

Ava Cient

Instituto Tecnológico de Chetumal

Formación Integral, Científica, Tecnológica y Humanista

2019

Año 4 Núm. 2 Vol. VII

JULIO-DICIEMBRE

ISSN: 2594-018X

Órgano Informativo de Difusión Científica, Tecnológica, Académica e Innovación

CONSTRUCCIÓN Y SUSTENTABILIDAD



RETOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL SIGLO XXI

latindex

LatinREV
Revista Latinoamericana de Investigación Científica y Social

Actualidad
Iberoamericana

BASE

EBSCOhost

LivRe
Revistas de Libre acceso

PERIÓDICA
Revista de Periodismo y Comunicación en la Cultura

MIAR
Matriz de Información para el
Análisis de Revistas

DRJI
Directory of Research Journals Indexing

EDICIÓN ESPECIAL



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Revista Impresa



Enfoque y alcance:

La Revista AvaCient editada por el Tecnológico Nacional de México, tiene por interés, proporcionar a los investigadores, docentes, alumnos y público interesado, un medio para publicar los resultados de investigaciones científicas, tecnológicas y documentales, afines a la arquitectura, ingeniería eléctrica y electrónica, ingeniería en química y biología, ingeniería en sistemas computacionales e informáticas, ingeniería en ciencias de la tierra, a las ciencias económico-administrativas, docencia y a las ciencias naturales.

El contenido de los artículos es estrictamente original, de carácter inédito, es importante y claro, a su vez, es pertinente para el área de interés de la revista.

El ISSN 2594-018X, es impreso, de cobertura nacional. Los artículos se publican en español o en inglés. Frecuencia de publicación: Semestral.

AvaCient incluye temáticas multidisciplinarias, relacionadas con la ingeniería: bioquímica, civil, eléctrica, sistemas computacionales, tecnologías de la información y comunicaciones, así como los temas relacionados con la arquitectura, biología, docencia y las ciencias económico administrativas.

Políticas de selección:

Tipos de manuscritos a considerar su publicación:

Artículo de investigación científica y/o tecnológica. Es un documento en donde su objetivo principal es dar a conocer de manera evidente y concreta los resultados originales de una investigación efectuada sobre un tema específico. Es la culminación de la presentación de un documento elaborado con un pensamiento crítico y analítico, considerando una extensión hasta de 20 cuartillas.

Artículo de investigación documental. La investigación documental es un proceso científico, sistemático y de búsqueda, recopilación, organización, análisis y comprensión de información en torno a un tema específico. Como toda investigación debe de estar orientada a la generación del conocimiento, que implica la descripción y cuantificación de un problema específico, con una extensión máxima de 20 cuartillas.

Artículo de divulgación. El objetivo primordial de este tipo de documento es hacer llegar información fidedigna sobre cualquier tema en general para el público en general. Esta temática deberá dirigir sus esfuerzos en adaptar el lenguaje especializado a la comunicación coloquial, máximo 10 cuartillas.

Resumen de tesis. Este documento deberá contener título de trabajo o proyecto, el lugar donde se realizó, el nombre del autor, periodo y el año en que se realizó, así como la institución en donde se desarrolló. Máximo dos cuartillas, con una antigüedad de hasta dos años a la fecha de sometimiento.

El mismo artículo no debe ser enviado simultáneamente a otras revistas o congresos para su aceptación y/o divulgación impresa, electrónica o por cualquier otro medio.

Para mayor detalles y especificaciones consultar la guía para autores.

Proceso de revisión:

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje, el proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato, utilizando el sistema doble ciego y el contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Tiempo estimado para la evaluación:

Con el objetivo de garantizar un correcto y riguroso proceso de evaluación en cada una de sus fases, se estima un promedio de entrega de dictámenes de 90 días. Se garantiza una comunicación constante y asertiva sobre el envío y avances del proceso editorial.

AvaCient mantiene una convocatoria abierta durante todo el año para la recepción de artículos, con cierres semestrales para la selección de documentos por edición. El autor(es) entiende que el hecho de someter su artículo a la revista no genera ningún tipo de compromiso de publicación hasta surtir con éxito todo el proceso editorial.

Indización:

AvaCient, cuenta con los siguientes índices:



Código de ética:

Véase el apartado respectivo en las siguientes páginas, declaratoria de ética y buenas prácticas, AvaCient previene el plagio y las prácticas de publicaciones depredadoras. Para ello, presenta la declaratoria de ética editorial que se fundamenta en los principios establecidas por el *Committee on Publication Ethics (COPE)*.

Política de acceso abierto:

La Revista AvaCient es de acceso abierto y no cobra por el envío de los artículos, el proceso editorial y la publicación. Puede ser consultada libremente, sin requerimiento de registro, suscripción o pago. Se permite al autor y a terceros leer, descargar, copiar, reproducir, distribuir, comunicar y crear a partir del artículo, siempre y cuando se atribuya el crédito al autor(es), se reconozca la publicación inicial en la Revista Avacient y sea para fines no comerciales. Provee acceso libre a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente la investigación al público, lo cual fomenta un mayor intercambio de conocimiento global.

Contacto:

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Chetumal
Tel: 9838322330, 9838321019
Email: avacient@itchetumal.edu.mx

Disponible en Internet:

<http://www.itchetumal.edu.mx/avacient/index.php/revista/index>

Directorio

Tecnológico Nacional de México
Director General
Dr. Enrique Fernández Fassnacht
Instituto Tecnológico de Chetumal
Director
Ing. Mario Vicente González Robles
Subdirectora Académica
M.T.I. María de los Ángeles Navarrete Marneou
Subdirector de Planeación y Vinculación
Dr. Manuel Alfredo Pech Palacio
Subdirector de Servicios Administrativos
Ing. Rafael Olvera Rodríguez

Consejo Editorial

Subdirector de Planeación y Vinculación
(TecNM/ITChetumal)
Dr. Manuel Alfredo Pech Palacio
Jefe del Depto. de Comunicación y Difusión
(TecNM/ITChetumal)
Mtro. José Pedro Villalobos Puga
Jefe del Centro de Información (TecNM/ITChetumal)
Lic. Esteban Magaña Pérez
Jefa de la División de Estudios Profesionales
(TecNM/ITChetumal)
Mtra. Raquel Ivet Saavedra Vargas
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
(TecNM/ITChetumal)
Dra. Alicia Carrillo Basto
Jefe del Departamento de Recursos Materiales y Servicios
(TecNM/ITChetumal)
Ing. Abelardo Villar Mex
Editor (TecNM/ITChetumal)
Dr. Robert Beltrán López

AVACIENT, Año 4, Núm.2, Vol.VII, JULIO-DICIEMBRE 2019, es una revista semestral, publicada y editada por el Tecnológico Nacional de México dependiente de la Secretaría de Educación Pública, a través del Instituto Tecnológico de Chetumal, Arcos de Belén Núm 79, piso 3, Colonia Centro, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06010, Ciudad de México, Tel. 5536011000 Ext. 65064, d_vinculacion05@tecnm.mx, Editor Dr. Robert Beltrán López. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2016-111018275600-102, ISSN: 2594-018X, ambos son otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número Dr. Robert Beltrán López, Editor, Instituto Tecnológico de Chetumal, Av. Insurgentes Núm. 330 esquina Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, Tel. 0198322330 y 0198321019. Fecha de término de impresión 3 de diciembre de 2019.

Objetivo de la revista, es proporcionar a los investigadores, docentes, alumnos y público interesado, un medio para publicar los resultados de investigaciones científicas, educativas, tecnológicas y documentales, afines a la arquitectura, ingeniería eléctrica y electrónica, ingeniería en química y biología, ingeniería en sistemas computacionales, ingeniería en ciencias de la tierra, a las ciencias económico-administrativas, docencia y a las ciencias naturales.

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje, el proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato, utilizando el sistema doble ciego y el contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

El contenido de los artículos es estrictamente original, de carácter inédito, es importante y claro, a su vez, es pertinente para el área de interés de la revista.

AvaCient provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de que hacer disponible gratuitamente la investigación al público, lo cual fomenta un mayor intercambio de conocimiento global e impide la obsolescencia del conocimiento. Sin embargo, cada autor podrá efectuar el archivo de sus trabajos por iniciativa propia a través de repositorios institucionales, colectivos o temáticos. La revista apoya las iniciativas de acceso abierto.

Queda autorizada la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación, a condición de que se cite la fuente completa y se incorpore un enlace <http://itchetumal.edu.mx/avacient/index.php/revista/index>

La indización está a cargo de: LATINDEX, con folio 14107, EBSCO Host, Revistas de Livre Acesso, LatinREV, Actualidad Iberoamericana, BASE (Bielefeld Academic Search Engine), PERIODICA, MIAR, DRJI.

Soporte técnico: Mtro. José Luis Moctezuma Tejeda. Cel. 2291521713. jmoctezuma@itchetumal.edu.mx
Diseño de portadas por Luis Castillo. Cel. 9831363671. zluis29@hotmail.com
Corrección y estilo por Yennifer M. Lizama Juárez, Claudia I. Flores Lucas, Jader de J. Quintana Monroy.
Se reconoce los créditos de la fotografía utilizada para la portada y contraportada a Raciél Manríquez.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas

AvaCient previene el plagio y las prácticas de publicaciones depredadoras. Para ello, presenta la declaratoria de ética editorial que se fundamenta en los principios establecidas por el *Committee on Publication Ethics (COPE)*:

Responsabilidades del Comité Editorial

- La descripción de los procesos de revisión por pares es definido y dado a conocer por el Comité Editorial con el fin de que los autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación. El Comité Editorial está siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación.

Responsabilidades del Editor

- El editor se responsabiliza por todo lo publicado en la revista, esforzándose por satisfacer las necesidades de los lectores y autores; por mejorar constantemente la revista; por asegurar la calidad del material que publica; por impulsar los estándares académicos y científicos.
- La decisión del editor de aceptar o rechazar un texto para su publicación estará basada únicamente en la importancia del artículo, la originalidad, la claridad y la pertinencia que éste represente para la revista.
- El editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los revisores la identidad de los autores. Tampoco podrá revelar la identidad de los revisores en ningún momento.
- El editor asume la responsabilidad de informar debidamente al autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del dictamen.
- El editor evalúa los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los autores.

Responsabilidades de los autores

- Los autores deben garantizar que sus manuscritos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética. Además, deben garantizar que sus trabajos no han sido previamente publicados o que no están siendo considerados en otra publicación. Se considerará un trabajo como previamente publicado cuando ocurra cualquiera de las siguientes situaciones:
 1. Cuando el texto completo haya sido publicado.
 2. Cuando fragmentos extensos de materiales previamente publicados formen parte del texto enviado a la Revista y no existan cambios sustanciales en las aportaciones del mismo.
 3. Cuando el trabajo sometido a la Revista esté contenido en memorias publicadas in extenso.
 4. Estos criterios se refieren a publicaciones previas en forma impresa o electrónica, y en cualquier idioma.
- Para la publicación de sus trabajos, los autores deben seguir estrictamente la guía para autores definida en la Revista.
- Los autores de los artículos deben presentar una descripción precisa de la investigación realizada, así como una discusión objetiva de su importancia. Un documento debe contener suficiente detalle y referencias para permitir a otros utilizar el trabajo. Declaraciones fraudulentas o deliberadamente inexactas constituyen un comportamiento poco ético y son inaceptables.
- Los autores deben garantizar que han escrito en su totalidad las obras originales, y si los autores han utilizado el trabajo y/o palabras de otro(s) tiene(n) que ser debidamente citado(s). El plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable. En consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.
- Un autor no debería, en general, publicar artículos que describen esencialmente la misma investigación en más de una revista o publicación primaria. La presentación del mismo manuscrito a más de una revista constituye un comportamiento poco ético y la publicación es inaceptable.
- Se deben de reconocer las fuentes adecuadamente. Los autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del trabajo presentado.
- La autoría debe limitarse a aquellos que han hecho una contribución significativa a la concepción, diseño, ejecución o interpretación del estudio. Todos aquellos que han hecho contribuciones significativas deben aparecer como co-autores. El o los autores principales deben asegurar que todos los co-autores se incluyen en el artículo, y que todos han visto y aprobado la versión final del documento y han acordado su presentación para su publicación desde el principio del proceso.
- Todos los autores deben revelar en su manuscrito cualquier conflicto financiero o de otro tipo que pudiera influir en los resultados o interpretación de su manuscrito. Todas las fuentes de apoyo financiero para el proyecto deben ser revelados.

Responsabilidades de los revisores

- Los revisores se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los manuscritos que evalúan.
- Para la revisión de los trabajos, los revisores deben contar con las normas para realizar esta tarea. Dichas normas deben ser proporcionadas por la Revista y son las que deben de considerar para la evaluación.
- Todo revisor seleccionado debe notificar en el tiempo establecido al editor de la Revista si está calificado para llevar a cabo la revisión del trabajo o si no está en la posibilidad de hacerlo.
- Cualquier manuscrito recibido para su revisión debe ser tratado como documento confidencial. No se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del editor.
- Los revisores se deben conducir de manera objetiva. Toda crítica personal al autor es inapropiada. Los revisores deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos.

Ante este panorama, AvaCient tiene la intención de adherirse a estándares éticos. Con el propósito de orientar a los autores, revisores y editores en el desempeño de sus funciones.

Comité Editorial Científico

Árbitros participando en este ejemplar.

Proveniente de diferentes Universidades e Instituciones de Educación Superior de México, Perú.

Instituto Tecnológico de Chetumal (México)

Dr. Julio César Cruz Argüello
Dr. Luis Felipe Jiménez Torrez
Dr. Salvador Felipe Espinet Vázquez
Dr. Leopoldo Querubin Cutz Pool
Dra. Alicia Carrillo Bastos
Mtra. María Josefina Aguilar Leo
Dr. Eustacio Díaz Rodríguez
Mtra. Luz María González Barragán
Dr. Robert Beltrán López
Mtra. Blandy Berenice Pamplona Solís
Dr. Ricardo Enrique Vega Azamar
Dr. José Antonio Domínguez Lepe
Dra. Herlinda del Socorro Silva Poot

Universidad de Quintana Roo (México)

Dr. Edgar Alfonso Sansores Guerrero
Dra. Juana Edith Navarrete Marneou
Dra. Luz Margarita González López
Dra. Yunitzilim Rodríguez Peraza

Universidad Politécnica de Bacalar (México)

Mtra. María Antonia de los Ángeles Díaz Martín

Universidad Autónoma de Sinaloa (México)

Dra. Ana María López Carmona

**Universidad Autónoma de Aguascalientes
(México)**

Dr. Miguel Ángel Oropeza Tagle

**Universidad Intercultural Maya
de Quintana Roo (México)**

Dra. Valeria Betzabé Cuevas Albarrán

**Instituto Tecnológico Superior de
San Martín Texmelucan (México)**

Dra. Esmeralda Aguilar Pérez

Universidad de Piura (Perú)

Dr. Luis Gerardo Gómez Jacinto

Instituto Tecnológico de Comitán (México)

Dr. Francisco Gabriel Yáñez Domínguez

Universidad Autónoma de Yucatán (México)

Dra. Elizabeth del Rosario Vázquez Borges

Instituto Tecnológico de Iguala (México)

Mtro. Sergio Ricardo Zagal Barrera

Instituto Politécnico Nacional (México)

Dra. Erika Cassio Madrazo

Universidad Autónoma de Tlaxcala (México)

Dra. María Mercedes Rodríguez Palma

Universidad del Mar (México)

Dr. Eduardo Jiménez Hidalgo

Instituto Tecnológico de Boca del Río (México)

Dra. Itzel Galaviz Villa

Universidad de Guadalajara (México)

Dr. Rogelio Rivera Fernández
Dr. Francisco Javier Moscoso Sánchez
Dra. Adriana Hernández García

Universidad del Valle de Atemajac (México)

Dr. Evelio Gerónimo Bautista

Ecosur (México)

Dra. Carla Beatriz Zamora Lomeli

Conacyt (México)

Dra. Mayra Polett Gurrola
Dra. Danna Lizeth Trejo Arroyo
Dr. Zakaryaa Zarhri

**Instituto Tecnológico Superior de
Coatzacoalcos (México)**

Mtra. Karla Margarita Castilla Acosta

**Instituto Tecnológico Superior de
Ciudad Hidalgo (México)**

Mtra. Susana Reyes Vázquez

Universidad ESAN (Perú)

Dr. Edmundo R. Lizarzaburu Bolaños

Universidad del Caribe (México)

Dr. Miguel Ángel Olivares Urbina

Revista Científica Multidisciplinaria

<http://www.itchetumal.edu.mx/avacient/index.php/revista>

Presentación del Número Especial

En el marco de la celebración del decimotercer aniversario de la Maestría en Construcción del Instituto Tecnológico de Chetumal, se llevó a cabo, del 2 al 4 de octubre de 2019, el Segundo Congreso Nacional de Construcción Sustentable.

El Congreso tuvo como eje articulador la revisión de las principales corrientes de trabajo, tendencias y prácticas actuales en materia de construcción sustentable y áreas del conocimiento afines, partiendo del hecho de que la industria de la construcción es, a la vez, motor de la economía, promotora de bienestar social, consumidora de recursos y generadora de impactos ambientales. Como era de esperarse, una vez más, la tecnología y la innovación estuvieron al centro de la discusión como herramientas clave para alcanzar las metas, y buscar el balance, en los tres componentes del desarrollo sustentable: lo social, lo económico y lo ambiental.

Las tres grandes líneas temáticas del Congreso fueron la administración de la construcción, las tecnologías de la construcción y los materiales constructivos innovadores. Fueron también bienvenidos trabajos relacionados con la evaluación de la sustentabilidad en disciplinas afines y complementarias a la construcción sustentable. Específicamente, se abordaron temáticas relacionadas con materiales (alternativos, micro y nanomateriales, materiales energéticamente eficientes), tecnología y durabilidad del concreto, sistemas constructivos sustentables, gestión de la construcción, manejo integral de residuos de la construcción y demolición, metodologías de evaluación de la sustentabilidad, confort y desempeño térmico, eficiencia energética, energías renovables y huella de carbono, entre otras.

En total, se presentaron 34 ponencias orales, 19 de ellas *in extenso* correspondientes a este número especial de AvaCient, 15 trabajos bajo la modalidad de póster y se impartieron 5 conferencias magistrales con la participación de conferencistas provenientes de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, la Universidad Autónoma de Campeche y la empresa estadounidense de servicios de administración de la construcción Archer Western.

El Segundo Congreso Nacional de Construcción Sustentable es resultado del trabajo que día con día se lleva a cabo en el Instituto Tecnológico de Chetumal, reflejo de la colaboración de toda la comunidad del Instituto; para toda ella, vaya nuestro más sincero reconocimiento.

Ricardo Enrique Vega Azamar

Coordinador del Número Especial

Tabla de contenido

Presentación de la revista.

Directorio y cintillo.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas.

Comité editorial científico.

1. Panel de cemento adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster. Edgard David Saavedra López. José Antonio Domínguez Lepe. Julio César Cruz Argüello. Danna Lizeth Trejo Arroyo. **01**

2. Calidad de aire interior en ambientes cerrados, caso de estudio: Instituto Tecnológico de Chetumal. Iván Alexander Wong González. Gabriela Rosas Correa. Ricardo E. Vega Azamar. Laura Isabel Guarneros Urbina. **11**

3. Costo-beneficio de la seguridad laboral durante la construcción de vivienda masiva. Diana Salvador López. Patsi Yam Canul. Luis Felipe Jiménez Torrez. Maritza Chan Juárez. **21**

4. Obtención de CaCO_3 con *Bacillus subtilis* para la fabricación de concreto autorreparable. Juan Andrés Cuadros Portales. Gerardo de J. Sosa Santillán. Felipe Ávalos Belmontes. Elia Martha Múzquiz Ramos. **29**

5. Acciones urbanas para la mitigación de riesgos por fenómenos meteorológicos en Chetumal. Rafael Rosas Monroy, Gabriela Rosas Correa. Herlinda del Socorro Silva Poot. **39**

6. Sulfatos en agua subterránea de la zona baja en Chetumal, Quintana Roo. Teodoro Beutelspacher García. **51**

7. Diseño de muros y fachadas prefabricadas con residuos construcción y demolición. Arturo Galván Higuera. **61**

8. Suceptibilidad a la corrosión localizada del acero inoxidable austenítico AISI 321 soldado. Rafael García Hernández. Paulina López Eligio. Víctor Hugo López Morelos. **75**

9. Propiedades físico-mecánicas del concreto con sustitución parcial de ceniza de bagazo de caña de azúcar. Dianely Yazuri Chulim Tec. Alberto Yeladaqui Tello. Danna Lizeth Trejo Arroyo. **87**

10. Dialéctica entre la vivienda rural y el medio ambiente. Q. Roo, México. Clara Sugedydi Torres Uicab. **95**

11. Mortero arquitectónico a base de resina del árbol de Chukum. Ariadne Guadalupe Ordóñez Melken. Claudia Beatriz Rodríguez Poot. Jesús Armando Gómez Pinzón. Nínive Margely Navarrete Canto. **107**

12. Caracterización de agregados calizos para la elaboración de concreto en Valladolid, Yucatán. Lucila Guadalupe Aguilar Rivero. Diana Aracelly Loria Arjona. Suyen Gandhi Kauil Uc. **115**

13. Caracterización físico-química y mecánica del material calizo utilizado en el Sureste Mexicano. Karen Estefany Acosta Guzmán. Danna L. Trejo-Arroyo. Julio César Cruz Argüello. Alberto Yeladaqui Tello. **125**

14. Microestructura y propiedades mecánicas de una junta soldada de placas bicapa API X60/316L. Blanca Anilú Pichardo Álvarez. Víctor Hugo López Morelos. Rafael García Hernández. Melchor Salazar Martínez. **135**

15. Fabricación y caracterización de compuestos de policaprolactona-biovidrio. Ana Beatriz Martínez Valencia. Luis Ernesto Ceja Martínez. Gerorgina Carbajal De la Torre. Marco A. Espinosa Medina. **147**

El contenido de los artículos es estrictamente original, de carácter inédito, es importante y claro, a su vez, es pertinente para el área de interés de AvaCient. Los artículos pasan por un arbitraje doble ciego.

16. Gestión de residuos de construcción y demolición en obras de edificación. Jonathan De Dios Frías. José Antonio Domínguez Lepe. Luis Felipe Jiménez Torrez. Maritza Chan Juárez. **155**

17. Comportamiento aerodinámico de la Casa-Maya mediante la dinámica de fluidos computacional. Víctor Antonio Chulin Tec. Cleotilde Herrarte. Dianelly Yazuri Chulim Tec. **167**

18. Sistema EIFS en muros de block y morteros elaborados con PET pulverizado. Elves Cabrera Contreras. Claudia Beatriz Rodríguez Poot. Jesús Armando Gómez Pinzón. José Ramón Ortiz Gómez. **181**

19. Diagnóstico del déficit de infraestructura urbana y viabilidad económica para resarcir la demanda en Bacalar. Angel Gabriel Puc Aguilar, Ninive Margely Navarrete Canto. Ricardo Enrique Vega Azamar. Roberto Mena Rivero. **189**

Guía para autores.

PANEL DE CEMENTO ADICIONADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENOY RESINA DE POLIÉSTER

Edgard David Saavedra López¹, José Antonio Domínguez Lepe²,
Julio César Cruz Argüello³, Danna Lizeth Trejo Arroyo⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 13/06/2019 Aceptado: 20/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- En este trabajo se expone el desarrollo y evaluación de un panel ligero compuesto de la mezcla de un mortero de cemento hidráulico como conglomerante para conformar la pasta con el agregado fino, adicionando fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado para actuar como refuerzos. Teniendo como resultado una innovación al estado de la técnica, ya que se espera que el panel propuesto sea resistente a pruebas físico-mecánicas. Se muestran los procesos de acopio de materiales, caracterización de agregado fino, optimización de los proporcionamientos, fabricación del panel y pruebas físico-mecánicas, comparándolo contra un panel de cemento de características similares en el mercado. Las experiencias y resultados obtenidos denotan un impacto positivo en el ámbito técnico.

Palabras clave: panel ligero; innovación; resistente; físico-mecánicas.

CEMENT PANEL ADDITIONED WITH POLYPROPYLENE FIBERS AND POLYESTER RESIN

Abstract.- In this research, the development and evaluation of a lightweight panel composed by a mix of hydraulic cement mortar as a binder to form the paste with the fine aggregate, adding polypropylene fibers and unsaturated polyester resin to act as reinforcements. Resulting in an innovation to the state of the art, since the proposed panel is expected to be resistant to physic-mechanical tests. It shows the processes of material collection, fine aggregate characterization, optimization of the proportions, panel manufacturing and mechanical tests, comparing it against a cement panel with similar characteristics in the market. The experiences and results obtained show a positive impact in the technical scope.

Keywords: light panel; innovation; resistant; physical-mechanical.

Introducción.

En esta investigación se expone la evaluación de un elemento compuesto como lo es el panel, que resulta de la mezcla de un mortero de cemento hidráulico con la adición de fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado.

Los paneles son elementos prefabricados limitados por molduras o fajas hechos a base de materiales como el cemento, acero, yeso, madera, aluminio y polímeros, usados para la división de espacios, suspensión, fachadas y cubiertas en edificaciones. Se clasifican según su peso; en ligeros cuando es inferior a 30 kg, destinados a ser colocados en forma manual por uno o dos operarios; semipesados cuando es inferior a 500 kg, destinados a ser colocados por medios mecánicos simples usando poleas, palancas, malacates y barretas; y pesados cuando es superior a 500 kg destinados a ser colocados con maquinaria pesada como por ejemplo el uso de grúas. El panel a evaluar está clasificado como ligero en donde la relación entre superficie y grosor es significativa.

Los materiales que constituirán el panel, son el cemento hidráulico como conglomerante para conformar la pasta con el agregado fino, adicionando fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado para actuar como refuerzos, esto es con la intención, de cumplir con las características físico-mecánicas de acuerdo a normatividad internacional, proponiendo una alternativa técnicamente igual o mejor en la industria de la construcción en el país de México.

-
1. Édgar David Saavedra López. Docente de la Carrera de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal, eds1_mx@hotmail.com (Autor correspondiente)
 2. José Antonio Domínguez Lepe. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal
 3. Julio César Cruz Argüello. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal
 4. Danna Lizeth Trejo Arroyo. Cátedra Conacyt - Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal

Materiales y métodos.

Acopio de materiales.

En esta fase se procedió a coleccionar la materia prima en una tienda de materiales y una tienda de fabricación de materiales compuestos y plástico reforzado, adquiriendo un saco de 50 kg de cemento hidráulico, un saco de agregado fino, una bolsa de 600 gr de fibras de polipropileno, 20 kg de resina de poliéster insaturado y un panel de cemento de 1.22 x 2.44 m.



Figura 1. Materiales.

Caracterización del agregado fino.

Los agregados finos de la región provienen de piedra caliza triturada, siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. Los agregados finos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Para la caracterización del agregado fino como componente del panel se toma de base la Norma ASTM C33, realizando las siguientes pruebas: granulometría de los agregados finos, peso volumétrico seco y suelto, peso volumétrico seco y compacto, absorción y humedad.



Figura 2. Caracterización del agregado fino.

Determinación del proporcionamiento de los materiales para las muestras.

En base a revisión de la literatura se tenía definido que proporcionamiento utilizar (cemento –agregado fino - agua 1:1:1/2, fibra de polipropileno 0.5 - 1.5% y resina de poliéster insaturado 10 - 20%), sin embargo; al realizar muestras con estas variables dieron resultados insatisfactorios en la conformación del panel.



Figura 3. Muestra insatisfactoria.

Por tanto, se elaboran pruebas piloto con otras proporciones (cemento –agregado fino - agua 5:1:1/4, fibra de polipropileno 0.5 - 1.5% y resina de poliéster insaturado 30 - 40%) para verificar si lo descrito en las publicaciones es acorde a los resultados que se desean obtener ya que el elemento de estudio es innovador. Dando resultados satisfactorios en la conformación del panel.

Fabricación de moldes para las muestras.

Se realizan moldes para el diseño experimental a base de soleras de acero con una sección de 1 1/4" x 1/4" con una base de cristal de 6 mm de espesor y una hoja de acetato, las medidas para la prueba de flexión de 60 cm de longitud por 15 cm de ancho y un 0.635 cm de espesor, y para las otras pruebas con moldes de 20 cm de longitud por 20 cm de ancho y un 0.635 cm de espesor.



Figura 4. Moldes para las muestras.

Fabricación de muestras.

El proceso de fabricación de las muestras consistió en pesar cada uno de los materiales de acuerdo a las proporciones, mezclar los materiales buscando obtener una mezcla uniforme, preparar el molde añadiendo desmoldante en las paredes del molde para que al contacto con la mezcla posterior a su fraguado pudiera desprenderse con facilidad y eficiencia del proceso de producción, verter la mezcla, para posteriormente dejar secar a temperatura ambiente por un lapso de 1 hora hasta obtener rigidez, ya habiéndose obtenido la muestra se procede a descimbrar.



Figura 5. Fabricación de muestras del panel de cemento.

Asimismo, se corta con rehilete el panel comercial de cemento adquirido para comparar con panel fabricado en medidas de 60 cm de longitud por 15 cm de ancho por 1.27 cm de espesor, 5 cm por lado por 1.27 cm de espesor y de 20 cm por lado por 1.27 cm de espesor.



Figura 6. Corte del panel comercial de cemento.

Curado de muestras.

El curado es un proceso en el cual cada muestra se expone al ambiente en un lapso de tiempo de 28 días consecutivos con el fin de realizar posteriormente las pruebas físico-mecánicas.



Figura 7. Curado de muestras del panel de cemento.

Pruebas físico-mecánicas.

Para la realización de las pruebas se consideran cinco variables independientes, entre las cuales, cuatro corresponden a proporciones para la fabricación del panel de cemento y una corresponde a panel de cemento comercial con la intención de comparar los resultados. Las pruebas que se realizan son:

- Densidad ASTM C-138, esta prueba cubre la relación entre el peso del material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m^3 , así mismo, se considera el peso de cada muestra en kg.
- Absorción de agua ASTM C-140, esta prueba permite la determinación del porcentaje de absorción del elemento compuesto. El valor de absorción brinda una idea de la cantidad de agua que absorbe la unidad.
- Compresión ASTM C-109, esta prueba cubre la determinación de la resistencia a la compresión, utilizando especímenes cúbicos de 5 cm de lado, expresado en kg/cm^2 .
- Flexión ASTM E-72, esta prueba cubre la determinación de la resistencia a la flexión en paneles livianos, la carga se aplica en dos puntos a los cuartos de longitud del espécimen y se miden deformaciones en el centro, el ensayo se realiza con el espécimen en posición horizontal, las unidades se expresan para los esfuerzos en kg/cm^2 .

Se analizarán los resultados de cada prueba de flexión, absorción de agua, humedad relativa, temperatura, resistencia a la radiación y peso volumétrico, para conocer las propiedades del panel y así ver si cumple con los parámetros de acuerdo a normatividad.

Resultados.

A continuación se describen los resultados mediante figuras.

Densidad y peso.



Figura 8. Densidad y peso de los paneles.

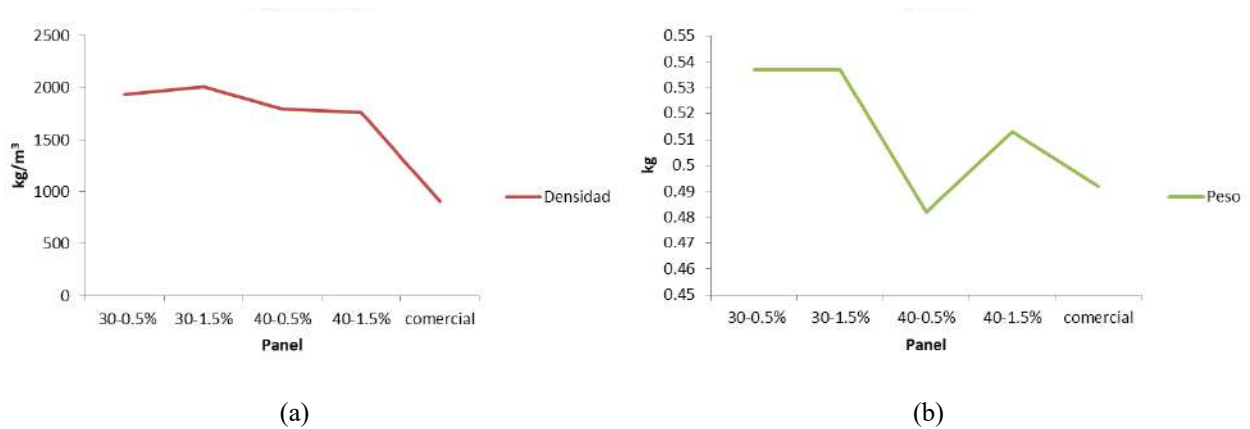


Figura 9. (a) Diagrama de densidad de los paneles; (b) Diagrama de peso de los paneles.

Analizando los resultados de densidad del panel de cemento en diversas proporciones, se tiene que hay mayor densidad en ellos con respecto al panel comercial, sin embargo, comparándolo por pieza es similar el peso ya que se considera un menor espesor en él.

Absorción de agua.



Figura 10. Absorción de agua de los paneles.

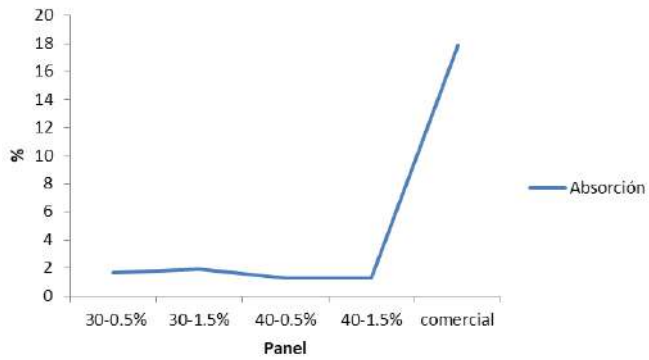


Figura 11. Diagrama de absorción de agua de los paneles.

Estudiando los resultados de absorción del panel de cemento en diversas proporciones, se determina que se obtuvo una absorción casi nula en ellos (1 a 2%). En cambio en el panel comercial se obtuvo una absorción muy grande (17 a 18%), comparándolos hay una diferencia muy grande en esta prueba.

Compresión.



Figura 12. Compresión de los paneles.

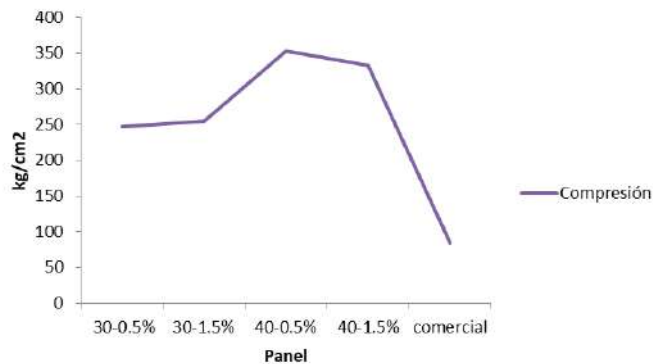


Figura 13. Diagrama de compresión de los paneles.

Observando los resultados de compresión del panel de cemento en diversas proporciones, se determina que se obtuvo un mayor esfuerzo a compresión cuando la proporción del panel es de 40-1.5% y 40-0.5%, alcanzando una resistencia promedio a compresión de 350.00 kg/cm², mientras en las proporciones de 30-1.5% y 30-0.5%, se alcanza una resistencia promedio a compresión de 250 kg/cm². En tanto el panel comercial una resistencia promedio a compresión muy pequeña de 85 kg/cm², comparándolos hay una diferencia muy grande en esta prueba.

Flexión.



Figura 14. Flexión de los paneles.

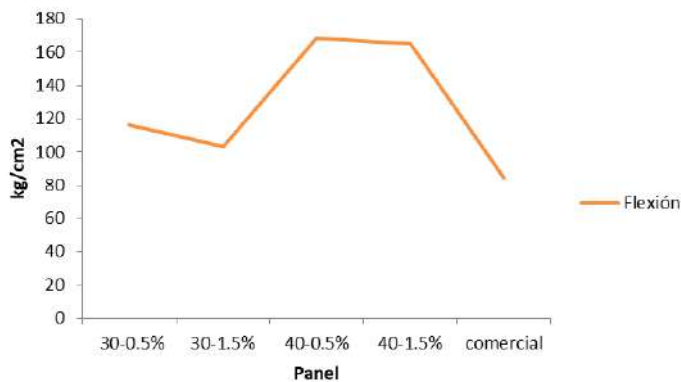


Figura 15. Diagrama de flexión de los paneles.

Revisando los resultados de flexión del panel de cemento en diversas proporciones, se determina que se obtuvo un mayor esfuerzo a flexión cuando la proporción del panel es de 40-1.5% y 40-0.5%, alcanzando una resistencia promedio a flexión de 165.00 kg/cm², mientras en las proporciones de 30-1.5% y 30-0.5%, se alcanza una resistencia promedio a flexión de 110 kg/cm². En tanto el panel comercial tiene una resistencia promedio a flexión es de 85 kg/cm², comparándolos hay una diferencia muy grande en esta prueba.

Discusión.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se presenta la siguiente tabla para su discusión.

Tabla 1. Densidad, Peso, Absorción, Compresión y Flexión.

