a los eventos ocurridos en el tiempo e investigando el desarrollo de las concepciones realizadas por diversos actores centrales de los eventos científicos.

Según Penrose (2006) las matemáticas, siempre han estado a la altura de los requerimientos sociales y culturales, es de reconocer que la historia de las matemáticas es la autoconciencia del avance del conocimiento científico y su aplicación. Los desarrollos conceptuales de las matemáticas ocurren cuando surgen grandes pensadores, los cuales logran comprender en su época los cambios profundos que ocurren en la técnica y la ciencia que se reflejan en las costumbres, la economía, el arte, etc.

Esta apreciación, por ejemplo en la filosofía cartesiana, facilitó la aceptación de entes matemáticos como los números imaginarios, así como su representación gráfica y por consiguiente la formalización del concepto de número complejo como un concepto numérico, lo que permitió el nacimiento de la variable compleja y fundamentar la teoría de las ecuaciones, como un elemento necesario para establecer una visión integrada de los procesos y alcances que generaron la aparición de cantidades vectoriales y tensoriales, así como creación de espacios matemáticos.

Como consecuencia, aparece la idea de Hamilton en, Mc Mahon (2006), de extender la teoría de los números complejos al espacio de tres dimensiones, con lo que se crea el cuaternión, como un número de cuatro componentes, que tiene la restricción de no ser conmutativo.

El concepto de cuaternión tiene diversos usos teóricos como la solución del teorema de los cuatro cuadrados, la teoría de los números, en la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica, así como en temas relacionados con aplicaciones en electromagnetismo, robótica, análisis de rotaciones en el espacio y su representación computacional.

Partiendo del concepto de cuaternión se desarrolló el producto vectorial, lo que permitía la aplicación de las operaciones vectoriales al estudio del

equilibrio, y el del flujo, en diversas áreas del conocimiento como el Análisis y la Dinámica estructural, la Mecánica de fluidos, la Termodinámica, la Hidrodinámica, la Teoría electromagnética, los Circuitos eléctricos, en general en los contextos en los que aparece la física-matemática.

Cuando surge la necesidad de representar los conceptos físicos independientemente del sistema coordinado, por el avance de los conocimientos científicos, aparece la generalización del vector en una forma llamada tensor, su nombre viene de la palabra latina *tensus*, debido a que en sus inicios se aplicó para explicar los efectos de la fuerza sobre un sólido, actualmente es usado en diversos campos, como la electrodinámica, la relatividad, la mecánica cuántica, el movimiento de los fluidos, la elasticidad y la plasticidad de los sólidos, etc.

ANÁLISIS

El estudio de la forma y el número tiene su origen en las antiguas civilizaciones de Mesopotamia y Egipto, pero existe una ruptura con la sistematización científica, a través de la dialéctica y la ontología de estos concepto por Euclides de Alejandría en el siglo III A.C., en una obra llamada los Elementos, en la que recopilaba el saber matemático, usando la construcción axiomática, por medio de definiciones, postulados y axiomas, que se utilizaban para demostrar teoremas y a partir de ello, otros teoremas.

Se considera que una demostración matemática consiste en mostrar de manera clara la veracidad o falsedad de una proposición con una secuencia lógica y estructurada de argumentos que son llamados axiomas o proposiciones demostrados con anterioridad.

En el libro Elementos de Euclides, Euclides (2000), se establecen cinco nociones que se consideran verdaderas como elementos lógicos en la construcción de todo conocimiento matemático, cierto y válido, las cuales son: 1.- Las cosas que son iguales a una misma cosa, son iguales entre sí. 2.- Si iguales son sumados a iguales, los totales son iguales. 3.- Si iguales son sustraídos de iguales, los restos son iguales. 4.- Las cosas que coinciden entre sí, son iguales entre sí. 5.- Todo es mayor que la parte.

Entre las definiciones se encuentra que el punto es lo que no tiene partes, lo que permite considerar a

este elemento conceptual como la piedra angular de la construcción del edificio geométrico, puesto que a partir de esta idea se establece a la línea como una longitud sin anchura, partiendo de una sucesión de puntos que se acumulan en forma continua para generar una extensión.

También se considera que la línea está formada por dos puntos en sus extremos, de manera que por dos puntos pasa una recta y solo una, lo que conduce a definir la distancia como la magnitud de un segmento lineal con una métrica apropiada, en la que se puede establecer una dirección y si es necesario un sentido. También la línea puede ser curva.

Una superficie se puede considerar como generada por un conjunto de rectas continuas, de manera que sus extremos estén definidos por las mismas líneas, caracterizando entonces la longitud y la anchura de un plano, por lo que una superficie plana es aquella que yace por igual respecto de las líneas que están en ella.

En los Elementos, no se encuentra referida la palabra espacio, se mencionan cuerpos o sólidos, y se utiliza el término cuerpo para no establecer una coincidencia con dimensión, ni con la idea de su superficie, ni con la capacidad de su representación gráfica.

Otro elemento sobresaliente es la concepción del cálculo diferencial e integral, que se origina por una ruptura epistémica del devenir del ente, como un continuo nacimiento y destrucción, del que nada queda fuera, como un elemento teórico que incide de manera definitiva en la construcción de una nueva geometría cinemática, que vino a explicar la naturaleza newtoniana del cosmos y la aparición del concepto primitivo de vector, para definir los movimientos de cuerpos celestes.

El término abscisa y ordenada fue aplicado por Leibniz en una fecha cercana 1692. Con estas ideas el espacio físico quedó relacionado directamente con el espacio matemático, facilitando la representación de las funciones y por consiguiente el establecimiento intuitivo del teorema fundamental del Álgebra. El uso de la representación numérica en un sistema de ejes coordenados cartesianos fue utilizado por Newton, quien inclusive representó también a los negativos.

En este contexto Nahin (2008), señala que la solución de ecuaciones de segundo grado conduce a

soluciones en las que aparecen resultados con números reales, junto con otros que Descartes llamó imaginarios y que tienen su origen en la solución de una ecuación cuadrática por Diofanto, condición que desarrolló la idea de los números complejos, cuyos antecedentes se encuentran en los trabajos de Cardan, Collette (1985). Es de reconocer que Bombelli desarrolló ampliamente el cálculo de operaciones con números complejos, estableciendo el nacimiento de los estudios de la variable compleja.

El símbolo del número imaginario es una invención de Euler, según Maor (1994), este además estableció que al resolver una ecuación polinómica, sus raíces se obtienen en pares conjugados, así mismo desarrolló la fórmula, $e^{xi} = \cos x + i \operatorname{sen} x$, obtenida a partir de establecer que los logaritmos de los números negativos son complejos y no reales.

La fórmula de Euler, permitió la interpretación de los números complejos en un plano, como punto que se define en términos de coordenadas (x,y), conclusión a la que llegó Wessel, al multiplicar segmentos lineales a partir de la idea de Wallis, de la suma de segmentos dirigidos. La otra aportación fundamental de Wessel, fue el desarrollo de dirección de los segmentos resultantes con base a la suma de los ángulos de inclinación de cada segmento individual.

De manera que al relacionar el eje cartesiano de x, con los números reales y el eje cartesiano con el eje y, Wessel, definió el plano complejo y con esto se dió el inicio de la variable compleja y la teoría de los espacios matemáticos. Además de asociar el segmento dirigido, con la idea de conducir de un lugar a otro, sobre el plano complejo, usando la idea de radio vector con magnitud, dirección y sentido análogo al concepto utilizado por Galileo para describir el movimiento y por Newton para definir el movimiento planetario alrededor del sol.

La generalización de la representación Collette (1985) de los números complejos del plano hacia el espacio tridimensional, fue una propuesta del matemático Hamilton en 1843, Collette (1985) y Mc Mahon (2006), quien lo hizo con base a los llamados cuaterniones, producto de la reflexión de la filosofía Kantiana que considera que el espacio pertenece a la Geometría y el Álgebra al tiempo, de manera que en los cuaterniones, el tiempo es un escalar y el espacio está definido por las restantes coordenadas reales, todos son una extensión de los

números reales de forma que al añadir a estos números reales las unidades imaginarias ijk , se tenga: $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$

Los cuaterniones no cumplen con la propiedad conmutativa, pero si con la asociativa en el producto exterior, esto no se aplica al producto vectorial por estar definido dentro del Álgebra de Lie o de las transformaciones infinitesimales, la transición de los cuaterniones al análisis vectorial se da en el contexto de un Álgebra asociativa la cual generaliza a los complejos, hacia los cuaterniones, llamada Álgebra de Clifford. Se puede considerar al Álgebra de Grassmann como un caso degenerado del Álgebra de Clifford, según Penrose (2006).

La propuesta de Clifford es tomar el producto de los vectores en forma separada del cuaternion que está formado por la suma de un componente escalar o real y una imaginaria o pura que se le denomina vector, siempre se le habían considerado a estas dos partes como un mismo y único producto.

Al definirse el producto vectorial, junto con la suma, ya se perfila el Álgebra vectorial en forma. También se empieza a considerar al vector como una función del tiempo en el sentido del espacio newtoniano, considerando al tiempo como una coordenada que es independiente del espacio y sus coordenadas y es considerada como una magnitud que es igual para cualquier observador que la use en un marco de referencia euclidiano. Es la aparición del Cálculo vectorial, que tiene como pioneros a Gibbs y Heaviside, de acuerdo a Kay (1988).

Estos dos autores parten de la idea de los cuaterniones y de las propuestas electromagnéticas de Maxwell, para desarrollar los elementos de análisis del flujo eléctrico y magnético con la aparición de operadores diferenciales para indicar el cambio o variación, en particular con la herramienta fasorial en el caso de Heaviside, cuando se estudian los circuitos de corriente alterna. Con la aparición de los teoremas de Green, Gauss y Stokes, el cálculo vectorial ya queda estructurado en forma definitiva.

Con el advenimiento de la teoría de la relatividad de Einstein, se genera otra ruptura conceptual como consecuencia de la postura epistémica de Heráclito sobre el espacio y el tiempo en los que, ya no serán considerados como conceptos separados, independientes y absolutos. La relatividad del observador adquiere importancia que depende del marco de re-

ferencia en que se encuentre ubicado en el espacio, por consiguiente el tiempo será también relativo en su referencia (Penrose, 2006).

En el desarrollo de la teoría de la relatividad, se considerará que el concepto de espacio vectorial se construye con base a una estructura usando la suma y la multiplicación de vectores por números, aplicable estos procesos para números reales y complejos. Una transformación lineal de un espacio vectorial lleva este espacio a otro, conservando la estructura definida inicialmente. Esta transformación se puede representar en forma explícita usando un ordenamiento numérico llamado matriz.

Tomando en cuenta los números reales, así como el espacio geométrico ordinario, con una métrica euclidiana, entonces los números reales representan a los tensores de orden o rango cero, llamados escalares, que cuentan con un componente o dimensión, su magnitud es independiente del sistema coordenado utilizado y físicamente representan algunas dimensiones o propiedades de los sistemas, por ejemplo a la temperatura.

El tensor de orden uno, es llamado vector, con tres componentes, magnitud, dirección y sentido; para un grado de libertad se pueden usar para representar curvas; con dos, a las superficies, con tres a los volúmenes y con n componentes elementos de n dimensiones. El tensor de segundo orden tiene nueve componentes, representa a una magnitud con dos direcciones, así con cero grados de libertad es una matriz cuadrada, para dos, superficies y para n grados elementos de n dimensiones en general.

Los tensores se pueden desarrollar para diferentes espacios, dimensiones, diversos órdenes y componentes, que sean adecuados para representar entidades o variables en términos de valores y componentes, como son: la altura topográfica, la velocidad, la aceleración, la tensión, la deformación, etc. Así los tensores poseen propiedades que son adecuadas para la simplificación de expresiones y la representación de elementos que se caracterizan por tener múltiples dimensiones en el espacio.

DISCUSIÓN

Los espacios, las dimensiones, los órdenes y componentes de un tensor están relacionados con la objetividad del conocimiento, es decir con re-

lación al objeto que tiene de por medio el atributo de la verdad y que se constata con la verificación del pensamiento o juicio en el objeto mismo.

En el caso de que algo no se pueda comprobar, no se puede afirmar, entonces si no es posible afirmar que exista un verdadero conocimiento, es porque al tener nada más que el enunciado, no es garantía de que se establezca la verdad.

Por lo que es necesario demostrar las proposiciones las que producirán una mayor garantía del saber. El problema es realizar la demostración, no siempre puede realizarse y cumplirse, y en ocasiones no se tienen todas las facetas con las que puede aparecer la verificación del conocimiento, así como su equivalencia a los conceptos relacionados con la verdad.

La prueba es un elemento fundamental, como el caso de la existencia de los números complejos, que desarrollaron diversas formas de comprobación hasta encontrar la forma de operación y representación en forma analítica y gráfica de esos números.

Es de reconocerse que el análisis epistemológico (Harada, 2005) parte en que:

“La principal virtud de cuasi-empirismo, es como ya dije, que ha traído consigo un cuestionamiento de algunas dicotomías en la que descansa nuestro pensamiento [sic] (por ejemplo lo empírico y lo formal, lo analítico y lo sintético, lo a priori y lo posteriori, el descubrimiento y la justificación, etc.) que suelen ser aceptados como si fueran universales, necesarias y hasta eternas, con lo cual nos obliga a revisar nuestra concepción del conocimiento, de la realidad y de nosotros mismos. (p. 37)”

Como consecuencia se puede considerar que toda acción humana es imperfecta por la capacidad limitada que tiene el hombre para relacionarse con el medio usando sus sentidos, como es el proceso didáctico de la matemática escolar, pero que la razón y su aplicación consecuente con la realidad permiten llegar a una certeza limitada pero efectiva para la construcción de significados válidos en un contexto y circunstancia como lo fue el paso de una postura positivista a una relativista del conocimiento epistemológico de las matemáticas.

Aquí aparece la idea de que existen diversas posturas epistemológicas, desde las de origen griego hasta las contemporáneas, caracterizadas por los conceptos de flujo y el cambio, la representación y la realidad, la estructura y la forma, de esta manera

la construcción del conocimiento matemático, se caracteriza por darse en el tiempo por fases o periodos conclusivos, es decir momentos en los que sintetiza o integra el conocimiento formando un sistema, el cual se define en términos históricos en forma conclusiva o paradigmática.

La indicación del desarrollo evolutivo se manifiesta en la dualidad que tiene el concepto matemático en la historia, primero visto como una secuencia temporal de eventos, como es el caso del tensor, que se partió desde el desarrollo del concepto euclidiano de línea, posterior a la solución de ecuaciones algebraicas y al desarrollo del espacio, como consecuencia de la separación del concepto de sólido y cuerpo.

Segundo, por la importancia que se asigna a los diversos grados de valor como consecuencia de la utilidad implícita del concepto matemático en el presente, pero con el potencial de ser desarrollado.

De la primera consideración se puede establecer el concepto corriente de la historia, el ser considerado como un rastro depositado en el tiempo pretérito. Es de suponer que las ideas que se forman en la mente es producto de una época y de la forma que se presenta lo que es llamado: *Zeitgeist* (el signo de los tiempos) expresados en la filosofía Hegeliana.

Es decir las ideas epistemológicas embonan en la filosofía, a la vez es la filosofía un derivado con respecto al ser mismo de la historia, como manifestación dinámica de la existencia y evolución de los conceptos en general. Por lo que se puede considerar que es el origen o raíz que caracteriza a la epistemología es la filosofía y ella a su vez en el tiempo al que le tocó pertenecer.

De la segunda se considera que la historia se representa en posturas con diferentes grados o niveles de autenticidad que tienen su origen en una categoría implícita de valor que le asigna la aplicación posterior en otros conceptos o temas utilizados para la construcción de un conocimiento lógico, con una estructura que tenga validez y certeza para representar resultados de acuerdo al objeto del conocimiento.

Por lo anterior se puede considerar que lo histórico se desarrolla con una sucesión de elementos de verdad, que se van superando unos a otros a medida que el pensamiento y el conocimiento matemático evoluciona, obedeciendo a su propia imperfección y la necesidad que ellos mismos progresen a medida que logra el pensamiento deserrado, su integración

en nuevas propuestas creativas.

CONCLUSIONES

Cada postura epistemológica, tales como la helénica (Heráclito, Platón, Aristóteles), la renacentista (Descartes, Locke) y la decimonónica (Hegel, Kant y Comte), representa un instante que se transforma en un momento histórico de la integración de un sistema general y su visión múltiple corresponde al variado requerimiento de los problemas de representación, explicación y formalización, teniendo como elemento fundamental la continuidad evolutiva del conocimiento científico, el producto del cambio, la representación, de la estructura y la forma, así como la racionalidad.

En este sentido se puede citar: "Lejos de una explicación plausible de la naturaleza de la demostración matemática, el constructivismo de Kant se veía, a finales del siglo XIX, como algo lleno de defectos, considerado así por muchos matemáticos. Las objeciones eran numerosas: ¿Es acaso inevitable el recurso a la intuición en las demostraciones? Si los teoremas se siguen necesariamente de los axiomas, ¿no deberían bastar para su demostración ciertos argumentos lógicos? Lo que en tiempos de Kant fue una explicación satisfactoria, a finales del siglo diecinueve parecía una impertinencia: ¿Cómo es que las proposiciones de la geometría se infieren de los axiomas de Euclides, a la vez que sus demostraciones se apoyan regularmente en objetos construidos en la intuición?" (Torres, 2005).

En el desarrollo del concepto de tensor intervienen diversos momentos, que se pueden caracterizar a partir de la historia de la geometría, junto con la vertiente cultural de la filosofía que permea en el pensamiento de cada actualidad y por supuesto, la manera que se aborda en la matemática escolar.

Esa interrelación mutua del espacio y el tiempo, es producto de la concepción del pensamiento vigente de una determinada época y desde luego explicado por la filosofía en su versión paradigmática vigente en una determinada época, lo que puede ser una vertiente que detone los procesos didácticos para la enseñanza.

Desde una perspectiva amplia la evolución del concepto de tensor, como un vector generalizado, el orden creciente del tensor permite representar, dos

elementos el primero es el espacio y el segundo el tiempo, por medio del escalares, vectores o tensores en general, es decir tensor de orden cero, el vector tensor de orden uno y así sucesivamente.

Históricamente, para lograr describir la interrelación espacio-tiempo, en un contexto coherente fue necesaria la aparición de las herramientas matemáticas desarrolladas a partir de la relación desvinculada del espacio geométrico en primer lugar y luego su movilidad relacionada con el tiempo, con marcos de referencia independientes.

La concepción anterior se sintetiza en la idea de que las posturas epistemológicas son fases o momentos que integran de un sistema de conocimiento que se pronuncia por medio de la historia. La forma en que desarrolla la evolución de las ideas se observa en el doble sentido que tiene el concepto de lo histórico en cuanto a una sucesión temporal y por los grados de valor y certeza con la del objeto y su naturaleza real, lo que tiene efectos sobresalientes en la matemática escolar en el desarrollo de proceso y estrategias didáctica para la enseñanza del vector.