Pruebas	Unidad	Panel 30-0.5%	Panel 30-1.5%	Panel 40-0.5%	Panel 40-1.5%	Panel de cemento comercial
Densidad	kg/m ³	1932.82	2004.92	1792.98	1763.85	906.56
Peso	gr/cm ²	1.34	1.34	1.20	1.28	1.23
Absorción	%	1.67	1.94	1.28	1.30	17.90
Compresión	kg/cm ²	246.88	254.08	353.36	332.88	84.56
Flexión	kg/cm ²	116.10	103.03	168.59	164.81	84.30

Se establecen resultados satisfactorios en las propiedades físico-mecánicas especialmente en el panel de cemento –agregado fino - agua 5:1:1/4, fibra de polipropileno 0.5% y resina de poliéster insaturado 40%, con respecto a las demás proporciones consideradas y el panel de cemento comercial, siendo una alternativa más en el país de México, sin embargo, se requiere continuar con más estudios para valorar su competitividad con otros paneles y materiales en la construcción a nivel mundial.

Conclusiones.

Con base a los resultados se concluye que las propiedades físico-mecánicas son satisfactorias, a continuación se mencionan:

Se logran las mejores propiedades físico-mecánicas en el panel de cemento –agregado fino - agua 5:1:1/4, fibra de polipropileno 0.5% y resina de poliéster insaturado 40%.

La densidad es mayor en el panel de cemento 40-0.5% con respecto al panel de cemento comercial, sin embargo, comparándolo por pieza es similar el peso ya que se considera un menor espesor.

La absorción de agua en el panel de cemento 40-0.5% es casi nula (1.28%), en cambio, en el panel de cemento comercial (17.90%) se adquiere una absorción muy grande, comparándolos hay una gran diferencia en esta prueba.

En el panel de cemento 40-0.5% se determina la resistencia a compresión de 353.36 kg/cm², en tanto, el panel de cemento comercial la resistencia a compresión es de 84.56 kg/cm², comparándolos hay una gran diferencia en esta prueba,

El esfuerzo a flexión del panel de cemento 40-0.5% es de 168.59 kg/cm², en cambio, el panel de cemento comercial tiene una resistencia a flexión de 84.30 kg/cm², comparándolos hay una gran diferencia en esta prueba.

Por tanto, el panel de cemento –agregado fino - agua 5:1:1/4, fibra de polipropileno 0.5% y resina de poliéster insaturado 40% es el óptimo de acuerdo a las otras proporciones elaboradas, además de que obtuvo resultados satisfactorios en peso, absorción, compresión y flexión con respecto al panel de cemento comercial.

Bibliografía

K. Wu, D. Zhang, (2018). Cement-based composite materials, Composite Materials Engineering, 2, 489-529.

S. Gupta, H. W. Kua, S. D. Pang, (2017). Combination of polypropylene fibre and superabsorbent polymer to improve physical properties of cement mortar, Magazine of Concrete Research, 1-15.

M. M. Paul, P. Ravikumar, (2016). Review on development of polymer mortar composite, International Journal of Engineering Science and Computing, 6, 7945-7948.

Salahaldein Alsadey, (2016). Effect of polypropylene fiber on properties of mortar, *International Journal of Energy Science and Engineering*, 2, 8-12.

P. E. Matthey, R. A. Robayo, J. A. Torres, P. A. Ramos, (2015). Evaluación de las propiedades de ferrocemento con agregado fino reciclado, *S. Delvasto, Informador Técnico*, 79, 146-155.

C. Vázquez, A. Prieto, (2013). La fachada ventilada, *Cuadernillo, ARQ*, 84, 6-9.

M. D. Alba, M. Marrero, C. Leiva, M. V. Montes, L. Vilches, (2012). Empleo de paneles compuestos por subproductos de centrales térmicas en fachadas trasdosadas, *Informes de Construcción*, 64, 179-190.

A. Abdullah, S. B. Jamaludin, M. I. Anwar, M. M. Noor, K. Hussin, (2011), Assessment of physical and mechanical properties of cement panel influenced by treated and untreated coconut fiber addition, *Physics Procedia*, 22, 263-269.

J. A. Domínguez, D. Güemes, (2010), Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (tetra brik), *Revista Académica de la FI-UADY*, 14, 191-195.

R. Kalyankar, (2009), Natural fiber reinforced structural insulated panels for panelized construction, *Tesis*, 0-72.

A. Vaidya, (2009), Lightweight composites for modular panelized construction, *Tesis*, 0-155.

J. Byung-Wan, P. Seung-Kook, P. Jong-Chil, (2008), Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates, *Construction and Building Materials*, 22, 2281-2291.

A. Bentur and S. Mindess, (2006), Fibre reinforced cementitious Composites, *Libro*, 1-602.

F. Puertas, T. Amat, T. Vázquez, (2000), Comportamiento de morteros de cementos alcalinos reforzados con fibras acrílicas y de polipropileno, *Materiales de Construcción*, 50, 69-84.

Surendra P. Shah, Chengsheng Ouyang, (1991), Mechanical behavior of fiber-reinforced cement-based composites, *Journal Of The American Ceramic Society*, 74, 2727-2853.

CALIDAD DE AIRE INTERIOR EN AMBIENTES CERRADOS, CASO DE ESTUDIO: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

Iván Alexander Wong González¹, Gabriela Rosas Correa²,
Ricardo Enrique Vega Azamar³, Laura Isabel Guarneros Urbina⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 13/06/2019 Aceptado: 20/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- La calidad de aire interior en los últimos años ha sido una de las principales causas en daños a la salud del ser humano, provocando complicaciones en el sistema inmunológico, entre otros padecimientos. La alta concentración de contaminantes en el interior de espacios habitables perjudica la estabilidad, rendimiento y confort del usuario quien a menudo no está consciente del problema. La investigación determina el grado de influencia de los emisores contaminantes de tipo aire acondicionado en la estabilidad de los niveles de dióxido de carbono recomendado para espacios habitables tomando como caso de estudio ambientes cerrados del Instituto Tecnológico de Chetumal. Mediante equipo especializado de CO₂, se hicieron mediciones en lapsos de 160 horas y se aplicaron encuestas a los ocupantes. Se encontraron irregularidades en concentraciones de CO₂ en cada uno de los sitios monitoreados, observándose que dependen de las dimensiones, de su relación con el entorno y las condiciones de uso.

Palabras clave: Calidad de aire interior; dióxido de carbono; espacios habitables; ambientes cerrados

INDOOR AIR QUALITY IN ENCLOSED ENVIRONMENTS, STUDY CASE: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

Abstract.- Indoor air quality in the last few years has been one of the main causes on health damage to human beings, provoking complications in the immunological system, among other conditions. The high concentration of pollutants inside habitable spaces harm the stability, comfort and performance of the user who is usually unaware of the problem. This research determines the degree of influence of pollutant emitters like air conditioners in the stability of carbon dioxide levels recommended for habitable spaces, taking as a study case the enclosed environments at Chetumal's Institute of Technology. Through specialized equipment of carbon dioxide, measures were made in lapses of 160 hours and surveys were applied to the occupants. Irregularities in concentrations of carbon dioxide were found in each of the monitored spaces, observing that they depend on the dimensions, on their relation with the environment and on the conditions of use.

Keywords: Indoor air quality; carbon dioxide; habitable spaces; enclosed environments.

Introducción

La calidad de aire se define como la manifestación de contaminantes que llega a un receptor más o menos lejano de la fuente emisora, una vez transportado y distribuido a la atmosfera (Troposfera, 2005). Asimismo, el termino calidad de aire interior, se aplica a entornos no industriales, como: edificios de oficinas, edificios públicos y viviendas.

En la actualidad, las personas pasan el 90% del tiempo en ambientes cerrados, por lo que una mala calidad de aire interior puede dañar la salud y provocar a su vez síntomas de migraña, irritación, variedad de alergias e incluso enfermedades respiratorias, como también una inadecuada productividad laboral (Servicios de Ingeniería Ambiental SIA BZF, 2015).

¹ Iván Alexander Wong González. Estudiante de la Maestría en Urbanismo en el Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México /I. T. Chetumal, alexanderwglez@gmail.com (**Autor correspondal**)

² Gabriela Rosas Correa. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México /I. T. Chetumal.

³ Ricardo Enrique Vega Azamar. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México /I. T. Chetumal.

⁴ Laura Isabel Guarneros Urbina. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México /I. T. Chetumal.

En definitiva, una mala calidad del aire interior se refiere a un alto índice de contaminantes en ambientes cerrados, ya que la presencia de estos compuestos es ineludible. Un ejemplo claro de estos agentes contaminantes es el CO₂, este compuesto es un gas incoloro e inodoro que está conformado por un átomo de carbono y dos de oxígeno, por sí solo no es dañino, ni nocivo para la salud, es un agente natural esencial para el ciclo biológico de las plantas y cosechas, por lo tanto, es altamente beneficioso para la vida en el planeta, sin embargo, si se libera en grandes cantidades en interiores, es nocivo para la salud.

Por otra parte, el CO₂ también es generado por los seres humanos, ya que de manera natural producen dióxido de carbono, además de aerosoles biológicos, vapor de agua y partículas. Por otro lado, dentro de los espacios habitables existen elementos contaminantes que son generados por el propio edificio, ya sea por las modificaciones constantes que sufre de manera natural, por su contenido o por su propia ubicación y también se generan por el uso de productos de limpieza, mantenimiento y artículos de belleza.

Así pues, el objetivo de la investigación es determinar el grado de influencia de los equipos de enfriamiento del tipo A/A en los niveles de CO₂, recomendado para espacios habitables, tomando como caso de estudio el área de cubículos del edificio T y el área de oficina del laboratorio de arquitectura del Instituto Tecnológico de Chetumal (ITCh).

Materiales y Métodos

Dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Chetumal, se llevó a cabo el monitoreo de CO₂ en ambientes cerrados. La investigación determina el grado de influencia de los emisores contaminantes de tipo aire acondicionado (A/A) en la estabilidad de los niveles de dióxido de carbono recomendado en espacios habitables. Llevando un registro de datos cualitativos y cuantitativos, tal como lo indica Sampieri en el libro Metodología de la Investigación (2014).

Los datos cuantitativos se obtuvieron mediante equipo especializado en el monitoreo de CO₂ en lapsos de 160 horas de funcionamiento y los datos cualitativos mediante encuestas perceptuales a los ocupantes de las instalaciones. A continuación, se expone en la Tabla 1 las variables que se tomaron en cuenta para la investigación.

Tabla 1. Clasificación de variables no controladas independientes y dependientes (elaboración propia)

Variables Independientes	Variables Dependientes
• Espacios de monitoreo • Número de habitantes en el espacio • Estructura del espacio habitables • Uso del espacio • Uso de los equipos de enfriamiento	• Humedad interior • Temperatura interior • Concentraciones de CO₂

Para efectuar el monitoreo se contó con un equipo medidor de concentraciones de CO₂, que puede apreciarse en la Figura 1. El equipo se configuró de manera manual y cuenta con memoria interna que almacena los registros realizados para después ser exportados a una base de datos. El instrumento de monitoreo realizó alrededor de 4 a 8 registros durante el día, en un lapso de tiempo de una semana, teniendo una duración de aproximadamente 160 horas de uso. Cabe señalar que los monitoreo se realizó en las condiciones en las que se encontraba el espacio, no se manipuló nada al momento de empezar con la operación.



Figura 1. Instrumento de monitoreo de CO₂ (VAISALA, 2016)

Asimismo, se diseñó una ficha de control para el levantamiento de campo con la finalidad de conocer las características en las que se encontraba el entorno habitable, resaltando aspectos como fecha y hora en que inició y finalizó el monitoreo, datos generales del edificio y su uso, número de ocupantes, horarios de trabajo, horario de uso de equipos de ventilación mecánica, aspectos sociales, además de un levantamiento en croquis del espacio, indicando: orientación, puertas, ventanas y vegetación, si éste fue el caso.

Resultados

En la Figura 2 se observa el croquis de la planta baja del edificio T y en la Figura 3 se muestra el área donde se realizó el monitoreo. Igualmente, en la Figura 4, se ilustra el croquis general del laboratorio de arquitectura y la sección de la oficina puede apreciarse en la Figura 5. Se indican los lugares en los que se encuentran colocados los equipos de enfriamiento mecánico respectivamente, de tal forma que se ilustre gráficamente la distribución del aire acondicionado dentro del espacio ocupado y la dimensión de cada entorno donde se hizo el estudio.

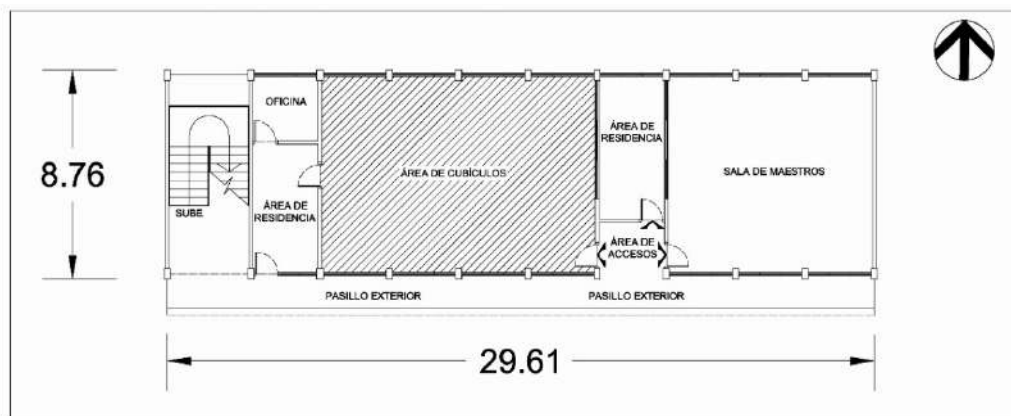


Figura 2. Croquis de levantamiento planta baja Edificio T (elaboración propia).

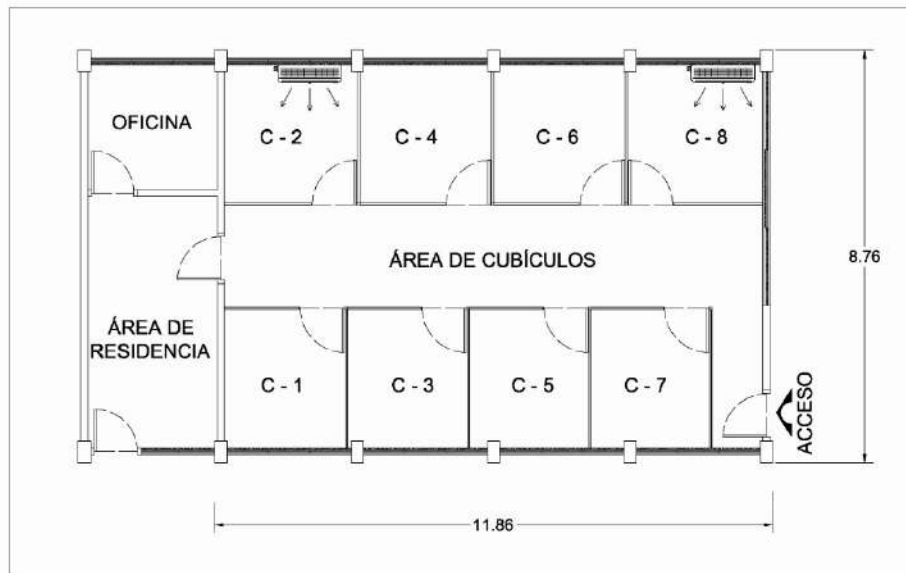


Figura 3. Sección del área monitoreada del Edificio T (elaboración propia).

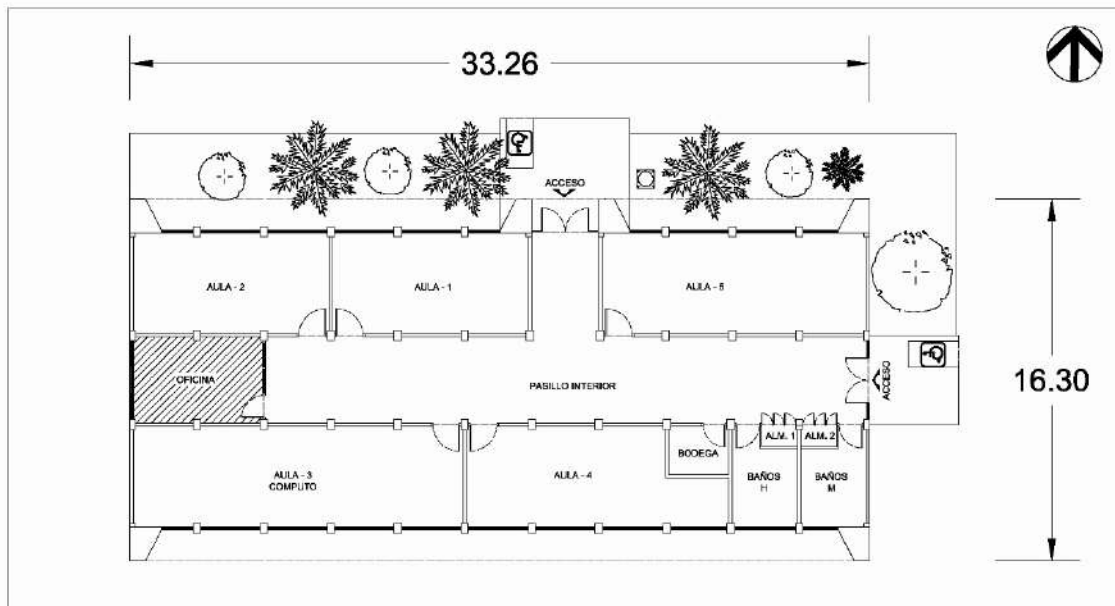


Figura 3. Croquis del Laboratorio de Arquitectura (elaboración propia).

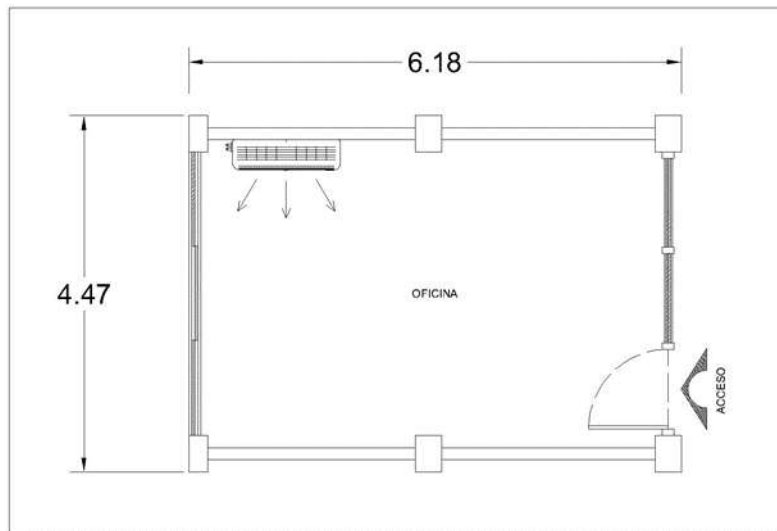
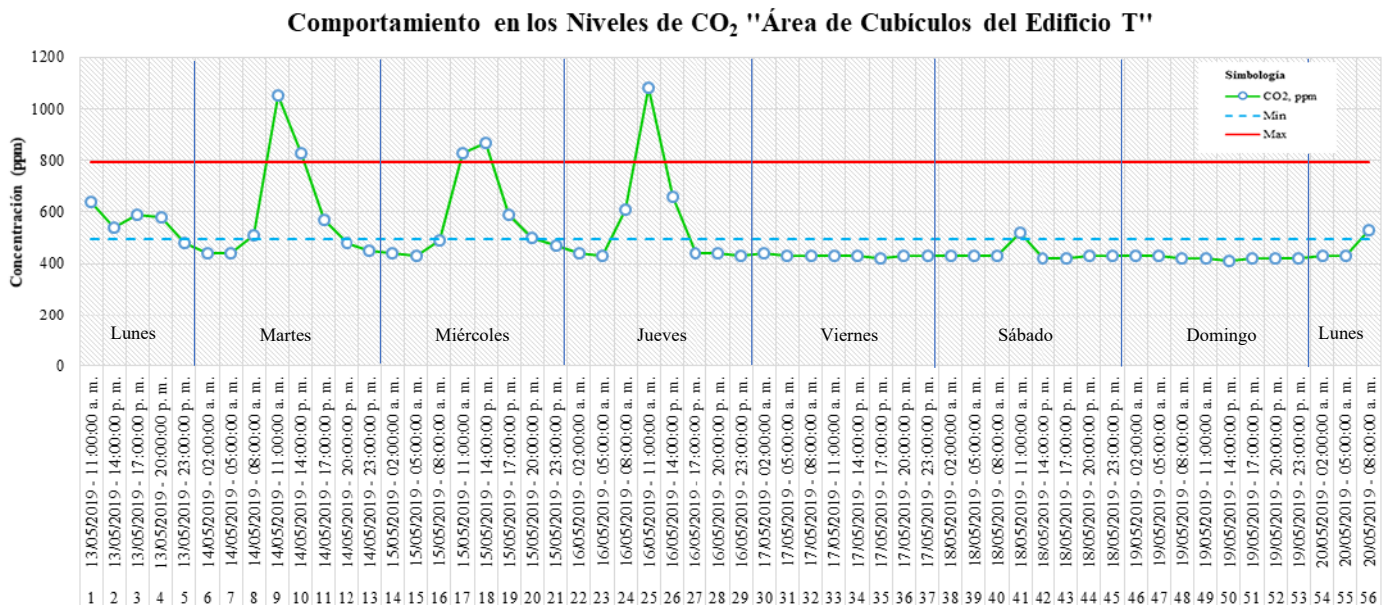
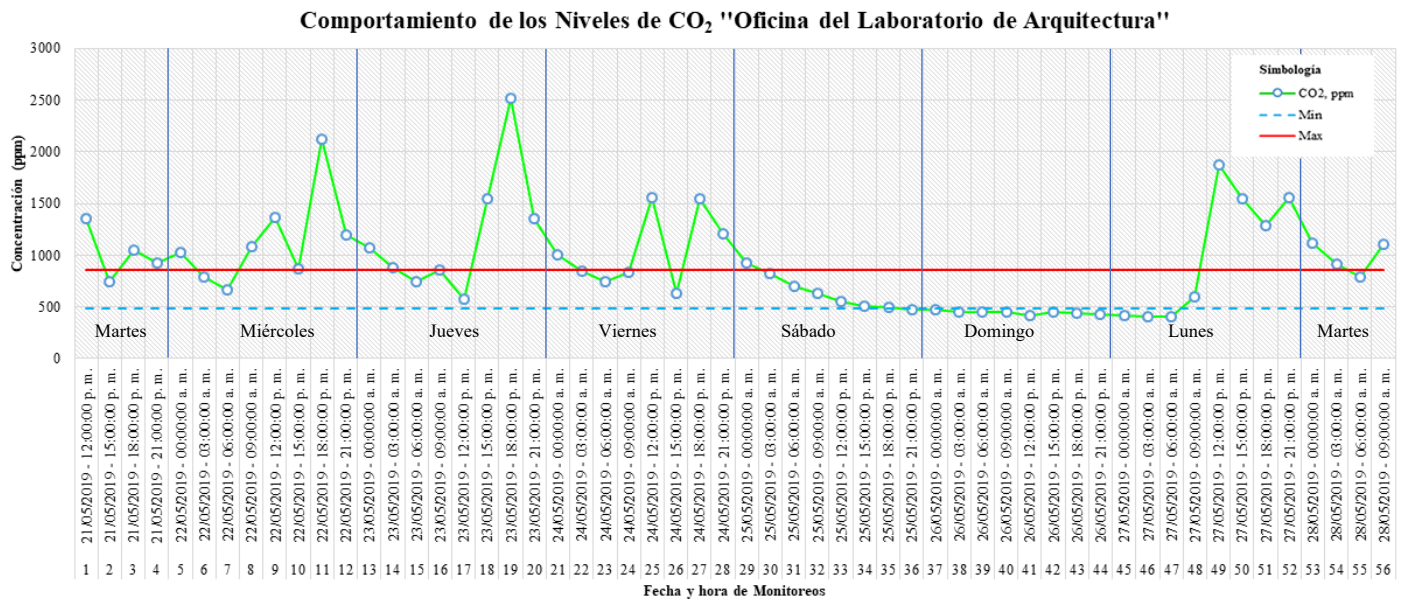


Figura 4 . Sección del área monitoreada del Laboratorio de Arquitectura (elaboración propia).

Los resultados obtenidos durante el análisis son representados en las gráficas para entender como interactúa el CO₂ dentro de los espacios habitables en un lapso de tiempo de 160 horas. Cada espacio fue monitoreado durante 7 días, para tener datos precisos. De esta manera, se puede tener un margen de comparación más amplio, ya que comúnmente los estudios de calidad de aire interior se llevan a cabo con monitoreos de una semana o más. Se tamizaron los 2 casos analizados, los cuales presentaron anomalías críticas en niveles de calidad de aire interior. A continuación, se presentan los resultados en las siguientes gráficas.



Nota: Los registros monitoreados del día viernes son bajos, ya que, fue inhábil para la Institución



Gráfica 2. Comportamiento de CO₂ en oficina del Laboratorio de Arquitectura (elaboración propia).

De acuerdo a lo que se observa en las gráficas anteriores, la línea continua representa el rango más alto recomendable (800 ppm) de partículas por millón (ppm) registradas y la línea discontinua el menor (500 ppm). Estos datos se obtuvieron del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Madrid (INSHT). Así mismo, el eje vertical de la gráfica representa la concentración de ppm y el horizontal las fechas y horas de toma de datos.

Discusión

La mayor concentración de CO₂ se presentó en la oficina del laboratorio de arquitectura alcanzando un punto de concentración entre los 1050 ppm a 2520 ppm, como se observa en la Gráfica 2. Cabe señalar que las concentraciones más altas se presentaron entre las 12 del día y las 6 de la tarde, a diferencia del monitoreo realizado en el área de cubículos del edificio T, donde se alcanzó una concentración máxima de 1050 ppm a 1080 ppm a diferencia de lo que se encontró en la oficina del laboratorio de arquitectura. Asimismo, los índices más altos encontrados en el área de cubículos tuvieron lugar entre las 11 de la mañana y las 2 de la tarde como se observa en la Gráfica 1.

Las concentraciones de CO₂ registradas al realizar el monitoreo en cada una de los espacios analizados fueron críticas, esto se debe a diferentes factores como: su distribución, horarios de uso de los equipos mecánicos de ventilación, usos del espacio, horarios de trabajo, dimensión, etc. Es importante recalcar que dentro del área de cubículos se encontraron dos casos particulares de sensibilidad al entorno en los cuales se presentaron síntomas como: fatiga mental, dolor de cabeza, irritación de nariz y garganta e infección en las vías respiratorias a diferencia de la oficina donde no se presentó ningún caso crítico a la salud.

Para comparar los resultados se utilizaron normas oficiales y documentos que avalan los índices estandarizados de concentrados del tipo dióxido de carbono en espacios habitables. Como se puede observar, ciertamente existen problemas de concentraciones altas de CO₂ en la oficina del laboratorio de arquitectura, esto puede ocasionar diversas dificultades relacionadas con la calidad de aire y este problema está vinculado con la restricción de la ventilación del espacio, ya que sus condiciones de habitabilidad son muy diferentes al del área de cubículos del edificio T.

Por otra parte, en el proceso de monitoreo de Dióxido de Carbono en las dos áreas estudiadas en todo momento sobrepasaron los 1000 ppm. Estos resultados mantienen la hipótesis de que los equipos de enfriamiento mecánico influyen en los niveles de calidad de aire interior en espacios habitables, los dos espacios poseen ventilación mecánica del tipo minisplit, además de que puertas y ventanas disponen de elementos que impiden una ventilación adecuada en el entorno.

A continuación, se presentan los estudios realizados a fin para comparación de los resultados que se obtuvieron en el proceso de monitoreo e investigación.

Se entiende que el CO₂ en un gas no dañino para la salud humana, pero en altas concentraciones puede ser letal, ya que puede ser asfixiante debido a la reducción de oxígeno. El umbral de concentración para efectos en la salud se detalla en la Tabla 2. El CO₂ es 1.5 más pesado que el aire con el cual interactuamos (Lide, 2003).

Tabla 2. Efectos a la exposición respiratoria de dióxido de carbono.
(Baxter, 2000; Faivre-Pierret and Le Guern, 1983 and refs therein; NIOSH, 1981).

Límite de exposición (% en el aire)	Efectos en la salud
2 – 3	Imperceptible en reposo, pero en actividad marcada falta de aliento.
3	Respiración se hace notoriamente más profunda y más frecuente durante el reposo.
3 – 5	Aceleramiento del ritmo respiratorio. Repetida exposición provoca dolor de cabeza.
5	Respiración se hace extremadamente dificultosa dolores de cabeza, transpiración y pulso irregular.
7.5	Respiración acelerada, promedio cardíaco aumentado, dolor de cabeza, transpiración, mareos, falta de aliento, debilidad muscular, pérdida de habilidades mentales, somnolencia y zumbido auricular.
8 – 15	Dolor de cabeza, vértigo, vómitos, pérdida de conciencia y posible muerte si el paciente no recibe oxígeno inmediatamente.
10	Agotamiento respiratorio avanza rápidamente con pérdida de conciencia en 10 – 15 minutos.
15	Concentración letal, la exposición por encima de este nivel es intolerable.
25+	Convulsiones y rápida pérdida de conciencia luego de unas pocas aspiraciones. Si se mantiene el nivel, deviene la muerte.

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), constantemente elabora estudios abordando temas de la contaminación en ambientes interiores y con tales objetivos han desarrollado niveles estándar para conservar una calidad del ambiente interior adecuado y conservar la salud y en confort del habitante.

Uno de los estándares más importantes que se relacionan con la calidad de aire interior es el ASHRAE 62; a esta guía se le conoce como “Ventilación para la calidad de aire aceptable”. En él se incluye una serie de prácticas y elementos tecnológicos para ayudar a contrarrestar el aumento de organismos, prevenir y remover contaminantes. Asimismo, se menciona que la ventilación recomendada en oficinas es de 8.0 L/seg. por persona y la concentración de CO₂ recomendada es de <1000 ppm; esta cifra es con la que debe contar un ambiente interior para garantizar el confort para la mayoría de las personas que entren al lugar (Flores de Jesus , 2008).

Por otra parte, la falta de aporte de aire exterior puede elevar los índices de CO₂. El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Madrid (2015), menciona que la renovación mínima del aire de los locales de trabajo, es de 30 m³ de aire limpio por cada hora y por trabajador, en el caso de trabajos sedentarios en entornos no calurosos, ni contaminados por el humo de tabaco es de 50 m³, como también en los casos restantes con el fin de evitar un ambiente viciado y con olores desagradables.

El sistema de ventilación empleado y en particular, la distribución de las entradas de aire limpio y salidas de aire viciado, deberán asegurar una efectiva renovación del aire del área de trabajo. Igualmente, el Centro Nacional de condiciones de trabajo (2000), menciona que el límite de exposición profesional del INSHT para exposiciones diarias de 8 horas es de 5.000 ppm con un valor límite para exposiciones cortas de 15 minutos de 15.000 ppm.

Estos valores son complicados de encontrar en entornos interiores no industriales como son oficinas, escuelas y servicios en general. En la práctica, en estos recintos se encuentran índices de 2.000 y hasta 3.000 ppm. Si se rebasan estos niveles puede deberse a una combustión incontrolada, en este caso el riesgo para la salud puede no ser resultado del dióxido de carbono sino a la disposición de otros subproductos de la combustión, principalmente el monóxido de carbono (CO), donde el límite de exposición es muy inferior a los 25 ppm (CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO, 2000).

Por otra parte, el termino cambios de aire por hora está íntimamente ligado con la calidad del aire interior, este se puede definir como una forma de medir la renovación del aire en un volumen dado por una unidad de tiempo. Se expresa por porcentajes de volumen renovado por hora (Stamper & Koral, 1979).

Esta acción es crucial, ya que el proceso de ventilación es la técnica de remplazar el aire ambiental existente en el interior de un espacio, el cual se considera inadecuado porque carece de una temperatura adecuada, pureza o humedad, por otro que aporte una mejora a estas características. Para lograr el cometido se emplea un sistema de extracción de aire y otro de inyección, y a su vez esto provoca el barrido de aire que se llevara todas las partículas no deseadas. Para poder emplear el termino de ventilación es necesario que existan parámetros adecuados de inyección, extracción y barrido de aire dentro del edificio (Nieto, 2012).

Es importante mencionar que el Reglamento de Desarrollo Urbano y Seguridad Estructural para el Municipio de Othón P. Blanco (2003), en su artículo 38, establece los mínimos de ventilación artificial que garanticen condiciones aceptables de ventilación a sus ocupantes, haciendo referencia a la siguiente Tabla.

Tabla 2. Cambios de volumen de aire por tipo de local (elaboración propia con base en H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco (2003)

Áreas	Cambios por hora
Vestíbulos	1 cambio por hora
Locales de trabajo y Reunión en general, y Sanitarios domésticos	6 cambios por hora
Cocinas domésticas, Baños públicos, Cafeterías, Restaurantes y Estacionamientos.	10 cambios por hora
Cocinas en comercios de alimentos	20 cambios por hora
Centros nocturnos, Bares, Salones de fiesta y Salones de gimnasia	25 cambios por hora

La humedad relativa del aire acondicionado deberá ser del 50% + - 5%, los sistemas tendrán filtros mecánicos o porosos que propicien una limpieza adecuada. Es fundamental que en los locales un sistema de aire acondicionado que requiera condiciones herméticas, de la misma forma, se instalarán ventilas de emergencias hacia áreas exteriores con áreas cuando menos del CH= 12% de lo que se indica en el artículo 38 del mencionado Reglamento.

Conclusiones

Es bien sabido que las áreas que están dotadas con equipos de aire acondicionado son más vulnerables a padecer altos niveles de concentración de dióxido de carbono. También se puede observar que una de las áreas monitoreadas, además de contar con equipos de enfriamiento mecánico sus puertas y ventanas cuentan con aditamentos que perjudican la circulación del aire dentro del espacio o se encuentran dentro de una edificación como es el caso de la oficina del laboratorio de arquitectura, esto ocasiona un estancamiento y dificulta la filtración del aire de los espacios.

Por lo que se puede concluir que las emisiones de CO₂ producidas por el uso de equipos de enfriamiento mecánico sí afectan la calidad de aire interior en ambientes laborales, ya que existen además de dióxido de carbono otros compuestos que al combinarse con este alteran los estándares que establece el INSHT y ASHRAE.

Muchas veces los sistemas de ventilación mecánica se colocan en estos espacios para mejorar el confort de la temperatura en el ambiente interior, y así prevenir que se introduzcan contaminantes que se originan en el exterior, pero se ignoran las consecuencias que se pueden generar por su uso de estos equipos y muy pocas veces se realizan los estudios necesarios del área para mejorar las condiciones de habitabilidad y de calidad de aire interior antes de colocarlos.

Con los resultados obtenidos se pone de manifiesto que las instalaciones de los equipos de enfriamiento mecánico deben estar relacionadas con un adecuado sistema de intercambio de aire interior y exterior para consolidar y resguardar una correcta ventilación que obedezca los estándares establecidos. Además de que con los datos que genere una campaña permanente de monitoreo, se puede llevar un control de información de la situación de calidad de aire interior de la edificación y el entorno habitado y de su correcta e incorrecta ventilación.

Bibliografía

- Ayuntamiento de Othón P. Blanco. (2003, mayo 29). Artículo 38.- MÍNIMOS DE VENTILACIÓN ARTIFICIAL. Periódico Oficial del Estado, Reforma, 30. 2019, julio 19, De www.opb.gob.mx/ Base de datos.
- Baxter, P.J., 2000. Gases. In: P.J. Baxter, P.H. Adams, T.-C. Aw, A. Cockcroft and J.M. Harrington (Editors), *Hunter's Diseases of Occupations*. Arnold, London, pp. 123-178. <https://www.ivhnh.org/index.php/es/information/information-different-volcanic-gases/carbon-dioxide>
- CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO. (2000). NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Faive-Pierret, R. and Le Guern, F., 1983. Health risks linked with inhalation of volcanic gases and aerosols. In: H. Tazieff and J.C. Sabroux (Editors), *Forecasting Volcanic Events*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 69-81. <https://www.ivhnh.org/index.php/es/information/information-different-volcanic-gases/carbon-dioxide>
- Flores, J. (2008). Determinación de las concentraciones de Dióxido de Carbono en salones de escuelas elementales del distrito escolar de Caguas II. Puerto Rico: B.S., Química Industrial, Universidad de Puerto Rico - Humacao.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P.. (2014). Metodología de la Investigación. México: McGraw Hill Education. http://ut.suagm.edu/sites/default/files/uploads/Centro-Estudios-Doctorales/Tesis-2005-06/Tesis-2008-09/8_Flores_J_Tesis_UT_2008.pdf
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2015). Calidad de ambiente interior en oficinas; identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Lide, D.R. (2003-2004) CRC Handbook of Chemistry and Physics. 84th Edition, CRC Press, Florida, USA. <https://www.ivhnh.org/index.php/es/information/information-different-volcanic-gases/carbon-dioxide>

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1981. Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, DHHS (NIOSH) Publication No. 81-123. <https://www.ivhhn.org/index.php/es/information/information-different-volcanic-gases/carbon-dioxide>

Servicios de Ingeniería Ambiental . (2015). Estudios de Calidad del Aire Interior: evaluación, mediciones in situ, estudios ambientales e informe para evitar el Síndrome del Edificio Enfermo.. mayo 25, 2019, de Servicios de Ingeniería Ambiental SIA BZF Sitio web: www.estudiosambientales.com.mx

Stamper, E.& Koral, R.L.. (1979). Handbook of Air Conditioning, Heating, and Ventilating. Nueva York: Industrial Press, Inc.; Edición:3. https://books.google.com.mx/books?id=G47biva6gtwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Troposfera . (2005). ¿Qué es la Calidad del Aire?. mayo 26, 2019, de Troposfera. Portal Temático de Contaminación Atmosférica Sitio web: <http://www.troposfera.org>

VAISALA. (2016). Manual de uso VAISALA GM70 CO₂. julio 07, 2019, de VAISALA Sitio web: <https://www.vaisala.com>

COSTO-BENEFICIO DE LA SEGURIDAD LABORAL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA MASIVA

Diana Salvador-López¹, Patsi Yam-Canul²,
Luis F. Jiménez³, Maritza Chan-Juárez⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 13/06/2019 Aceptado: 17/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- El presente estudio aborda desde una perspectiva económica, la prevención de riesgos de trabajo en la construcción de vivienda masiva con objeto de aportar datos que demuestren que la prevención de accidentes laborales es una inversión que genera beneficios empresariales y no solo costos derivados por el cumplimiento de la normatividad. La metodología de estudio se enfocó en la elaboración de un Sistema de Seguridad para la construcción de un fraccionamiento localizado en Chetumal, Quintana Roo. El análisis económico implicó el cálculo del costo promedio de los accidentes de trabajo y el costo de la implementación del sistema, encontrando un ahorro anual cercano a \$300,000 con relación a los gastos derivados de la accidentabilidad laboral. Estos resultados, permiten aportar argumentos para persuadir a los empresarios sobre los beneficios que conlleva la prevención de riesgos laborales.