REFERENCIAS

- Bachelard, G. (1993) La formación del espíritu científico. México. Edit. FCE.
- Collette, J. P. (1985) Historia de las matemáticas. España. Edit. Siglo XXI.
- Copleston, F. (2015) Historia de la filosofía. España. Edit. Ariel.
- Euclides (2000) Elementos. España. Edit. Gredos
- Harada, O. E. (2005) Cuasi-empirismo en la filosofía de las matemáticas. México. BUAP. Recuperado de <http://www.elementos.buap.mx/num59/htm/15.htm> el 10 mayo del 2018.
- Kay, D. C. (1988) Tensor calculus. USA. Edit. Mc Graw-Hill.
- Mc Mahon, D. (2006) Relativity Demystified. USA. Edit. Mc Graw-Hill.
- Torres, A. C. (2005) Kant visto desde las matemáticas. México. UNAM. Recuperado de http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art06/ene_art6.pdf el 12 mayo del 2018.
- Maor, E. (1994) e The story of a number. USA. Edit. Princeton University Press.
- Nahin, P.J. (2004) Esto no es real. La historia de i. México. Edit. CONACULTA-Libraria.
- Penrose, R. (2006) El camino a la realidad. México. Edit. Random House

ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN ZONAS COSTERAS USANDO BARRAS DE POLÍMERO REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO

CONCRETE STRUCTURES IN COASTAL AREAS USING REINFORCED POLYMER BARS WITH GLASS FIBER

Sánchez Hernández Juan A.¹

RESUMEN

El principal proceso de degradación del concreto armado expuesto a ambiente marino es diferente a otro tipo de estructuras. La degradación en este tipo de estructuras ocurre principalmente por la corrosión de los armados de acero.

Las barras de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) son un material que está siendo adoptado por Estados Unidos, especialmente en las zonas altamente expuestas a sales marinas, como es el área de Miami Florida y la zona del Golfo de México, ya que las pruebas parecen garantizar nula corrosión y poca degradación con el paso del tiempo (Gooranorimi, Gremel, Myers, & Antonio, 2015). El presente trabajo, incluyen un resumen de diversas investigaciones en torno a la durabilidad del material y un comparativo de costos de elementos estructurales comunes en edificaciones habitacionales (las dallas y castillos) que muestran sus beneficios y competitividad.

Palabras Claves: Compuestos poliméricos, polímero reforzado, fibra de vidrio, corrosión, concreto reforzado.

ABSTRACT

The main degradation process of reinforced concrete exposed to marine environment is different from other structures. The degradation in this type of structures occurs

mainly by the corrosion of the steel reinforcement.

Fiberglass Reinforced Polymer (GRP) bars are a material that is being adopted by the United States, especially in areas highly exposed to sea salts, such as the Miami Florida area and the Gulf of Mexico area, since The tests seem to guarantee zero corrosion and little degradation over time (Gooranorimi, Gremel, Myers, & Antonio, 2015). The present work includes a summary of various investigations regarding the durability of the material and a comparison of costs of common structural elements in residential buildings (horizontal and vertical confining elements) that show their benefits and competitiveness.

Keywords: Polymeric composites, reinforced polymer, fiberglass, corrosion, reinforced concrete.

INTRODUCCIÓN

El litoral del Golfo de México de nuestro país se caracteriza por una gran actividad industrial y turística que ha generado el crecimiento de desarrollos habitacionales destinados a proveer de vivienda a las personas que laboran en dichos centros de trabajo. Estos desarrollos habitacionales representan la inversión de muchas horas de trabajo tanto de personas de bajos recursos como de clases más acomodadas. Inversiones cuya durabilidad no está asegurada debido a que son afectadas por la brisa marina e industrial que gradualmente penetra el concreto y daña el refuerzo de acero al corroerlo y el concreto mismo provocando su desprendimiento.

En los últimos 20 años las barras de PRFV han sido una opción para el reforzamiento de elementos de concreto y han estado tomando auge en el mundo debido a su bajo peso por unidad de volumen, su resistencia adecuada para fines estructurales, la accesibilidad de su costo comparado con otros compuestos reforzados con fibra y su durabilidad por su resistencia a la corrosión (Bank, 2006). Sin embargo,

¹ Miembro de la Comisión de Estructuras del Colegio de Ingenieros Civiles de Chiapas.

al ser un material novedoso para América Latina, la falta de referencias en usos estructurales y el costo beneficio genera incertidumbre en la comunidad de ingenieros civiles para su adopción.

En Estados Unidos de América, la región Este y el Golfo han implementado el uso de PRFV para su uso en obra pública debido a su durabilidad y la Universidad de Miami realiza investigación continua de este material con fines estructurales y de durabilidad en puentes desde el año 2000. El Instituto Americano del Concreto a través de su código de diseño ACI-440-1R mantiene las recomendaciones de diseño actualizadas para este tipo de obras civiles y en particular la Asociación Americana de Carreteras y Transportes Oficiales del Estado AASHTO, también edita su correspondiente norma para el caso de puentes mediante el uso de PRFV (GFRP) y recientemente la ASTM publicó las normas de calidad ASTM D7205 aplicables a este tipo de materiales.

Los compuestos poliméricos han estado presentes en la construcción desde antes de los 90's, no obstante, el costo de estos materiales, como lo es la fibra de carbono (PRFC) y la de aramida (PRFA) resultaban inaccesibles en costo para el uso en la construcción común, siendo el PRFV el compuesto polimérico reforzado con fibra de vidrio el que ha mostrado el mejor costo beneficio al compararlo con las limitaciones del acero.

INTERACCIONES QUE DAÑAN LAS ESTRUCTURAS (ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO)

Existen interacciones importantes con el medio ambiente a las que suelen estar expuestas las estructuras de concreto:

- Exposición a ambientes ácidos.
- Exposición a radiación ultravioleta.
- Exposición alcalina.
- Exposición a sales y ambientes marinos.

En el pasado lidiar con estos agentes ha llevado a buscar mejorar la resistencia del acero quien resulta el elemento más proclive a recibir el daño más significativo. Siendo que el concreto reforzado requiere precisamente de contar con un elemento capaz de soportar las tensiones a las que la estructura se somete, ha sido necesario mantener a salvo el acero mediante distintos tratamientos que lo preserven cuando menos durante la vida mínima considerada

al proyecto. Dentro de estos tratamientos podremos encontrar los galvanizados y el recubrimiento de epóxicos e incluso el uso de pilas galvánicas para mantener aislado el acero. No obstante, hoy día podemos considerar el uso de los compuestos poliméricos como una opción factible y competitiva.

No obstante, no todo es alentador con los materiales poliméricos, las barras de polímero reforzado con fibra (FRP) son susceptibles a variaciones en la intensidad y cambios de rigidez en presencia de entornos antes, durante y después de la construcción. Estos entornos pueden incluir agua, exposición a los rayos ultravioleta, temperatura elevada, soluciones alcalinas o ácidas y soluciones salinas. La resistencia y la rigidez pueden aumentar, disminuir o permanecer igual, dependiendo del material particular y las condiciones de exposición. Las propiedades de tracción y unión de las barras de FRP son los principales parámetros de interés para la construcción de concreto armado (ACI 440 1R , 2015).

Debido a lo anterior, diferentes investigadores han centrado su atención en determinar pruebas de deterioro acelerado que puedan garantizar su uso en todo tipo de ambientes. Los métodos de prueba para evaluar la durabilidad de las barras de FRP en soluciones alcalinas se presentan en ASTM D7705. Sin embargo, hasta el momento no existe evidencia de que los métodos acelerados para vidrio desnudo (donde solo una reacción química controla la degradación) se apliquen a compuestos PRFV, no obstante, existen diversos experimentos llevados a cabo en condiciones de campo que han mostrado resultados muy significativos en cuanto a la durabilidad en ambientes típicos como lo es la exposición a agua marina y el uso de sales para deshielo.

Ácidos

En general las resinas epóxicas que constituyen muchas de las actuales matrices usadas en la fabricación de PRFV, suelen tener un adecuado comportamiento frente a ambientes ácidos, de ahí que el uso de las barras de PRFV se prefieran sobre el uso de las varillas de acero. Pero también las fibras de vidrio usadas en dichos compuestos pueden tener tipologías muy especializadas que proveen resistencia a ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico y fosfórico (Owen Corning, 2017). Es la razón por la que puede resultar complicado establecer la durabilidad de los

compuestos. El ACI 440.1R, no da referencia sobre este tipo de exposiciones, más si advierte sobre los efectos negativos que pudieran tener los agentes alcalinos sobre estas barras de PRFV.

Radición Ultravioleta

La radiación ultravioleta, proveniente de la luz solar, ha resultado dañina para la mayoría de los polímeros expuestos, sin embargo, el daño suele circunscribirse a la película más superficial, ante exposiciones comunes y no suele ser progresivo una vez que el material se encuentra ahogado en el concreto. Lo anterior es consistente con el estudio realizado por Tomosawa y Nakatsuji (Tomosawa & Nakatsuji, 1997), en la que se expusieron barras con diferentes polímeros reforzados con fibras al aire libre y junto al océano para un lapso consistente con los procesos constructivos comunes, sin encontrar cambios significativos en la capacidad de tensión ni en el módulo elástico de las barras. No obstante, el ACI 440.1R, recomienda tomar las medidas necesarias en los procedimientos constructivos, para minimizar la exposición solar.

En general, podemos estimar que la pérdida de resistencia por exposición a los rayos U.V. solo serán perceptibles en exposiciones directas por periodos mayores a los 30 días y es posible que no alcancen el 1%, dato extrapolado de (Ortuño, 2008).

Alcalinidad

Quizá el problema que mayor efecto puede tener sobre el PRFV no es ni el ácido ni la radiación solar, sino el efecto de los álcalis, este viejo problema del concreto al reaccionar con los agregados y el ambiente. Porter y Barnes (1998) (ACI 440.1R, 2015) evidencian el efecto nocivo de las soluciones acuosas con altos valores de alcalinidad (PH^2 mayores a 12) sobre las barras de PRFV expuestas de forma directa en condiciones de laboratorio y que afectan principalmente su módulo elástico y resistencia a la tensión. Las temperaturas altas (mayores a 40°C) en las soluciones intersticiales también parecen aumentar las afectaciones producidas por la alcalinidad ambiental. No obstante, la resina polimérica que protege las fibras de vidrio de la difusión de los perjudiciales iones hidroxilo (OH^-) representa signi-

ficativamente la resistencia alcalina de las barras de PRFV, aun cuando, esta barrera puede no ser 100% segura (ACI 440 1R, 2015).

“Los efectos nocivos de las sustancias altamente alcalinas son capaces de provocar no solo la degradación de la matriz polimérica, sino también de desarmar la estructura de la fibra de vidrio hasta la lixiviación de estas” (Fergani, Benedetti, Guadagnini, Lynsdale, & Mias, 2017). Siendo que la temperatura y el medio acuoso juegan un papel importante en la reacción alcalina sobre el PRFV, es evidente que, durante el proceso de fraguado del concreto, cuyo PH oscila entre 12 y 13, puede ser capaz de generar deterioro en la superficie de las barras (Fergani, Benedetti, Guadagnini, Lynsdale, & Mias, 2017). Así mismo la porosidad y agrietamiento del concreto, faculta la posibilidad de una mayor interacción con estos agentes, durante la vida útil de los elementos.

No obstante lo anterior, estudios de campo realizados en 2010 y 2015 por (Gooranorimi, Gremel, Myers, & Antonio, 2015) y publicados en el ACI Journal y ResearchGate sobre puentes con 10 y 20 años de edad, donde se dejaron muestras testigo para poder evaluar el comportamiento del PRFV a través del tiempo, se encontró que la alcalinidad constante del concreto entre un PH de 12 y 13, “no tuvo efecto nocivo en resistencia de las barras y en la unión concreto-PRFV, presentándose intacta la matriz y la fibra”, lo cual a juicio de los investigadores, podría denunciar que las pruebas de intemperización acelerada, son demasiado conservadoras. Finalmente, aunque mucha investigación informó una pérdida significativa en la capacidad de tracción de las barras de PRFV (GFRP) expuestas a la solución de poros de concreto, un estudio de campo realizado por (Mufti, Onofrei, Benmokrane, & et al, 2007) et al, y (R., Cousin, & Benmokrane, 2009) et al, concluyeron que “el refuerzo de GFRP es duradero cuando está incrustado en concreto”.

Aún con los alentadores resultados de Goorano-rimi y Nanni 2015, el ACI 440 considera basado en los resultados obtenidos en pruebas aceleradas una reducción del 20% al 25% para la resistencia de las barras expuestas mediante el uso de un Coeficiente ambiental (CE). La investigación que examina la durabilidad de diferentes productos basados en fibra de vidrio, incluidas las barras de refuerzo de PRFV (GFRP) de América del Norte, concluyen sobre re-

ducciones de la resistencia a la tracción en las barras de PRFV (GFRP) que van del 80 al 75 por ciento de los valores iniciales. Las reducciones de la rigidez a la tracción en las barras de GFRP estresadas y no sometidas a tensiones, también oscilan entre 0 y 20 por ciento en muchos casos (ACI 440 1R, 2015), por lo que los factores de diseño contemplados en el citado código, resultan al parecer adecuados para contemplar estas posibles pérdidas de capacidad.

Diversidad de estudios se continúan realizando para probar la durabilidad del PRFV expuesto a condiciones agresivas, siendo hasta el momento la que más preocupa las exposiciones directas a ambientes alcalinos con $\text{PH} > 12$ y temperaturas por encima de los 50°C . Hasta el momento el uso del coeficiente ambiental (CE) parece funcionar muy bien para estimar la pérdida de resistencia dentro de la vida útil de la estructura y en condiciones de exposición típicas, $7 < \text{PH} < 12$; sin embargo, algunos códigos pudieran sugerir coeficientes más conservadores a los que el ACI 440 propone.

Salinidad Marina

La costumbre de trabajar con acero, nos ha llevado a pensar que la salinidad del agua puede constituir un problema para el concreto, sin embargo esto no necesariamente es así, la literatura técnica existente informa que la sal en el agua de mar pueden no tener efectos negativos significativos en las características del concreto endurecido y, si ocurren problemas de durabilidad, están relacionados principalmente con la corrosión del refuerzo de acero en lugar del efecto sobre las propiedades del concreto.

Una investigación realizada por (Usama & Nanni, 2017) informa sobre el comportamiento del concreto expuesto a agua marina indicando que mostró un aumento en la resistencia inicial y luego una disminución de 8% a 15% para el concreto de agua de mar. Así mismo menciona los resultados de otras investigaciones que acusan un aumento de capacidad no solo para edades tempranas sino también a largo plazo y el hecho que la resistencia a la compresión del concreto aumenta con el contenido de salinidad del agua de mezcla.

No obstante, lo halagüeño de lo anterior, la preocupación de algunos investigadores, entorno al uso de agua marina es su alcalinidad que suele presentarse con un PH en el rango de 8 a 10, y las tempe-

raturas marinas costeras, las cuales suelen fácilmente alcanzar más de 40°C . Aun cuando esta preocupación pudiera ser consistente con otras investigaciones orientadas a entornos alcalinos, el rango agresivo de alcalinidad parece presentarse sobre el PH de 12. Robert y Benmokrane sumergieron barras de PRFV (GFRP) envueltas en mortero en solución de NaCl al 3% a 23, 40, 50 y 70°C durante 365 días. Las barras se extrajeron del mortero y se probaron en términos de propiedades de tracción y degradación microestructural como una medida del rendimiento de durabilidad. Se demostró que la combinación del ambiente alcalino del concreto y la solución salina no tiene un efecto significativo en la durabilidad del refuerzo de GFRP incluso a altas temperaturas (Usama & Nanni, 2017).

Un programa de investigación realizado por la Universidad de Miami en Florida USA, encontró que el concreto de agua de mar (SEACON) mostró un rendimiento comparable e incluso mejor en términos de resistencia a la compresión contra el concreto convencional después de un año de curado en sala húmeda y agua de mar a 60°C como ambiente de acondicionamiento acelerado, respectivamente. Esto significa que las dos matrices de concreto que rodean las barras de PRFV (GFRP) presentaron casi las mismas propiedades mecánicas al término de la prueba. Así mismo, las propiedades de tracción de las barras incrustadas tanto en el concreto convencional como en el agua de mar son comparables después de un año de exposición a un acondicionamiento acelerado. Es mencionable, además, que el concreto de agua de mar parece proveer una mejora positiva en la resistencia al corte horizontal y transversal de las barras de PRFV (GFRP) incrustadas (Khatib & Nanni, 2017).

Con todo el ACI 440 (ACI 440 1R, 2015), menciona en su introducción y alcances que los compuestos poliméricos incluido el PRFV (GFRP) son no magnéticos y no se corroen.

De acuerdo con estos antecedentes, recientemente han sido aprobados diversos proyectos públicos utilizando PRFV como elementos de refuerzo, especialmente en obras expuestas a sales para deshielo, agua y brisa marina y en general zonas pantanosas y lagos (ACMA, 2018). Así mismo la Asociación de fabricantes de compuestos poliméricos de América (ACMA) dio un paso importante para abordar ese

problema durante un taller en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) que sentó las bases estratégicas que describe acciones que la industria, la academia y el Congreso pueden tomar para ayudar a los ingenieros y los diseñadores construyen con más confianza con los compuestos poliméricos (FRP). Algunas de las necesidades identificadas en el informe incluyen la agregación, la validación y la difusión de los estándares existentes, el desarrollo de pruebas avanzadas de durabilidad y modelos de desempeño, el aumento de la educación y la capacitación (NIST, 2017).

COSTOS

Otro problema que suele surgir con la adquisición y uso de las nuevas tecnologías, especialmente aquellas que promueven algún beneficio técnico es el costo. En México la mayor parte de la obra de vivienda popular se desarrolla a base de muros de mampostería de tabiques confinados mediante castillos y dalas. Estos elementos estructurales suelen fabricarse a base de varillas de 3/8" y estribos de 1/4", sin embargo, existen otros sistemas electrosoldados que reúnen las características mínimas normativas que también suelen usarse de manera común para este tipo de obras. Las barras de PRFV, representan entre estos otra opción competitiva con la ventaja de su ligereza, resistencia a la corrosión y durabilidad.

Es importante mencionar que las barras de PRFV consideradas (Ilustración 1) garantizan una resistencia a la tensión de hasta 8,000 kg/cm², poseen un peso específico menor a los 2,000 kg/m³ lo que las hace pesar la cuarta parte de una barra de acero de similar diámetro y es magnéticamente inerte, además cumplen con las Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal Libro 4 Tomo III Calidad de los materiales para Obra Civil. Materiales Compuestos, Capítulo 51 (Administración Pública del Distrito Federal CDMX, 2018).