Palabras clave: Seguridad en el trabajo, prevención de riesgos, costo de accidentes laborales, vivienda masiva.

COST-BENEFIT OF JOB SECURITY DURING MASS HOUSING CONSTRUCTION

Abstract.- The present study addresses the prevention of work risks in the massive housing construction from an economic perspective with the aim of providing data that demonstrate that the prevention of work risks is an investment that generates business benefits and not only derived costs for compliance with the regulations. The methodology of the study focused on the development of a Safety System for the construction of a housing unit located in Chetumal, Quintana Roo. The economic analysis involved the calculation of the average cost of work accidents and the cost of implementing the system, finding an annual saving of close to \$300,000 in relation to the expenses derived from the work accidents. These results provide arguments to persuade employers about the benefits that comes with the prevention of work risks.

Keywords: Security at work, prevention of work risks, labor accidents cost, massive housing construction

Introducción

A nivel mundial, la industria de la construcción se ha caracterizado por registrar un elevado número de accidentes laborales, generados principalmente por el alto riesgo que conlleva la realización de los procesos y por las características específicas que distinguen al sector de otras industrias. Al respecto, la Organización Internacional del Trabajo (2015) señala que aproximadamente uno de cada seis accidentes fatales notificados tiene lugar en el sector de la construcción, lo que se traduce en un total de 60,000 accidentes mortales por año; mientras que otros cientos de miles sufren graves lesiones, sin embargo, dichas cifras resultan conservadoras ya que en muchos países se notifica menos del 20% de las lesiones.

En México, la industria de la construcción ha registrado las cifras más elevadas de riesgos de trabajo, en relación con índices de otros sectores económicos, por ejemplo: 50,190 riesgos de trabajo, de los cuales 35,930 fueron padecidos por obreros de ingeniería civil, 2,045 incapacidades permanentes por accidentes de trabajo y 162 defunciones (IMSS, 2017).

Ante esta problemática, se han implementado políticas orientadas hacia la prevención de accidentes laborales en las empresas; sin embargo, hoy en día los avances tecnológicos y las fuertes presiones competitivas han desencadenado cambios rápidos en las condiciones, los procesos y la organización del trabajo, generando paralelamente nuevos peligros y riesgos laborales. Particularmente en México, se ha desarrollado un extenso y complejo sistema institucional de seguridad basado en el Artículo 123 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el cual se

¹ Diana Salvador López. Egresada de la Maestría en Construcción. Tecnológico Nacional de México / I. T. Chetumal. DIANA8_182@hotmail.com (**Autor correspondiente**)

² Patsi Yam Canul. Egresada de la Maestría en Construcción. Tecnológico Nacional de México / I. T. Chetumal.

³ Luis Felipe Jiménez Torrez. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México / I. T. Chetumal.

⁴ Maritza Chan-Juárez. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México / I. T. Chetumal.

complementa con diversas leyes e instrumentos normativos-administrativos. Dicho marco legal se articula, además, con normativas internacionales, tratados, acuerdos, convenios, recomendaciones, entre otras (STPS, 2012). Adicionalmente, con la finalidad de abordar los acelerados cambios que se han producido en el ámbito laboral y seguir el ritmo de los riesgos de trabajo emergentes en el sector de la construcción, se han realizado adecuaciones en la legislación con un enfoque hacia la cultura preventiva y la calidad. Desafortunadamente, dichas acciones, aunque son esenciales resultan insuficientes por sí solas pues aún persisten la manifestación de accidentes y hechos dañinos principalmente para el trabajador, su familia y las empresas; ya que se requiere también del cambio de actitud empresarial o de los gerentes, que suelen visualizar el marco de SST como un referente obligatorio, que hay que cumplir al menor costo y en su mínima expresión (STPS, 2017).

Con base en lo antes expuesto, en este trabajo se presenta un estudio que persigue el objetivo de demostrar que la prevención de riesgos de trabajo en la construcción es una inversión que genera mayores beneficios empresariales en relación con los costos derivados por el suceso de accidentes laborales; por medio de la evaluación del costo-beneficio de la implementación de un sistema de seguridad y salud durante construcción de un proyecto de vivienda masiva en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

Metodología

Este trabajo parte de una investigación de campo durante la construcción de un fraccionamiento de vivienda de interés social. La metodología diseñada para llevar a cabo el estudio fue la siguiente:

1. Primeramente, se realizó el diagnóstico de las condiciones de Seguridad y Salud en el sitio de construcción, a fin de evaluar el cumplimiento de la NOM-031-STPS-2011 a través de la aplicación de 134 indicadores, utilizando pruebas de tipo documental, constatación física, evidencias registrales y entrevistas.
2. Posteriormente, se analizó el procedimiento constructivo de las viviendas del proyecto objeto de estudio, identificando las actividades realizadas con mayor frecuencia en la obra y los riesgos potenciales implícitos en cada una de ellas, con el objetivo de definir las medidas preventivas indispensables para la seguridad de los trabajadores. Los riesgos potenciales de las actividades, así como las recomendaciones de seguridad se identificaron basándose en los documentos: *Prácticas seguras en la industria de la construcción* de la STPS y *Seguridad, salud y bienestar. Manual de capacitación* publicado por la OIT (1997), tal y como se muestra en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Riesgos potenciales en las actividades constructivas

Clave	Descripción	Clave	Descripción
R-01	Atrapamiento	R-12	Golpeado por
R-02	Caída de objetos	R-13	Iluminación deficiente
R-03	Caídas	R-14	Incendio y explosión
R-04	Choques y atropello	R-15	Proyección de partículas
R-05	Cortaduras y raspaduras	R-16	Quemaduras
R-06	Descarga eléctrica	R-17	Rotura
R-07	Deslizamiento	R-18	Ruido
R-08	Exposición a agentes químicos	R-19	Sobreesfuerzo
R-09	Exposición a humos	R-20	Temperatura extrema
R-10	Exposición a polvos	R-21	Vibraciones
R-11	Exposición a radiaciones	R-22	Vuelco

Tabla 2. Procedimientos específicos de construcción y sus riesgos asociados

Clasificación	Descripción resumida	Riesgos
Uso de herramientas	Uso de equipo y herramienta eléctrica, sierras circulares y vibrador de concreto	R-02, R-03, R-05, R-06, R-10, R-12, R-13, R-14, R-15, R-16, R-18, R-21
Operación de maquinaria	Uso de vehículos y retroexcavadora	R-04, R-14, R-15, R-18, R-21, R-22
Medios auxiliares	Armado de andamios y uso de poleas	R-02, R-03, R-05, R-12, R-17, R-19
Procesos de trabajo	Cimbras, cortes, instalaciones y pintura	R-02, R-03, R-05, R-06, R-10, R-12, R-13, R-14, R-15, R-16, R-18, R-20, R-21, R-22

3. Adicionalmente, se analizaron las condiciones generales de seguridad y salud en el sitio de construcción, tales como el estado y forma de manipular herramientas, maquinaria, equipo y materiales; empleo y estado de señalamientos, medidas de higiene y saneamiento adoptadas, lo cual sirvió para elaborar la propuesta de un Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo acorde a las necesidades específicas del proyecto constructivo.
4. Una vez definidas las medidas para mitigar los riesgos presentes en el proceso constructivo de las viviendas, se llevó a cabo la valoración económica de la actividad preventiva que se reflejó en el Sistema de SST. Se realizó un estudio de mercado para valorar las distintas alternativas y constituir de esta forma un presupuesto anual de prevención, donde fueron englobados los costos que la empresa debe asumir para dar cumplimiento a los requerimientos legales en materia preventiva, así como los costos de administración del sistema de SST, entre estos, el control y seguimiento de la gestión de la prevención, incluidos salarios, formación y adiestramiento del personal asignado en prevención; auditorías internas y externas; mantenimientos preventivos relacionados con la seguridad e higiene laboral; inversiones enfocadas en los medios técnicos, el establecimiento de procedimientos de trabajo seguros o la protección de los trabajadores, equipos de protección individual, actividades de información, medidas de señalización y documentación informativa sobre prevención, elaboración e implantación de planes de emergencia y realización de simulacros, medios de extinción y protecciones contra incendios, material y equipos de primeros auxilios, costo del reconocimiento médico del personal.
5. El paso siguiente consistió en implementar y supervisar el funcionamiento del Sistema de SST en la obra, durante un lapso de 4 meses, documentando las acciones preventivas y correctivas que se presentaron, registrando en forma estadística, los riesgos de trabajo a los que estuvieron expuestos los trabajadores, así como las causas y consecuencias de estos. Los datos recabados fueron cotejados con cifras de la memoria estadística del IMSS, 2017. Al concluir el periodo de supervisión se aplicó la Guía para la Evaluación del Funcionamiento de Sistemas de Administración en Seguridad y Salud en el Trabajo de la STPS (2009b), la cual permitió valorar el ejercicio del SST.
6. Por último, se realizó el análisis económico del sistema de SST al calcular la diferencia entre el costo para implementar y operar las medidas de prevención de riesgos laborales (presupuesto anual de prevención) en relación con el costo derivado por la ausencia del sistema y el suceso de los riesgos de trabajo. Para ello se estimaron los costos directos de los accidentes que de acuerdo con datos del IMSS suceden con mayor frecuencia en la construcción, considerando las partidas indicadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Conceptos para la estimación del costo de los accidentes de trabajo

Capítulo 1	Tiempo perdido por el accidente
1.1	Tiempo perdido por el accidentado
1.2	Tiempo perdido por otros (no. de trabajadores * horas)
1.3	Uso de botiquín
1.4	Gastos de traslado (ambulancia, taxi, etc.)
Capítulo 2	Costo de servicios médicos
2.1	Asistencia médica y quirúrgica
2.2	Rehabilitación
2.3	Hospitalización
2.4	Medicamentos y material de curación
2.5	Aparatos de prótesis y ortopedia
Capítulo 3	Costos de seguridad social
3.1	Sanción de infracciones
Capítulo 4	Indemnizaciones
4.1	Incapacidad temporal
4.2	Incapacidad permanente parcial
4.3	Incapacidad permanente total
4.4	Muerte
Capítulo 5	Pérdida de negocio
5.1	Contratación del sustituto

La estructura de los costos de servicio médico se definió tomando como punto de partida el Artículo 487 de la Ley Federal del Trabajo, el cual señala que los trabajadores que sufran un riesgo de trabajo tendrán derecho a servicios de

asistencia médica y quirúrgica; hospitalización y rehabilitación cuando el caso lo requiera; medicamentos y material de curación; aparatos de prótesis y ortopedia necesarios; indemnización fijada la Ley.

Para determinar el tratamiento de las lesiones que fueron objeto de estudio, se consultaron las Guías de Práctica Clínica (GPC) desarrolladas por el Sistema Nacional de Salud, publicadas en el Catálogo Maestro de Guías de Práctica Clínica; posteriormente se estimó el costo de servicios médicos utilizando las cifras de la tabla que contiene los Costos Unitarios por Nivel de Atención Médica actualizada al 2018, publicada en el Diario Oficial de la Federación el Jueves 28 de Diciembre de 2017. En el capítulo de costos de seguridad social se consideran de acuerdo con el Artículo 304 A y al Artículo 304 B de la Ley del Seguro Social, las sanciones por infracciones de los actos u omisiones del patrón. Para la valoración del Capítulo 4, se consultaron los Artículos 487, 490 (sanción de infracciones), 491 (indemnización por incapacidad temporal), 492 (indemnización por incapacidad permanente parcial) y 500 (indemnización por muerte) de la Ley Federal del Trabajo.

Resultados

De acuerdo con la metodología planteada, se realizó el diagnóstico de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo durante la construcción de la segunda etapa del fraccionamiento, localizado al noreste de la Ciudad de Chetumal, Quintana Roo. La evaluación se conformó por 134 indicadores clasificados en 8 capítulos, determinando los avances con base en 2 modalidades: la primera entre si aplica o no; y en la segunda se determinó el tipo de acción preventiva o correctiva por instaurar para el cumplimiento de la normatividad. Como acciones preventivas se consideraron las de conservar, mejorar y actualizar, con puntuaciones de 5, 4 y 3 unidades respectivamente. Como acciones correctivas, las de complementar, corregir y realizar, con valores de 2, 1 y 0 puntos. El puntaje final de la evaluación se conformó a partir de la sumatoria de los valores asignados a cada una de las medidas preventivas o correctivas por instaurar. Para la conformidad de la evaluación se utilizaron pruebas de tipo documental, constatación física, evidencias registrales y entrevistas. En la Tabla 4 se muestran las puntuaciones obtenidas en la evaluación.

Tabla 4. Diagnóstico inicial de las condiciones de Seguridad y Salud en la obra

Capítulo	Puntuación a obtener	Puntuación obtenida	Porcentaje de cumplimiento
1. Estudios	50	2	4%
2. Programas	45	0	0%
3. Procedimientos	40	0	0%
4. Medidas de seguridad	295	16	5%
5. Equipo de protección personal	25	10	40%
6. Capacitación e información	30	0	0%
7. Autorizaciones	20	0	0%
8. Registros administrativos	50	4	8%
Total	555	32	

Los resultados anteriores reflejan el bajo cumplimiento en los indicadores de seguridad ofrecidos por la empresa responsable de la obra en estudio, apenas el 6%. Se denota que hubo una marcada diferencia entre el cumplimiento del uso de equipo de protección personal (40%) en comparación al resto de los indicadores, donde la mitad de ellos estuvieron en cero. Otro aspecto importante fue la evaluación de los riesgos en el proceso constructivo. El conjunto habitacional estuvo conformado por la construcción de 492 viviendas de 2 prototipos: Modelo A (1 nivel) y Modelo B (2 niveles). En la edificación del Modelo A, se empleó un sistema de moldes para concreto; el cual se destaca porque todos los elementos que componen la estructura (muros, castillos, vigas y losa de azotea) fueron colados monolíticamente. Mientras que en el modelo B se utilizó un sistema mixto; en la planta baja se manejó el sistema de moldes, y en la planta alta se levantaron muros de block hueco, colando escaleras, castillos, cadenas de cerramiento y losa de azotea de forma independiente.

Los procesos constructivos fueron englobados en once procedimientos generales: cimentación, moldes, muros, losas, detallado general, cerámica, obra exterior, escalera, texturizados, puertas y ventanas, e impermeabilización. Cada procedimiento fue analizado para determinar las actividades específicas y los riesgos potenciales involucrados en los trabajos realizados con la finalidad de definir las medidas preventivas para mitigar dichos riesgos. Una vez realizado el análisis de los riesgos potenciales de cada uno de los procedimientos generales de la construcción, se calculó la frecuencia de ejecución de los veintidós procedimientos específicos en la obra, así como la frecuencia de exposición de los trabajadores a los veintidós riesgos de trabajo identificados. Los procedimientos específicos más frecuentes en obra resultaron ser: el uso de herramientas manuales, movimiento de materiales (levante y acarreo) y uso de vehículos;

en contra parte, los que menos se observaron fueron: trazo y excavación, operación de la retroexcavadora, corte y soldadura con arco eléctrico e instalación de ventanas de aluminio.

Definido el análisis de riesgos potenciales, se elaboró la propuesta del SST. El Sistema fue dotado de herramientas para asegurar un buen funcionamiento y elementos de control para detectar sus fallas, corregirlas y encaminar a la organización dentro de estándares que proporcionan a los trabajadores ambientes adecuados y libres de factores que sean causales del deterioro de su salud, integridad física y mental, y propician la consolidación del Sistema como mecanismo para mejorar la productividad, potencializando a la organización en su crecimiento económico y social.

Una vez conformada la propuesta del SST, se elaboró un presupuesto sobre la inversión inicial requerida para poner en operación el Sistema; donde se consideraron los costos de los siguientes conceptos:

- Contratación de un Técnico de Seguridad e Higiene durante la jornada diaria de la obra
- Equipo de protección personal y dispositivos de seguridad
- Atención de emergencias y contingencias
- Actividades y campañas de prevención de riesgos laborales
- Cursos de capacitación en materia de seguridad e higiene laboral
- Instalaciones de higiene/bienestar
- Pago de la cuota diaria del aseguramiento de los trabajadores
- Costos de la oficina de seguridad laboral en obra

El monto estimado aproximado para la inversión inicial en el SST fue de \$102,102. Adicionalmente se realizó la valoración del costo mensual requerido para mantener en marcha el Sistema, donde se consideró: el salario mensual del Técnico de Seguridad e Higiene, cursos locales de capacitación en materia de seguridad y salud laboral impartidos por la Unidad Estatal de Protección Civil de Quintana Roo, el mantenimiento de las instalaciones de higiene/bienestar, el pago de la cuota diaria de aseguramiento de los trabajadores y los insumos mensuales para la oficina de seguridad laboral en obra. El monto calculado para este rubro fue de \$48,501. Finalmente, el costo promedio anual de aplicación del SST fue de \$635,610.

Después de un periodo aproximado de 4 meses con el Sistema implementado en el sitio de construcción, se llevó a cabo la evaluación de su funcionamiento aplicando los indicadores de la Guía publicada por la STPS para dicho fin, obteniendo un puntaje total de desempeño del 45% (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación del Sistema de Seguridad en la Obra

Capítulo	Puntuación a obtener	Puntuación obtenida	Porcentaje de cumplimiento
Involucramiento directivo	55	32	58%
Planeación y ejecución	190	82	43%
Seguimiento operativo	15	4	27%
Evaluación de resultados	65	27	42%
Control documental	10	7	70%
Total	335	152	45%

Por otra parte, se integró un sistema de control estadístico del suceso de incidentes y accidentes laborales, donde se registraron un total de 638 eventos que tuvieron origen a partir de siete causas generalizadas: falta de capacitación, falta de orden y limpieza, negligencia del patrón, negligencia del trabajador, origen ambiental, supervisión inadecuada y trabajo bajo presión; también se registró la frecuencia de exposición de los trabajadores a los riesgos potenciales, detectando como más recurrentes: cortaduras y raspaduras, caídas, golpeado por, caída de objetos y proyección de partículas.

Como parte del análisis económico, se calculó la diferencia entre el costo de la prevención de los riesgos de trabajo (inversión en el SST) y los costos derivados del suceso de accidentes laborales (pérdidas para la empresa). El análisis anual de los costos fue desglosado en doce meses, donde para el primer mes se consideró el monto inicial de inversión en el SST (\$102,102) y el monto de accidentabilidad sin seguro (\$183,509) calculando la diferencia entre ambos

valores para obtener así un total de -\$81,408 en gastos para la empresa. En el segundo mes se consideró como costo del SST el monto mensual para su operación (\$48,501) y el costo de la accidentabilidad con seguro (\$14,693), calculando la diferencia entre los dos montos y adicionando el valor total obtenido en el mes anterior para obtener así el monto acumulado (-\$47,600.00).

Finalmente, el análisis económico del SST propuesto para la obra mostró un sobre costo aproximado de \$81,408 en el primer mes de su implementación, sin embargo, a partir del cuarto mes se observó un ahorro de \$20,016 y de hasta \$290,478 al año de realizada la inversión con relación a los gastos ocasionados por la accidentabilidad laboral. Dichos ahorros se darían si se cumple el supuesto de que el SST producirá el efecto de disminuir los costos de la accidentabilidad (prima de seguro y costos ocultos).

A nivel mundial, la industria de la construcción es una actividad donde se expone a los trabajadores a diversos riesgos laborales que a menudo resultan en accidentes con severas y/o fatales consecuencias. Dichos riesgos suelen tener sus causas en la inadecuada supervisión de la seguridad laboral, la presión de producción y la inoportuna capacitación de los trabajadores. El suceso de accidentes laborales genera importantes costos económicos para las empresas, sin embargo, medir el costo de estos riesgos resulta bastante complejo ya que hasta ahora su evaluación ha tenido lugar mediante el desarrollo de métodos muy dispares entre sí. En la construcción, los costos de un accidente deben contabilizarse como directos (flujos de efectivo reales que pueden atribuirse directamente a las consecuencias de los accidentes) e indirectos (son difíciles de cuantificar por lo que a menudo se consideran como costos “ocultos”). Diversos investigadores han calculado la proporción entre estos dos tipos de costos encontrando valores de entre 1:1 y más de 1:2.94. Esto significa que los costos indirectos representan el 74.6% de los costos totales, mientras que los costos directos son solo el 25.4%, sin embargo, no existe una proporción generalmente aceptada, ya que los costos directos varían mucho dependiendo de las pólizas de seguro y compensación por las lesiones laborales entre zonas geográficas. En México, no se han realizado estudios para determinar la relación entre los costos directos e indirectos de los accidentes y, sin embargo, la identificación y cálculo de los costos indirectos puede motivar a las empresas que minimizan el problema de la seguridad laboral a aumentar las inversiones en prevención de accidentes.

Particularmente, en el presente estudio únicamente se analizaron los costos directos de las lesiones de trabajo, adicionalmente el costo promedio de las lesiones fue comparado con relación a la inversión requerida para implementar el Sistema de Seguridad y Salud en la obra. Se realizó un análisis económico mensual donde se obtuvo un sobre costo aproximado de \$81,407.75 en el primer mes de su implementación, sin embargo, a partir del cuarto mes se observó un ahorro de \$20,015.50 y de hasta \$290,478 al año de ejecutada la inversión con relación a los gastos ocasionados por la accidentabilidad laboral. Los valores obtenidos, permiten aportar argumentos reales con un gran potencial para persuadir a las empresas de los beneficios que conlleva la inversión en prevención de riesgos laborales.

Conclusiones

Con el presente trabajo, se integró la propuesta de un Sistema de Seguridad y Salud para la obra, dirigido a los directivos de la empresa con la finalidad de aprobar su ejecución y obtener los recursos necesarios para su operación en la etapa de construcción de un conjunto habitacional. Se determinó la tasa de incidencia de los riesgos de trabajo, la gravedad de los accidentes y el tipo de lesiones producidas en la obra, realizando una comparativa entre las cifras de accidentabilidad registradas por la empresa con los índices nacionales, sin embargo, resulta importante señalar que el análisis tuvo ciertas restricciones de origen, ya que desafortunadamente la información estadística en México, como en la mayoría de los países a nivel mundial, no cuenta con datos fiables y actualizados sobre la situación real de la seguridad laboral en la industria de la construcción, ya que muchos de los accidentes pasan desapercibidos y no se denuncian, además, las cifras disponibles se refieren solo a la población con cobertura de seguridad social, la cual representa únicamente el 37.81% del total de empleados en la industria.

Se logró corroborar que la inversión realizada en prevención de riesgos laborales en la construcción masiva de vivienda, por medio de la implementación de un Sistema de Seguridad y Salud puede ser recuperada a través de la reducción del número de accidentes e incidentes laborales. También, se constató que la prevención permite generar adicionalmente una serie de beneficios empresariales significativos, como son:

- Reducción de la tasa de accidentes e incidentes con pérdida de tiempo para los trabajadores y de los días de trabajo perdidos como consecuencia de las lesiones y, por lo tanto, aumento en los índices de productividad y rentabilidad de la empresa.
- Ahorro de costos al disminuirse el número de lesiones y el costo derivado por la responsabilidad civil que se deriva de los accidentes laborales.
- Mejora de la imagen empresarial de la constructora.

- Mejora de la cultura en prevención de riesgos laborales, lo que influye positivamente en la moral de los trabajadores y en las relaciones laborales.

En contra parte, el suceso de accidentes laborales genera importantes costos, los cuales no solo se centran en las consecuencias directas debido a las lesiones que provocan incapacidad en los trabajadores, sino también en los incidentes y accidentes que sin producir daños humanos, pueden interrumpir los procesos constructivos y/o generar retrasos; además de ocasionar pérdidas materiales que derivan en el incremento de los costos de producción; así como el deterioro de la imagen de la empresa o pérdida de mercado, entre otros.

Por lo anterior, resulta importante seguir contribuyendo en la generación de conocimiento acerca de la gravedad de los accidentes e incidentes de trabajo, y las significativas repercusiones económicas que estos ocasionan para las empresas; ya que en la actualidad, la mayoría de las organizaciones subestiman la importancia de este problema, principalmente por la falta de datos confiables y métodos analíticos para determinar los costos asociados con los accidentes de trabajo, por lo que suelen considerar que no es rentable invertir en prevención, sino por el contrario, solo resulta en un gasto adicional e innecesario para la empresa.

Bibliografía

- Carvajal Peláez, G. I., & Pellicer Armiñana, E. (2011). Propuesta para la evaluación del impacto económico de la siniestralidad laboral en el sector de la construcción. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(19), 89-99
- Feng, Y., Zhang, S., & Wu, P. (2015). Factors influencing workplace accident costs of building projects. *Safety Science*, 72, 97-104.
- Gascón, J., & Pérez, M. (1993). El ingeniero y la seguridad: la seguridad integrada. *Informes de la Construcción*, 44(423), 17-22. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion>.
- Gavious, A., Mizrahi, S., Shani, Y., & Minchuk, Y. (2009) The costs of industrial accidents for the organization: Developing methods and tools for evaluation and cost – Benefit análisis of investment in safety. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(4), 434-438.
- López Alonso, M., Ibarrondo Dávila, P., & Rubio Gámez, M. C. (2015). Análisis de los costes de prevención en obras de construcción. *Informes de La Construcción*, 67(537)
- Oficina Internacional del Trabajo [OIT] (1997). Seguridad, salud y bienestar en las obras de construcción: Manual de capacitación (1ra ed.). Montevideo: Cinefort/OIT.
- Organización Internacional del Trabajo [OIT] (2015 a). La construcción: un trabajo peligroso. [On-line]. Disponible en: https://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/WCMS_356582/lang--es/index.htm
- Organización Internacional del Trabajo [OIT] (2015 b). Buenas prácticas y desafíos en la promoción del trabajo decente en proyectos de construcción e infraestructura (Primera ed.). Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
- Romero Mirón, A. (n.d.). Las inversiones en prevención de riesgos laborales. MC MUTUAL. Recuperado de https://www.mc-mutual.com/documents/20143/47482/inversiones_PRL_es.pdf/498921c8-0f16-c534-f956-10b41f6ec65e.
- Rubio, M. C., Menéndez, A., Martínez, G., & Rubio, J. C. (2011). Gestión de prevención de riesgos laborales en las obras de ingeniería civil. *Revista Ingeniería de Construcción*, 19(3)171-175. <https://doi.org/10.7764/ricuc.19.3.150>
- Sánchez, E. (2017). México: cada accidente de trabajo cuesta 200 mil pesos. *El Heraldo de Saltillo*. Recuperado de <https://www.elheraldodesaltillo.mx/2017/05/23/cada-accidente-cuesta-200-mil-pesos/>
- Secretaría de Trabajo y Previsión Social [STPS] (2009a). Programa de Autogestión en Seguridad y Salud en el Trabajo. Guía de Asesoría para la Instauración de Sistemas de Administración en Seguridad y Salud en el Trabajo. Recuperado de <http://qaautogestion.stps.gob.mx/Proyecto/Content/doctos/GuíadeAsesoríaSASST.pdf>
- Secretaría de Trabajo y Previsión Social [STPS] (2009b). Programa de Autogestión en Seguridad y Salud en el Trabajo. Guía para la Evaluación del Funcionamiento de Sistemas de Administración en Seguridad y Salud en el Trabajo. Recuperado de <http://qaautogestion.stps.gob.mx/Proyecto/Content/doctos/GEFdeSASST.pdf>
- Secretaría de Trabajo y Previsión Social [STPS] (2012). Marco normativo de seguridad y salud en el trabajo. [On-line]. Disponible en: asinom.stps.gob.mx/8145/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx
- Secretaría de Trabajo y Previsión Social [STPS] (2015). Programa de Autogestión en Seguridad y Salud en el Trabajo. Guía para la Evaluación del Cumplimiento de la Normatividad en Seguridad y Salud en el Trabajo. Recuperado de <http://qaautogestion.stps.gob.mx/Proyecto/Content/doctos/GuíaECNSST>
- Secretaría de Trabajo y Previsión Social [STPS] (2017). Seguridad y Salud en el Trabajo en México: Avances, retos y desafíos. (Secretaría de Trabajo y Previsión Social, Ed.). México.
- Shohet, I. M., Luzi, M., & Tarshish, M. (2018). Optimal allocation of resources in construction safety: Analytical-empirical model. *Safety Science*, 104(2017), 231-238.



OBTENCIÓN DE CaCO_3 CON *BACILLUS SUBTILIS* PARA LA FABRICACIÓN DE CONCRETO AUTORREPARABLE

Juan Andrés Cuadros Portales¹, Gerardo de Jesús Sosa Santillán²,
Felipe Avalos Belmontes³, Elia Martha Múzquiz Ramos⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 14/06/2019

Aceptado: 23/09/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen.- El objetivo de ésta investigación es obtener CaCO_3 por biomineralización bacteriana para sellar grietas en concreto. Para esto se utilizaron endosporas de *Bacillus subtilis*, y se inoculó en diferentes medios de cultivo, buscando la mejor relación de nutrientes precursores de minerales, así mismo se compararon diferentes medios de inmovilización tanto para nutrientes como endosporas bacterianas para obtener un vehículo apto para las condiciones de producción y vida útil del concreto. Finalmente para comprobar la producción de CaCO_3 se analizaron los productos del metabolismo del *Bacillus subtilis*, por medio de FT-IR, DRX y MEB, observándose la producción de CaCO_3 en forma de calcita, vaterita y aragonita, encontrándose la primera en mayor porcentaje. La producción de estos minerales se presenta tanto en medios de cultivo acuosos como en medios de cultivo con endosporas bacterianas y nutrientes inmovilizados, dentro de una matriz de alginato de sodio entrecruzado con CaO .

Palabras clave: CaCO_3 ; biomineralización; grieta; endospora.

OBTAINING CaCO_3 WITH *BACILLUS SUBTILIS* FOR THE MANUFACTURE OF SELF-REPAIRING CONCRETE

Abstract.- The main of this work is to obtain CaCO_3 by bacterial biomineralization in order to seal cracks in concrete. For this, *Bacillus subtilis* endospores were used and inoculated in different culture media, looking for the best ratio of mineral precursor nutrients, likewise different means of immobilization for both nutrients and bacterial endospores were compared to obtain a vehicle suitable for the conditions of production and useful life of the concrete. Finally, to confirm the production of CaCO_3 , the metabolism products of *Bacillus subtilis* were analyzed by FT-IR, XRD and SEM, observing the production of CaCO_3 in the form of calcite, vaterite and aragonite, the first being in the highest percentage. Production of these minerals occurs both in aqueous culture media and in culture media with bacterial endospores and immobilized nutrients, within a matrix of sodium alginate crosslinked with CaO .

Keywords: Interdisciplinarity, Modular System, Object of Transformation, Collegiate Life

Introducción

El concreto es un material de construcción diseñado especialmente para resistir esfuerzos a la compresión, pero desafortunadamente su capacidad de resistir esfuerzos a la tensión solo representa el 10% de su resistencia, por lo que se le incorpora acero de refuerzo que satisfaga la necesidad de soportar esfuerzos a tensión. Aún así, una de las fallas más características del concreto son la aparición de grietas, estos agrietamientos han llegado a ser inevitables en las estructuras de concreto, ya que el concreto a pesar de que posee gran desempeño estructural, el método de su fabricación y colocado requiere de un estricto control de calidad, debido a que es un material en el que existe mucha interferencia del factor humano en el proceso de producción, desde el control de calidad en el banco de materiales pétreos, así como el control de calidad en la planta cementera, además del control de calidad en la planta concretera donde es mezclado, por lo tanto las variaciones de calidad son muchas ya que aunque existen normas y lineamientos establecidos para el aseguramiento de la calidad del concreto, muchas veces el criterio del personal operativo no es el correcto, lo que puede repercutir en fallas al final de su aplicación y vida útil. Existen diferentes factores que afectan al concreto ya instalado: una correcta labor de curado, una limpieza correcta del cimbrado, desastres naturales, así como su seguimiento de mezclado en obra y colocación, si cualquiera de estos factores denota un mal resultado, esto afectará a la matriz del concreto, primero en la formación de grietas, que además de la disminución de las propiedades de resistencia del concreto, causa desprendimientos y crea mayores puntos de ruptura. Por otra parte, también se verá

¹ Juan Andrés Cuadros Portales. Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales. Universidad Autónoma de Coahuila. j.cuadros@uadec.edu.mx (Autor correspondiente)

² Gerardo de Jesús Sosa Santillán. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila.

³ Felipe Avalos Belmontes. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila.

⁴ Elia Martha Múzquiz Ramos Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila.

afectado el acero de refuerzo embebido dentro del concreto ya que dichos agrietamientos permiten el paso a humedad y diversos agentes químicos que causan principalmente oxidación, lo que repercute en una serie de efectos secundarios, como lo son la corrosión del acero y adelgazamiento de su área de refuerzo para el concreto, por lo tanto el concreto pierde la resistencia a la tensión, llegando a representarse fallas mayores como, rupturas de elementos que componen la estructura de concreto y desprendimientos de fragmentos de la misma, lo que resulta en una constante degradación de la estructura. La suma de estos daños pueden causar desde pequeñas goteras hasta el colapso total de una estructura de concreto que puede poner en riesgo vidas humanas que la utilicen (Harmsen, 2005).

Es evidente que se debe erradicar la penetración de humedad para conservar en buenas condiciones una estructura de concreto el mayor tiempo posible, entonces para lograr esto se deben sellar los agrietamientos que el concreto llegue a presentar a lo largo de su vida útil. Actualmente se utilizan varios materiales para sellar dichos agrietamientos, los más usuales son: resinas epóxicas, silicones y morteros de concreto, pero estos métodos además de que representan un costo adicional de mantenimiento, no llegan a ser del todo eficaces en la mayoría de los casos debido a los movimientos de contracción y expansión que causan las inclemencias del tiempo tales como: altas temperaturas en temporadas de calor, congelamiento y deshielo en época de invierno. Esto causa que los materiales que se utilizaron para sellar los agrietamientos, se lleguen a desprender del concreto dejando libre el paso a humedad, la cual se trata de erradicar (Seifan, Khajeh, Berenjian, 2016).

Cuando se tiene que dar mantenimiento más frecuentemente a una estructura de concreto, es porque la composición del concreto ya sea solo o con la adición de acero de refuerzo, está comprometida y en algunos casos se tiene que demoler un inmueble por causa de deterioro o por antigüedad, entonces, un concreto libre de mantenimiento, significa que no tiene aparición de agrietamientos y está directamente relacionado con un mayor tiempo de vida útil, que además de que evita gastos adicionales a los de su construcción, también ayuda al medio ambiente y bienestar del planeta, principalmente a la atmosfera, ya que al tener mayor vida útil un inmueble, significa que no tiene que demolerse para construirse uno nuevo. De esta forma se disminuye el uso de cemento, el cual al producirse genera indirectamente CO₂, este gas es el principal causante del cambio climático ya que dentro de su función en la atmosfera el CO₂ absorbe y emite radiación impidiendo que la energía escape al espacio, causando el efecto invernadero que afecta a la distribución y abundancia de las especies marinas y terrestres llegando a causar la extinción de las mismas, por lo que el dióxido de carbono cumple una función primordial en el control climático del planeta (Badii, Guillen, Rodríguez, Lugo, Aguilar, Acuña, 2015).