Por la razón anterior, se consideró factible el comparativo del sistema constructivo tradicional contra el uso de barras de PRFV de una marca de recién ingreso a México.



Ilustración 1. Barras de PRFV con dibujo helicoidal

Características de las barras consideradas (Ilustración 2):

Características	Valor
MECÁNICAS	
Límite de resistencia a tensión (kg/cm ²)	8,000
Alargamiento relativo (%)	1.6-2.2
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	500,000
Límite de resistencia a compresión (kg/cm ²)	4,000
Límite de resistencia a corte transversal (kg/cm ²)	1,500
FÍSICO - QUÍMICAS	
Oxidación	No presenta
Conducción térmica	No presenta
Conducción eléctrica	Dieléctrico

Ilustración 2. Tabla de Propiedades del PRFV

En el análisis de costo se tomó en consideración el impacto de las operaciones de carga y descarga, que está altamente relacionado con el pre-habilitado y bajo peso del PRFV, dividiéndose las matrices de análisis de costos y rendimientos en habilitado y armado para facilitar su interpretación (Ilustración 3 y 4):

ACERO				
CONCEPTO	U	CANT	PU	IMPORTE
MANO DE OBRA				
Descarga de acero	Kg	3.15	\$ 1.65	\$ 5.18
Habilitado de Acero No. 2	Kg	0.92	\$ 2.67	\$ 2.46
Habilitado de Acero No. 3	Kg	2.23	\$ 2.23	\$ 4.96
Armado de Acero No. 2	Kg	0.92	\$ 4.01	\$ 3.69
Armado de Acero No. 3	Kg	2.23	\$ 3.34	\$ 7.44
MATERIALES				
Acero No.2 (alambros)	m	3.71	\$ 3.47	\$ 12.89
Acero No.3	m	4.00	\$ 6.99	\$ 27.96
Costo Total				\$ 64.57

Ilustración 3. Análisis de costos de armaduras de acero

ARMADURA DE PRFV				
CONCEPTO	U	CANT	PU	IMPORTE
MANO DE OBRA				
Descarga de PRFV	Kg	0.31	\$ 1.19	\$ 0.36
Armado de PRFV 4 a 12 mm	Kg	0.31	\$ 6.50	\$ 2.00
MATERIALES				
Barra de 6 mm PRFV	ml	4.00	\$ 7.09	\$ 28.37
Estribo 11X16 de 4 mm PRFV	pza	5.17	\$ 4.50	\$ 23.25
Costo Total				\$ 53.98

Ilustración 4. Análisis de costos de armaduras de PRFV

De las citadas matrices de análisis podemos observar que el uso de estas armaduras de PRFV, son una opción que pueden representar una mejora en costos contra las armaduras de acero tradicionales, aunque no necesariamente lo son con relación a armaduras electrosoldadas existentes en el mercado. No obstante, las armaduras de PRFV presentan la ventaja de ser menos proclives a corroerse y pudieran significar un beneficio en el rendimiento de la inversión en el largo plazo.

CONCLUSIÓN

Hemos podido constatar de acuerdo al (ACI 440 1R, 2015) y a la bibliografía citada en esta investigación documental y las referencias en ellas expuesta, que los compuestos poliméricos y particularmente el polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV) representan una opción factible y competitiva para la construcción de edificaciones en zonas costeras, la cual para algunos casos no parezca atractivo en el gasto de inversión inicial pero al sumar los ahorros generados por el nulo mantenimiento que demanda su durabilidad tendremos un sistema rentable.

REFERENCIAS

- ACI 440 1R . (2015). American Concrete Institute, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. Michigan: ACI.
- ACMA. (8 de 8 de 2018). AMERICAN COMPOSITES MANUFACTURERS ASSOCIATION. Obtenido de <https://acma-net.org/2018/08/landmark-legislation-will-drive-composite-infrastructure-solutions/>
- Bank, L. C. (2006). Composites for Construction, Structural Design with FRP Materials. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- CdMx (Ed.). (2018). Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal Libro 4 Tomo III - Cap. 51. Obtenido de ACI 440 1R . (2015). American Concrete Institute, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. Michigan: ACI.
- ACMA. (8 de 8 de 2018). AMERICAN COMPOSITES MANUFACTURERS ASSOCIATION. Obtenido de <https://acma-net.org/2018/08/landmark-legislation-will-drive-composite-infrastructure-solutions/>
- Bank, L. C. (2006). Composites for Construction, Structural Design with FRP Materials. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- CdMx (Ed.). (2018). Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal Libro 4 Tomo III - Cap. 51. Obtenido de http://www3.contraloriadf.gob.mx/prontuario/index.php/normativas/Template/ver_mas/63006/39/1/0
- Ebead, U. A., & Antonio, N. (2017). Applicability of Using seawater accompanied by FRP Reinforcement in Concrete Structures. Miami FL.: Universidad de Miami.
- Fergani, H., Benedetti, M. D., Guadagnini, M., Lynsdale, C., & Mias, C. (2017). Estudio de Caracterización y Durabilidad de barras de GFRP (PRFV) expuesta a entornos severos bajo cargas sostenidas. Journal Research Gate.
- Gooranorimi, O., Gremel, D., Myers, J. J., & Antonio, N. (2015). Durabilidad a largo plazo del refuerzo interno de GFRP (PRFV) en estructuras de concreto. ACI Journal.
- Gooranorimi, O., Myer, J. J., & Nanni, A. (2017). GFRP Reinforcements in Box Culvert Bridge: A Case Study After Two Decades of Service. West Conshohocken. doi:DOI: 10.1520/STP160120160119
- Khatib, M., & Nanni, A. (2017). Durability of GFRP Reinforcement in SEACON. CDCC 2017 - The Fifth International Conference on Durability of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites for Construction and Rehabilitation of Structures. Quebec, Canadá.
- Mufti, A., Onofrei, M., Benmokrane, B., & et al. (2007). Field study of glass-fibre-reinforced polymer durability in concrete. Canadian Journal of Civil Engineering. doi:10.1139/l06-138
- Nanni, A., Luca, A. d., & Jawahery, H. (2014). Reinforced Concrete with FRP Bars, Mechanics and Design. New York: CRC Press.
- NIST. (20 de 12 de 2017). National Institute of Standards and Technology. Obtenido de <https://www.nist.gov/publica->

- tions/road-mapping-workshop-report-overcoming-barriers-adoption-composites-sustainable?fbclid=IwAR2Hf8lmivMnp-9gGpMR_bbV0U_M2CffoT6bHS3VHBVdc-prpk7plCoJO96c
- Nolan, S., Rossini, M., & Nanni, A. (2017). Seawalls, SEACON, and Sustainability in the Sunshine State. Washinton D.C.: Conference: 97th Transportation Research Board Annual Meeting (TRB 2018).
- Ortuño, S. A. (2008). Tesis: Fibra de Vidrio, Pruebas y aplicaciones. México: IPN Culhuacán.
- Owen Corning. (2017). Owen Corning. Obtenido de <http://www.owenscorning.com.br/pdf/guia-corrosao-es.pdf>
- R., M., Cousin, P., & Benmokrane, B. (2009). Durability of GFRP Reinforcing Bars Embedded in Moist Concrete. *Journal of Composites for Construction*. doi:10.1061/ASCE1090-0268(2009)13:2(66)
- Redaelli, E., Arrigoni, A., Nanni, A., & al, e. (2019). Culvert Prototype Made with Seawater Concrete: Materials Characterization, Monitoring, and Environmental Impact. *Politecnico de Milano*. doi:10.1520/ACEM20180114
- Tomosawa, & Nakatsuji. (1997). Evaluation of the ACM reinforcement durability by exposure test in proceedings. 3rd International Symposium on Non-Metalic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. Sapporo Japón.

INTRODUCCIÓN



Figura 2. Santa Martha, municipio de Berriozábal, Chiapas (Google Earth, 2019)

La comunidad de Santa Martha se localiza en el municipio de Berriozábal Chiapas, en las siguientes coordenadas geográficas: 16° 47' 30.37'' N y 93° 21' 59.85'' W (figura 1). La comunidad se ubica a 10 km en línea recta de la cabecera municipal y a 25 km del centro de la capital del estado de Chiapas y tiene un total de 48 casas dispersas.

En la Figura 2 se puede observar una parte del conjunto de las 48 casas de Santa Martha.

Santa Martha es una comunidad rural con casas dispersas cuyas familias son de recursos económicos bajos. La población adulta se dedica a diversas actividades: los padres de familia y los hijos varones se ocupan principalmente en las actividades agrícolas y de forma esporádica a la albañilería; también realizan diversas labores en los ranchos cercanos y en general se emplean en las actividades agropecuarias que se ofrecen en la zona. La mayoría de las madres laboran en las actividades domésticas y algunas de ellas realizan tareas bajo contrato con algunas familias en la cabecera municipal. El monto salarial devengado varía entre 100 y 300 pesos por día y la media es de 250 pesos aproximadamente (Mundo et al, 2019).

Un poco más del 93% de las casas tiene techos de lámina, muy pocas de teja y tres de ellas tienen techos de concreto; existen algunas construidas con bajareque, sin embargo, la mayoría fueron edificadas

con tabicón. Existen familias numerosas compuesta por más de 5 integrantes (siete de las 48 familias pertenece a este caso), y una sola tiene 11 miembros viviendo en dos casas adjuntas. Hay tres viviendas reportadas con un solo habitante y 8 casas con dos personas. Sin embargo, el promedio de la comunidad es de 4 integrantes por casa. No existe transporte público para arribar a la comunidad, las familias que carecen de motocicletas o motonetas recorren a pie una distancia de 8 km aproximadamente para entrar o salir de Santa Martha hasta el entronque con la carretera internacional Tuxtla Gutiérrez-Cosoleacaque. Todas las familias tienen luz eléctrica pero carecen de servicios médicos; cuando las personas se enferman generalmente recurren a las farmacias y médicos de la cabecera municipal. No tienen agua potable ni alcantarillado (Mundo et al, 2019).