El principio de autoreparación significa que si el concreto sufre algún agrietamiento, este debe tener la capacidad de sellarse de manera autónoma, es decir sin la intervención humana u otro agente externo a la misma matriz de concreto, por lo que para incorporar microorganismos dentro de la matriz del concreto se debe considerar que al momento de su fraguado el concreto poco a poco se convierte en una estructura como un solo elemento y los poros que se llegan a formar tienen un tamaño alrededor de 0.5 µm, mientras que los microorganismos, en este caso las bacterias, su tamaño puede ir desde 1 hasta 3 µm, por lo que si se agregan bacterias a la mezcla de concreto, este al ir completando su proceso de fraguado llegara aplastar las bacterias dentro de la mezcla, además de que el concreto es un material que alcanza un pH muy alcalino que puede llegar hasta 12, por lo que en el proceso de mezclado la mayoría de las bacterias no resistirán las condiciones extremas de alcalinidad y las bacterias residuales terminarian siendo apastadas debido a la cristalización del concreto (Wang, Mignon, Snoeck, Wiktor, Vliergerghe, Boon, Belie, 2015). Así que para evitar esto se debe buscar un vehículo para encapsular las bacterias que aislé su contacto directo con el concreto y además no modifique las características fisiológicas del microorganismo. Una de las soluciones mayormente usada en investigaciones recientes, como vehículo y agente inmovilizador para las bacterias es el alginato de sodio, este polisacárido tiene una afinidad inerte con los microorganismos y también con nutrientes para las mismas bacterias, logrando conservarlas por periodos de tiempo muy largos.

Pero las bacterias no pueden ser inmovilizadas dentro del alginato de sodio en estado reproductivo o en vivo, ya que necesitan constantes nutrientes para seguir reproduciéndose o de lo contrario morirán. Afortunadamente las bacterias del género *Bacillus* llegan a formar endoesporas, estas endoesporas son un estado latente de la bacteria, que puede soportar el ambiente altamente alcalino que se forma al momento de la producción y fraguado del concreto, además en este estado, dependiendo de las condiciones ambientales, pueden llegar a sobrevivir de 50 hasta 200 años. Uno de los *Bacillus* más usados para aplicaciones en concreto en su forma de endoesporas es el *Bacillus sphaericus*, debido a que ha sido muy utilizado para producir CaCO₃ (Jonkers, Thijssen, Muyzer, Copuroglu, Schlangen, 2010). Pero en esta investigación se utilizarán endoesporas de *Bacillus subtilis*, ya que este microorganismo sobrevive en una gran variedad de ambientes, tanto acuosos como terrestres o en la vegetación, además logra tomar muy fácilmente nutrientes

del ambiente para su reproducción, lo que lo hace más idóneo ya que el concreto es utilizado en todo el mundo y está expuesto a una amplia variedad de ambientes, con cambios de temperatura, humedad, oxígeno, etc.

Se ha demostrado que el *Bacillus subtilis* tiene la capacidad de precipitar CaCO_3 por medio de biomineralización, si bien aún no se ha utilizado como propuesta para remediar agrietamientos en el concreto, si se ha utilizado como precursor de minerales de calcio, en aplicaciones como fertilizante para agricultura y como restaurador de monumentos históricos antiguos. Esto es gracias a la capacidad de precipitación de carbonatos mediante la formación de ácidos orgánicos, estos ácidos se forman con la interacción de las moléculas de agua al momento de entrar en contacto con la grieta y la urea como se presenta en la ecuación (1), donde las bacterias actúan como catalizadores de la urea, secretando los carbonatos necesarios para la precipitación de CaCO_3 , por lo tanto se debe tener una fuente de calcio dentro de los nutrientes necesarios para la formación de CaCO_3 , como se muestra en la ecuación (2). Por lo que se decidió usar nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y acetato de calcio ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4\text{Ca}$) como fuente de calcio ya que son fácilmente solubles en agua, y de esta forma asegurar y favorecer la precipitación de carbonato de calcio. Así que en esta investigación se utilizará como medio de producción de carbonato la hidrólisis ureasa ya que es fácilmente controlada, además que permite producir mayor cantidad de carbonatos en periodos de tiempo más cortos (Aguilera, Zapata, Morales, 2015).

Ureasa bacteriana



Por otro lado el alginato de sodio, aunque sirve como buen vehículo y agente inmovilizador tanto para las endoesporas bacterianas como para los nutrientes necesarios para la producción de CaCO_3 , debido a que su resistencia a la compresión es nula, ya que forma un gel porque el alginato se prepara con la adición de agua, es importante adicionar algún agente entrecruzante que le brinde mejorar su resistencia a la compresión, ya que es el principal tipo de esfuerzo al que está sometido el concreto. Dentro de las investigaciones realizadas se han utilizado diferentes variedades de polímeros para entrecruzar el alginato, sin embargo, estos no llegan a tener buena afinidad con el concreto debido a su propia naturaleza (Wang, Soens, Verstraete, Belie, 2014). En cambio un material cerámico tendría mejor cohesión con el concreto al momento de su fraguado, así como una adherencia permanente en el concreto, ya que sus coeficientes de expansión y contracción térmica son similares, por lo que los cambios de temperatura que son las mayores causas por las que se separan las cápsulas del concreto no tendrán un efecto significativo con un agente entrecruzante de naturaleza cerámica, por lo que en este caso tener un vehículo de alginato entrecruzado con un material cerámico será más viable.

Debido al proceso de biomineralización, mediante el cual se producirá el CaCO_3 , se puede decidir que agente entrecruzante elegir, para que proporcione mayor dureza al alginato y afinidad al concreto, y además ayude al proceso de biomineralización, por lo que se decidió usar CaO como agente entrecruzante para el alginato, debido a que el entrecruzamiento con calcio forma una estructura conocida como "caja de huevos", ya que el alginato está formado por dos monosacáridos, con un grupo ácido, el gulurónico y manurónico, en esta estructura, los iones de calcio se sitúan como puentes entre los grupos con carga negativa del ácido gulurónico, entonces la estructura que forman las cadenas de alginato con los iones calcio no es plana, sino que tiene forma helicoidal, con el calcio situado en el eje, así las cadenas de alginato pueden ligarse en forma múltiple, acorde a la cantidad de calcio presente este proporcionará mayor dureza al gel. A causa de que la viscosidad de las soluciones de alginato se eleva mucho a partir del 2%, ya que se encuentra casi en su punto de saturación de agua, se considera un 2% como buena concentración de alginato para tomarlo como contenido de punto base para adicionar CaO , de esta forma se puede obtener una red de entrecruzamiento alginato-calcio que brinde mayor protección a los nutrientes y endoesporas bacterianas.

Además, la adición de CaO al alginato podría ayudar indirectamente al proceso de biomineralización, como se puede apreciar en la ecuación (3), debido a que el alginato absorbe la mayoría de agua para formar el gel, al momento de incorporar el CaO para entrecruzar y encapsular endoesporas y nutrientes, se puede quedar atrapado CaO inerte, el cual al momento de agrietarse el concreto e ingresar la humedad, el CaO residual formará hidróxido de calcio que más el dióxido de carbono del medioambiente o producto de la actividad metabólica bacteriana llegará a formar CaCO_3 y H_2O residual (Mors, Jonkers, 2012).



Pero lo más importante es tomar en cuenta el aspecto económico, ya que según las investigaciones que actualmente se han desarrollado para obtener bioconcretos o concretos autorreparables, su precio de producción aumenta alrededor del 30% por m³, este aumento mayormente se atribuye a los compuestos que se utilizan como medio protector para la encapsulación de nutrientes y endoesporas, por lo que en este aspecto el entrecruzamiento de CaO con alginato resultaría ser un buen vehículo para incorporar endoesporas y nutrientes dentro del concreto, gracias a que su costo es significativamente más bajo. A comparación de los agentes de entrecruzamiento poliméricos utilizados en investigaciones anteriores, se podría reducir del 30% a un rango del 10% al 20% de costo adicional por m³, para lograr producir un concreto autorreparable que pueda competir con los concretos convencionales en el mercado actual.

Por lo tanto en esta investigación se evalúan diferentes medios de cultivo y encapsulación de nutrientes junto a endoesporas, buscando la mejor relación de nutrientes precursores de CaCO₃, como la mejor relación de alginato y agente entrecruzante para incorporar nutrientes y endoesporas dentro de la matriz de concreto, de esta manera se podrá observar y semi-cuantificar la producción de CaCO₃, por el análisis de muestras mediante FT-IR, DRX y MEB.

Metodología: materiales y métodos

Para determinar la viabilidad de los nutrientes antes de encapsularlos en el alginato, se realizaron medios de cultivo acuosos, y así poder constatar y semi-cuantificar la cantidad de CaCO₃ que se produce por medio de bimineralización. La composición de los medios de cultivo quedó establecida como se muestra en la Tabla 1, el proceso de incubación se realizó por 7 días a una temperatura constante de 38 °C, en una incubadora tipo shaker, con una velocidad de agitación de 100 rpm. Para realizar la germinación del medio se utilizaron endoesporas de *Bacillus subtilis* almacenadas en una solución salina estéril de cloruro de sodio al 0.85%, con una concentración de 1.63 X 10⁹±930 endoesporas/mL.

Tabla 1. Medios de cultivo acuosos para producir CaCO₃.

BioCa1	BioCa2	BioCa3
Agua destilada (100 mL)	Agua destilada 100 (mL)	Agua destilada (100 mL)
Urea (2 g)	Urea (2 g)	Urea (2 g)
Extracto de levadura (2 g)	Extracto de levadura (2 g)	Extracto de levadura (2 g)
Ca(NO ₃) ₂ (2 g)	C ₄ H ₆ O ₄ Ca (2 g)	Ca(NO ₃) ₂ (2 g)
Endoesporas (1 mL)	Endoesporas (1 mL)	C ₄ H ₆ O ₄ Ca (2 g)
		Endoesporas 1 mL

Al final del proceso de incubación, se separaron los residuos metabólicos precipitados por el *Bacillus subtilis*, por medio de centrifugación a una velocidad de 3,500 rpm durante 7 minutos para poder analizar la producción de CaCO₃, después de retirar el sobrenadante separado en la centrifugación y dejando secar durante 24 horas a una temperatura de 100±5°C, este proceso se realizó para poder analizar las muestras mediante espectroscopia de infrarrojo por transformadas de Fourier (FT-IR), difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB).

Para lograr obtener una consistencia tipo polvo y, encapsular las endoesporas y los nutrientes antes de incorporarlos, se realizaron mezclas preliminares solamente con alginato entrecruzado con CaO, con ayuda de un agitador magnético con parrilla de calentamiento, a una velocidad de agitación constante de 500 rpm. Para esto se calentó el agua destilada a una temperatura de 50 °C, después se le incorporó el alginato dejándolo gelificar por 5 minutos, después se incorporó el CaO dejando mezclar durante otros 5 minutos. Los proporcionamientos utilizados en las diferentes mezclas de entrecruzamiento se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Mezclas de entrecruzamiento de alginato con CaO.

M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7
Agua destilada (100 mL)	Agua destilada (100 mL)	Agua destilada (100 mL)	Agua destilada (100 mL)	Agua destilada (100 mL)	Agua destilada (100 mL)	Agua destilada (100 mL)
Alginato (2 g)	Alginato (2 g)	Alginato (2 g)	Alginato (2 g)	Alginato (2 g)	Alginato (2 g)	Alginato (2 g)
CaO (10 g)	CaO (20 g)	CaO (30 g)	CaO (40 g)	CaO (50 g)	CaO (60 g)	CaO (70 g)

Después de obtener los resultados de la mejor relación de nutrientes para producir CaCO_3 , así como el medio con la consistencia deseada para encapsular nutrientes y endoesporas, estos dos se inmovilizaron realizando mezclas con ayuda de un agitador magnético con parrilla de calentamiento, a una velocidad de agitación constante de 500 rpm. Para esto se calentó el agua destilada a una temperatura de 50°C , después se incorporaron las endoesporas con una relación de endoesporas-agua de 1:2, luego se le incorporó el alginato dejándolo gelificar por 5 minutos, seguido de los nutrientes dejando mezclar durante 3 minutos más y finalmente se incorporó el CaO , dejando mezclar durante otros 5 minutos. Los proporcionamientos de la encapsulación de nutrientes y endoesporas se muestran en la Tabla 3. En donde **E** indica solamente encapsulación de endoesporas; **N** indica solamente encapsulación de nutrientes; **EN**: indica encapsulación de nutrientes y endoesporas.

Tabla 3. Encapsulación de nutrientes y endoesporas.

E	N	EN
Agua destilada (10 mL)	Agua destilada (10 mL)	Agua destilada (100 mL)
Endoesporas (5 mL)	Alginato (0.2 g)	Endoesporas (5 mL)
Alginato (0.2 g)	CaO (4 g)	Alginato (0.2 g)
CaO (4 g)	Urea (0.3 g)	CaO (4 g)
	Extracto de levadura (0.3 g)	Urea (0.3 g)
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0.3 g)	Extracto de levadura (0.3 g)
		$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0.3 g)

En la Tabla 3, se puede observar encapsulamiento por separado de endoesporas y nutrientes en las muestras **E** y **N**, mientras que en la muestra **EN** se encapsularon juntas, por lo que se sometieron a proceso de incubación dentro de cajas Petri de dos maneras: la primer caja mezclando las muestras **E** y **N**, y en la segunda solamente la muestra **EN**, el proceso de incubación se realizó durante 7 días, a una temperatura de $35 \pm 2^\circ\text{C}$ incorporando 5 ml de agua destilada cada 48 horas, después de terminado el proceso de incubación debido a que las muestras estarán compuestas por polímeros de origen natural del alginato entrecruzado con CaO , estas no pueden ser analizadas mediante DRX, ya que se obtendrían resultados poco confiables, así que se tomara de apoyo el MEB para corroborar el crecimiento de cristales del carbonato de calcio, de esta manera se determinara cual es la mejor forma de incorporar los nutrientes y endoesporas a la matriz del concreto.

Resultados

En la Figura 1 se presentan los productos del metabolismo del microorganismo en los diferentes medios, después de retirar el sobrenadante separado en la centrifugación y dejando secar durante 24 horas a una temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$, este proceso se realizó para poder analizar las muestras mediante FT-IR, DRX y MEB.

Primero se analizaron por medio de FT-IR las muestras secas resultantes de los medios acuosos: BioCa1, BioCa2 y BioCa3, pero además se analizaron por esta técnica espectroscópica los nutrientes utilizados: nitrato de calcio, urea, acetato de calcio y de carbonato de calcio para obtener un espectro infrarrojo de referencia y corroborar la producción de carbonato de calcio en las muestras recolectadas, así como determinar si hay nutrientes residuales que no hayan sido metabolizados por las bacterias. En la Figura 2 se presentan los espectros infrarrojos de las muestras analizadas utilizando un equipo PerkinElmer Frontier acoplado a un analizador de tipo ATR (reflectancia total atenuada), empleando un intervalo de análisis de 550 a 4000 cm^{-1} y 20 escaneos por análisis.

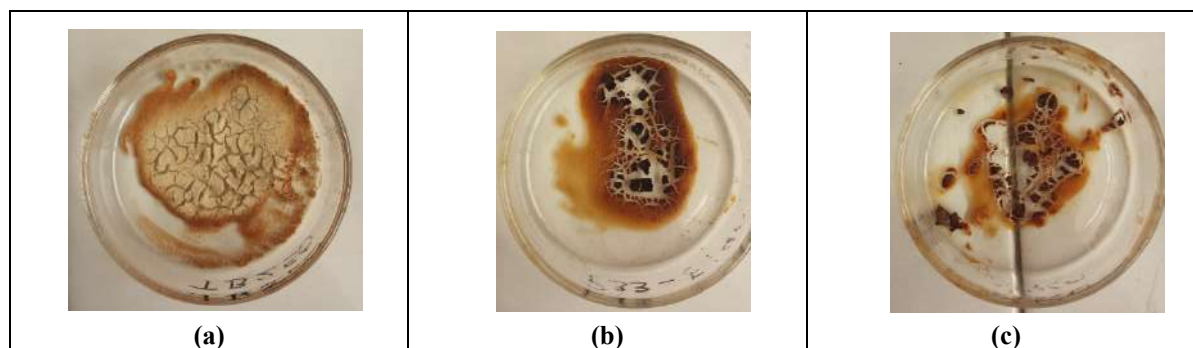


Figura 1. Residuo final recolectado de medios de cultivo acuosos para producir CaCO_3 : (a) BioCa1; (b) BioCa2; (c) BioCa3.

Como puede observarse en la Figura 2, todos los medios nutritivos muestran una banda a 1410 cm^{-1} característica del carbonato de calcio en sus formas de calcita, aragonita y vaterita, además de una señal intensa entre 1010 y 1015 cm^{-1} que corresponde solamente a la aragonita y la vaterita (Vazquez-Moreno, Blanco-Varela, 1981). También puede observarse que en ningún medio nutritivo hay coincidencia de bandas con las características de los nutrientes, por lo cual se puede determinar que el medio BioCa1 compuesto por: urea, extracto de levadura y nitrato de calcio es el mejor prospecto para producir carbonato de calcio, ya que coincide con otra banda característica del carbonato de calcio a 870 cm^{-1} , además que se muestra un espectro infrarrojo más limpio, y con menos variaciones de bandas, así como menor contenido de humedad que puede estar asociado a un carbonato de calcio con una estructura inestable o con un compuesto diferente al deseado, esta presencia de humedad figura en las muestras BioCa2 y BioCa3 entre los 3500 cm^{-1} y 3000 cm^{-1} .

Para poder cerciorarse de que medio nutritivo produce CaCO_3 , se analizaron las mismas muestras BioCa1, BioCa2 y BioCa3 mediante DRX, para seguir con el procedimiento de encapsulación en alginato entrecruzado con CaO . En la Figura 3 se muestran los difractogramas obtenidos de las muestras, además de las cartas patrón de las estructuras de CaCO_3 características. Se utilizó en esta determinación un Equipo de Difracción de Rayos-X Marca PANalytical Modelo Empyrean con Voltaje: 40 kV y Corriente: 30 mA .

Analizando los difractogramas de rayos X, para la identificación de fases cristalinas presentes de los medios BioCa1, BioCa2 y BioCa3, se encontró que en el medio BioCa1 existen reflexiones características de las tres estructuras del carbonato de calcio a 25° , 26° , 28° , 29° , 33° , 45° y 49° a una escala de 2θ , según las cartas patrón: PDF 01-072-4582 (calcita), PDF 98-016-9896 (aragonita) y PDF 01-072-0506 (vaterita).

En los medios BioCa2 y BioCa3 solo se pueden observar reflexiones a 28° y 33° a una escala de 2θ , según la carta patrón PDF 01-072-0506, esta estructura es perteneciente a la Vaterita, pero esta formación de carbonato de calcio llega a ser soluble en agua, por lo que se decidió usar los nutrientes del medio BioCa1 para encapsularlos.

Para determinar que proporcionamiento de CaO se utilizaría para realizar el encapsulamiento de nutrientes y endoesporas, se probaron las muestras secas resultantes de la Tabla 2 utilizando como referencia la escala de Mohs. Se obtuvo como resultado una buena consistencia tipo polvo con una dureza de 2 en la escala de Mohs, en la **M4** con una concentración de 20 g/L de alginato y 400 g/L de CaO .

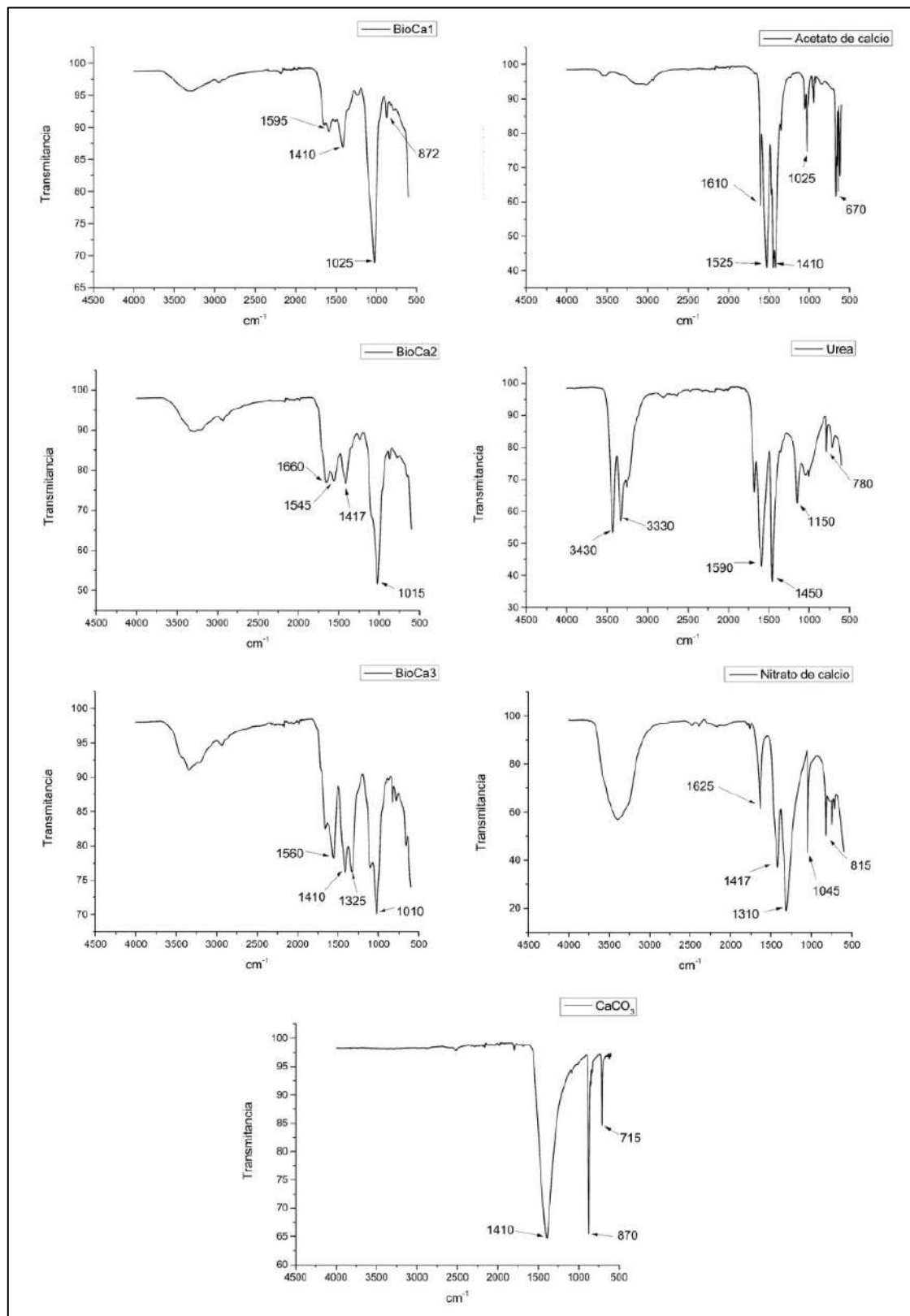


Figura 2. Espectros infrarrojos de muestras resultantes de medios acuosos así como de nutrientes utilizados para los mismos.

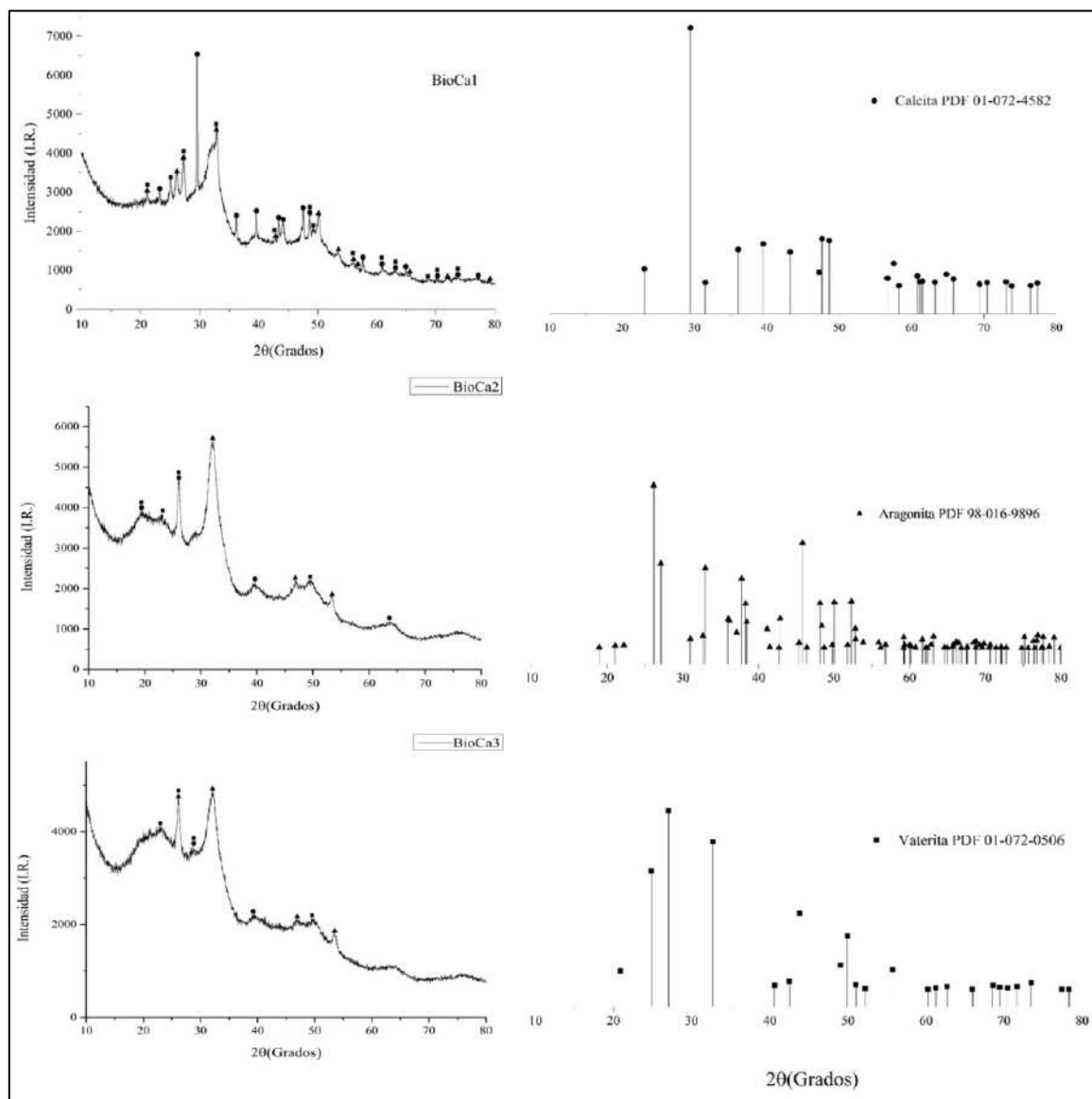


Figura 3. DRX de los medios BioCa1, BioCa2 y BioCa3, y cartas patrón de calcita, aragonita y vaterita.

En la Figura 4 se presentan las imágenes de los cultivos de las endosporas y los nutrientes antes de incubar, y en las Figura 4b y Figura 4d una vez pasado el tiempo de incubación. Cabe recordar que en la primer caja Petri se mezclaron las muestras **E** y **N** (a), y en la segunda solamente la muestra **EN** (c) de acuerdo a la Tabla 3.

En la Figura 4, se puede observar una clara saturación de color blanco en las cajas Petri una vez pasado el tiempo de incubación, lo que se atribuye a que existe producción de carbonato de calcio lo cual será confirmado el equipo de microscopía electrónica de barrido (MEB) Hitachi SU 8010.

En la Figura 5 se presentan las microfotografías de las muestras después de incubar. En la Figura 5a, que corresponde a las muestras **E** y **N** se observa la formación de cristales cúbicos, siendo una clara estructura de CaCO_3 en forma de calcita, además de que se observa la presencia de sitios de nucleación y el desarrollo de cristales de CaCO_3 en forma de aragonita en la Figura 5b. Aunque en las Figuras 5c y 5d se puede observar la formación de CaCO_3 , en forma de vaterita y aragonita, la estructura en forma de calcita que se observa en la Figura 5a es la forma más estable del CaCO_3 , por lo que es más conveniente incorporar en igual cantidad nutrientes y endosporas encapsuladas por separado, a la matriz de concreto.

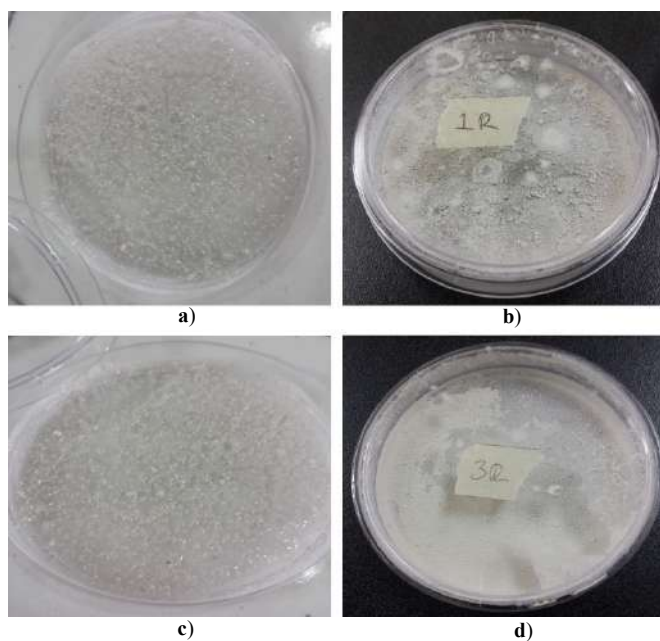


Figura 4. Encapsulación de nutrientes y endosporas descritos en la Tabla 3: (a) Muestra E y N antes de incubar; (b) Muestra E y N después de incubación; (c) Muestra EN antes de incubar; (d) Muestra EN después de incubación.

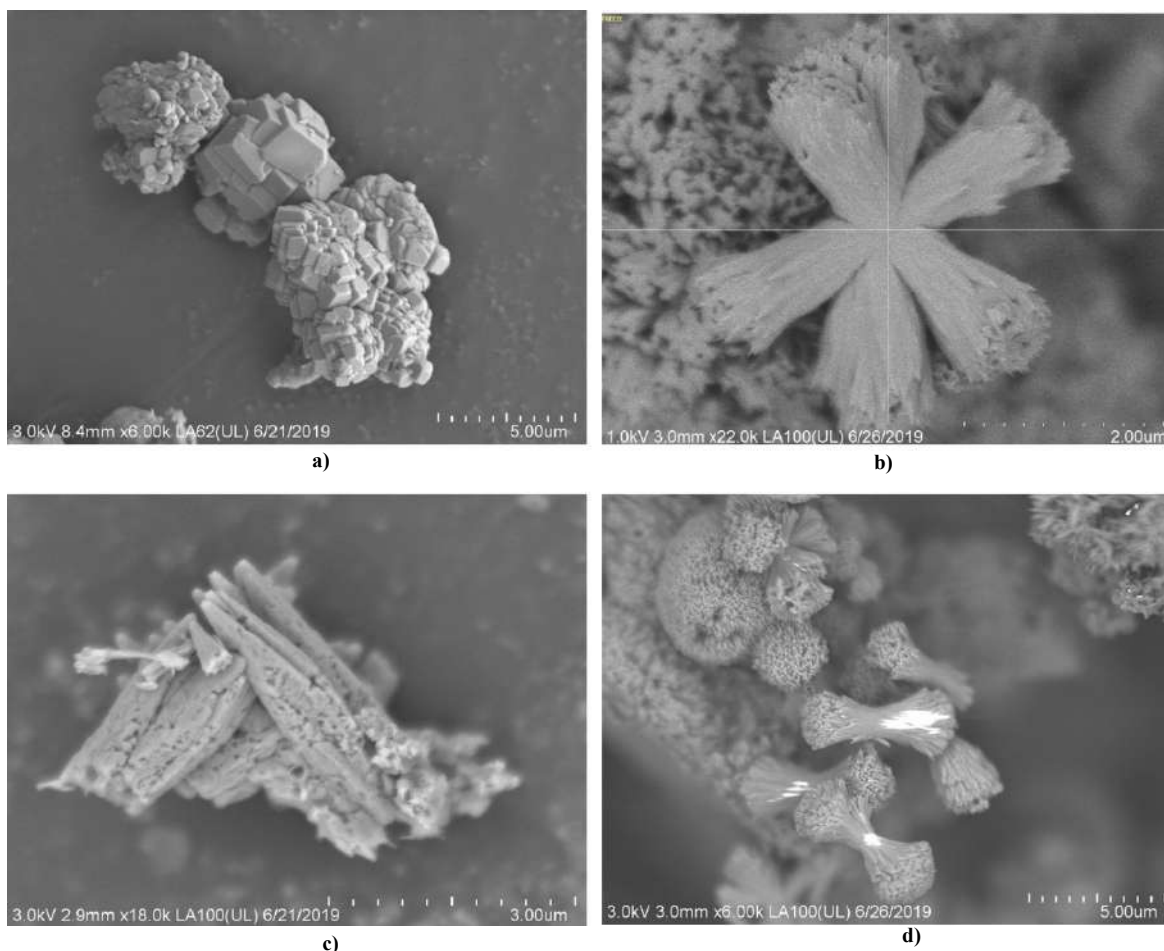


Figura 5. Microfotografías de las muestras después de incubación: (a) y (b) Muestra E y N; (c) y (d) Muestra EN.

Discusión

En suma, de los resultados obtenidos en esta investigación se puede deducir que la formación variada de diversas estructuras de CaCO_3 , como calcita, vaterita y aragonita, está directamente relacionada con un ciclo continuo de formación de carbonato de calcio de diversas formas, primeramente se espera la producción de CaCO_3 , con la operación de las ecuaciones (1) y (2), pero el amonio residual de la ecuación (1), al estar dentro del mismo ambiente donde se forma CO_3^{2-} proveniente de la alimentación de extracto de levadura por parte del microorganismo, se llega a formar más urea que interacciona de nuevo como en la ecuación (1), pero además el mismo CO_3^{2-} más el CaO residual dentro del encapsulamiento, al incorporársele agua forma Ca(OH)_2 , que da pie a la formación indirecta de CaCO_3 como se muestra en la ecuación (3), ya que estas reacciones son indirectas al proceso de biomineralización original de ureólisis, para producir carbonato de calcio, gracias a este ciclo continuo de formación de CaCO_3 , se puede obtener un menor tiempo de regeneración de los agrietamientos en el concreto ya que existe una catálisis más rápida y con menos desperdicio de los nutrientes precursores del CaCO_3 .

Conclusiones

Finalmente se determinó que los mejores nutrientes para producir CaCO_3 son: urea 20 g/L, extracto de levadura 20 g/L y nitrato de calcio 20 g/L. También se comprobó que el mejor medio para encapsulación que permite la germinación de endoesporas bacterianas y facilita la producción de CaCO_3 está compuesto de alginato 20 g/L entrecruzado con CaO 400 g/L, con estos factores como nutrientes precursores de minerales y vehículo para encapsular nutrientes y endoesporas, se logró semi-cuantificar por el método de Rietveld y con ayuda del equipo de DRX, una producción de CaCO_3 de: calcita 79.9%, aragonita 13.5% y vaterita 6.6%, esto a una relación de 100% equivalente a 100 g.

Bibliografía

- Belie, N. De. (2015). Application of modified-alginate encapsulated carbonate producing bacteria in concrete : a promising strategy for crack self-healing, 6(October), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01088>
- Guillen, A., Rodríguez, C. E., Lugo, O., Aguilar, J., & Acuña, M. (2015). Pérdida de Biodiversidad : Causas y Efectos Biodiversity Loss : Causes and Factors, 10(2), 156–174.
- Teodoro E. Harmsen. (2005). (Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú), Diseño de estructuras de concreto armado, Lima Perú.
- Jonkers, H. M., Thijssen, A., Muyzer, G., Copuroglu, O., & Schlangen, E. (2010). Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete, 36, 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.036>
- Paramo, L., & Morales, O. O. (2015). BIOTA NATIVA COMO UN MÉTODO DE RESTAURACIÓN . THE BIOPRECIPITATION OF CALCIUM CARBONATE BY NATIVE MICROBIAL POPULATION AS A RESTORATION METHOD ., (January 2016). <https://doi.org/10.5377/nexo.v28i01.1779>
- Seifan, M., Samani, A. K., & Berenjian, A. (2016). Bioconcrete: next generation of self-healing concrete. Applied Microbiology and Biotechnology, 100(6), 2591–2602. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7316-z>.
- Vazquez-Moreno, T., & Blanco.Varela M.T. (1981). Tabla de frecuencias y espectros de absorción infrarroja de compuestos relacionados con la química del cemento, Materiales de Construcción, 182, 611. <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1007/1180>
- Wang, J. Y., Soens, H., Verstraete, W., & Belie, N. De. (2014). Cement and Concrete Research Self-healing concrete by use of microencapsulated bacterial spores. Cement and Concrete Research, 56, 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.11.009>

ACCIONES URBANAS PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS POR FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EN CHETUMAL

Rafael Rosas Monroy¹, Gabriela Rosas Correa²,
Herlinda del Socorro Silva Poot³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 15/06/2019

Aceptado: 24/08/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen: Derivado del deterioro ambiental ocasionado por una civilización consumista, el cambio climático y la depredación de los recursos naturales, fenómenos tales como sismos, tornados, tsunamis, huracanes, inundaciones y sequías, han intensificado su poder destructivo cuando inciden sobre los asentamientos humanos, causando pérdidas de vidas y de bienes materiales, además de perturbar el funcionamiento de las ciudades. De esta manera las urbes que son concentradoras de población se hallan en mayor riesgo; tal es el caso de la ciudad de Chetumal; por su ubicación en la trayectoria de los huracanes, se encuentra en una situación de alto riesgo. Se realizó un estudio cualitativo cuyo propósito es identificar las alternativas para disminución de daños en los centros de población ante el impacto de un huracán y proponer acciones para mitigar los efectos destructivos, a través de los componentes urbanos, enfatizando la prioritaria necesidad de prever las contingencias antes de que éstas sucedan.

Palabras clave: Diseño urbano, Emergencias urbanas, Fenómenos meteorológicos, Vulnerabilidad

URBAN ACTIONS FOR THE MITIGATION OF METEOROLOGICAL PHENOMENA RISKS IN CHETUMAL

Abstract: Deriving from the environmental deterioration caused by a consumer society, climate change and the depredation of natural resources, phenomena such as earthquakes, tornadoes, tsunamis, hurricanes, floods and droughts, have intensified their destructive power when they affect human settlements, causing loss of lives and material goods, besides disturbing the functioning of cities. Thus, the cities that hold population are at greater risk; such is the case of Chetumal City; due to its location in the way of hurricanes, it is in a high risk situation. A qualitative study was carried out, its purpose was to identify the alternatives for reducing damage in the population centers before the impact of a hurricane and to propose actions to mitigate its destructive effects, through the urban components, emphasizing the priority need to foresee the contingencies before they happen.

Keywords: Urban design, Urban emergencies, Meteorological phenomena, Vulnerability

Introducción

La planificación urbana de Quintana Roo en sus orígenes, siendo Territorio aún, se realizó directamente en dependencias federales de la ciudad de México, por lo que una planeación urbana congruente con las características sociales, económicas y ambientales en ciudades como Chetumal, no se consideró durante muchos años.

La ciudad de Chetumal cuenta con 151,243 habitantes (INEGI, 2010) y pertenece al municipio de Othón P. Blanco; sus coordenadas geográficas son latitud N 18°30', longitud W 88°18'; está ubicada frente a la bahía del mismo nombre y al ser ésta parte del mar Caribe y encontrarse en la trayectoria de huracanes, el riesgo siempre está presente. Se observan deficiencias en la sociedad en cuanto a información para enfrentar un desastre natural; así mismo, no existe un inventario del estado estructural de edificaciones y viviendas en la zona baja de la ciudad que es la de mayor riesgo, incluyendo los asignados como refugios y falta un sistema de evacuación en donde se indiquen las salidas de emergencia.

El crecimiento urbano y la falta de diseño urbano de Chetumal han generado zonas vulnerables aun cuando se encuentran ubicadas en la parte alta de la ciudad y en su periferia han surgido asentamientos irregulares con viviendas

¹ Rafael Rosas Monroy. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T.Chetumal.

² Gabriela Rosas Correa. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T.Chetumal. grosas29@hotmail.com
(Autor correspondiente)

³ Herlinda del Socorro Silva Poot. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T.Chetumal

precarias donde vive una parte importante de la población. Estos asentamientos irregulares son producto de las subdivisiones de parcelas ejidales y venta de predios a margen de la Ley, que no cuentan con servicios básicos. Dadas las condiciones de éstos, no cuentan con refugios que tengan los servicios básicos necesarios para una contingencia, agudizando su vulnerabilidad en caso de la presencia de un huracán.

Este artículo tiene como objetivo presentar una serie de acciones para que la ciudad de Chetumal pueda enfrentar emergencias por huracanes con la minimización de daños y la preservación de vidas humanas, con base en los componentes urbanos contemplados como sistemas que son perturbados por los fenómenos meteorológicos pero con la funcionalidad necesaria para enfrentarlos.

La urbanización como fenómeno que ha acompañado al ser humano y ha sido persistente en el siglo XX y el XXI, implica una relación entre sociedad y el territorio que inevitablemente genera riesgos de distinta índole y diversos grados (Lungu, 2004) y que hoy, aunado al cambio climático, agudiza el riesgo de desastres.

La vulnerabilidad está determinada a partir de la forma, función y estructura de la ciudad, así como por los estilos de vida y características de la población que habitan dicho espacio; Vidal (2007: 35) aclara que aunque las «condiciones físicas» de la ciudad generan eventos de riesgo, el que ocurra un desastre es a causa del «habitar mismo de la ciudad que construye, retroalimenta y cambia los escenarios vulnerables»

De Sherbinin *et al.* (2007) establece dos grupos de factores que intervienen en la vulnerabilidad de las ciudades: a) las perturbaciones, que incluyen factores climáticos y socioeconómicos; y b) las características del sistema, que incluyen el ambiente físico; la infraestructura, equipamiento, habilidades y capacidades de afrontar dichas amenazas, tanto directas (elementos de protección), como indirectas (capital social).

Romo (2007) considera que las variables que intervienen en la vulnerabilidad a riesgos de origen específicamente riesgos físicos, pertenecen a dos subsistemas: el subsistema macro estructural, que incluye los aspectos poblacionales; organización social; e infraestructura para la atención de riesgos físicos (nivel local) y políticas de desarrollo urbano, normatividad, y protección civil (nivel nacional); y el subsistema individual incluye la reacción de la población ante acontecimientos de riesgo, tales como componentes cognitivos, emotivos y conductuales.

Jacob (2010) señala que factores como: ubicación, menos área de asentamiento; edificación duradera, refugios próximos, cohesión social y transporte público junto con medidas de evacuación, que son observables en las ciudades compactas contribuyen a la resiliencia de las ciudades costeras.

La prevención ante los fenómenos meteorológicos abarca todas aquellas medidas que con anticipación se realizan para tratar de evitar que los fenómenos naturales destructivos causen desastres u otras situaciones similares en los asentamientos humanos (Ley de Protección Civil en el estado de Quintana Roo, 2013). Entre estas medidas se tienen los análisis de vulnerabilidad, los cuales sirven como base para la formulación de recomendaciones y la obtención de instrumentos jurídicos para la planeación de la prevención ante situaciones de emergencia.

La vulnerabilidad hace referencia al contexto físico, social, económico y ambiental de una región, sector o grupo social susceptible de ser afectado por un fenómeno meteorológico o climático y que resulta clave para entender el origen de los desastres (Magaña, 2013). Los análisis de vulnerabilidad son el estudio, evaluación y conocimiento de la capacidad de un asentamiento humano para resistir la acción de un fenómeno destructivo (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2014). Con respecto al fenómeno meteorológico se estudia su cobertura territorial, su intensidad y sus periodos de incidencia.

En relación al asentamiento humano se consideran las características socioeconómicas de la población que son las que determinarán su nivel de desarrollo, así como aquellos elementos que permiten deducir su capacidad para responder a una situación de emergencia. Estos análisis permiten elaborar recomendaciones, normas y disposiciones de seguridad de acuerdo a las características propias de cada asentamiento humano, su ubicación geográfica y el tiempo histórico que se vive.

La prevención del desastre en un área geográfica se da en relación al conocimiento de su vulnerabilidad, con respecto a los diferentes fenómenos naturales destructivos. A través de las medidas preventivas; normas, acciones, instrumentos

jurídicos, técnicas de planeación urbana; se pueden minimizar los efectos de un huracán determinando las zonas de riesgo del centro de población, manteniendo un estricto control del uso del suelo, la infraestructura, el equipamiento urbano, la imagen urbana, los reglamentos de construcción y el control de los factores de riesgo, como son gasolineras, fábricas donde se manejan tóxicos, lugares de almacenamiento de combustibles y las instalaciones sanitarias (Flores, 2001).

Para la propuesta de acciones urbanas para la mitigación de riesgos por fenómenos meteorológicos en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, se realizó un estudio sobre los daños ocasionados por los huracanes en la ciudad, considerando el tiempo histórico, la sociedad y cultura, que son el reflejo de las manifestaciones urbanas y arquitectónicas. Se tomó como caso de estudio la colonia Barrio Bravo por ser de las más antiguas y que fue asentada sobre terrenos bajos frente a la bahía; su arquitectura vernácula adoptó el modelo anglo caribeño (construcciones de madera) y se manifestó con características propias dándole un carácter específico al entorno.

Se realizó un diagnóstico de la ciudad actual con base a los componentes naturales como son el clima, la topografía, hidrología y vegetación; y los componentes urbanos que son los más afectados por los huracanes, como son la infraestructura urbana, el equipamiento urbano, las vialidades y la vivienda. La infraestructura urbana es un componente urbano necesario para considerar en el estudio, se refiere al conjunto de obras de ingeniería que dan funcionamiento a los centros de población y hacen posible el uso urbano del mismo, tales como el sistema de alcantarillado, la red de agua potable, la red de electrificación, el alumbrado público, teléfono, comunicaciones, vialidades y el sistema de drenaje pluvial (García, 2017). Otro componente urbano es la vivienda, esencial de los asentamientos humanos que representa el espacio social que el hombre necesita para su desarrollo integral, por lo que se le da prioridad en cuanto a garantizar su seguridad.

También se tomó en cuenta la atención que se le brinda a la población por parte de las autoridades encargadas de atender las emergencias urbanas. La atención a la población se refiere a educar y capacitar, así como plantear las estrategias que han de adoptarse en caso de la presencia de un fenómeno natural y consecuentemente la emergencia (Flores, 2001). La atención engloba todas aquellas medidas previamente planteadas, estudiadas y ensayadas con vistas a la intervención de los distintos organismos de auxilio, con todos los medios destinados para salvar vidas humanas y preservar los bienes materiales. Este tipo de medidas conforman el principal conjunto de actividades que es necesario realizar en todo momento antes de la presencia de cualquier fenómeno destructivo que afecte los asentamientos humanos. Se trata de un conjunto de medidas que llegado el momento, tendrán por objetivo preservar las vidas humanas mediante la organización y práctica previa de operaciones de salvamento y auxilio (Ley de Protección Civil del estado de Quintana Roo, 2013).

Una planeación eficiente deberá considerar el comportamiento cotidiano de las personas y las interrelaciones propias de cada cultura cuando se enfrenta ante una situación de peligro. En la planeación se debe enfocar la atención a la prevención de los problemas que pueden presentarse y para lograrlo se requiere de la intervención de grupos organizados y la participación coordinada de los tres niveles de gobierno; federal, estatal y municipal; así como fomentar el espíritu de solidaridad entre todos los participantes.

Materiales y métodos

La investigación que se llevó a cabo es de tipo cualitativo, se inició con un trabajo documental sobre estudios de vulnerabilidad ante situaciones de riesgo por fenómenos meteorológicos en los centros urbanos en América latina, prevención de desastres y arquitectura de emergencias; así como los antecedentes históricos de la ciudad de Chetumal, su crecimiento urbano en diferentes periodos históricos y los huracanes que han impactado a la zona y el daño que estos ocasionaron. Se identificaron las características urbanas arquitectónicas de la ciudad de Chetumal en la década de los 50's y 70's que es cuando ocurrieron los huracanes "Jannet" y "Carmen" respectivamente, determinando la estructura urbana, tecnología constructiva, uso de materiales y tipología arquitectónica (estructura, forma y función del espacio).

Se consultó el marco normativo federal, estatal y municipal, así como el Plan de Desarrollo Urbano del área metropolitana de la ciudad de Chetumal y el plano de riesgo de la ciudad, por las disposiciones y condiciones que norman y regulan el desarrollo urbano de los centros de población. Se ubicaron las zonas de peligro alto, medio y bajo por fenómenos meteorológicos y se señalaron las recomendaciones para áreas de amortiguamiento, reservas de suelo para uso urbano, los cuerpos de agua y humedales y otras áreas que no deben ocuparse para fines de crecimiento urbano.

Por otro lado se realizó una encuesta a una muestra de 30 personas que son las que podrían haber estado en los últimos huracanes que azotaron a Chetumal. Para su aplicación se seleccionó la colonia Barrio Bravo por ser una de las zonas más antiguas de la ciudad y por encontrarse frente a la bahía de Chetumal. En la encuesta se utilizó un cuestionario de 15 preguntas, clasificadas en tres apartados: el primero hace referencia a las condiciones socioeconómicas de las familias que viven en la colonia Barrio Bravo.

El segundo apartado se refiere a la antigüedad de la construcción y resistencia de las viviendas, disponibilidad de agua potable, energía eléctrica y alcantarillado y el tercero referente a las experiencias de la población ante los huracanes ocurridos en el siglo XX. La muestra tomada en campo con entrevistas a personas de las familias que viven en el lugar y que conservan memoria de lo acontecido en los huracanes “Janett” y “Carmen”, los cambios producidos en la forma de construir y sus actitudes frente a los fenómenos destructivos, beneficia en forma directa a la investigación por las experiencias aportadas y a las bases de las acciones urbanas propuestas para la mitigación de riesgos por fenómenos meteorológicos en la ciudad.

Para la realización del diagnóstico urbano se realizó un análisis de los componentes naturales como el clima, vegetación, topografía, geología, hidrología, zona arrecifal e inundaciones pluviales y marítimas; con base en las normales climatológicas de la ciudad de Chetumal que proporciona la Comisión Nacional del Agua y el Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal. Para el análisis de los componentes urbanos como la estructura urbana, uso de suelo, vivienda, vialidad, transporte y el equipamiento e infraestructura urbana; se realizó un trabajo de campo que consistió en un recorrido por la ciudad de Chetumal empleando la técnica de la observación y registro para identificar los elementos de diseño que son vulnerables ante la presencia de fenómenos meteorológicos.

En cuanto al uso del suelo urbano se identificaron aquellos que pudieran ser un peligro ante la presencia de un huracán, tales como gasolineras, talleres, instalaciones de almacenamiento y productos altamente inflamables, etc.; también los elementos arquitectónicos decorativos y materiales empleados en las edificaciones ya sea vivienda o edificios no residenciales, que también son un peligro en caso de fuertes vientos; por ejemplo el uso excesivo de vidrio, láminas, tejas, etc. Para el análisis también se consideró la vialidad y transporte; tomando en cuenta las salidas de emergencia y la capacidad para atender a la población; y la infraestructura urbana en cuanto a su estado físico y la disponibilidad de agua potable, energía eléctrica y la posible contaminación por el desalojo de aguas negras.

Con la información recabada se determinó la situación actual de la ciudad de Chetumal en cuanto a su vulnerabilidad frente a fenómenos meteorológicos y se elaboró una propuesta de acciones para mitigar los efectos destructivos ocasionados por los huracanes, tomando en cuenta las características de la población, estructura y forma de la ciudad.

Resultados

La Colonia Barrio Bravo

Barrio Bravo es una de las colonias más antiguas de Chetumal y se localiza en la parte sureste de la misma, está asentada sobre terrenos bajos frente a la bahía, por lo que su situación de riesgo ante un huracán es alto, así como su vulnerabilidad (Figura 1). Cuando fue impactada por el ciclón Janett en septiembre de 1955, el 90% de las viviendas de esta colonia fueron destruidas.



Figura 1. Localización de la Colonia Barrio Bravo en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

Fuente: Google Maps

Antes del huracán Janet, la colonia Barrio Bravo estaba lotificada con predios de 800m² y de 1200m²; es una época en que la ciudad se encontraba aislada del resto del país; los lotes tenían dimensiones que variaban de 20x40m y de 25x50m, la razón era que los habitantes pudieran practicar una economía de patio. La vivienda era de madera con una superficie cubierta en su mayoría de 80m² y 120m², estas casas se construían según el modelo de la colonia inglesa, adaptada a las circunstancias y necesidades.

El nivel de la calle era de 0.5m sobre el nivel del mar. El suministro del agua potable se obtenía del tanque de almacenamiento ubicado en la avenida hoy denominada Mahatma Ghandi, el agua también era captada de las lluvias y almacenada en unos depósitos llamados “curvatos”. El manejo de las aguas residuales se hacía utilizando letrinas y fosas sépticas. En estas condiciones Barrio Bravo observado en su conjunto, proyectaba el diagnóstico de un sistema de alto riesgo y vulnerabilidad. De las entrevistas realizadas con los ya escasos sobrevivientes del huracán Carmen, se tiene que el 60% se albergó en casas particulares y el 40% en escuelas que fueron utilizadas como refugio. Siete viviendas construidas con materiales de la región desaparecieron durante este huracán. Los vientos de 240km/h empujaron las casas de madera desprendiéndolas de la unión con los pilotes sobre la cual estaban asentadas, al mismo tiempo que el viento succionaba las cubiertas de lámina de zinc provocando su volcadura y destrucción. El 47% de las habitaciones de las viviendas fueron devastadas completamente. Al iniciarse la acción del huracán se suspendió el servicio de energía eléctrica y de agua potable, así como las comunicaciones. La inundación hizo emerger las aguas negras de las letrinas y de las fosas sépticas infestando todos los lugares. Los fuertes vientos derribaron árboles y postes de la red eléctrica y volaron por el aire todos los objetos que no estuvieran anclados o fijos. Faltaron alimentos y agua potable, la ayuda del exterior tardó en llegar dos semanas y no se recibió todo lo que se envió para los damnificados. Como secuela del huracán aparecieron enfermedades gastrointestinales, disentería, neumonía y paludismo.

El tiempo transcurrido entre el huracán Janett de septiembre de 1955 y el huracán Carmen en septiembre de 1974, la colonia Barrio Bravo sufrió varios y significativos cambios en la construcción de la vivienda y el mejoramiento de la infraestructura. Se adoptó la tecnología del concreto y las nuevas viviendas se levantaron con cimientos de piedra, muros del mismo material o con bloques de concreto. Esta nueva modalidad de vivienda dio seguridad a sus habitantes pero perdió en cuanto a adaptación climática los beneficios que tenía la casa de madera. Las incidencias de fenómenos meteorológicos y los daños causados por éstos cambiaron los usos y costumbres de la sociedad, para construir sus viviendas y sus edificios adoptando tecnologías y materiales de otros lugares geográficos en busca de la seguridad y protección de los habitantes.

Componentes naturales

Chetumal tiene temperaturas que oscilan entre los 19°C y los 33.2°C, con un promedio de 27°C, el tipo de clima de la ciudad es (AW) cálido subhúmedo con lluvias en verano con una precipitación media anual de 1179.7mm y una humedad relativa del 77%; la dirección y fuerza de los vientos dominantes son del este - sureste, con una velocidad media de 3.4 m/s (CONAGUA). El régimen de lluvias está afectado por los huracanes que se originan en los centros de presión del océano Atlántico y Mar Caribe, estos fenómenos tienen una incidencia que transcurre entre los meses de junio a noviembre, localizándose la ciudad de Chetumal dentro de sus trayectorias (Figura 2).



Figura 2. Peligro por huracanes en la ciudad de Chetumal

Fuente: Atlas de Riesgo de la ciudad de Chetumal, Municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo 2011

La ciudad de Chetumal pertenece a un área de alta precipitación pluvial, las máximas registradas se presentan en épocas de huracanes y provocan inundaciones, mismas que se hacen más peligrosas, ya que el sistema de alcantarillado y las obras de drenaje pluvial son escasas; además por su localización en las costas del mar Caribe, la ciudad está expuesta a inundaciones marítimas provocadas por las olas y mareas que producen los huracanes (Figura 3).



Figura 3. Peligro por inundaciones en la ciudad de Chetumal

Fuente: Atlas de Riesgo de la ciudad de Chetumal, Municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo 2011

La topografía del sitio es plana con pendientes que oscilan entre 2 y 5% y en cuanto a su geomorfología se presentan dos tipos de rocas; caliza masiva y aluviones, las cuales no presentan limitaciones al desarrollo urbano salvo las zonas inundables y/o pantanosas; en el emplazamiento, la zona baja inmediata a la bahía, tiene una elevación media de 2m sobre el nivel del mar mientras que la zona alta se extiende tierra adentro con una elevación de 6 a 9m (Atlas de Riesgo de la ciudad de Chetumal, 2011).

En su hidrología hay ríos, lagunas, cenotes, pantanos y humedales, el principal escurrimiento de la región es el río Hondo que señala la frontera con Belice y que desemboca en la bahía de Chetumal, cuyo fondo oscila entre los 2 y 3 metros, situación que impide la navegación. Al oeste y norte de la ciudad se localiza un complejo sistema lagunar, siendo la más importante la laguna de Bacalar.

A todo lo largo casi en forma paralela a la costa del mar Caribe está la zona arrecifal, esta conformación coralina constituye una barrera natural donde los huracanes se ven disminuidos y pierden su potencia cuando se acercan a las costas de Quintana Roo. La vegetación predominante es la selva mediana sub-caducifolia y baja sub-perennifolia. En proximidad de las lagunas, esteros, pantanos y el mar se encuentran comunidades de manglares.

Componentes urbanos

La estructura urbana de Chetumal está constituida por un área comercial que funciona como centro urbano, los servicios y el comercio se concentraron hasta el año 1998 en la Av. Héroes, a partir de la cual se comienzan a dispersar en las calles adyacentes. A pesar de carecer de subcentros urbanos claramente definidos se ha comenzado a conformar otros por contener en ellos servicios de primer nivel.

El subcentro más importante está ubicado en la Av. Héroes y Av. Insurgentes donde el equipamiento consta de tiendas de autoservicio y oficinas de dependencias gubernamentales; el segundo subcentro está ubicado en la Av. San Salvador, esquina con Manuel Acuña, se integra por una tienda de autoservicio, pequeños comercios y servicios de carácter privado, así como equipamiento educativo. A partir del año 2004, la centralidad de la ciudad se desplazó hacia la denominada plaza “Las Américas” conjunto de tiendas de autoservicio de diferentes giros. Otro subcentro se localiza en la intersección de la Av. Constituyentes del 74 y Av. Erick Paolo Martínez, donde se concentra un uso comercial.

La estructura vial primaria de la ciudad está conformada por avenidas ortogonales siendo las de mayor tránsito las que se han convertido en corredores urbanos, como son la Av. Héroes, Av. Insurgentes, Av. Andrés Quintana Roo, Av. Venustiano Carranza, Av. San Salvador, Av. Eric Paolo Martínez, Av. Maxuxac, Av. Veracruz, Av. Efraín Aguilar, Av. Álvaro Obregón y Av. Juárez.

El área urbana de Chetumal ocupa una superficie de 2,888 ha con una densidad bruta de 41hab/ha y en ella predominan los usos habitacional, comercial, educacional, administrativos y recreativos. Las diferentes instancias de gobierno federal; INFONAVIT, FOVISSSTE y del gobierno del estado; han realizado Programas de vivienda y de lotes con servicios que han extendido la mancha urbana hasta unirse con el poblado de Calderitas. Un 10% de construcción de vivienda corresponde a constructoras locales, un 80% a la autoconstrucción y el otro 10% a las entidades del gobierno. De acuerdo al censo de INEGI (2010), el registro de viviendas fue de 41,613 de las cuales 1000 son vulnerables ante la temporada de lluvias. En los límites actuales de Chetumal se encuentran asentamientos precarios donde habitan personas que llegan a la ciudad sin los recursos necesarios para adquirir una vivienda digna.



Foto 1. Vivienda precaria
Fuente: Propia



Foto 2. Vivienda vulnerable en temporada de lluvias
Fuente: Propia

La vialidad regional está constituida por las carreteras federales 186 y 307 con destinos a Escárcega y Puerto Juárez respectivamente que en la proximidad del poblado de Xul-Há se unen, una vez ya cerca de Chetumal se transforman en un boulevard suburbano y posteriormente en la Av. Álvaro Obregón que es uno de los accesos importantes a la ciudad. A partir del boulevard se encuentra la desviación que comunica con Subteniente López y un puente en el cruce fronterizo con Belice. El enlace con el poblado de Calderitas se realiza a través de la continuación de la Av. Héroes que se transforma en la Av. Centenario y al terminar la ciudad en carretera para llegar a Laguna Guerrero. La vialidad primaria y secundaria urbana en Chetumal es amplia y organizada en una estructura ortogonal.

El transporte urbano en la ciudad ha tenido un servicio intermitente, actualmente cuenta con 14 rutas, sin embargo es más utilizado el servicio de taxis. El transporte suburbano posee el servicio a diversas poblaciones de la región brindado por diversas líneas. Se cuenta con una terminal de autobuses foráneos ubicada sobre la Av. Insurgentes y un aeropuerto internacional.

El sistema de ciudades identifica a la ciudad de Chetumal como un centro estatal de servicios, cuenta con equipamiento cultural, deportivo, educativo, de salud, administrativo y de gobierno; se destacan la Universidad de Quintana Roo, el Instituto Tecnológico de Chetumal, Bachilleres I y II, museo de la Cultura Maya, hospital General, clínicas, terminal de autobuses, oficinas de los tres niveles de gobierno, parques urbanos, unidades deportivas, zoológico, plaza comercial “Las Américas” y mercados, entre otros. Se observa que algunas edificaciones tanto residenciales como de equipamiento urbano utilizan grandes paños de cristal que son extremadamente vulnerables en el caso de un huracán, los usuarios de estos edificios no tienen la información para poder proteger correctamente las edificaciones.



Foto 3. Edificación vulnerable
Fuente: Propia



Foto 4. Vivienda y entorno vulnerable
Fuente: Propia

En la ciudad de Chetumal, son los edificios educativos a los que se les ha asignado la función de servir de refugios para la población en caso de huracán. Desde el aspecto estructural estos edificios fueron construidos por el CAPFCE, con especificaciones técnicas tanto en materiales como en mano de obra; éstos cuentan con ventanas que por lo general son de madera, cubren grandes claros con el objeto de proporcionar iluminación y ventilación adecuada a las aulas; sin embargo algunas tienen más de 20 años de antigüedad, por lo que no soportarían el embate de la fuerza del viento. Los edificios educativos carecen de instalaciones complementarias que les permitan cumplir como refugios anticiclónicos, ya que no tienen espacios para conservar el agua potable, preparar alimentos calientes y almacenar provisiones suficientes para cubrir las necesidades de las personas durante el huracán y en el tiempo de recuperación de la ciudad en caso de desastre.

En cuanto a la infraestructura, Chetumal se abastece de agua potable de la zona de Xul-Há y González Ortega que producen un gasto de 110 y 265 lps respectivamente. La conducción se realiza a través de tres líneas, dos de las cuales acceden al área urbana por la avenida Insurgentes y la tercera a través de la Av. Álvaro Obregón. El agua recibe los procesos de potabilización, filtración y cloración y se distribuye por gravedad, se estima que el 30% de los predios carecen de agua entubada. La infraestructura para el agua potable presenta deterioro que se manifiesta por la gran cantidad de fugas que hay en la red de distribución y su operación es costosa.

Se carece del sistema de alcantarillado y de drenaje en la mayor parte del área urbana, solo el 31% de la población cuenta con éste, el 66.9% de las viviendas utilizan la fosa séptica y el 2.1% necesitan de cualquier tipo de sistema. Se cuenta con plantas de tratamiento y cárcamo de aguas negras, mismas que se localizan en diferentes partes de la ciudad de Chetumal.

Referente a la energía eléctrica y alumbrado público, la ciudad se conecta a la División Peninsular de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) por medio de una línea de 115 KVA proveniente de Mérida, la reducción del voltaje de 115 a 13.8 KVA se realiza en las subestaciones de Xul-Há e Insurgentes. La cobertura de ambos servicios cubre el 96% del área urbanizada y de las zonas habitacionales. Las redes de la energía eléctrica se instalan de manera aérea, que podrían ser abatidas por los fuertes vientos, provocando accidentes cuando los cables energizados se ponen en contacto con el agua.

Discusión

La ciudad de Chetumal por su situación geográfica, su ubicación en la trayectoria de los huracanes que se producen en el Atlántico la coloca en una situación de riesgo alto. Se enfatiza la prioritaria necesidad de adquirir la cultura de la prevención, prever las contingencias antes de que éstas sucedan, con el grado de precisión que permite la ciencia y la tecnología actual.

La atención de las emergencias urbanas por las autoridades competentes se ha enfocado tradicionalmente a acudir a la emergencia cuando el daño producido por un fenómeno natural ya ha ocurrido y se tiene la condición de desastre. En esencia las propuestas de reacción frente a situaciones de emergencia son las mismas planteadas por el Sistema Nacional de Protección Civil. La ocurrencia y la magnitud de los daños producidos por un huracán dependen en gran medida de la situación previa al fenómeno que guardaba la ciudad, sus condiciones de riesgo y de vulnerabilidad frente a los efectos de los daños catastróficos.

La ciudad observada integralmente en sus componentes naturales y urbanos, proyecta un diagnóstico de un sistema de alto riesgo y vulnerabilidad. En los límites de la ciudad se encuentran asentamientos con viviendas precarias donde habitan personas sin los recursos necesarios para adquirir una vivienda digna; su situación social y económica para hacer frente a las emergencias urbanas las hace ser más vulnerables.

La zona baja de la ciudad se encuentra a 50 cm sobre el nivel del mar; aún hay viviendas construidas con madera y materiales perecederos y los servicios de infraestructura son deficientes. La mayoría de las construcciones presentan elementos arquitectónicos decorativos que pueden ser fácilmente desprendibles por la fuerza del viento y hacer daño a los habitantes.

Los resultados demuestran la necesidad de una intervención para el mejoramiento de la infraestructura urbana; la red de agua potable presenta serio deterioro por la falta de mantenimiento, materiales de poca calidad y tuberías viejas. La energía eléctrica se instala de manera tradicional, en situaciones de emergencia urbana como la presencia de un huracán, éstas son abatidas por los fuertes vientos. Referente al drenaje, un menor porcentaje de la población cuenta

con sistema de alcantarillado, la mayoría de las viviendas utilizan el sistema de fosas sépticas o carecen de cualquier tipo de sistema para eliminar los desechos sólidos, favoreciendo la contaminación hacia la bahía de Chetumal.

Dentro de la mancha urbana y en distintos rumbos de la ciudad de Chetumal se siguen construyendo edificios con estructura metálica, misma que fue extremadamente vulnerable durante el ciclón Carmen en el año 1974. Las edificaciones tanto residenciales como de equipamiento urbano que utilizan grandes paños de cristal son muy vulnerables, los usuarios de estos edificios no tienen la información para poder proteger las edificaciones en caso de ser necesario.

Los anuncios publicitarios no se encuentran debidamente reglamentados, se hallan indiscriminadamente colocados a lo largo de las principales avenidas de la ciudad, son de varios tamaños contruidos con estructura y láminas metálicas, los hay de grandes dimensiones, sin tomar en cuenta ninguna medida que amortigüe la fuerza de un viento huracanado; estos elementos son de extrema peligrosidad ya que en caso de huracán son arrancados violentamente y llevados en el curso de la trayectoria del viento incrementando el peligro.

Ante esta situación, la vulnerabilidad de la ciudad de Chetumal está determinada por las características del ambiente físico; su ubicación frente a la bahía, presencia de viviendas precarias construidas con materiales perecederos o de poca resistencia a fuertes vientos en la zona baja de la ciudad y en asentamientos irregulares, uso de elementos urbano arquitectónicos inadecuados por su alta peligrosidad en caso de la presencia de un huracán (materiales frágiles y fácilmente desprendibles, detalles arquitectónicos, letreros, anuncios publicitarios, postes, basureros que no cuentan con el diseño apropiado), una infraestructura urbana poco funcional que podría ocasionar una emergencia urbana mayor; y por otro lado, la insuficiente capacidad de la sociedad de afrontar las amenazas por fenómenos meteorológicos en cuanto a su protección y reducción de la vulnerabilidad a los riesgos de su vivienda y entorno.

Por lo anterior, se proponen las siguientes acciones para mitigar los efectos destructivos de los fenómenos meteorológicos que impacten en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo:

- Mejorar las condiciones de seguridad de la vivienda mediante una adecuada ubicación, uso del suelo y a través del empleo de materiales y sistemas de construcción que garanticen la resistencia en caso de la presencia de un huracán.
- Es conveniente utilizar materiales permeables en los pavimentos que permitan la filtración del agua.
- Formular programas, acciones y servicios para apoyar la prevención, atención y rehabilitación de los asentamientos humanos en la zona costera frente a la bahía de Chetumal, así como en las zonas de riesgo en el interior de la mancha urbana.
- Controlar y reglamentar el uso del suelo, con el objeto de disminuir la vulnerabilidad de la ciudad de Chetumal en las colonias del centro y en las ubicadas cerca de la zona costera.
- Restricción en el uso del suelo urbano en sectores o áreas aledañas en la rivera de la bahía de Chetumal, así como en terrenos no consolidados o con pendientes mayores al 15%.
- Actualizar los instrumentos jurídicos como planes urbanos y reglamentos de construcción de acuerdo a las necesidades de la sociedad y su seguridad.
- Mejorar y proteger los componentes de la infraestructura, equipamiento y servicios urbanos contra los fenómenos destructivos, evitando en lo posible su deterioro y disfunción. Se propone que las instalaciones eléctricas se construyan subterráneas, logrando un mejor servicio y una mayor posibilidad de utilizar la energía eléctrica en un periodo mayor del que se tiene en la actualidad frente a un fenómeno meteorológico.
- Disminuir los efectos de los fenómenos meteorológicos sobre la ciudad de Chetumal mediante obras de protección como diques y rompeolas, mejorar el malecón y construir bordes en la zona costera de la ciudad. De manera natural es posible disminuir la fuerza de los vientos huracanados, incrementando la franja costera de manglar, además de reforestar con masas verdes compactas de árboles de raíz profunda en la franja costera y en el interior de la ciudad en parques y áreas verdes.
- Difundir en todos los niveles de la sociedad el plano de riesgos de la ciudad de Chetumal donde se ubiquen los sitios que no son aptos para el desarrollo urbano, que sean inundables, terrenos con peligro de hundimientos o que signifiquen un riesgo potencial.
- Se requiere de un Programa de acondicionamiento a los planteles educativos para rehabilitar los componentes constructivos de los mismos que por el tiempo o la calidad de los materiales resulten factores de riesgo y vulnerabilidad, dotando a los edificios de los anexos necesarios. Estos espacios ocuparían otras funciones durante los periodos de tranquilidad.

- Los edificios que la ciudad requiere y que funcionen como refugios anticiclónicos se deberán proyectar tomando en consideración a la población que vive en zonas de riesgo y vulnerabilidad, estos edificios a su vez podrán desempeñar otras funciones y ser utilizados como tales y acondicionados en la brevedad del tiempo posible.
- La sociedad en general deberá tener por vivir en ciudades costeras del estado de Quintana Roo, la cultura de la prevención en casos de emergencia ante la presencia de los fenómenos meteorológicos, esta capacitación deberá ser formativa desde las escuelas de primera enseñanza, secundaria, preparatoria y superior. Puede aprovecharse el servicio militar nacional para que los jóvenes reciban instrucción que les permita participar activamente durante el proceso de recuperación de una ciudad afectada por un huracán.

La ciudad es un ente vivo, dinámico que cambia y se transforma constantemente, esos cambios en materia de seguridad implican el incremento de ésta o el aumento de la vulnerabilidad, por lo que se hace necesario llevar un control de lo que sucede en las diferentes áreas que se predeterminan como sistemas urbanos.

Conclusiones

Cuando en una ciudad existe un alto porcentaje de construcciones inseguras, en caso de la presencia de fuertes vientos, el resultado será un desastre. Si el huracán afecta a una población donde los edificios y los servicios urbanos han sido contruidos considerando los requerimientos de los mismos para enfrentar un fenómeno natural, los resultados serán solo algunos daños que evaluados no significarán necesariamente un desastre.

Los servicios urbanos de la infraestructura deberán ser diseñados de tal forma que sus componentes resistan el impacto del huracán para que su posible deterioro no se sume para causar efectos de contaminación y contribuya a magnificar la calamidad. La infraestructura vulnerable frente a fenómenos naturales debe funcionar en una forma óptima aun cuando se enfrente al fenómeno.

La sociedad en general deberá tener, por vivir en ciudades costeras del estado de Quintana Roo la cultura de la prevención en casos de emergencia ante la presencia de los fenómenos. Debe tenerse presente las reacciones de los seres humanos frente a una situación de peligro, la secuencia en la que se presentan los sentimientos, como el miedo, la desesperación y el pánico. Las personas deben ser capaces de hacer frente a las amenazas, superarlas y salir fortalecidas de la experiencia, es decir deben tener capacidad de resiliencia.

Si no existe una correcta planeación urbana armonizada con la naturaleza y no se protege adecuadamente las áreas urbanas y las naturales, los daños producidos por un huracán serán de mayor impacto. Es importante entender y utilizar el medio natural, adaptarse a su naturaleza, adquirir la visión del medio urbano como un todo y tener presente que los componentes urbanos son elementos integrales que se apoyan o se obstaculizan entre sí en la medida en que exista una planeación acertada o no.

Bibliografía

Álvarez, J. (1971). *Historia de Quintana Roo*. 3ª edición. Ed. b. Costa Amic, México.

De Sherbinin, A., Carr, D., Cassels, S. y Jiang, L. (2007). *Population and environment*. En *The Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 32, 345–373.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2792934/?tool=pubmed>.

Flores, S. (2001). *Marco conceptual para la prevención de desastres en las ciudades en: Enfoque desde el urbanismo. Los desastres en México – Una perspectiva multidisciplinaria*. México. UIA.

García B., Martínez A. (2017). *Propuesta metodológica para evaluar la vulnerabilidad por ciclones tropicales en ciudades expuestas*. En Quivera. Vol. 19. Julio-Diciembre. Universidad Autónoma del Estado de México.
Disponible en: <https://quivera.uaemex.mx/article/view/9749/8056>

H. Ayuntamiento de Othón Blanco (2018). *Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal, Calderitas, Subteniente López- Huay-Pix y Xul-Há, municipio de Othón P. Blanco, estado de Quintana Roo*.