ANTECEDENTES

Desde su fundación hasta el año 2015 no hubo un proyecto formal para proveer de agua potable a la comunidad de Santa Martha. Desde su creación la población se auto suministra de dos formas: a través de la compra del líquido vital, que es transportada hasta el pueblo en carros-tanque (pipas) de 3000, 6000 y 10,000 litros; el costo de 1000 litros es de 1000 pesos mexicanos (52. 12 USD), a razón de 1 peso por cada litro entregado. La otra forma de suministro es a través de la “colección de agua de lluvia rudimentaria”; es común encontrar en cada casa diversos tipos de receptáculos que se utilizan como colectores de agua de lluvia, entre otros: depósitos de plástico de diversos tamaños (menores a 200 l), recipientes cilíndricos metálicos de 200 l, tanques tipo rotoplas de 450, 1100 y 2600 litros, tanques de ladrillo repellados con mortero de 5000 hasta 7000 litros (se localizaron 4 tanques de este tipo). Sin embargo, los problemas relacionados con esta forma de acopio rudimentario son los siguientes: todas las bajadas de aguas pluviales (BAP) son inapropiadas, muchas de ellas se realizan con canaletas mal construidas, sin el área hidráulica necesaria para conducir el caudal de una lluvia promedio, éstas no están sólidamente colocadas al techo colector, se mueven con el viento o con el impulso del agua; las tuberías que están sujetadas a las canaletas, son estructuras “hechizas” que no cumplen con las normas hidráulicas de dise-



Figura 3. Colección de agua de lluvia de forma rudimentaria en Santa Martha

ño; así, no se explotan a su máxima capacidad las superficies de colección que cada familia posee en el techo de su casa. De acuerdo a la encuesta realizada, el 99% de las casas son aptas para coleccionar el agua de lluvia no solo por la superficie expuesta sino porque el estado de los techos es muy bueno (sin roturas ni agujeros) y con la pendiente adecuada.

Por otra parte, en la gestión municipal 2015-2018 se construyó un tanque de concreto de 40 m³, sin embargo, el proyecto fue inapropiado desde su planeación hasta su edificación, debido a que fue incorrectamente diseñado y su construcción mal ejecutada, por ejemplo: 1. Se construyó en un sitio geográficamente mal ubicado respecto a la distribución espacial del caserío, 2. Carece de un sistema para coleccionar el agua de lluvia y por lo tanto debe ser llenado con pipas, 3. Se le instaló una tubería de conducción-distribución que solo proporcionó agua durante un corto periodo de tiempo a una pequeña parte de la población, porque la dispersión no permite que la línea aproxime el agua a todas las casas. Poco tiempo después de ser construido el tanque, dejó de utilizarse porque se fracturó y las fugas se infiltraban al subsuelo. En la actual administración municipal 2019-2021 se está planeando un proyecto sólido para suministrar agua a la comunidad de Santa Martha.

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN **Materiales**

Para establecer las alternativas de solución se utilizaron los siguientes materiales: 1. Estudios de gabinete (rutas de acceso, fotos satelitales de Google Earth, determinación preliminar del número total de casas en la comunidad, número preliminar de habitantes), 2. Elaboración de las encuestas, realizado por un equipo preparado exprofeso con el fin de determinar el conjunto de datos técnicos, sociales y económicos necesarios para la elaboración del anteproyecto. Los datos técnicos más relevantes de las encuestas fueron: número de habitantes por cada casa y su consumo promedio diario de agua per cápita), 3. Programación de las rutas de los recorridos de campo y 4. Revisión bibliográfica exhaustiva sobre los diversos métodos de suministro de agua a poblaciones rurales pequeñas. A continuación, se describen los más relevantes.

Encuestas. Las encuestas permitieron conocer el número de casas, el número de personas por casa y el total de individuos en la comunidad, así como la cantidad de agua diaria consumida por cada habitante. Como ya se ha enunciado en Santa Martha existen 48 casas y un total de 197 personas. El consumo promedio de cada habitante es de 30 l/d.

Estudios de gabinete y recorridos de campo. Los estudios de gabinete se realizaron con las cartas topográficas de suelo y vegetación de INEGI a escala 1:50,000. Las cartas posibilitaron la delimitación teórica de la zona de estudio, la delimitación de la subcuenca de aporte, el conocimiento de la red hidrográfica, los tipos de suelo y el clima de la región. Se revisó con detalle y se consultó con expertos las características geológicas de la zona de estudio. Por su parte, los recorridos de campo permitieron reconocer los datos estudiados en gabinete y ajustar otros con la experiencia obtenida en cada recorrido.

Revisión bibliográfica. Ésta posibilitó ver el tipo de tecnologías que se usan en México y otros países del mundo para solucionar la problemática del suministro de agua a pequeñas comunidades rurales (PCR). Así, en las PCR concentradas (no dispersas) que disponen de fuentes superficiales de suministro (manantiales, arroyos o ríos) la opción más viable (desde la perspectiva técnica y económica), son los sistemas de agua potable convencionales, es decir, aquellos constituidos por una obra de toma, línea de conducción, tanque regulador, tanque de cloración y red de distribución cerrada. En los casos similares,

pero con casas con cierta dispersión espacial, la solución es semejante, pero con redes abiertas. Existen muchas poblaciones donde no hay manantiales ni fuentes superficiales de suministro, pero cuentan con acuíferos (agua subterránea), entonces la opción contrastable es la construcción de pozos semi profundos o profundos. La colección de agua de niebla es una opción muy limitada en zonas donde ésta no contiene mucha agua, pero se está utilizando para dotar de agua potable a pequeñas comunidades del Perú y con mucho éxito en la comunidad de Chungungo en Antofagasta, en el norte de Chile (Cereceda et al, 1998). Por otra parte, en varias latitudes del mundo se está colectando el agua de lluvia para suministrar con agua de buena calidad a pequeñas poblaciones rurales, como es el caso de algunas comunidades en los Altos de Chiapas (Mundo, 2016).

Métodos

Se utilizaron dos criterios técnicos a los cuales se sumó el análisis económico para sugerir la mejor alternativa para suministrar agua a la comunidad de Santa Martha. El primero de ellos fue el criterio hidrológico asociado al clima. Este criterio permitió analizar el ciclo del agua en la región, es decir, la red hidrográfica, su circulación, su distribución espacial, así como la ocurrencia temporal del ciclo, esto incluyó las precipitaciones, la escorrentía y la presencia de aguas subterráneas. El segundo criterio técnico fue el geológico, que permitió analizar la posibilidad de existencia de agua subterránea en la zona de estudio.

Hidrología y clima. El municipio pertenece a la región hidrológica (RH) Grijalva-Usumacinta, cuya cuenca es el río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez; a una parte de esta RH corresponde la sub cuenca del río Sabinal y otras partes de su territorio concierne a las siguientes sub cuencas: El Chapopote (57.88%), Tuxtla Gutiérrez (36.05%), R. Netzahualcóyotl (4.31%), R. Suchiapa (0.95%), R. Alto Grijalva (0.69%) y R. de la Venta (0.12%). Sin embargo, la red hidrográfica de la sub cuenca donde se ubica Santa Martha es muy pobre en cuanto a la presencia de ríos y arroyos, los pocos que hay tienen caudales pequeños; el más importante está a pocos kilómetros de Santa Martha, es un arroyo perenne que se utiliza para abastecer a la cabecera municipal, pero su caudal es pequeño especialmente en la época de estiaje, el arroyo se de-

nomina “El Porvenir”.

El clima de Santa Martha es fresco casi todo el año, tiene una temperatura promedio anual que oscila entre 22 °C y 28 °C, mientras que la distribución de los climas entre la llanura, el lomerío y la sierra de la región son como sigue: 1. Cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una humedad relativa media de 42.45%; 2. Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (31.51%) y 3. Cálido subhúmedo con lluvias en verano (26.04%), respectivamente. Así, Santa Martha se ubica en la zona de lomeríos, por lo tanto es una zona húmeda con presencia de niebla en las mañanas de la temporada de lluvias, y más abundante aun en la etapa invernal donde la temperatura puede ser de hasta 10 °C; la época de lluvia en Santa Martha es en el estío y normalmente son abundantes, en una zona donde sus bosques (en forma de reductos), tienen cierto grado de conservación. Por otra parte, el promedio anual de precipitación en el municipio de Berriozábal varía entre los 900 mm y 2000 mm y en la zona donde se ubica Santa Martha es de 900 mm anuales. Como puede verse este promedio anual de lluvias es apropiado para la colección de agua de lluvia.

Aspectos geológicos. En las capas geológicas más superficiales, la zona de Santa Martha tiene similitudes con la geología de la reserva “La Pera”, compuesto de rocas calizas con numerosas grietas, cavidades y cavernas, que en conjunto forman un paisaje kárstico, razón por la cual los escurrimientos superficiales se infiltran a estratos profundos, como lo enuncia Lazcano et al (1999) y Mullerried (1982). En las capas más profundas la zona de estudio es una extensión de la Formación Ocozocoautla, así se designa al miembro arenoso conglomerático que aflora al W de la cabecera municipal de Ocozocoautla de Espinosa (OE). De acuerdo a ARTSICPPC (2010) al oriente de OE aflora una secuencia sedimentaria terrígena cuya característica principal es la gran cantidad de cambios laterales que descansan sobre las calizas de la Sierra Madre; en su parte inferior se presentan gravillas que subyacen a 190 metros de areniscas calcáreas, bien estratificadas, sobre éstas se presenta un espesor de 140 metros de lutitas arenosas con intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas-arenosas en capas de 10 a 20 cm de espesor (ARTSICPPC, 2010). Dentro de la serie Ocozocoautla existe en su cima un cuerpo de 60 metros de areniscas-calcáreas.