H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco (2011). *Atlas de Riesgo de la ciudad de Chetumal, Municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo*. Secretaria de Desarrollo Social. Centro de Información Geográfica UQROO.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/>

Lavell, Allan (1999). *Gestión de riesgos ambientales urbano*. En Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Disponible en: https://www.unisdr.org/files/11008_GestionDeRiesgosAmbientalesUrbanos1.pdf

Ley de Protección Civil en el Estado de Quintana Roo (2013). Disponible en: <http://documentos.congresoqroo.gob.mx/leyes/social/ley046/L1320130430268.pdf>

Lungo, Mario, (2004). *Expansión urbana y regulación de la tierra en Centroamérica: antiguos problemas, nuevos desafíos*. En Estudios Demográficos y Urbanos. Vol. XIV, 1, 2004, pp.259.

Magaña, V. (2013). *Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático (INECC). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). http://climasaludal.org/resources/images/public/avirtuales/cuarta_conferencia/140923_guia_metodologica.pdf

Romero, R. (2014). *El proceso histórico de conformación de la antigua Payo Obispo (hoy Chetumal) como espacio urbano fronterizo durante la etapa de Quintana Roo como territorio federal*. Península Vol. 9 no. 1. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870576614701230>

Romo M. L. (2007). *Vulnerabilidad a riesgos ambientales*. En Ciudades Vol. 74 Red Nacional de Investigación Urbana Puebla, Puebla.

Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad física y social. Guía Básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. México. Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf>

Vidal, Lina (2007). *Evolución de la vulnerabilidad frente a fenómenos asociados con deslizamientos e inundaciones. Caso Zona Nororiental de Medellín, 1960 -1990*. En Gestión y Ambiente Vol. X Num 2. Colombia, Medellín. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/1411>

SEGUNDO CONGRESO NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

COMITÉ DE ORGANIZACIÓN

M.C. Alberto Yeladaqui Tello
M.C. Eduardo González Bucio
M.C. Víctor Antonio Chulin Tec
M.C. Maritza Chan Juárez
M.C. Claudia Beatriz Rodríguez Poot
M.C. David Gustavo Rejón Parra
Dr. Robert Beltrán López
Ing. Abelardo Villar Mex
Ing. Rodrigo Salazar García
Dr. Miguel Ángel Cordero
Lic. Dulce Garrido López
Ing. Edgar David Saavedra López
Lic. Pedro Villalobos Puga
M.C. Isaías May Canché
C. Gabriela Aguilar Sánchez

COMITÉ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Dr. Julio César Cruz Argüello
Dr. José Antonio Domínguez Lepe
Dr. Luis Felipe Jiménez Torrez
Dr. Ricardo Enrique Vega Azamar
Dr. Zakaryaa Zarhri
Dra. Mayra Polett Gurrola
Dra. Danna Lizeth Trejo Arroyo

SULFATOS EN AGUA SUBTERRÁNEA DE LA ZONA BAJA EN CHETUMAL, QUINTANA ROO

Teodoro Beutelspacher García¹

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 24/08/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen.- El diseño y construcción de estructuras de concreto hidráulico con fines de durabilidad requiere conocer la presencia de cada agente agresivo y su concentración. Para la zona baja de la ciudad de Chetumal, existe escasa información sobre el tema, por lo que son objetivos de esta investigación: Obtener muestras y determinar la concentración de sulfatos en agua subterránea de 3 puntos de la zona baja utilizando el método gravimétrico; determinar y clasificar la exposición ambiental utilizando la metodología y criterios de la NMX-C-155-ONNCCE-2014 y definir los requisitos mínimos de diseño requeridos. Los resultados obtenidos son concentraciones de 5,070.16, 6,952.28 y 6,652.24 mg SO₄²⁻/L, que corresponden a exposiciones químicas alta y muy alta, que requieren concretos hidráulicos con f'c mínima de 35 y 40 MPa y cemento Portland RS. Los resultados aportan información inédita y establecen la necesidad de incrementar resistencias utilizadas en la zona de estudio.

Palabras clave: Durabilidad, Chetumal, sulfatos, agua subterránea.

SULPHATES IN GROUNDWATER OF THE LOWER ZONE OF CHETUMAL QUINTANA ROO

Abstract.- The design and construction of hydraulic concrete structures for durability purposes requires to know the presence of each aggressive agent and its concentration. For the lower part of the city of Chetumal, there is scarce information on the subject. The objectives of this research were: Obtain samples and determine the sulphate concentration in groundwater of 3 points in the lower zone using the gravimetric method; determine and classify environmental exposure using the methodology and criteria of NMX-C-155-ONNCCE-2014 and define the minimum design requirements required. The results obtained are concentrations of 5,070.16, 6,952.28 and 6,652.24 mg SO₄²⁻/L, which correspond to chemical exposures high and very high, that require hydraulic concrete with a minimum f'c of 35 and 40 MPa with Portland type RS hydraulic cement. The results provide unpublished information and establish the need to increase resistance used in the study area.

Keywords: Durability, Chetumal, sulphates, groundwater.

Introducción

La ciudad de Chetumal, Quintana Roo, colinda al sur y al este con la Bahía de Chetumal, al oeste con zona de vegetación y algunos cuerpos de agua de menor superficie (sabana) localizados en la periferia y cercanías de la ciudad, hacia el norte de esta. De acuerdo con la altura promedio la ciudad se divide en dos grandes zonas con un desnivel entre ambas que varía entre 4 y 7 m. El Atlas de Riesgo (SEDESOL, 2011) de la ciudad de Chetumal define las diferentes zonas como:

Zona alta. Se extiende tierra adentro con una elevación de 6 a 9 msnm. El subsuelo de esta zona está constituido por materiales estratificados, de colores claros (blanco, amarillo y café), del tipo de calizas cretáceas, conocidas localmente como sascab. Su espesor y carsticidad son muy variables. Este material aflora en la superficie y sólo en ocasiones se observa sobre él roca caliza dura, en pequeñas porciones o fragmentos aislados. Su textura es la de un suelo arcillo arenoso de consistencia variable; y

Zona baja. Inmediata a la bahía, tiene una elevación media de 2 m sobre el nivel del mar. En esta zona las condiciones del terreno natural son completamente diferentes a las de la zona alta, debido principalmente a la presencia superficial de depósitos marinos recientes que yacen sobre una formación similar a la de la primera. Estos depósitos marinos están poco consolidados y son de consistencia y/o compacidad muy variable, se encuentran saturados por encontrarse el

¹ Teodoro Beutelspacher García. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T.Chetumal. tbeutelspacher@itchetumal.edu.mx (**Autor correspondiente**).

nivel freático a poca profundidad de la superficie (0.50 m a 1.50 m). Las condiciones son más desfavorables a medida que la distancia hacia el mar es menor.

En México, 14.9% de la población se asienta en áreas costeras (Rubio, 2008). En el caso de las estructuras de concreto en la costa, el Comité ACI 201 establece la importancia de conocer la agresividad del medio ambiente, utilizando como referencia el contenido de sulfatos, la salinidad y la dureza del agua del agua subterránea y superficial para definir los criterios de diseño por durabilidad (ACI 201, 2001).

La durabilidad del concreto hidráulico se define como su capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro (ACI-201, 2008). Un concreto hidráulico durable conservará su forma, calidad y serviciabilidad originales al estar expuesto a su ambiente (ACI 201, 2001). 45 % de los problemas de durabilidad de estructuras de concreto expuestas a la agresividad del medio ambiente, están asociados al diseño, coinciden diferentes autores como Hernández Castañeda y Mendoza Escobedo (2006), Felipe García Rodríguez (2002) y Paulo Helene (1997). En la Figura 1, se aprecian adicionalmente causas asociadas a la elección y calidad de los materiales y al desarrollo del proceso constructivo.

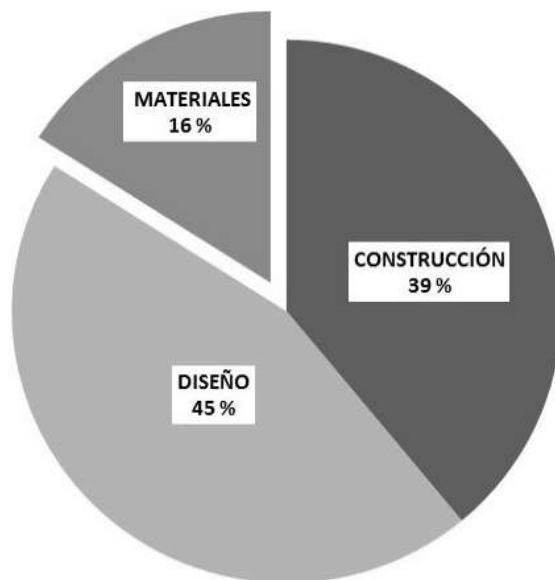


Figura 1. Causas que producen problemas de durabilidad

NOTA: Adaptado de "Durabilidad e Infraestructura: Retos e impacto socioeconómico" de Hernández Castañeda, O., & Mendoza Escobedo, C. J. (2006). Ingeniería Investigación y tecnología FI UNAM VII.1, pág. 59

Troconis de Rincón & et al, (2011) menciona que la alta agresividad del ambiente tropical, donde la temperatura promedio anual es mayor a 25°C, amerita mayores exigencias para la calidad del concreto que las utilizadas actualmente en los países no tropicales. Derivado de extensos procesos de investigación, países como Estados Unidos, España y México establecen requisitos mínimos de diseño por durabilidad en reglamentos y normas de construcción vigentes. En el caso de México los criterios de diseño y construcción más utilizados son el ACI-318S de Estados Unidos y las Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto publicadas en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 6 de octubre de 2004; en ambos documentos el capítulo 4 se refiere al diseño por durabilidad. Las estructuras deberán diseñarse para una vida útil de al menos 50 años, de acuerdo con los requisitos establecidos en el Cap. 4 de la NTC concreto (2004).

El diseño de las estructuras de concreto requiere además del diseño por resistencia, el diseño por durabilidad. Es obligación del estructurista considerar ambos aspectos (NMX-C-155-ONNCCE, 2014). La clasificación de exposición a acciones de deterioro del concreto hidráulico, permite establecer los requisitos mínimos que deben considerarse en el diseño y construcción de elementos para cada estructura en particular, con fines de Durabilidad y Sustentabilidad. La conservación de las estructuras de concreto es el primer paso para reducir el consumo de energía y las emisiones

de CO₂ a la atmosfera. Minimizar el consumo de Clinker utilizando cementos mezclados debe ser la prioridad viable de la industria del concreto. (Mehta & Monteiro, 2006). El Comité ACI 201 establece que, para producir un ataque significativo sobre el hormigón, los químicos agresivos deben estar en solución y presentes en una concentración superior a una cierta concentración mínima. Los sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio que ocurren en la naturaleza, los cuales pueden atacar al hormigón endurecido, algunas veces se encuentran en el suelo y otras disueltos en el agua adyacente a las estructuras de hormigón. Un hormigón que está expuesto a soluciones agresivas a presión en uno de sus lados es más vulnerable que uno que no lo está, ya que la presión tiende a forzar la solución agresiva hacia el interior del hormigón (ACI 201, 2001).

El concreto, cuando es atacado por agua con altas concentraciones de sulfatos, presenta un aspecto hinchado con una superficie blanca y pastosa. La agresividad del sulfato depende del tipo de catión que lo constituye. El más nocivo corresponde al sulfato de amonio, en orden descendente le sigue el de magnesio, de sodio y finalmente el de calcio. El ataque de los sulfatos se presenta como una reacción química de los sulfatos con el hidróxido de calcio o los aluminatos de calcio y las ferritas del cemento, provocando una recristalización y el aumento de volumen antes mencionado y finalmente una disgregación por fracturación a menor escala, provocando la destrucción del cemento (Vargas & Fernández, 2002). El ataque por sulfatos afecta los componentes del concreto hidráulico mediante la formación de etringita (aluminato de calcio trisulfato 32-hidratado, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) y yeso (sulfato de calcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). (ACI-201, 2008). El comité ACI 201 menciona que la formación de etringita puede incrementar el volumen sólido del concreto, provocando su expansión y fisuración. Adicionalmente, la formación de yeso puede provocar ablandamiento y pérdida de resistencia del hormigón. (ACI-201, 2008). La resistencia a los sulfatos presentes en el suelo, el agua del suelo o el agua de mar se logra utilizando materiales cementicios adecuados y mezclas de hormigón correctamente dosificadas sujetas a un adecuado control de calidad (González de la Cotera S., 2003).

La protección contra los ataques por sulfatos se logra utilizando hormigones que retrasen el ingreso y el movimiento del agua e ingredientes adecuados para producir hormigones que tengan la resistencia a los sulfatos necesaria. (ACI-201, 2008). La clasificación del grado de exposición al medio ambiente permite establecer los requisitos mínimos que deben considerarse en el diseño y construcción de las estructuras de concreto para cada caso en particular incluyendo resistencia a la compresión del concreto hidráulico para uso estructural, tipo de cemento hidráulico y recubrimiento del acero de refuerzo.

Datos de análisis químico de agua subterránea (INEGI, 2013), de un punto de muestreo cercano a Calderitas e identificado con el número 26 de la Carta Hidrológica de aguas subterráneas Chetumal E16-4-7 en el cual se reporta entre otros parámetros, una concentración de sulfatos por la técnica turbidimétrica de 2 119.2 mg/l a 6 m de profundidad. Por otra parte, en un estudio de caracterización hidrogeológica de las aguas subterráneas de 53 pozos de abastecimiento una profundidad promedio de 29 m. del sur del Estado de Quintana Roo (Sánchez Sánchez, Álvarez Legorreta, Pacheco Ávila, González Herrera, & Carrillo Bribiezca, 2015) reportan en el punto O15 Calderitas una concentración de sulfatos de 2 000.0 mg/l. En ambos casos, los puntos más cercanos se ubican en el poblado de Calderitas a 9 km de Chetumal. Sin embargo, se localizan fuera de la zona baja de la ciudad de Chetumal.

Muestras de agua superficial de la Bahía de Chetumal (Canché Uuh, 2002), obtenidos por la Universidad de Quintana Roo a un metro de distancia de la orilla y a una profundidad de 0.3 m del muelle de la Universidad en un período de 02/1997 a 04/1998 permiten observar en la tabla 1, una variación importante de los datos.

Tabla 1. Resultados del muestreo de agua de la Bahía de Chetumal en períodos bimestrales.

Parámetro	Unidad	1997						1998	
		02/10	04/07	06/25	08/20	10/15	12/10	02/03	04/23
Sulfatos	mg/L	804.6	773	563.6	1541.1	7 711.2	553.9	599.1	871.5

Nota: Adaptado de "Bahía de Chetumal: receptor principal de aguas residuales" por Canché Uuh, J. A. (2002). En F. Rosado May, R. Romero Mayo, & A. Navarrete, Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia-Serie Bahía de Chetumal (págs. 205-210). Chetumal: Universidad de Quintana Roo.

La información proporcionada se localiza en un punto cercano a la zona baja, por lo que se considera un aporte importante para el presente estudio, incorporando la necesidad de considerar en la investigación, el análisis de agua subterránea en un punto próximo al muelle de la Universidad de Quintana Roo.

Son objetivos de la investigación obtener muestras y determinar la concentración de sulfatos en agua subterránea de 3 puntos de la zona baja de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo; Determinar el grado y clasificación de exposición ambiental utilizando los criterios para agresividad química por sulfatos establecidos en la norma NMX-C-155-ONNCCE-2014 y definir los requisitos mínimos de resistencia a la compresión del concreto hidráulico para uso estructural y el tipo de cemento hidráulico requerido para cada caso en estudio. La norma NMX-C-155-ONNCCE-2014 incluye el contenido de Sulfato (en mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$), como uno de los parámetros para clasificar la agresividad química del agua.

Metodología: materiales y métodos

La presente investigación implicó el muestreo y análisis del agua subterránea de 3 sitios para determinar la concentración de sulfatos en solución.

La selección e identificación de los sitios se realizó considerando los siguientes criterios:

a) En los extremos y al centro del boulevard costero adyacente a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo (ver Figura 3). La distancia en línea recta entre cada punto se definió cercana a los 2 500 m y a una distancia de la costa cercana a los 150 m para 2 de los sitios; y

b) Un sitio cercano al muelle de la Universidad de Quintana Roo para comparar con estudios previos.

Cada sitio fue georeferenciado usando un navegador GPS marca Garmin, modelo eTrex H, empleando el sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator). El Datum WGS84 Zona 16 Norte (Q).

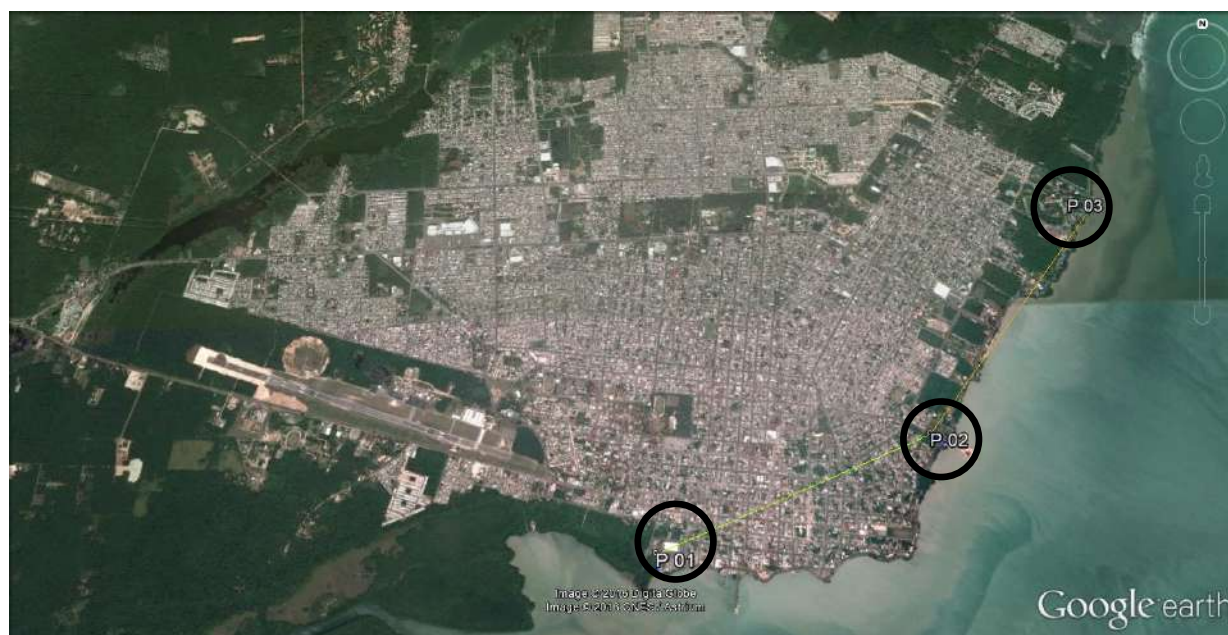


Figura 1. Sitios de muestreo de agua subterránea en la zona baja de Chetumal.

Nota: Adaptado de imagen obtenida de Google Earth el 25 de agosto de 2016.

Los muestreos se realizaron en pozos de 200 mm de diámetro en el fondo, perforados con cavahoyos metálico con Mango de madera de 48" dentro de una excavación escalonada de 900 mm de diámetro y altura suficiente para operar la herramienta; se utilizaron adicionalmente Talacho Pico de 5 libras, barreta de punta, rastrillo y pala cuadrada como se aprecia en la Figura 3. Se definió la profundidad de excavación en un rango de 450 a 650 mm abajo del nivel freático.

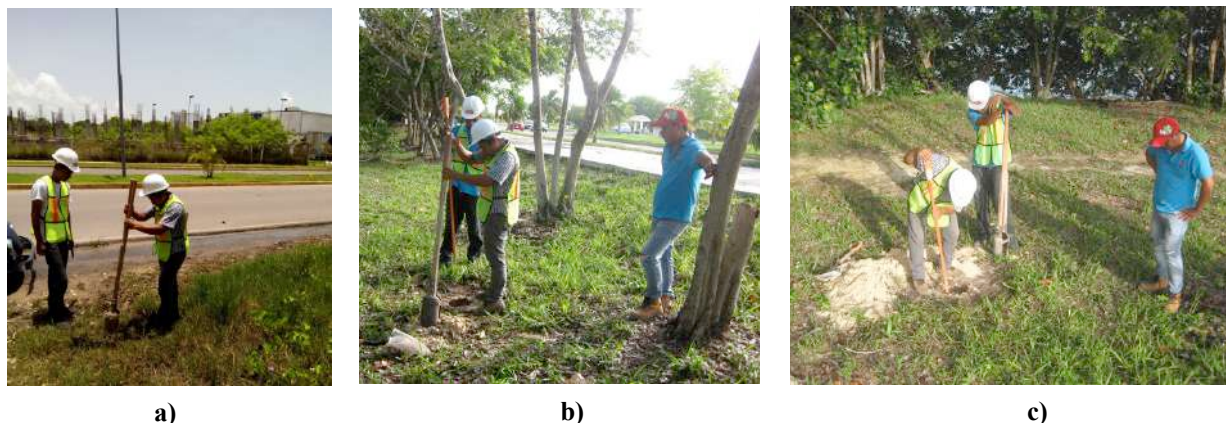


Figura 2. Excavación en los diferentes puntos de muestreo. a) Punto P01 cercano a la desembocadura del río Hondo; b) Punto P02 frente a la mega escultura; c) Punto P03 a un costado del muelle de la UQROO.

La norma mexicana NMX-C-155 establece en la tabla 11, a la NMX-C-283 como método de ensaye/referencia para la caracterización de condiciones por exposición como requisitos de durabilidad.

Cada muestra se integró con porciones obtenidas de un frasco muestreador de polietileno de 0.5 dm³ de capacidad, utilizando una extensión. El frasco se sumergió en el punto medio del tirante de agua.

Las muestras se conservaron y transportaron en refrigeración, almacenados en recipientes de plástico de 0.5 dm³ de capacidad, con tapa de cierre hermético como se puede apreciar en las figuras 4 y 6.

Las muestras se conservaron en refrigeración por una noche y se entregaron al día siguiente al laboratorio.

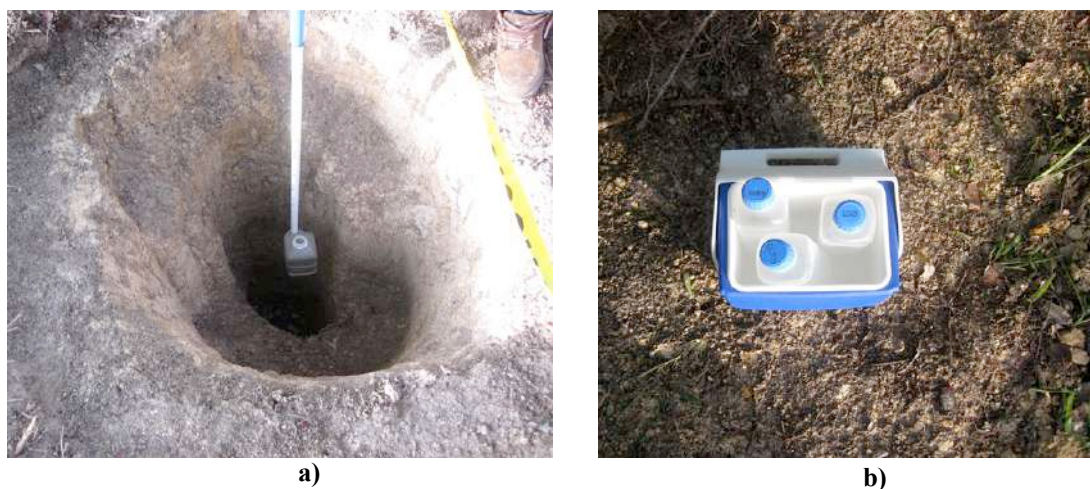


Figura 4. Muestreo. a) Frasco muestreador; b) Muestras en refrigeración.

Como se aprecia en la Figura 5, en el proceso de obtención de muestras se delimitó la zona y al finalizar los análisis se rellenaron las excavaciones y se sembraron palmas, por iniciativa de los alumnos, para aprovechar las excavaciones realizadas en áreas verdes.

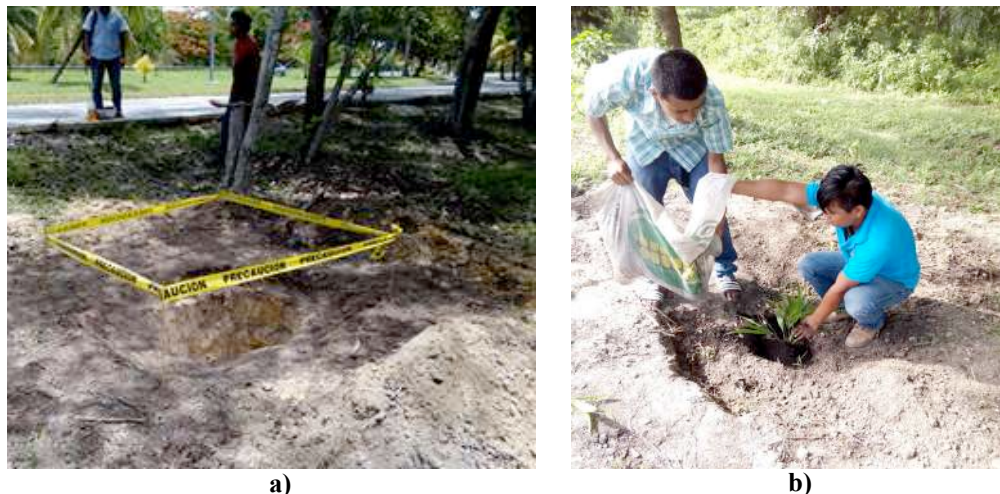


Figura 5. Actividades complementarias. a) Delimitación del área de estudio; b) Reforestación.

En el inciso 5.4 de la norma (NMX-C-283, 1982) se define el método de análisis y determinación de concentración de sulfatos en agua subterránea como SO_4 que corresponde al método gravimétrico. Para garantizar el cumplimiento de los criterios de calidad, se contrató al laboratorio Hidrolab Chetumal para realizar el análisis. El muestreo fue realizado de acuerdo con los criterios de la NMX-C-277 en cumplimiento a los incisos 2 y 4 de la NMX-C-283.

Resultados

Para determinar el grado y clasificación de exposición ambiental, se utilizaron los criterios para agresividad química por sulfatos establecidos en la norma NMX-C-155-ONNCCE-2014; se definieron los requisitos mínimos de resistencia a la compresión del concreto hidráulico para uso estructural y el tipo de cemento hidráulico requerido para cada caso en estudio.

Tabla 2. Resultados del muestreo y análisis químico por sulfatos en agua subterránea de 3 sitios de la zona baja de Chetumal, Quintana Roo

Información	Unidad	Datos ¹		
Clave de la muestra		P01	P02	P03
Contenido de Sulfatos	mg/L	5 070.16	6 952.28	6 652.24
Coordenadas (UTM)	X	366 170	364 510	362 194
	Y	2 048 406	2 046 347	2 045 374
Localización		Boulevard Bahía entre Av. Rafael E. Melgar y Av. Emiliano Zapata	Av. Primo de verdad entre Boulevard Bahía e Isla Contoy	Boulevard Bahía entre Av. Ignacio Comonfort y calle Pucté
Nivel freático del sitio	mm	- 950	- 1 670	- 1 710
Distancia de la costa	m	152	160	6
Tirante de agua	mm	600	450	600

Nota: Datos del muestreo realizado el 29 de junio de 2016 en pozos de 200 mm de diámetro, y resultados del análisis químico de concentración de SO_4 terminado el 05 de julio de 2016 por el método gravimétrico. La distancia entre puntos es de aproximadamente 2 510 m de P01 a P02 y 2 650 m de P02 a P03.

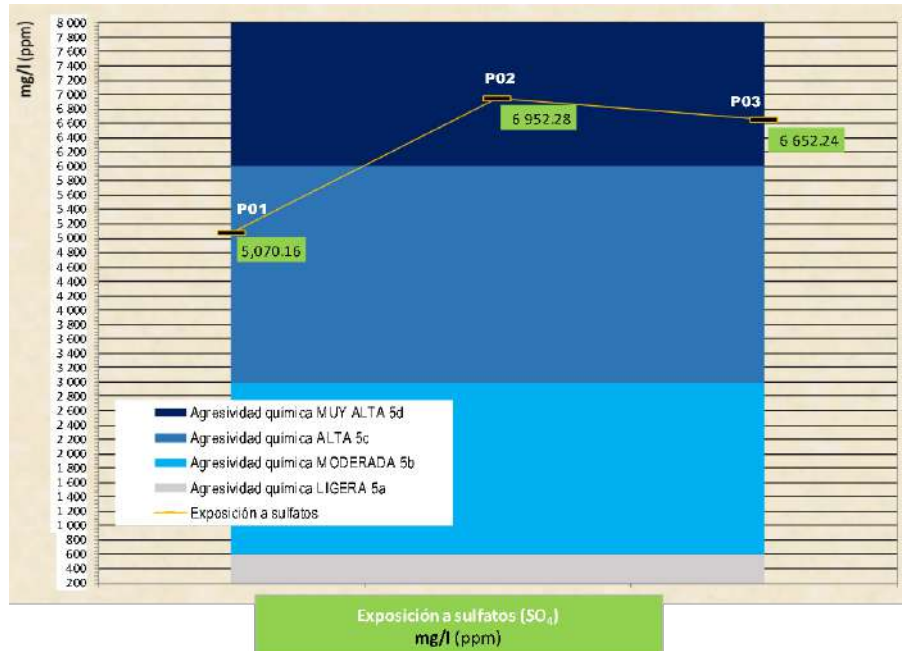


Figura 4. Gráfica de resultados del muestreo y análisis químico por sulfatos en los 3 sitios de estudio.

Nota: Los parámetros de agresividad química se obtuvieron de la tabla 9 de la NMX-C-155-ONNCCE-2014

Clasificación de exposición ambiental, se utilizaron los criterios para agresividad química por sulfatos establecidos en la norma NMX-C-155-ONNCCE-2014; se definieron los requisitos mínimos de resistencia a la compresión del concreto hidráulico para uso estructural y el tipo de cemento hidráulico requerido para cada caso en estudio. En la Tabla 3 se determinan de acuerdo con la NMX-C-155, el grado y clasificación de exposición ambiental y se definen los requisitos mínimos de resistencia a la compresión del concreto hidráulico para uso estructural y el tipo de cemento hidráulico requerido para cada caso en estudio.

Clasificación de exposición ambiental, se utilizaron los criterios para agresividad química por sulfatos establecidos en la norma NMX-C-155-ONNCCE-2014; se definieron los requisitos mínimos de resistencia a la compresión del concreto hidráulico para uso estructural y el tipo de cemento hidráulico requerido para cada caso en estudio. En la Tabla 3 se determinan de acuerdo con la NMX-C-155, el grado y clasificación de exposición ambiental y se definen los requisitos mínimos de resistencia a la compresión del concreto hidráulico para uso estructural y el tipo de cemento hidráulico requerido para cada caso en estudio.

Tabla 3. Clasificación de exposición consideradas en la NMX-C-155-ONNCCE-2014 aplicables a la ciudad de Chetumal y requisitos de durabilidad relacionados con tipo de cemento y resistencia a la compresión mínima del utilizado en la construcción de elementos de estructuras de concreto hidráulico.

Concentración de Sulfatos SO_4		Exposición ¹		f'_c ² mínima	Cemento ²	
Sitio	mg/l (ppm)	Condición Ambiente de agresividad química	Clase	MPa (kg/cm ²)	Tipo ³	Característica especial ³
P 01	5 070.16	alta (3 001- 6 000 mg/l)	5 ^c	35 (350)	CPC	RS
P 02	6 952.28	muy alta (≥ 6 000 mg/l)	5 ^d	40 (400)	CPC	RS
P 03	6 652.24	muy alta (≥ 6 000 mg/l)	5 ^d	40 (400)	CPC	RS

Nota: Datos obtenidos de las Tablas 9 y 10 de la NMX-C-155-ONNCCE-2014. (2014). Industria de la construcción – Concreto hidráulico - Dosificado en masa – Especificaciones y métodos de ensayo. México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

- 1 datos obtenidos de las Tablas 9
- 2 datos obtenidos de las Tablas 10
- 3 consultar NMX-C-414-ONNCCE (2014)

Los datos obtenidos de los 3 sitios de muestreo presentados en la Tabla 2 son 5,70.16 mg/l (P01), 6952.28 mg/l (P02) y 6652.24 mg/l (P03) que permitieron obtener de acuerdo a la NMX-C-155, 2 clases de exposición (tabla 3), (5c, ALTA para P01 y 5d, MUY ALTA para P02 y P03), que requieren concretos hidráulicos con 2 diferentes resistencias mínimas a la compresión (35 MPa para agresividad química alta y 40 MPa para muy alta), en ambos casos se requiere utilizar cemento Portland con característica especial RS resistente a los sulfatos (NMX-C-414-ONNCCE, 2014).

Discusión

Los resultados obtenidos aportan datos complementarios a la información obtenida en la investigación documental, que considera en 2 estudios de agua subterránea en puntos cercanos al poblado de Calderitas a 9 km de la ciudad de Chetumal, el estudio más cercano a la zona baja es un punto a un metro de distancia de la orilla y a una profundidad de 0.3 m del muelle de la Universidad de Quintana Roo, dentro de la Bahía de Chetumal, es importante destacar que no es un estudio de agua subterránea pero su cercanía y entendiendo el proceso de interacción entre el agua subterránea y la Bahía resulta interesante. En la tabla 1 se proporciona datos de la variación temporal con un máximo de concentración de sulfatos de 7 711.2 mg/l. La norma NMX-C-155 establece que se considerará para diseño el parámetro más desfavorable, la cual corresponde a octubre de 1997. Los datos obtenidos en el presente estudio para el punto P03, cercano al muelle, presentado en la tabla 2, es de 6 652.24 mg/l. En ambos casos la concentración de Sulfatos (SO₄) corresponden a una Condición Ambiente de agresividad química 5d, MUY ALTA que se agrava con la condición de cercanía a la Bahía con procesos de humedecimiento y secado continuo.

Es importante mencionar que para la ciudad de Chetumal y en particular para la zona baja, en donde gran parte de las cimentaciones se construyen en contacto con el agua subterránea, es requisito considerar en el proyecto estructural, el diseño por durabilidad con base en el análisis de los agentes agresivos a los componentes del concreto estructural.

Las características físicas y químicas del medio ambiente influyen en la durabilidad de los elementos de cada estructura de concreto en particular. El ciclo de vida de la estructura en su conjunto dependerá de la interacción sistémica y de la influencia de todos los componentes físicos, químicos, biológicos, económicos y sociales.

La presencia de cada agente agresivo y su concentración, determinan el nivel de agresividad para cada elemento de una estructura. Un elemento puede estar expuesto a diferentes agentes o condiciones agresivas y en su clasificación registrará la condición más agresiva.

Las clases de exposición consideradas en la NMX-C-155-ONNCCE-2014 aplicables a la ciudad de Chetumal se presentan en la tabla 5. La clase de exposición 5b y 5d requieren protección adicional de concreto. El recubrimiento se determina en función a la resistencia f'_c para cada elemento en particular

Conclusiones

Los datos obtenidos de los 3 sitios de muestreo (tabla 2), permitieron obtener 2 clases de exposición ambiental utilizando los criterios para agresividad química por sulfatos establecidos en la norma NMX-C-155-ONNCCE-2014, que requieren concretos hidráulicos para uso estructura con 2 diferentes resistencias mínimas a la compresión (tabla 3), en ambos casos se requiere utilizar Cemento Portland con característica especial resistente a los sulfatos RS (incluido en la NMX-C-414).

Los datos obtenidos aportan información inédita, que permite el diseño de elementos de concreto en contacto con agua subterránea de la zona baja de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. La complejidad del medio ambiente local requiere continuar con estudios complementarios para obtener muestras y determinar la concentración de sulfatos en agua subterránea de zonas de la parte alta de Chetumal cercanas a lagunas y sabanas.

Agradecimientos: Se agradece a los alumnos de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Chetumal, Eber Canté; Edgar Poot; Eusebio Cocom y Daniel Cisneros que participaron con entusiasmo en el proceso de muestreo de agua subterránea.

Bibliografía

- ACI 201. (2001). ACI 201.2R-01 Guía para la Durabilidad del Hormigón. Farmington Hills, MI 48331, U. S. A.: American Concrete Institute.
- ACI 201, C. (2001). ACI 201.2R-01 Guía para la Durabilidad del Hormigón. Farmington Hills, MI 48331, U. S. A.: American Concrete Institute.
- ACI 201, C. (2008). ACI 201.2R-08 Guide to Durable Concrete. Farmington Hills, MI 48331, U.S.A.: American Concrete Institute.
- ACI-201, C. (2008). ACI 201.2R-08 Guide to Durable Concrete. Farmington Hills, MI 48331, U.S.A.: American Concrete Institute.
- ACI-318S, C. (2008). ACI-318S Reglamento para Concreto Estructural preparados por el comité del Instituto Americano del Concreto 318, Reglamento Estructural para Edificaciones. Farmington Hills, MI.: American Concrete Institute.
- ACI-318S, C. (2011). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-11) preparado por el comité 318. Farmington Hills, MI.: American Concrete Institute.
- Beutelspacher García , T. (2017). Clasificación de exposición ambiental en Chetumal para efectos de diseño por durabilidad. *AvaCient*, 99-111.
- Canché Uuh, J. A. (2002). Bahía de Chetumal: receptor principal de aguas residuales. En F. Rosado May, R. Romero Mayo, & A. Navarrete, Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia-Serie Bahía de Chetumal (págs. 205-210). Chetumal: Universidad de Quintana Roo.
- García Rodríguez, F. d. (2002). Evaluación de estructuras de concreto - Técnicas y materiales para su reparación. México, D. F.: IMCYC.
- Gonzáles de la Cotería S., M. (2003). Guía introductora a la durabilidad del concreto. 1-11.
- González Herrera, R. A. (2009). EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE CHETUMAL QUINTANA ROO. Universidad Autónoma de Yucatán, CONACYT – Gobierno del Estado de Quintana Roo.
- Helene, D. P. (2001). Estructuras de Concreto, Proyectar para la Durabilidad. Seccional Colombiana del ACI, 1-7.
- Helene, P. d., & Pereira, F. (2003). Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón.- Reparación, Refuerzo y Protección. Sao Paulo: CYTED.- Red Rehabilitar.-Programa Ibero Americano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Helene, P. R. (1993). Estructuras de Concreto, Proyectar para la Durabilidad. ACI Seccional Colombiana.
- Helene, P. R. (1997). Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto. México, D. F.: IMCYC.
- Hernández Castañeda, O., & Mendoza Escobedo, C. J. (2006). Durabilidad e Infraestructura : Retos e impacto socioeconómico. Ingeniería Investigación y tecnología FI UNAM VII.1, 57-70.
- INEGI. (2000). Los Análisis Físicos y Químicos en la Cartografía Hidrológica del INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- INEGI. (2013). CARTA HIDROLÓGICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2013). Carta Hidrológica de aguas subterráneas Chetumal E16-4-7 Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- López Celis, R., Pérez Quiroz, J. T., Torres Acosta, A. A., & et al. (2006). PT 292 Durabilidad de la infraestructura de concreto reforzado expuesta a diferentes ambientes urbanos de México, Publicación Técnica No. 292. Sanfandila, Queretaro: Instituto Mexicano del Transporte SCT. Sanfandila, Queretaro: Instituto Mexicano del Transporte SCT.
- Mehta, P. K. (2003). Concrete in the marine environment. England: Elsevier Science Publishers LTD.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2006). Concrete Microstructure, Properties and Materials (Third Edition ed.). University of California at Berkeley: McGraw-Hill.
- Mena Ferrer, M. (2005). Durabilidad de estructuras de concreto en México. Previsiones y recomendaciones. México, D.F.: IMCYC.
- NMX-C-155-ONNCCE. (2014). Industria de la construcción – Concreto hidráulico - Dosificado en masa – Especificaciones y métodos de ensayo. México, D.F.: ONNCCE S. C.; Publicada en el Diario Oficial de la Federación.
- NMX-C-155-ONNCCE. (2014). Industria de la construcción – Concreto hidráulico - Dosificado en masa – Especificaciones y métodos de ensayo. México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-277-ONNCCE. (2010). Industria de la construcción - Agua para concreto - Muestreo. México, D.F: ONNCCE S. C.; Publicada en el Diario Oficial de la Federación.

- NMX-C-277-ONNCCE. (2010). Industria de la construcción - Agua para concreto - Muestreo. México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.- Declaratoria de vigencia Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de febrero de 2011.
- NMX-C-283. (1982). Industria de la construcción - Agua para concreto - Análisis. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de agosto de 1982.
- NMX-C-283-ONNCCE. (1982). Industria de la construcción - Agua para concreto - Análisis. México, D.F.: ONNCCE S. C.; Publicada en el Diario Oficial de la Federación.
- NMX-C-414-ONNCCE. (2014). Industria de la construcción – Cementantes hidráulicos – Especificaciones y métodos de ensayo. México, D. F.: ONNCCE S. C.; Publicada en el Diario Oficial de la Federación.
- NMX-C-414-ONNCCE. (2014). Industria de la construcción – Cementantes hidráulicos – Especificaciones y métodos de ensayo. ONNCCE.
- NTC concreto, G. D. (6 de octubre de 2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL, TOMO I (103-BIS), págs. 88-194.
- Oliva Giralt, A. L. (2009). Influencia de las variables climáticas en el deterioro del puente en Boca de Camarioca debido a la corrosión atmosférica. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 3, núm. 3, 1-15.
- Poó Rubio, A. M. (2008). Casos de estudio en México en el sector de la construcción. *Memorias 2008, Congreso Nacional de Administración y Tecnología para la Arquitectura, Ingeniería y Diseño* (págs. 43 - 56). México, D. F.: CYAD.
- Rubio, D. A. (2008). CASOS DE ESTUDIO EN MÉXICO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN. *MEMORIAS 2008, CONGRESO NACIONAL DE ADMINISTRACIÓN Y TECNOLOGÍA PARA LA ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO* (págs. 43 - 56). MEXICO: C Y A D.
- Sánchez Sánchez, J. A., Álvarez Legorreta, T., Pacheco Ávila, J. G., González Herrera, R. A., & Carrillo Briebieza, L. (2015). Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México. *REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS GEOLÓGICAS*, 32(1), 62-76.
- SEDESOL. (2011). Atlas de Riesgo de la ciudad de Chetumal, Municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo: Centro de Información Geográfica, División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo.
- Torres Acosta, A. A., & Martínez Madrid, M. (2001). PT 181 Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad, Publicación Técnica No. 181. Sanfandila, Queretaro: Instituto Mexicano del Transporte SCT.
- Troconis de Rincón, O. M., & et al. (Abr 2011). Impacto del ambiente tropical en la durabilidad de las estructuras de concreto armado. *REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA* 3ª época Año 2 N° 2 / Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología /, 100 - 154.
- Troconis de Rincón, O. M., & et al. (Abr de 2011). Impacto del ambiente tropical en la durabilidad de las estructuras de concreto armado. *REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA* 3ª época Año 2 N° 2 / Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología /, 100 - 154.
- Valero Gamboa, M. E. (2002). Calidad del Agua de la Bahía de Chetumal. En F. Rosado May, R. Romero Mayo, & A. d. Navarrete, *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia-Serie Bahía de Chetumal No. 2* (págs. 179 - 184). Chetumal, Q. Roo, México: Universidad de Quintana Roo.

DISEÑO DE MUROS Y FACHADAS PREFABRICADAS CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Arturo Galván Higuera¹

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 03/09/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen: En este siglo, la sobrepoblación de la Megalópolis de la Ciudad de México ha alcanzado dimensiones extraordinarias y obligado a hacer la demolición de grandes y viejas edificaciones para dejar espacio y construir nuevos edificios de uso habitacional, comercial y mixto. En México se recicla una cantidad muy limitada de estos materiales, tras años de investigación, de llevar a cabo actividades recicladoras, gracias a la formulación de objetivos políticos, ecológicos, económicos, a una legislación y control apropiados y a unas normativas y control de calidad, se están consiguiendo unos niveles de reciclado aceptables y siempre crecientes. Por tal motivo este trabajo de investigación trata de ayudar a avanzar en este campo, intentando establecer conclusiones que afecten tanto al área de las propiedades básicas, como a las del comportamiento estructural de estos materiales, utilizándolos para hacer “muros y fachadas prefabricados con materiales reciclados (residuos de construcción y demolición, RSC) aptos para la construcción”.

Palabras clave: Reciclado, demolición, muros y fachadas.

DESIGN OF PREFABRICATED WALLS AND FACADES WITH CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

Abstract: In this century, the overpopulation of the Megalopolis of Mexico City has reached extraordinary dimensions and forced the demolition of large and old buildings to make room and build new buildings for residential, commercial and mixed use. In Mexico a very limited amount of these materials is recycled, after years of research, to carry out recycling activities, thanks to the formulation of political, ecological, economic objectives, to an appropriate legislation and control and to some regulations and quality control, Acceptable and ever-increasing levels of recycling are being achieved. For this reason, this research work aims to help advance in this field, trying to draw conclusions that affect both the area of basic properties, as the structural behavior of these materials, using them to make "walls and facades prefabricated with recycled materials (construction and demolition waste, CDW) suitable for construction".

Keywords: Recycling, demolition, walls and facades.

Introducción.

En México la industria de la construcción es una de los sectores de mayor importancia ya que genera millones de empleos y satisface las necesidades de confort de una sociedad (INEGI, 2017), pero así como da un beneficio a la sociedad, afecta de manera indirecta al medio ambiente.

La construcción de nuevas edificaciones y modificación de las existentes conlleva una serie de actividades como la excavación, demolición, ampliación y remodelación en el sector público o privado, generando así residuos sólidos de la construcción (RSC) coloquialmente conocido como “escombro o cascajo”. Residuos de la construcción que “culminan su vida útil”, en la mayoría de los casos, tienen un mal manejo, en México y en gran parte de América latina a pesar de que existen diversos planes y normas que rigen el control de los RSC, estos son depositados en su gran mayoría en terrenos baldíos, basureros, relleno para construcciones o en algunos casos en rellenos sanitarios vertederos autorizados y vías de comunicación, causando un serio problema de contaminación.

El reciclaje de los RSC tiene inicios en los países europeos. En Europa se empezó con la normativa y la gestión de

1. Arturo Galván Higuera. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca, Estado de México. arturogalvan96@gmail.com (Autor correspondiente)

estos en la década de los 60. Alemania es una de las naciones pioneras en el la industria del reciclaje de los residuos de la construcción a principios de los años 80 (Aquino E., 2015).

En México el tema de reciclaje es reciente, ya que en el año 2004 abrió sus puertas la primer empresa recicladora de residuos denominada Concretos Reciclados S.A de C.V., situada en la alcaldía de Iztapalapa, de la Ciudad de México, es a partir de entonces que diferentes instituciones importantes de México le dan un seguimiento más al tema, este es el caso de CMIC (Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción) la cual crea un Plan de Manejo de los Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición.

A continuación la presente investigación consiste en dar un seguimiento a las normas establecidas referente a los residuos sólidos de la construcción (RSC), planteando a nivel propuesta la elaboración de acabados provenientes de los desechos de la construcción que genera el municipio de Ixtapaluca.

El problema a solucionar es que los residuos de la construcción generados en el municipio de Ixtapaluca, Estado de México y los que son traídos de otros municipios, crean altos niveles de contaminación, pues continuamente se construyen nuevas edificaciones, se hacen nuevas remodelaciones, ampliaciones y/o modificaciones desarrollando RSC, considerando que un bajo porcentaje de estos es llevado a vertederos autorizados y el resto es tirado en lugares no autorizados, creando una mala imagen urbana a su vez desatando una series de factores contaminantes, formando un deterioro prolongado al medio ambiente.

De acuerdo a la empresa Concretos Reciclados S.A de C.V, la CDMX en el año 2014 generó 7,000 mil toneladas diarias de cascajo, de las cuales solo el treinta por ciento se destinó a relleno sanitario y el setenta por ciento restante fue tirado en barrancas, reservas ecológicas, vías de comunicación y suelos de conservación. Dado lo anterior se requiere llevar a cabo un proceso de recolección de RSC que no llegan a tener una intervención, dar un reciclaje de estos residuos y utilizar el material proveniente del reciclaje en una serie de acabados de modo que cubran la necesidad de remodelar inmuebles de orden público.

El área de Dirección de Mantenimiento Institucional y Urbano del ayuntamiento de Ixtapaluca tiene como objetivo remodelar inmuebles de orden público, algunos de estos edificios son el Instituto de la Mujer y la Presidencia Municipal, la cual pretende manejar una propuesta de revestimiento de piedra de cantera en la fachada principal y algunas ampliaciones de áreas interiores y la integración de nuevas.

Al entender esta necesidad y observar una de las problemática que generan los RSC al encontrarse tirados en suelos no autorizados, es que crean altos índices de contaminación y de fauna nociva en el municipio de Ixtapaluca, a partir de esto se plantea dar solución a estos dos requerimientos, mediante la construcción de acabados reciclados provenientes de los RSC y poder integrarlos en la fachada, pero manteniendo el estilo que se maneja en la propuesta ya diseñada y poder ayudar a bajar los niveles de contaminación que los residuos generan.

La Dirección de Mantenimiento Institucional y Urbano y el gobierno municipal tendrán un beneficio a corto y largo plazo, ya que cubrirá con la necesidad de remodelar el edificio y mejorará su imagen urbana como se tenía previsto, pero al mismo tiempo se estará generar una arquitectura sustentable, una arquitectura que se preocupa por el medio ambiente y deja de lado sus propios interés y ve por el del ecosistema.

Del mismo modo al generar e implementar acabados reciclados de RSC se caracterizará el municipio por tener más conciencia por el medio ambiente y dará ejemplo a sus habitantes de que el cambio climático depende de todos y no solo de los gobernantes o de algunas cuantas personas.

La idea principal es que se cubran las necesidades del ayuntamiento, mediante una intervención arquitectónica en los edificios de gobierno al incluir una serie de acabados obtenidos a partir del reciclaje, sin dejar de lado la calidad, la resistencia y la belleza que tienen como papel fundamental los revestimientos y a partir del reciclaje de los RSC los niveles de contaminación visual que se tenían, irán decreciendo gracias a esta nueva implementación.

El objetivo general es desarrollar a nivel propuesta una serie de acabados con materiales reciclados provenientes de los RSC, fomentando una arquitectura comprometida con el medio ambiente.

Los objetivos específicos son:

- Analizar e identificar las normativas vigentes para el manejo y utilización de RSC, particularmente en el Estado de México.
- Elaborar una propuesta de acabados enfocada a satisfacer de manera sustentable la necesidad de remodelación en edificios públicos del ayuntamiento.
- Implementar una propuesta de acabados sustentables, fabricados a partir del reciclaje de los residuos de la construcción allegados a la zona.

Materiales y métodos.

La metodología analítica procede a una serie ordenada de cada elemento independiente, consistiendo en la revisión de forma separada de material necesario para cada investigación, descomponiendo un todo en partes desiguales con el propósito de observar cuales son las causas de problema (Herrera M.A.,2017).

Entendiendo esto se pretende analizar las diferentes normas que regulan el manejo de los RSC como lo son:

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos: Es importante destacar que los Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general son considerados de Manejo Especial (Art. 19 Fracción VII) y en el Art. 28 Fracción III menciona que los RSC están sujetos a planes de manejo (LGPGIR, 2003).

NOM-161-SEMARNAT-2011: La cual establece que los residuos de la construcción se clasifican como residuos de manejo especial, lo que obliga a realizar acciones para su reutilización y reciclaje o, en su caso, la correcta disposición (NOM-161-SEMARNAT-2011).

En relación con la gestión y manejo integral de los RSC, fueron identificadas dos normas estatales, las cuales se citan a continuación:

NADF-007-RNAT-2004: Que establece la clasificación y especificaciones del manejo para residuos de la construcción en la Ciudad de México (NADF-007-RNAT-2004).

NTEA-011-SMA-RS-2008: Que establece los requisitos para el manejo de los residuos de la construcción para el Estado de México (NTEA-011-SMA-RS-2008).

Partiendo de este análisis de normativas, se puede observar que en cualquier instancia los RSC deben de tener un proceso de reciclaje o al menos un plan de manejo final, a partir de esto es que se desarrollará una serie de actividades que conforme a la norma ayuden a reducir los niveles de contaminación que generan los residuos sólidos de la construcción en el municipio de Ixtapaluca.

Estas actividades consisten en tres pilares principales, los cuales son:

- Recolección de RSC que se encuentren en suelos no autorizados.
- Reciclaje y separación del material que no tienen potencial de reúso.
- Elaboración de acabados.

Técnicas a implementar.

Mapas de ubicación.

Se presentarán mapas de ubicación, el cual integrará la localización exacta de los RSC que se encuentre en suelos no autorizados, para determinar dicha localización se recabarán datos de campo, se utilizará la estructura que se implementó en el periodo de campaña del gobierno actual. La cual consiste en la división del municipio mediante seccionales, los cuales están dirigidos por coordinadores, ellos tienen la tarea de escuchar las peticiones e identificar las problemáticas (contaminación de escombros, basura, falta de luminaria, etc.) que se presentan en la zona que está bajo su mando.

Los coordinadores generan un informe el cual pasa a un personal inmediato y este lo reporta al municipio, mediante esta estructura se podrá identificar en que seccional se está presentando la problemática de los RSC.

Las localidades en las que se centra el estudio serán:

- San Francisco Acuautila.
- Coatepec.
- Ixtapaluca a un radio de 90 m.



Mapa 1. Localidad de San Francisco 2019.
Localización de escombros tirados en zonas no autorizadas. Elaboración propia.



Mapa 2. Localidad de Coatepec 2019.
Localización de escombros tirados en zonas no autorizadas. Elaboración propia.

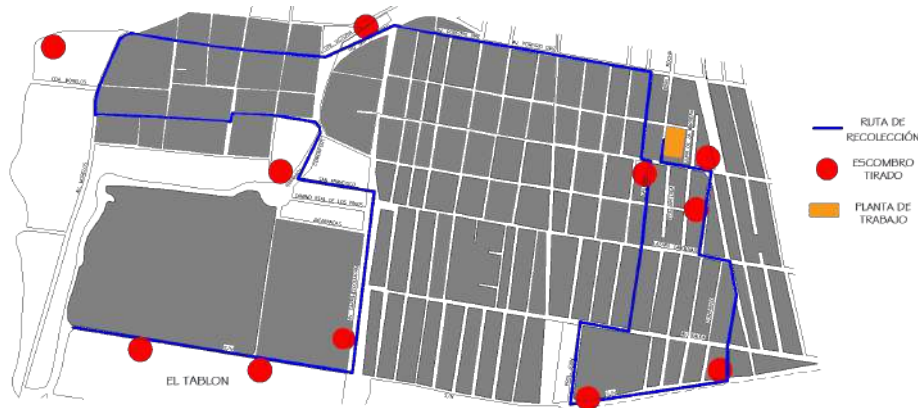


Mapa 3. Municipio de Ixtapaluca 2019.

Localización de escombros tirados en zonas no autorizadas. Elaboración propia

Ruta de recolección de RSC.

Para llevar acabado la recolección de RSC, se tomarán en cuenta los mapas de localización, partiendo de esto se trazará una ruta de los puntos más cercanos donde se pretende trabajar en la separación, trituración y elaboración de acabados.



Mapa 4. Localidad de San Francisco Acuautla 2019.

Ruta de recolección de RSC. Elaboración propia.

Evidencia fotográfica de los puntos señalados en el Mapa 4.



Fotografía 1. RSC tirados en suelos no autorizados
2019. Colonia el tablón, San Francisco Acuatla.
Elaboración propia.



Fotografía 2. RSC tirados en suelos no autorizados
2019. Paraje las Joyas, San Francisco Acuautila.
Elaboración propia.



Fotografía 3. RSC tirados en suelos no autorizados 2019. Calle camino real a los pinos, San Francisco Acuaautla. Elaboración propia.



Fotografía 4. RSC tirados en suelos no autorizados 2019. Calle Galena, esquina Tomas Medina, San Francisco Acuaautla. Elaboración propia.

Ciclo de trabajos para obtener el granulado apropiado.

A continuación se muestra en la Figura 1 los pasos que se llevarán a cabo para encontrar la granulometría ideal.

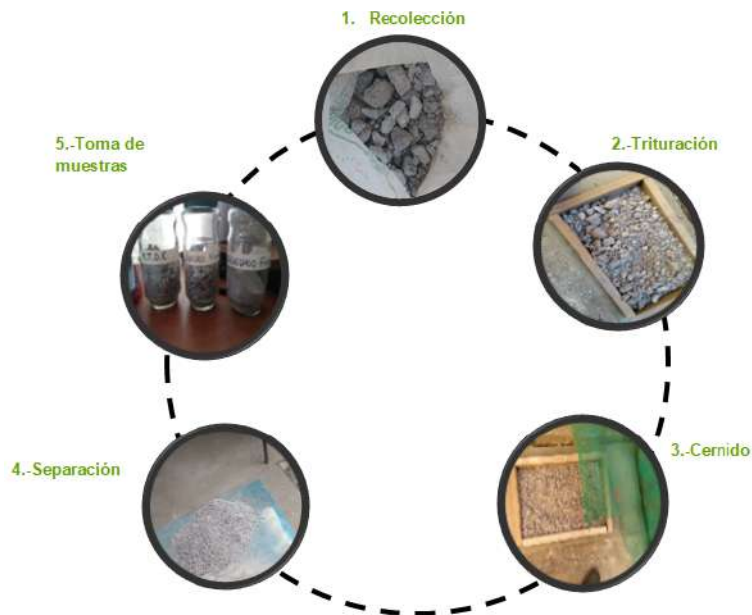


Figura 1. Proceso de identificación de material granulado 2019. San Francisco Acuaautla, Ixtapaluca. Elaboración propia.

1.-Recolección: El proceso de recolección se basa en la técnica 2.3 ya antes mencionada, donde detalla cómo se llevará a cabo dicho proceso.

2.- Trituración: La trituración se generará temporalmente por medios manuales dentro de una gubia de 30 x 40 cm, para así evitar el desperdicio del material al llevar a cabo la acción de “golpeteo” sobre los RSC.

3.-Cernido.- El cernido es un proceso que se efectúa para separar a dos tipos de agregados uno del otro, esta tarea es fundamental, ya que nos ayudará a delimitar el tamaño máximo de agregado (TMA) que se tendrá.

4.- Separación: Este paso es fácil pero de gran importancia, ya que se podrá tomar de este proceso las porciones necesarias para la fabricación de los acabados.

5.- Toma de muestras: Consistirá en tres pruebas, las cuales se identificaron como:

- Material triturado
- Arena fina
- Arena de 4 M.M. de TMA

Dichas muestras se tendrán como un sustento, para así referenciar que agregados y tamaños son los que se requieren para la fabricación de los revestimientos.

Elaboración de acabados sustentables.

Para comenzar con el proceso de elaboración de acabados sustentables se implementó una matriz FODA, el cual nos ayudará a conocer los factores que potencialmente tienen mayor impacto en el proyecto y ayudarnos a tomar las mejores decisiones en acciones que se presenten (López H., 2012.).



Figura 2. Matriz FODA, 2019. Elaboración propia.

La estrategia técnica para llevar a cabo los revestimientos sustentables se basa en los siguientes pasos y herramientas a utilizar:

Elaboración de molde I de 30 x 40 cm, molde II de 30 x 30 cm y molde III 20 x 45 cm, las medidas son comerciales para facilitar su manejo y colocación.



Fotografía 5. Molde I 30 x 40 cm. elaborado de madera de pino, 2019. Elaboración propia



Fotografía 6. Molde II 30 x 30 cm. elaborado de ángulo metálico, 2019.
Elaboración propia.



Fotografía 7. Molde III 20 x 45 cm elaborado de madera de pino, 2019.
Elaboración propia.

Fabricación de plantilla de lámina galvanizada.



Fotografía 8. Plantilla de lámina galvanizada para estampado, 2019.
Elaboración propia.



Fotografía 9. Plantilla de poliestireno para estampado, 2019.
Elaboración propia.

Identificación y proporcionamiento de materiales aglutinantes y granulares que ayudarán a la elaboración del acabado (cemento, arena de 0 a 4 M.M, agua y pigmento para cemento.)

Tabla 4. Identificación de porciones de material aglutinante y granular, 2019.
Elaboración propia.

Porciones por 3 piezas	
Cemento Blanco	2 KG
Arena Fina proveniente de RSC	5.58 KG
Arena 4 mm proveniente de RSC	5.76 KG
Malla de alambre galvanizado	3 PZA
Pigmento	10 ≤ Dep. Disñ.

Dichas porciones se obtuvieron mediante una regla de tres ocupando los valores que se mencionan en la Guía de proporcionamiento para el Cemento Blanco CPO 40 B, Cemento Cruz Azul.



Fotografía 10. Elaboración de mezcla para acabados.
Elaboración propia.

Vaciado de mezcla en molde I, molde II.



Fotografía 11. Vaciado de mezcla en molde I y molde II, 2019.
Elaboración propia.



Fotografía 12. Estampado en molde II y pigmentado en molde I, 2019.
Elaboración propia.

Resultados.

En éste, se describirá detalladamente los resultados obtenidos de las metodologías implementadas en el presente trabajo.

Cantidades recolectadas a partir de los puntos detectados.

De acuerdo al Mapa 4 del apartado 2.3, las cantidades que se recolectaron de los puntos rojos señalados, son las siguientes:

Tabla 5. Cantidad recolectada de RSC en localidades de San Francisco Acuautila, 2019. Elaboración propia

Punto rojo	Cantidad de recolección (Kilogramos)
Colonia Tablón	28
Paraje las Joyas	42
Calle camino real a los pinos	26.5
Calle Galeana	34

Prueba de concreto a compresión.

La siguiente prueba se llevó a cabo en el Taller de Construcción AP1 del Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca, esto se hizo con el fin de obtener la resistencia a la compresión del concreto (f'_c) que se ocupó en la elaboración de los revestimientos sustentables ya que cada pieza tendrá que soportar las pizas consecuentes que se apilen una sobre otra.

Cabe destacar que la prueba se hizo en un concreto joven, esto quiere decir que el periodo de fraguado fue interrumpido a los 17 días para poder realizar dicha prueba.

A continuación se presentan datos técnicos, los cuales serán útiles para el cálculo de resistencia (f'_c):

R= 12.80 cm

H= 14 cm

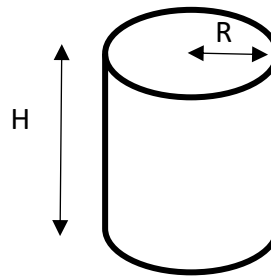
D= 17 días

Donde:

R = Es el radio medio obtenido (cm)

H = Es la altura total del cilindro (cm)

D = Días totales de fraguado (días)



Fotografía 13. Prueba de concreto a la Compresión, Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca, 2019. Elaboración propia.

La prensa hidráulica arrojó una lectura de 12.82 toneladas (12,820 kg), esto quiere decir que el cilindro de concreto a este peso presentó notablemente fracturas en toda su composición.

Para obtener la resistencia del concreto se harán una serie de cálculos que se presentan de la siguiente forma:

Área del cilindro:

$$A = \pi r^2 = \pi (12.80)^2 = \frac{1024}{25} \pi$$

Resistencia a la compresión (kg/cm^2):

$$f'_c = \frac{12820}{\frac{1024}{25} \pi} = 99.62 \text{ kg/cm}^2$$

La interpretación que los cálculos arrojados son las siguientes:

La resistencia del concreto alcanzada a los 17 días es de 99.62 kg/cm^2 , esto quiere decir que a los 28 días de fraguado cuando el concreto alcanza su punto más alto, podrá llegar a obtener una resistencia mayor a los 100 kg/cm^2 .

Una resistencia de concreto mayor a 100 kg/cm^2 en los revestimientos ocupados despejan todas esas incertidumbres que se tenía en cuanto a si la durabilidad y firmeza iba hacer la más óptima.

Esto comprueba que un revestimiento homogenizado con material reciclado producto de los RSC puede llegar a ser una posible opción de acabado final en cualquier intervención arquitectónica.

Elaboración de propuesta de acabados.

Como resultado de la elaboración de acabados se obtuvo cuatro principales propuestas, las cuales contienen una serie de especificaciones que se presentan de la siguiente manera:

Especificaciones Técnicas

Modelo: 0001
Peso: 3.39 Kg
Espesor: 2.5 cm
Material: RSC y Cemento Blanco
Dimensiones: 0.30 x 0.30 m

Modelo: 0002
Peso: 4.56 Kg
Espesor: 2.5 cm
Material: RSC y Cemento Blanco
Dimensiones: 0.30 x 0.40 m

Modelo: 0003
Peso: 3.60 Kg
Espesor: 2.00 cm
Material: RSC y Cemento Blanco
Dimensiones: 0.20 x 0.45 m

Acabados



Modelo: 0004
Peso: 4.15 Kg
Espesor: 2.5 cm
Material: RSC y Cemento Blanco
Dimensiones: 0.30 x 0.30 m



Conclusiones.

En base a las metodologías implementadas y a los objetivos que se tienen en el presente proyecto se comprobó que los RSC que se encuentran tirados en suelos no autorizados son puntos rojos de contaminación. De acuerdo a las leyes y normativas que se analizaron indica que en todo momento se debe dar un manejo especial a estos residuos, de no ser así deben ser llevarlos a vertederos autorizados y no encontrarlos en reservas ecológicas barrancas y/o vías de comunicación como lo vemos hoy en día.

Gracias a la metodología de ruta de recolección de RSC (Ver apartado 2.3), se observó un cambio notorio en cuanto a imagen urbana se habla, ya que la población inconscientemente creía que al ver estos residuos tirados en predios o barrancas podían generar más o a su vez tirar otro tipo de desechos.

En la investigación de sustento teórico no existía información referente a acabados elaborados a partir de materiales reciclados provenientes de los RSC, solo se encontró acabados derivados de otros tipos de materiales como los son: Corchos, cerámicos, alfombras, resinas, papel, vidrio y azulejos.

Al existir poca de información sobre los revestimientos a través de fachadas recicladas, en el proceso de elaboración de acabados se llegó sin alguna noción de información, de cómo es que se llevaría a cabo dicho proceso, entonces se implementó un proceso denominado Prueba-Error para así poder encontrar dichas porciones de material proveniente de la trituración y del aglutinante a ocupar (cemento blanco) y así mismo la resistencia adecuada del concreto que se implementaría.

De acuerdo a la elaboración de acabados se comprobó que el material reciclado proveniente de la trituración de RSC pudo homogenizar con el material aglutinante (cemento blanco) sin tener alguna anomalía, esto se sustentó en la con la prueba de concreto a compresión elaboradas previamente (Ver apartado 3.1).

Cada una de las metodologías implementadas concluyó satisfactoriamente ya que se dieron los resultados esperados y se cumplieron en su totalidad con los objetivos que se plantearon al inicio del proyecto, esperando que el presente trabajo sirva como un medio de concientización y una nueva forma de implementar acabados a partir de los desechos de la construcción.

Agradecimientos: A estudiantes y futuros pobladores del planeta con la esperanza que esta investigación genere en ellos la actitud del reciclado de todo lo que el hombre produce y que contamina el medio ambiente.

Bibliografía.

Ericka Flores. (22/11/2017). Desperdicios, Los escombros del 16-S. El universal.
Herrera M.A. (2007). Métodos de Investigación. Naucalpan, Estado de México. Esfinge.
Nora Vasconcelos. (17 febrero 2001). El reciclaje de concreto además de crear estructuras integrales, ayuda en la conservación del medio ambiente 19/04/2019, de expansión en alianza Sitio web: <https://expansion.mx/mundo/2010/02/18/eu-japon-y-europa-reciclan-los-desperdicios-del-concreto>.

- García, J. (Noviembre, 2014). Gestión de residuos de construcción y demolición en Alemania. Mayo, 11, 2019, de CMIC Sitio web: <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Fichas%20Técnicas/Alemania BP.pdf>.
- Barroso, D. (2013). Análisis de la gestión de residuos de construcción y demolición en la comunidad autónoma de Andalucía. Sevilla, España. Tesis: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, 73-75. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30186/fichero/Cap%C3%ADtulo+12.pdf>.
- Galiana M. (mayo 24, 2017). Arquitectura sostenible: revestimientos de paredes con materiales reciclados. Abril 22, 2019, de arquitectura y empresa Sitio web: <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/arquitectura-sostenible-revestimientos-de-paredes-con-materiales-reciclados>
- Andrade A. & Gonzales T. (Octubre 6, 2011). Materiales Sustentables, Materiales Reciclados e Iniciativas Locales. Abril 22, 2019, de Educación Sitio web: <https://es.slideshare.net/jfchapa/materiales-sustentables-materiales-reciclados-e-iniciativas-locales>.
- Dazne A. (Noviembre 24, 2012). NakedBoard: material sostenible. Abril 22, 2019, de Materiales innovadores. Sitio web: <https://blog.is-arquitectura.es/2012/11/24/nakedboard-material-sostenible/>.
- Galia G. (Febrero 24, 2018). Materiales de construcción sustentable para rediseñar tu hogar paso a paso. Abril 24, 2019, de Ecoesfera Sitio web: <https://ecoosfera.com/2018/02/materiales-construccion-ecologicos-tecnicas-sustentables-arquitectura-casas-eco-paso-a-paso>.
- Jiménez E. (2017). Materiales reciclados en acabados. Abril 23, 2019, de SilderPlayer Sitio web: <https://slideplayer.es/slide/11656008/>.
- Dazne A. (Septiembre 28, 2011). Eco-Naturals: baldosas de caucho. Abril 22, 2019, de ARQuitectura Prefab Sitio web: <https://blog.is-arquitectura.es/2011/09/28/eco-naturals-baldosas-de-caucho/>.
- Aquino E. (2015). Reciclaje de residuos de la construcción para la fabricación de ladrillos sustentables. D.F, México. Tesis: Universidad Autónoma de México, Ingeniería Ambiental. Sitio web: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30186/fichero/Cap%C3%ADtulo+12.pdf>.
- Sn/a. (Junio 14, 2017). Emprendedor cubano maneja con éxito fábrica de materiales de construcción. Abril 24, 2019, de Radio televisión martí Sitio web: <https://www.radiotelevisionmarti.com/a/emprendedore-cubano-maneja-exito-fabrica-materiales-construccion/146940.html>.
- López Héctor. (Diciembre, 26, 2012). Para que me sirve el análisis FODA. Mayo, 07, 2019, de Competitividad, Empresa, Estrategias Sitio web: <http://axeleratum.com/2012/para-que-me-sirve-el-analisis-foda/>.
- LGPGR. (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (versión electrónica.)
- NADF-007-RNAT-2013. Norma Ambiental para el Distrito Federal. Clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición en el Distrito Federal (CDMX). Secretaria del Medio Ambiente (versión electrónica).
- NTEA-011-SMA-RS-2008. Norma Técnica Estatal Ambiental para el Estado de México. Establece los requisitos para el manejo de los residuos de la construcción en el Estado de México. Secretaria del Medio Ambiente (versión electrónica.)
- Norma Técnica Estatal Ambiental. (2008). Requisitos de manejo de los residuos de la construcción en el Estado de México. Sitio web: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/fichaOrdenamiento.php?idArchivo=30969&ambito=estatal>.
- NOM-161-SEMARNAT-2011. Norma Oficial Mexicana. Establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo. Secretaría Del Medio Ambiente y Recursos Naturales (versión electrónica).
- Cámara Mexicana de la Industria y la Construcción (2015). Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición en la ciudad de México, México. Sitio web: <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>
- Ayuntamiento de Ixtapaluca. (2019). Plan de desarrollo municipal de Ixtapaluca, Estado de México, México. Sitio web: <https://www.radiotelevisionmarti.com/a/emprendedore-cubano-maneja-exito-fabrica-materiales-construccion/146940.html>.

SUCEPTIBILIDAD A LA CORROSIÓN LOCALIZADA DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO AISI 321 SOLDADO

Rafael García Hernández¹, Paulina López Eligio²,
Víctor Hugo López Morelos³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 20/06/2019

Aceptado: 24/09/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen.- En el presente trabajo se realizó el tratamiento térmico de envejecimiento del acero inoxidable austenítico 321, a una temperatura de 650°C, a 40 y 80 h de permanencia a dicha temperatura, posteriormente se caracterizó mecanográficamente tanto el material base de llegada y los tratamientos térmicos del acero a dos tiempos de permanencia a 650°C. Posteriormente se prepararon las piezas del acero tanto del material de llegada y las tratadas térmicamente para ser soldadas, por el proceso de soldadura MIG, a las cuales se les maquinó un bisel en simple "V", con un ángulo de 30° y un talón de 2 y 4 mm y la separación entre las placas fue de 2.5mm, utilizando un gas de protección de 98% de Ar + 2% O₂, con un voltaje de 23.5 voltios, 257 amperes y una velocidad de avance de 3.6mm/s, y las dimensiones de las placas fueron de 6.2x150x150 mm, utilizando un electrodo ER310 y un diámetro de 1.2mm, una vez realizadas las soldaduras se procedió a caracterizarlas tanto por medio de los ensayos electroquímicos, del material base de llegada, material base tratado térmicamente y en la zona afectada térmicamente (ZAT) de las soldaduras realizadas, y posteriormente se realizó la caracterización electroquímica mediante la técnica de reactivación potenciodinámica de doble ciclo (RPDC), en una solución de 1MH₂SO₄ +0.5M HCl + H₂O destilada, y para determinar la temperatura crítica de picado se utilizó el trazado de las curvas potenciodinámicas en una solución de 3.5% NaCl +H₂O destilada. Los resultados obtenidos demuestran que el acero 321 es susceptible al fenómeno de sensibilización o corrosión intergranular en presencia de la solución utilizada y que el acero envejecido a medida que incrementa el tiempo de envejecimiento es más susceptible a la sensibilización. Por otra parte, al ser soldados utilizando interacción electromagnética se ha podido comprobar que la ZAT de las soldaduras tiende a disminuir el grado de sensibilización debido a la interacción electromagnética aplicada durante la soldadura.