Hacia la capital del estado existe una inter digitalización de los depósitos de la Formación Angostura con los de la Formación Ocozocoautla. La Formación Angostura es una secuencia de sedimentos del Cretácico Superior que afloran en la depresión central y en el altiplano chiapaneco. Así, por las razones expuestas en este apartado es muy difícil encontrar agua subterránea en el municipio de Berriozábal, su existencia es posible, pero en estratos muy profundos (ARTSICPPC, 2010), como se puede implicar de la breve descripción geológica realizada.

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A SANTA MARTHA

Red cerrada de agua potable

No es posible diseñar un sistema cerrado de agua potable por dos razones: 1. Porque las casas de la comunidad están dispersas y 2. Porque no existen escurrimientos superficiales con el caudal suficiente.

Red abierta de agua potable

Del mismo modo que la red cerrada, no es posible diseñar un sistema abierto de agua potable porque no hay fuentes de suministro con el caudal suficiente para suministrar el vital líquido a la población demandante.

Pozos profundos

La zona donde se ubica Santa Martha se localiza en una zona kárstica y se estima que en capas profundas haya presencia de gravillas y lutitas arenosas con probable presencia de agua, pero es necesario realizar pruebas geohidrológicas a través de sondeos eléctricos para determinar al menos tres puntos probables, es decir “los tres mejores sitios” que pudieran presentar posibilidades de encontrar una fuente subterránea. Sin embargo, en caso de encontrar la fuente subterránea no se garantiza (una vez hecho el pozo de prueba) que el caudal de la fuente o acuífero sea el suficiente para suministrar agua a la población objetivo.

Colección de agua de niebla

En el año 1998 el primer autor realizó dos tipos distintos de pruebas experimentales para determinar

si las poblaciones con problemas de agua en los municipios de Berriozábal y Ocozocoautla (en los límites del aeropuerto de Llano San Juan), se les podría suministrar agua potable a través de la colección de agua de niebla. La primera prueba consistió en la instalación de un neblinómetro, con el fin de medir el volumen de agua de niebla diaria que se podría producir en la zona. La segunda prueba experimental tuvo como principal objetivo estimar la cantidad de agua que tiene cada gota de niebla, por tal razón se utilizó un equipo de espectrometría móvil de alta precisión. A continuación, se describen de forma breve las dos pruebas experimentales.

Para evaluar la cantidad de agua diaria que produce la niebla de la zona, se construyó e instaló un neblinómetro en las cercanías del aeropuerto (García et al, 1998 y Mundo et al, 1998). El colector se construyó con malla tipo mosquitero con una superficie aproximada de 4 m², sujeta a un marco metálico. En la base inferior del marco se colocó una canaleta de media caña de PVC conectada a un recipiente de 50 litros (colocado debajo de la canaleta). Adjunto al neblinómetro se instaló una estación meteorológica automatizada que midió de forma diaria las siguientes variables: precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. Este experimento se realizó durante un año en la Ranchería el Edén (García et al, 1998 y Mundo et al, 1998).

Por otro lado, se midió el tamaño de las partículas de niebla y la cantidad de agua contenida en cada una de ellas. Estas pruebas experimentales se realizaron con un equipo móvil especializado denominado “Forward Scattering Spectrometer Probe (PMS-FSSP-100; 1 to 1000 µm droplet diameter range)” del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, capaz de medir, no solamente el tamaño de cada partícula de niebla, sino además, la cantidad de agua que cada una de ellas tiene. El equipo se montó en un móvil que se desplazó a velocidad constante sobre la pista del aeropuerto Llano San Juan. Así, a través de sondas ópticas las gotas de nubes pasan a través del volumen de muestra, donde dispersan un rayo láser. La luz dispersada captada por los detectores permite determinar el tamaño de cada partícula de niebla. De ese modo se pueden estimar las cantidades a granel, las concentraciones totales del número de gotas, el radio efectivo de cada gota y la cantidad de agua líquida de cada una de ellas.

Ambos trabajos de investigación fueron publicados en la "1st International conference on fog and fog collection" llevado a cabo en julio de 1998 en Vancouver, Canada (García et al, 1998 y Mundo et al, 1998), y concluyeron que por el diámetro de las partículas (de una micrometría muy baja), los bancos de niebla de la zona no tienen la cantidad de agua suficiente para coleccionar volúmenes que permitan ser usados como fuente de suministro para las pequeñas comunidades rurales adjuntas o cercanas al aeropuerto "Llano San Juan", observaciones que fueron corroboradas por las pruebas de campo insitu con el neblinómetro.

Colección de agua de lluvia

Como ya se ha enunciado Santa Martha tienen un promedio de precipitación anual de 900 mm. Este promedio de precipitación anual es suficiente para llenar un tanque de geometría "cilíndrica recta" de hasta 50, 000 l para satisfacer las necesidades básicas de una familia compuesta por 9 personas durante toda la temporada de estiaje (que dura 6 meses) con una dotación de 30 l/d/persona. La ecuación que determina el volumen (V) del tanque arriba enunciado es su versión integral (para un caudal constante), es la siguiente:

$$\int \dot{V} = [\dot{Q} \int dt] \quad (1)$$

Cuya versión diferencial es:

$$\frac{V}{dt} = Q \frac{t}{dt} \quad (2)$$

Sabiendo que Q es el caudal en l/d, t es el tiempo en días y que la dotación D es:

$$D = \frac{Q}{NP} \quad (3)$$

entonces, sustituyendo la ecuación (3) en la (2) y re escribiéndola en forma general, se deduce que el volumen del tanque de geometría cilíndrica recta depende de la dotación (D), del número de personas (NP) y del tiempo de almacenamiento (t) en días:

$$V = (D)(NP)(t) \quad (4)$$

Tabla 1. Comparación de costos

Tipo de tecnología	Costos (pesos mexicanos)
Pozo profundo	3, 300 000.00
49 colectores domiciliarios de agua de lluvia	3, 414 000.00

El volumen V de la ecuación (4) y sus materiales constitutivos determinan el costo de cada colector de agua de lluvia que se resume en la tabla 1.

Así, dos de las opciones técnicamente posibles para suministrar agua a la comunidad de Santa Martha son: la colección de agua de lluvia (49 colectores de diferentes volúmenes) y la construcción de pozos profundos. El costo de cada opción se puede ver en la Tabla 1.

CONCLUSIONES

Las opciones para suministrar agua de buena calidad a Santa Martha no son muchas, la principal razón de esta circunstancia es que no existen fuentes superficiales que permitan realizar un proyecto convencional. En este documento se analizaron otras opciones, como la colección de agua de niebla, la colección de agua de lluvia y la construcción de pozos profundos. La colección de agua de niebla tampoco es factible, porque los bancos de niebla que se forman en las mañanas o en las tardes (en la temporada de lluvias y en la época invernal) no tienen ni el diámetro ni la cantidad de agua suficiente (comparada con las nieblas costeras de Baja California, México, Perú o el norte de Chile), como para abastecer a una pequeña población. Una opción técnica y económicamente factible es la colección de agua de lluvia, cuyo costo es similar a la construcción de un pozo profundo, pero sin la incertidumbre de este último, es decir, la inseguridad de localizar una fuente que garantice el caudal suficiente como para suministrar agua a una comunidad de casi 200 habitantes.

REFERENCIAS

- ARTSICPPC. (2010). Estudio regional forestal UMAFOR 0701 centro. Asociación Regional Tuxtla de Silvicultores Indígenas, Campesinos y Pequeños Propietarios de Chiapas, A.C (ARTSICPPC). Informe técnico. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Cereceda, P., Schemenauer, R.S. (1998). Fog water collection at El Tofo, Chile and other coastal sites in South America and Arabia. 1st International conference on fog and fog collection. Vancouver, Canada. 405-408.
- García, G.F., Virafuentes, U., Montañez, R.A. (1998). Fog microphysical characteristics in a rural site in Chiapas, México. 1st International conference on fog and fog collection. Vancouver, Canada. 325-328.
- Google Earth (2019). Mapa de Santa Martha, Berriozábal, Chiapas. Recuperado el 30 de mayo, 2019 de: <https://www.google.com/maps/@16.7924505,-93.3352051,10324m/data=!3m1!1e3>
- Lazcano, B. M., Johnson, J.D. (1999). Ficha Técnica para la Conservación de El Pozo, Municipio de Berriozábal, Chiapas, México. Informe técnico, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Mullerried, F. K. (1982). La Geología de Chiapas. Gobierno Constitucional del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 180 pp.
- Mundo, M.M., Martínez, A.P. (1998). Fog collection as a source for rural communities in Chiapas, México. 1st International conference on fog and fog collection. Vancouver, Canada. 405-408.
- Mundo-Molina, M. (2016) Supplying System for Drinking Water to Small Rural Communities with Zero Greenhouse Gases: Sixteen Years of Experiences in Mexico. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 1044-1052.
- Mundo, M.M., Ponce, M.M. (2019). Proyecto ejecutivo para la construcción de colectores de agua de lluvia domiciliarios (CALLD), para el suministro de agua potable a la comunidad de Santa Martha, municipio de Berriozábal, Chiapas. Informe técnico inédito. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

Por acuerdo del Comité Científico y Consejo Editorial de la Facultad de Ingeniería se establecieron los Lineamientos Generales para la publicación de artículos técnicos de la Revista Pakbal. Lo anterior, con la finalidad de normar la metodología para su elaboración y presentación.

Los artículos deberán cumplir lo siguiente:

ARTÍCULOS PROPIOS

(Reporte de investigación, ensayo, transferencia de tecnología, extensión e innovación tecnológica.
Máximo 10 cuartillas).

- **Título en español e inglés.** -No debe ser mayor a 15 palabras y debe describir el contenido claro, preciso y conciso.
- **Nombre de autor y coautores.** -Máximo cuatro integrantes.
- **Resumen.** -Debe incluir los resúmenes en español y en inglés (abstract) de 150 palabras cada uno. En el cual se indique de forma clara y breve el propósito de la investigación, procedimientos básicos, resultados y conclusiones. Evitar uso de abreviaturas y términos especializados.
- **Palabras clave.** -Presentar máximo cinco palabras clave en español e inglés (keywords) y deben aparecer debajo del resumen en la misma página.
- **Abreviaturas.** -Deben ser definidas la primera vez que se mencionan. Si fuera esto en el resumen, entonces debe definirse de nuevo en el cuerpo principal del texto.
- **Introducción y/o antecedentes.** -Indica el preámbulo del contenido.
- **Método o análisis.** -Describe el diseño de la investigación o contenido y se explica cómo se llevó a la práctica, justificando la elección de métodos, técnicas o instrumentos.
- **Resultados.** -Resalta los hallazgos relevantes, presentado en textos, tablas o ilustraciones.
- **Discusión.** -Interpretación de resultados y su significado sobre el trabajo de otros autores.
- **Conclusiones y/o recomendaciones.** -Delimita y precisa el contenido o tema o tratado.
- **Referencias.** -Se incorpora al final del artículo, en orden alfabético todas las obras citadas en el texto y pies de página. El autor debe revisar cuidadosamente que no haya omisiones e inconsistencias entre las obras citadas y la bibliografía. Usar formato APA versión 6.
- **Cuerpo del texto.** -Letra Arial 11 pts, interlineado sencillo, para que coincidan con las características de edición.
- En los artículos deberán referenciarse: tablas y figuras (gráficas, imágenes, fotografías, etc.)
- Numerar el material gráfico y tablas (mapas, fotos, gráficos): escala de grises, resolución 300 dpi, en formato JPG, PNG o TIFF.
- El autor del artículo deberá proporcionar su formación académica y correo electrónico.

te invitan a formar parte de la

LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

CONÓCENOS

- ▶ Contamos con calidad educativa (programa avalado por organismos evaluadores)
- ▶ Planta académica altamente capacitada
- ▶ Programa de estudio actualizado
- ▶ Infraestructura adecuada



Además, ofrecemos servicios como:

- ▶ Tutorías
- ▶ Seguro facultativo
- ▶ Servicio social con enfoque a la práctica
- ▶ Becas de estudio y modalidades de titulación
- ▶ Movilidad nacional e internacional
- ▶ Planes de actualización y capacitación docente
- ▶ Laboratorios equipados
- ▶ Centros de cómputo actualizados
- ▶ Internet gratis en todo el campus



¡ Ven y conócenos te esperamos !!

“SomosOrgullosamenteUnachensesPorSiempre”



EXAMEN EGEL - CENEVAL 2019

APLICACIÓN: 06 DE DICIEMBRE REGISTRO: 17 DE SEPTIEMBRE
CIERRE: 28 DE OCTUBRE

REQUISITOS:

A. Presentar copia en un folder tamaño carta, color beige (No grapar) lo siguiente:

- INE
- Certificado de licenciatura, Historial Académico o Constancia de Créditos
- Depósito bancario de \$1,630.00 (A excepción de carreras como Arquitectura y Técnico en enfermería, consultar costos en la página de CENEVAL o acudir al área de recepción de CENEVAL de la Facultad de Ingeniería)

DERECHOS CENEVAL EGRESADOS UNACH

BANCA: **BANAMEX**
TITULAR: **CENEVAL, A.C.**
CUENTA: **650284736**
CLABE: **002180650200847360**

Posteriormente asignado su matrícula, a los egresados de la UNACH, generar su pase de ingreso al examen en registro-ceneval a portal oficial web de registro en línea:

<https://registroenlinea.ceneval.edu.mx/RegistroLinea/indexCerrado.php>

DERECHOS CENEVAL, otras instituciones (foráneas)

BANCA: **SANTANDER SERFIN**, a través del registro en línea
<http://www.ceneval.edu.mx/registro-en-linea> (DAR CLICK A EGRESO)

DERECHOS SEDE:

- Acudir o comunicarse a la sede Nacional de la Facultad de Ingeniería UNACH para obtener referencia y realizar pago de \$600.00 en las instituciones bancarias correspondientes.

B. 2 Fotografías tamaño infantil B/N o a color, para el pase de ingreso

C.- Datos requeridos atrás del voucher: Nombre completo del sustentante / Folio del registro del examen / Nombre del EGEL / correo electrónico / sede donde lo presentará: (UNACH FACULTAD DE INGENIERÍA, CAMPUS I) / fecha de aplicación (06 DE DICIEMBRE DE 2019)

HORARIO DE ATENCIÓN

De lunes a viernes
Unidad Tecnológica (Planta alta, a un costado de dirección)
MATUTINO de 10:00 a 14:00 hrs.
VESPERTINO de 16:30 a 20:30 hrs.

GUÍAS:

www.ingenieria.unach.mx | www.ceneval.edu.mx/guias-egcl

RESULTADOS: En formato electrónico a los 30 días hábiles posteriores a la fecha de aplicación.

MAYORES INFORMES: L.A.E. CAROLINA VÁZQUEZ MARTÍNEZ / SRA. MARÍA DEL ROSARIO RUÍZ SÁNCHEZ

Unidad Tecnológica de la Facultad de Ingeniería (Planta alta, a un costado de dirección) Campus I de la UNACH,
Boulevard Belisario Domínguez km. 1081. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.



www.ingenieria.unach.mx



CENEVAL UNACH sede Facultad de Ingeniería



61780 00 ext. 1562 y 61503 22 ext. 101
Área de recepción de CENEVAL

CARRERAS PARTICIPANTES

CARRERAS DE DISEÑO, INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Arquitectura (EGEL-ARQUI)
Ciencias Computacionales (EGEL-COMPU)
Diseño Gráfico (EGEL-DISEÑO)
Informática (EGEL-INFO)
Ingeniería en Alimentos (EGEL-IALI)
Ingeniería Civil (EGEL-ICIVIL)
Ingeniería Computacional (EGEL-ICOMPU)
Ingeniería de Software (EGEL-ISOFIT)
Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Ingeniería Electrónica (EGEL-IELECTRO)
Ingeniería Industrial (EGEL-IINDU)
Ingeniería Mecánica (EGEL-IMECA)
Ingeniería Mecánica Eléctrica (EGEL-IME)
Ingeniería Mecatrónica (EGEL-IMECATRO)
Ingeniería Química (EGEL-IQUIM)

CARRERAS DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA CONDUCTA

Ciencias Agrícolas (EGEL-AGRO)
Biología (EGEL-BIO)
Enfermería (EGEL-ENFER)
Medicina General (EGEL-MEDI)
Medicina Veterinaria y Zootecnia (EGEL-MVZ)
Nutrición (EGEL-NUTRI)
Odontología (EGEL-ODON)
Psicología (EGEL-PSI)
Química (EGEL-QUIM)
Química Clínica (EGEL-QUICLI)
Químico Farmacéutico Biólogo (EGEL-QFB)

CARRERAS DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

Administración (EGEL-ADMON)
Ciencias de la Comunicación (EGEL-COMUNICA)
Ciencia Política y Administración Pública (EGEL CIPAP)
Comercio / Negocios Internacionales (EGEL-CNI)
Contaduría (EGEL-CONTA)
Derecho (EGEL-DERE)
Economía (EGEL-ECONO)
Gastronomía (EGEL-GASTRO)
Mercadotecnia (EGEL-MERCA)
Pedagogía/Ciencias de la Educación (EGEL-EDU)
Relaciones Internacionales (EGEL-RI)
Trabajo Social (EGEL-TSOC)
Turismo (EGEL-TUR)

OFRECE SUS SERVICIOS EN:

SERVICIOS DE CONTROL DE CALIDAD

- Análisis de agregados inertes (arena y grava) para concreto hidráulico y mortero hidráulico.
- Cálculo de proporcionamiento
- Pruebas de desgaste
- Ruptura de especímenes de concreto
- Ruptura de especímenes de mortero hidráulico
- Análisis de materiales para terracerías subrasantes
- Análisis de materiales pétreos para revestimiento, sub-bases hidráulicas y carpeta asfáltica (varillas corrugadas de 1", 3/4", 5/8", 1/2", 3/8" y 5/16")
- Ruptura de bloques sólidos, adoquines, etc.
- Estudios destructivos y no destructivos en concreto endurecido



SERVICIOS TOPOGRÁFICOS



- Líneas de control GPS (método estático).
- Levantamientos con equipo GPS en el sistema RTK.
- levantamientos para proyectos de carreteras agua potable, topohidráulicos, agrimensura, etc.
- Deslindes y configuración de terrenos.

Revista **PAKBOL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA

ISSN: 1665-4668

latindex

FOLIO: 23060
WWW.LATINDEX.ORG