Palabras clave: Corrosión Localizada; Acero Inoxidable, AISI 321

SUCEPTIBILITY TO THE LOCALIZED CORROSION OF THE AISI 321 AUTENITIC STAINLESS STEEL WELDED

Abstract.- In this work the heat treatment of aging of the austenitic stainless steel 321 was carried out, at a temperature of 650 ° C, at 40 and 80 h of permanence at said temperature, subsequently the base material of arrival and the heat treatments were typified typically of the two-stroke steel at 650 ° C. Subsequently, the steel parts of both the arrival material and the heat treated ones were prepared to be welded, by the MIG welding process, to which a simple "V" bevel was machined, with an angle of 30 ° and a heel of 2 and 4 mm and the separation between the plates was 2.5mm, using a 98% Ar + 2% O₂ protection gas, with a voltage of 23.5 volts, 257 amps and a feed rate of 3.6mm / s, and the dimensions of the plates were 6.2x150x150 mm, using an ER310 electrode and a diameter of 1.2mm, once the welds were made, they were characterized both by means of electrochemical tests, of the arrival base material, treated base material thermally and in the thermally affected area (ZAT) of the welds performed, and subsequently electrochemical characterization was performed using the double cycle potentiodynamic reactivation technique (DPRK), in a solution of 1MH₂SO₄ + 0.5M HCl + H₂O distilled, and to determine the critical temperature of chopped the plot of the potentiodynamic curves in a solution of 3.5% NaCl + distilled H₂O was used. The results obtained show that steel 321 is susceptible to the phenomenon of sensitization or intergranular corrosion in the presence of the solution used and that aged steel as the aging time increases is more susceptible to sensitization. On the other hand, being welded using electromagnetic interaction it has been found that the ZAT of the welding tends to decrease the degree of sensitization due to the electromagnetic interaction applied during welding.

Keywords: Localized Corrosion; Stainless Steel; AISI 321

¹ Rafael García Hernández. Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Paulina López Eligio. Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pauadl@hotmail.com (Autor correspondiente)

³ Víctor Hugo Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Introducción

Los aceros inoxidable austeníticos estabilizados son dos de acuerdo a la norma AISI 321 y 347, la característica de estos aceros consiste en adicionarle elementos de aleación como el Ti y Nb, elementos que se caracterizan por la formación de carburos de TiC y NbC a elevadas temperaturas, las cuales son 1200 y 1050°C respectivamente. Esta característica es importante porque la función de estos elementos formadores de carburos consiste en minimizar la cantidad de carbono a elevadas temperaturas durante el enfriamiento, para que cuando la temperatura llegue al rango de 900 a 450° el cromo ya no tenga carbono suficiente con el cual pueda formar carburos de cromo (Cr₂₃C₆) o carburos del tipo M₇C₃, los cuales al formarse y precipitar en el acero propician un empobrecimiento de cromo alrededor de los carburos precipitados, lo que ocasiona el fenómeno de sensibilización o corrosión localizada alrededor de los carburos de cromo por presentar un decaimiento de este elemento de aleación fundamental en la protección de estos aceros en presencia de medios agresivos que contengan iones cloruros o en medios ácidos.

Así mismo, estos aceros han sido caracterizados de diferentes formas, tal es el caso de R. C. de Sousa y colaboradores [1], quienes realizaron un estudio del acero AISI 321, tomando en cuenta el efecto de la temperatura del tratamiento térmico de solubilizado en el crecimiento de grano y el grado de sensibilización, utilizando el ensayo electroquímico potenciodinámico de reactivación de doble ciclo, concluyendo que el grado de corrosión intergranular depende fuertemente de la temperatura de solubilidad, ya que a 1075°C presenta mayor grado de corrosión intergranular y a 600°C temperatura de envejecimiento, con respecto a las temperaturas de solubilizado de 800 y 900°C seguida de un envejecimiento a 600°C por un tiempo de duración de 105 h.

Por otra parte, M. B. Levan and R.Tisu [2], quienes estudiaron el efecto de las inclusiones de TiN y la martensita inducida por deformación sobre las propiedades a la corrosión del acero inoxidable austenítico AISI 321, observando que la presencia de los TiN de titanio actúan como cátodos en la matriz austenítica provocando la disolución anódica de la austenita a su alrededor, así como también, provoca la formación de la martensita durante el proceso de deformado en frío del acero para darle la forma y las propiedades mecánicas finales del acero 321, lo cual da como resultado la susceptibilidad a la corrosión por picado alrededor de los TiN y la corrosión bajo esfuerzos en dirección de la formación de la martensita, producto de la deformación en frío final del acero. Como se podrá observar el estudio de la susceptibilidad a la corrosión localizada de los aceros inoxidable austeníticos, se ha tratado por diferentes técnicas de corrosión buscando las causas principales que las originan, pero en realidad propuestas de minimizar el problema sin tener que cambiar la composición química en el desarrollo de nuevos materiales o sugiriendo algún tipo de mezcla de gases para propiciar una buena fluidez del metal líquido durante el proceso de soldadura, sin tener en cuenta que el problema fundamental radica en la zona afectada térmicamente debido al ciclo térmico del proceso de soldadura utilizado durante la fabricación del producto correspondiente, y que pocas veces el problema se localiza en el cordón de soldadura [3-5]. Así mismo siempre que se oferta un nuevo material la mayoría de los estudios se centran en la caracterización de dicho material en propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión del nuevo material, para determinar que dicho material es mejor que sus antecesores y justificar el elevado costo. Esto corresponde a la empresa fabricante del nuevo material incluido a la vez el grado de soldabilidad y los posibles problemas que se pueden presentar en la fabricación de diferentes productos a utilizarse en las diferentes industrias.

El objetivo fundamental del presente trabajo de investigación es determinar bajo qué condiciones de tratamiento térmico de envejecimiento y tiempo de permanencia el acero AISI 321, puede presentar el fenómeno de sensibilización y como minimizarlo sin cambiar su composición química, usando un método o técnica simple de interacción electromagnética de baja intensidad que no afecte el proceso de soldadura utilizado durante la unión del producto correspondiente.

Metodología: materiales y métodos

En el presente trabajo se utilizó un acero inoxidable austenítico AISI 321 en placa de espesor de 6.2 mm cuya composición química se ilustra en la tabla I, el cual fue soldado utilizando un electrodo ER310, con un diámetro de 1.2 mm y su composición química también se ilustra en la tabla I. El proceso de soldadura utilizado fue el proceso con gas de protección y arco metálico consumible GMAW (MIG) con una mezcla de gas de protección de 98% de Ar y 2% de O₂, con un flujo de 24 L/min.

La soldadura se efectuó con interacción electromagnética de baja intensidad y tratamiento térmico de envejecimiento del acero previo a la soldadura.

Tabla 1. Composición química del acero inoxidable 321y el electrodo ER310(% en peso)

Material	C	Mn	Si	Cu	Cr	Ni	Mo	Ti	P	S
AISI 321	0.01	1.5	0.4	0.4	17.1	9.0	0.34	0.7	0.03	0.001
ER310	0.04	2.3	0.5	-	26.5	21.0	-	-	-	-

Para la preparación del acero se cortaron 10 pares de placas de las dimensiones siguientes: 75x150x6.2 mm, para aplicación de la soldadura, y de las cuales 8 pares cuentan con un tratamiento térmico de envejecimiento en un horno tipo Nabertherm modelo L08/14 con una temperatura de operación máxima de 1400°C en donde se sometieron a las condiciones siguientes:

1. Tratamiento térmico de solubilizado. Las probetas fueron calentadas a una temperatura de 1050°C con una permanencia de 30 minutos y un enfriamiento rápido en agua a temperatura ambiente.
2. Después del tratamiento térmico de solubilizado se les practicó el tratamiento térmico de envejecimiento, sometiéndose las probetas a una temperatura de 650°C de calentamiento, con una permanencia de 40 y 80 horas y un enfriamiento rápido usando agua a temperatura ambiente como medio enfriamiento. En la figura 1, se ilustra el ciclo térmico de este tratamiento.

Se obtuvieron dos condiciones de soldadura por el proceso GMAW:

- Soldadura convencional. Es decir sin interacción electromagnética, las placas soldadas por esta condición fueron 2 pares con tratamiento térmico de 40 h, 2 pares de 80 h, y 2 pares de metal base. Dentro de cada condición para cada par cuenta con un tipo de junta en simple "V" con talón de 2 y 4 mm respectivamente.
- Soldadura con interacción electromagnética utilizando las siguientes intensidades del campo magnético aplicado en forma externa (1 y 2 mT). Se soldaron 2 pares de placas con tratamiento térmico de envejecimiento previo de 40 h y cada par con un tipo de junta de 2 y 4 mm de talón, de la misma manera se soldaron 2 pares de placas con tratamiento térmico de envejecimiento de 80 h.

El proceso de soldadura es semiautomático, y se utilizó una fuente de poder marca Miller modelo platino con una eficiencia del 60%, una corriente máxima de 650 Amperios, con un potencial a circuito abierto de 60 V y un rango de potencial de trabajo de 0-60 V. La preparación de las placas fue en simple "V" con talón de 2 y 4 mm, el espesor de las placas fue de 6.2 mm, tal como se muestra en las figuras 2 y 3. Para el proceso de soldadura con interacción electromagnética se aplicó un campo magnético de 1mT para dos pares de placas con tratamiento térmico de 40 horas, y 2 mT fueron aplicados a dos pares de placas con tratamiento térmico de 80 horas, el arreglo del campo magnético fue perpendicular al arco eléctrico como se ilustra en la figura 4, el equipo utilizado fue el mencionado anteriormente en la soldadura convencional. El tipo de preparación de junta que se utilizó para cada tratamiento térmico fue en simple "V" con talón de 2 y 4 mm, tal como se puede apreciar en las figuras 2 y 3, y los parámetros de soldadura se muestran en la tabla II.

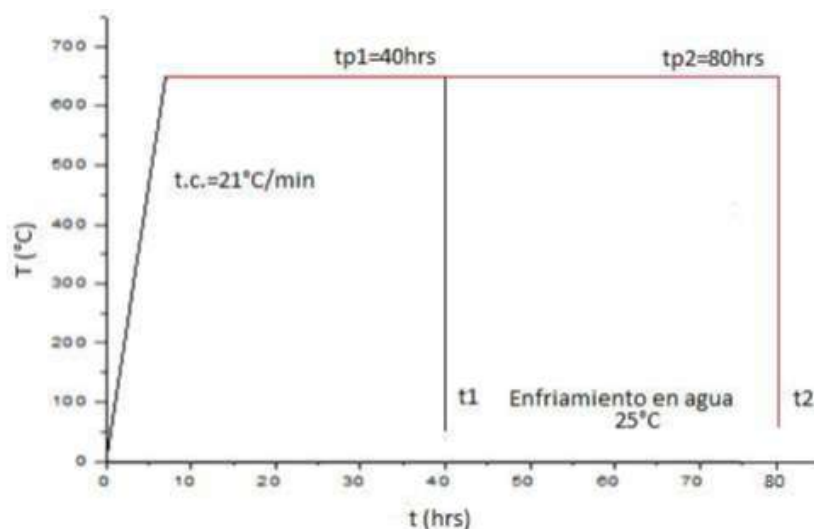


Figura 1. Ilustra el tratamiento térmico de envejecimiento a) $t1$ (40 h) y b) $t2$ (80h).

Una vez realizadas las soldaduras se procedió a realizar los cortes transversales a la soldadura para su caracterización metalográfica y para la caracterización electroquímica, se enfocó en la ZAT para la obtención de las probetas soldadas, el corte se realizó paralelo a la línea de fusión a 3 mm de esta, en ambos lados del cordón de soldadura, debido a que la cara de la probeta que corresponde a este corte (ZAT) figura 5, es la que posteriormente se sometió a la caracterización electroquímica, cabe mencionar que se obtuvieron dos probetas de cada condición de soldadura para obtener una buena reproducibilidad, en cuanto al metal base, y el metal base tratado térmicamente con 40 y 80 horas de permanencia, las dimensiones de las probetas fueron de 1x1 cm. En la tabla III se presenta la designación y las características de las condiciones a analizar en la figura 5.

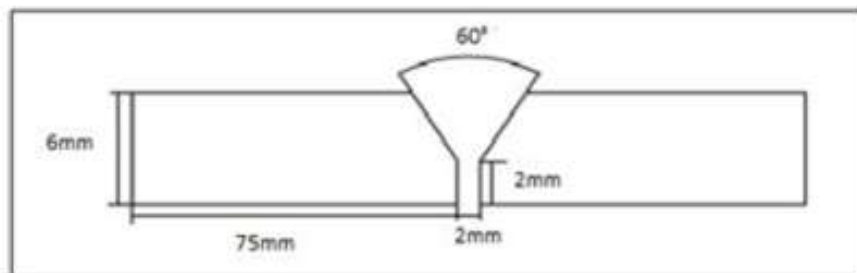


Figura 2. Representación de la forma de la preparación de la junta en V simple con talón de 2 mm.

La caracterización se realizó por microscopía óptica (MO) y por microscopía electrónica de barrido (MEB), después de realizarse un desbaste estándar a cada probeta con lijas de carburo de silicio de diferentes granulometrías: 180, 320, 400, 600, 1000 y 1500; posteriormente se realizó el pulido de las probetas con pasta de diamante de 6 y 3 μm para terminar con un pulido de 1 μm y obtener un acabado a espejo, enseguida se llevó a cabo un ataque químico por inmersión en una solución de 8.43 mL de HCl, 2.8 mL de HNO₃ y 3.75 mL de etanol por 2 minutos. Posterior al ataque para revelar la microestructura se utilizó el microscopio óptico marca NIKON y el microscopio electrónico de barrido modelo Jeol 6400.

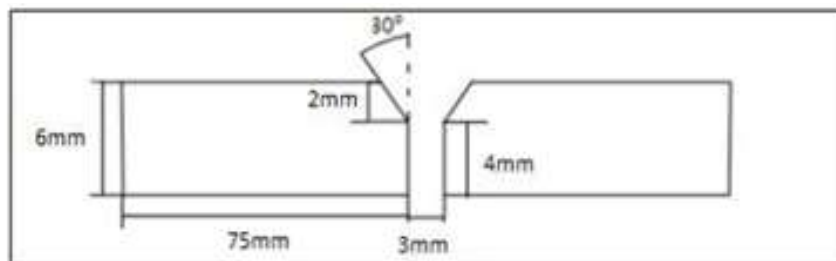


Figura 3. Representación de la forma de la preparación de la junta en simple "V" con talón de junta de 4mm.

En la caracterización electroquímica fue necesario encapsular cada probeta en resina epóxica, como se ilustra en la figura 6, se utilizó una mezcla de resina EPOXI CURE y del endurecedor EPOXI HARDER, con una relación de 5:1 y se dejó secar por un tiempo de seis horas a temperatura ambiente. Para aplicar la técnica, las probetas fueron lijadas con papel de carburo de silicio de granulometría 400, 800, 1000 y 1500 antes de cada prueba.

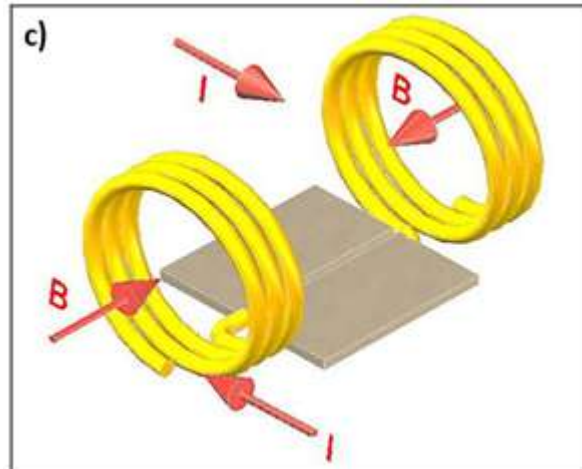


Figura 4. Dirección perpendicular del campo magnético aplicado durante el proceso de soldadura.

Tabla 3. Parámetros de soldadura utilizados

Condición	Campo Magnético (mT)	Vel. de Aliment. (mm/s)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Velocidad de avance (mm/s)	Talón de la unión (mm)	Calor de Aporte (Kj/mm)
MB	0	52	23.4	255	3.6	2	1.06
MB	0	52	23.4	257	3.6	4	1.07
TT 40 h	0	52	23.4	262	3.6	2	1.02
TT 40 h	0	52	23.4	267	3.6	4	1.04
TT 80 h	0	52	23.4	255	3.6	2	1.00
TT 80 h	0	52	23.4	262	3.6	4	1.02
TT 40 h CM	1	52	23.9	256	3.6	2	1.06
TT 40 h CM	1	52	23.9	259	3.6	4	1.07
TT 80 h CM	2	52	23.9	261	3.6	2	1.08
TT 80 h CM	2	52	23.9	269	3.6	4	1.07

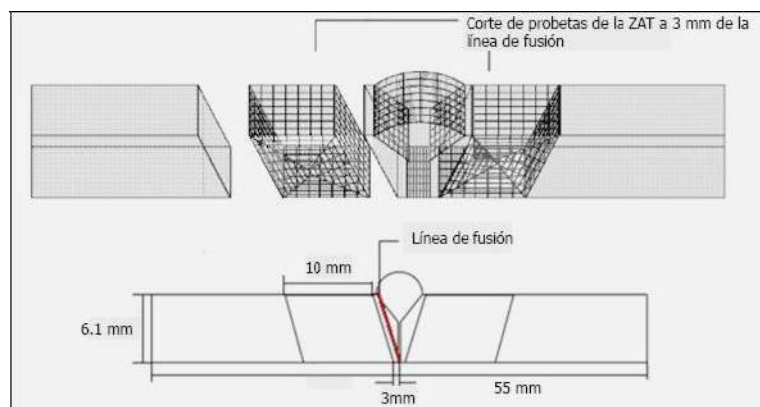


Figura 5. Representación del corte de probetas de la ZAT a 3 mm de la línea de fusión de los cordones de soldadura.

Se realizaron tres técnicas electroquímicas: la primera REPDC con el fin de determinar el grado de sensibilización. Inicialmente se realizó un seguimiento del potencial vs tiempo durante 5 minutos, antes de cada prueba con el fin de estabilizar el Ecorr y obtener una buena reproducibilidad. Después se comenzó con la prueba de REPDC, la técnica inicia con un barrido catódico hasta que llega al potencial de corrosión después de pasar este potencial continua la curva anódica hasta formar una capa pasiva posteriormente comienza la corriente de reactivación en donde se corroee

el material hasta llegar al potencial de corrosión. Las pruebas se realizaron con una velocidad de 1 mV/s, desde un sobrepotencial catódico de $\eta_c = -200$ mV vs potencial de circuito abierto (OCP), hasta un sobrepotencial anódico de $\eta_a = 600$ mV vs OCP en una solución de 0.5M HCl + 1M H₂SO₄.



Figura 6. Probeta encapsulada con resina epóxica.

Con los datos arrojados por las curvas de doble ciclo se obtuvo el grado de sensibilización mediante la relación I_r/I_a , donde I_r es la máxima densidad de corriente de reactivación y " I_a " la máxima densidad de corriente de activación. Para la evaluación del límite entre un material sensibilizado y un material no sensibilizado es $I_r/I_a > 0.001$ [6]. Las pruebas fueron realizadas tres veces cada una para verificar la reproducibilidad de los resultados.

La técnica se llevó a cabo en una celda electroquímica de vidrio con tres electrodos; electrodo de trabajo (probeta), electrodo de referencia de calomel saturado y un electrodo auxiliar de grafito mostrados en la figura 7.

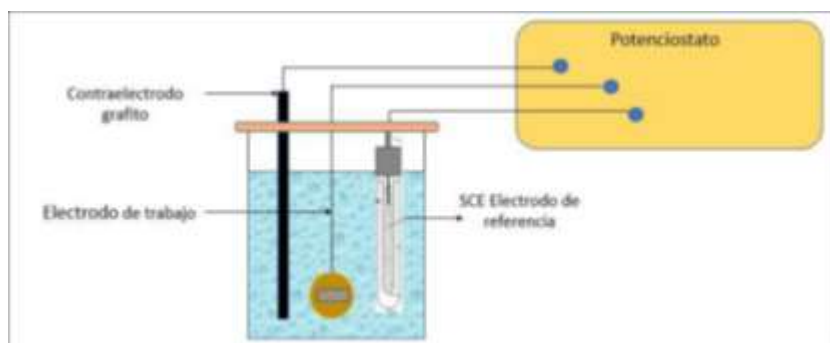


Figura 7. Esquema de la celda electroquímica para la técnica DL-EPR y EPR.

Se utilizó un potenciostato marca SOLARTRON modelo SI1280B, y para el análisis de datos se ocupó el software CorrView2. Después de cada prueba se observó y analizó por microscopia electrónica de barrido las probetas ensayadas, en un equipo marca JEOL JSM6400.

La segunda técnica fue la de resistencia a la polarización REP la cual se utilizó para determinar el potencial de picado y el rango de pasivación de cada condición. En esta técnica también se realizó un seguimiento de potencial vs tiempo, antes de cada prueba con el fin de estabilizar el E_{corr} . Las pruebas se corrieron con un sobrepotencial catódico $\eta_c = -500$ mV vs PCA (potencial de circuito abierto) y un sobrepotencial anódico $\eta_a = 800$ mV vs PCA en una solución con 3.5M de NaCl a una velocidad de 1mV/s. El arreglo de la celda fue similar al de la técnica DL-EPR.

La tercera técnica utilizada fue la de polarización potenciostática la cual determina la temperatura crítica de picado, se usa un potencial del rango de pasivación y a determinado tiempo-temperatura se ocasiona la picadura, se configuró con un incremento gradual de temperatura a una velocidad constante de 1°C/min en una solución salina con 3.5M de NaCl para analizar la resistencia a la corrosión por picadura. La prueba se corrió con un $\eta_a = 50$ mV vs ECS a una velocidad de calentamiento de 1°C/min, iniciando con una temperatura de 12°C hasta alcanzar un valor igual o mayor a 100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ y se mantuvo en esos valores durante 60 s o más. Las condiciones se siguieron tomando en cuenta la norma ASTM-G150-99. Se implementó el arreglo de la celda electroquímica dentro de un baño maría y para controlar

la velocidad de calentamiento se utilizó una placa calentadora la cual incluye un agitador magnético para distribuir uniformemente la temperatura como se ilustra en la figura 8.

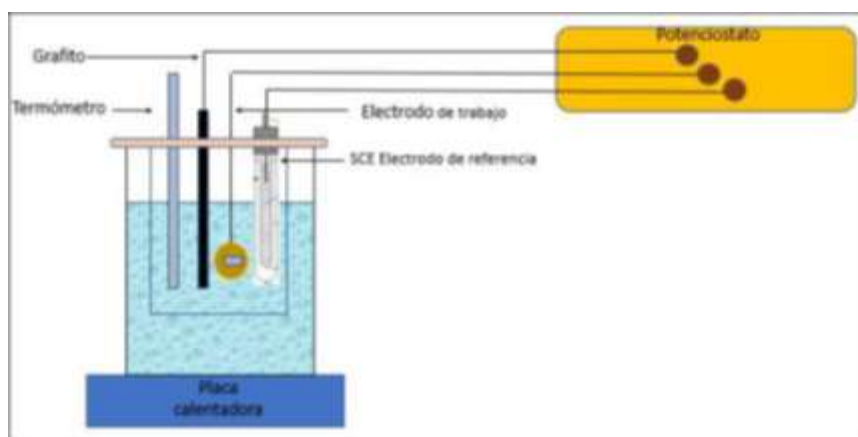


Figura 8. - Arreglo de la celda electroquímica para la técnica TCP

Discusión y contexto

En la figura 9, se muestra la microestructura del acero inoxidable austenítico AISI 321 tal como se recibió del fabricante, donde se puede observar la única fase presente que es la austenita, así como la presencia de maclas mC, ferrita delta δ y algún nitruro de titanio TiN, en la probeta tratada térmicamente y 80 h de permanencia.

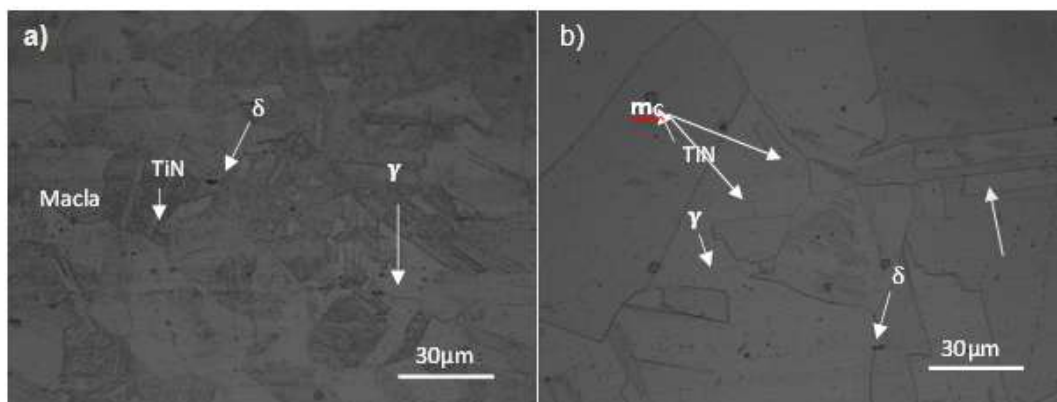


Figura 9. muestra la microestructura del acero inoxidable austenítico AISI 321, a) metal base y b) metal Base tratado térmicamente y 80 h de permanencia.

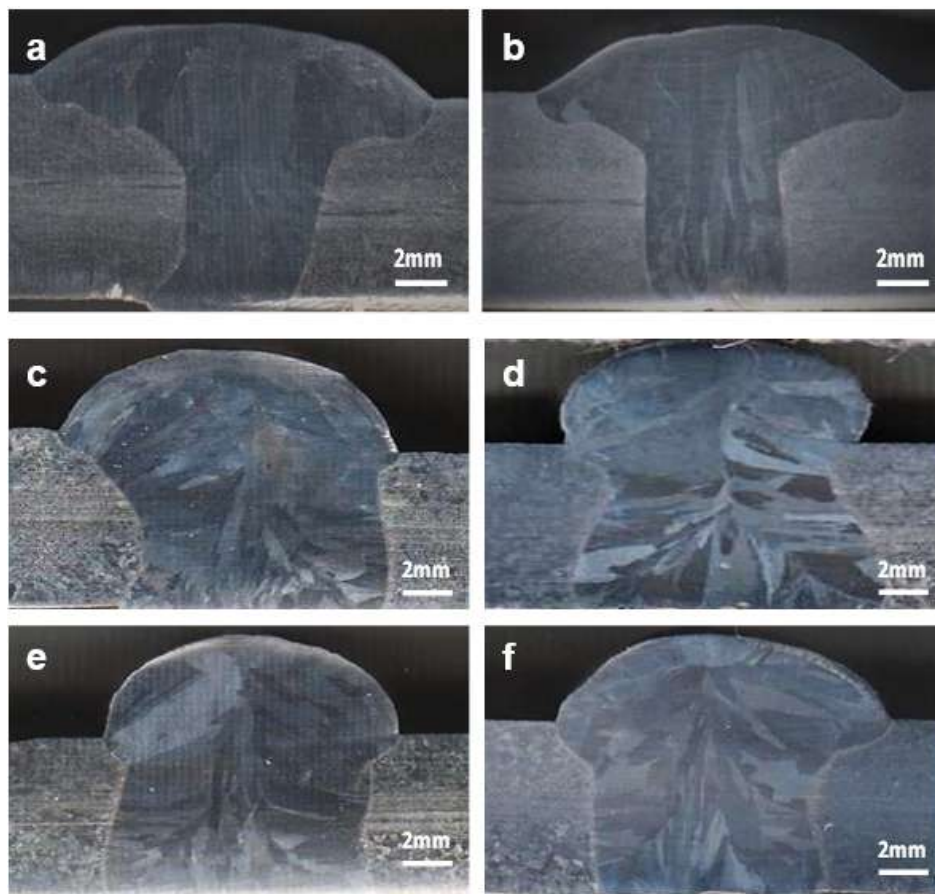


Figura 10. Ilustra los perfiles de soldadura para las tres condiciones diferentes a) soldadura normal 2 mm de talón, b) soldadura normal 4 mm de talón, c) soldadura con 1 mT, y 2 mm de talón y 40 h de permanencia a 650°C, d) soldadura con 2mT, y con 4 mm de talón y 40 h de permanencia a 650°C, e) soldadura con 2mT, 2 mm de talón y 80 h de permanencia a 650°C y f) soldadura con 2mT y 4 mm de talón y 80 h de permanencia a 650°C.

Por otra parte, la figura 10, muestra los perfiles de las diferentes soldaduras obtenidas en el presente trabajo de investigación donde las figuras 10 a y b, corresponden a las soldaduras del material base con 2 y 4 mm de talo del diseño de la unión respectiva mente, donde se puede apreciar la diferencia de una mejor uniformidad en la figura 10b correspondiente al diseño de unión de 4 mm de talón, con respecto al diseño de unión para un talón de 2 mm. Así mismo en los perfiles correspondientes para las soldadura con tratamiento previo de envejecimiento a 650°C y 40 h con 2 y 4 mm de talo, por otra parte en las figura 10 c y d, se observa un mayor ancho y sobre monta en la figura 10 d correspondiente al diseño con 4 mm de talón respecto de la figura 10 c correspondiente al diseño de 2 mm de taló, de forma similar para los perfiles de las soldaduras correspondientes al tratamiento térmico con 80h de permanencia tienen un comportamiento similar en función del talón de 2 y 4 mm, lo cual se atribuye a que como estuvieron sujetas a tratamiento térmico a la temperatura de 650°C, lo que hace que sea más fácil fundir el material respecto a las soldaduras correspondientes al material base sin el tratamiento térmico antes de la soldadura. Por otra parte, en las macrografías de las soldaduras con tratamiento térmico previo a la soldadura se puede observar la macro estructura de los granos columnares, los cuales parten del material base hacia el centro del cordón de soldadura, como se observa en las figuras 10 c, d, e y f.

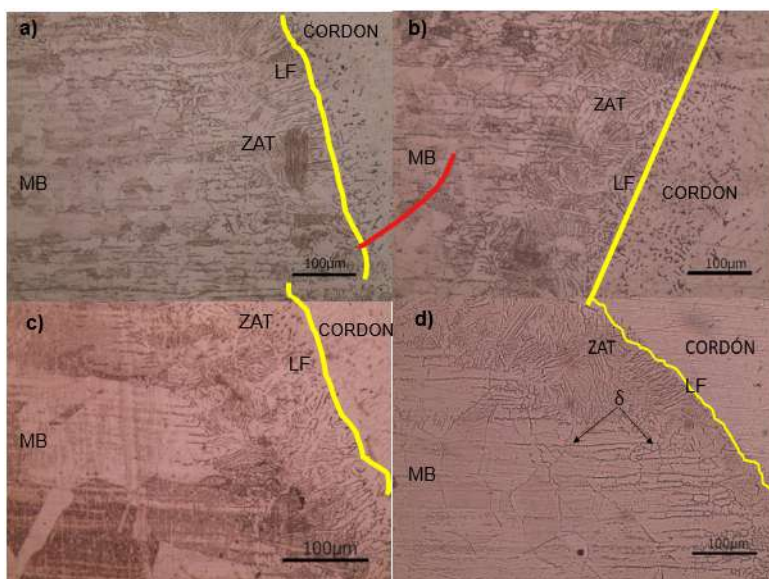


Figura 11. Ilustra las interfaces de los cordones de soldadura, a) metal base como se recibió y 2 mm de talón, b) metal base y 4 mm de talón, metal tratado térmicamente con 80 h de permanencia previo a la soldadura y 2 mm de talón y 2 mT y d) metal tratado térmicamente con 80 h de permanencia previo a la soldadura y 4 mm de talón y 2 mT.

De forma similar la figura 11, muestra la interfase de las soldaduras del material base como se recibió en sus dos diseños de unión con 2 y 4 mm de talón respectivamente, y las dos soldadura tratadas térmicamente a 650°C previamente y un tiempo de permanencia a 80 h, también en sus dos diseños de unión con 2 y 4 mm respectivamente y campo magnético de 2 mT, en donde se puede apreciar que la microestructura de la zona afectada térmicamente va cambiando a medida que va incrementando el tiempo de permanencia del tratamiento y la aplicación de la interacción electromagnética durante la soldadura, pero lo más importante es la precipitación de los carburos de cromo que no se pueden apreciar fácilmente con estos aumentos, pero que el ensayo electroquímico mediante la técnica del ensayo potencio dinámico si se podrá observar la gran diferencia que se presenta en cuanto al material base tal como se recibió y el tratado térmicamente, así como al ser soldados con y sin interacción electromagnética de baja intensidad.

En la figura 12, se muestran las curvas potencio-dinámicas de doble ciclo, las cuales fueron trazadas en un potencioestado el cual cuenta con un software donde se programa a partir del potencial catódico de -0.6 voltios y hasta el potencial de pasivación anódico de 0.2 voltios se realizó el barrido de un mV/s el trazado de las curvas de doble ciclo y mediante la relación $I_r/I_a = GDS$, se determina el grado de sensibilidad a la corrosión intergranular si el factor es mayor a 0.02, de donde se puede deducir que el material base tiene buen grado de resistencia a este tipo de corrosión intergranular, ya que tiene un factor de GDS de 0.000989, en el medio especificado en el desarrollo experimental, mientras que ya tratado térmicamente el grado de susceptibilidad es grande con valores de 0.0633 y 0.081 respectivamente para 40 y 80 h de permanencia a la temperatura de 650°C.

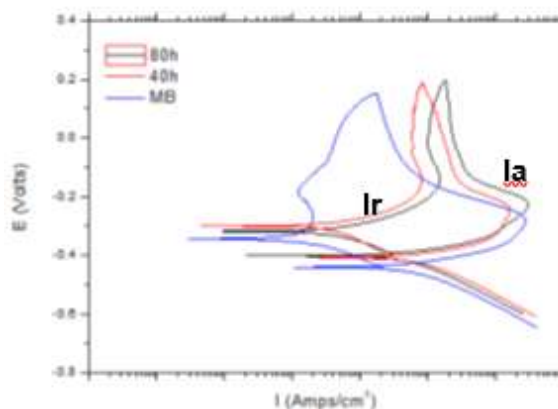


Figura 12. Muestra las curvas potencio-dinámicas de doble ciclo del material base y del tratamiento térmico con tiempos de permanencia de 40 y 80 h, a 650°C.

Por otra parte la figura 13 a, muestra el concentrado del trazado de las curvas potencio-dinámicas de doble ciclo desde el material base tal como se recibió hasta las soldaduras sin interacción electromagnética y con interacción electromagnética de baja intensidad, en sus dos alternativas de diseño de la unión con talón de 2 y 4 mm respectivamente, y la figura 13b muestra el valor de la relación de I_r/I_a para cada caso, observándose el valor correspondiente de dicha relación, donde se puede apreciar que el material base tal como se recibió tiene el mejor comportamiento respecto a todas las condiciones, lo que quiere decir que es el que tiene la mayor resistencia a la corrosión, así como también la ZAT del metal base soldado sin campo magnético con talón de 2 mm, la cual se equipara con la ZAT de la soldadura del material soldado con campo magnético de 2mT, tratado térmicamente a 650°C y un tiempo de permanencia a 80h y talón de 4 mm, seguido del diseño con talón de 2mm, respectivamente.

Por otra parte, el metal base tratado térmicamente a 650°C y 80 h de permanencia es el que presenta la susceptibilidad a la corrosión intergranular mayor, seguido de la ZAT con 40 y 80 h de permanencia previo a la soldadura sin campo magnético con talón de 2 y 4 mm, respectivamente.

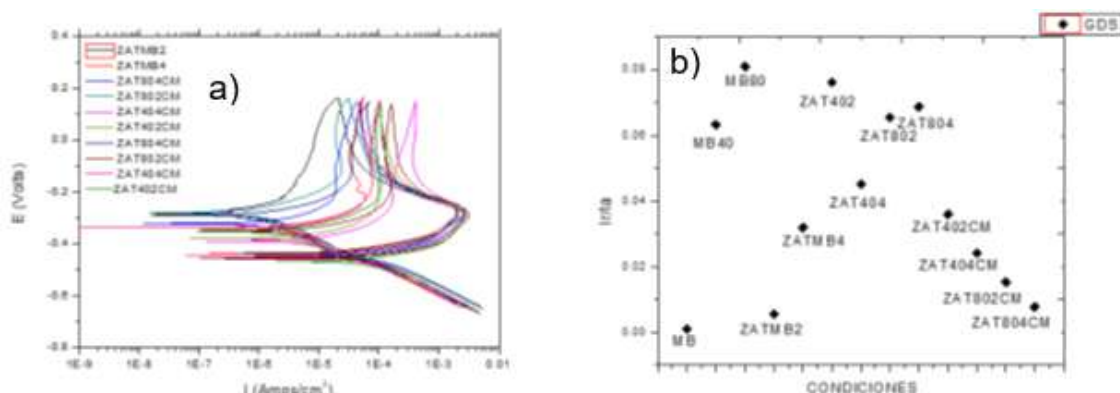


Figura 13. Muestra las curvas potencio-dinámicas de todas las condiciones usadas en este proyecto de investigación a), b) ilustra los valores de las relaciones I_r/I_a de cada una de las condiciones correspondientes.

La figura 14 muestra la superficie del acero 321 tratado térmicamente a 650°C previo a la soldadura y 80 h de permanencia y soldado sin campo magnético figura 14a, donde se observa la gran afectación de la corrosión localizada, mientras que la figura 14b, muestra la superficie del mismo acero con el mismo tratamiento y el mismo tiempo de permanencia, pero soldado aplicándole 2mT durante la soldadura, pudiéndose observar que la susceptibilidad a la corrosión localizada disminuye bastante. Esto es debido al efecto que causa la interacción electromagnética de baja intensidad, en restablecer las zonas empobrecidas de cromo alrededor de la precipitación de los carburos de cromo debido al tratamiento térmico de envejecimiento y al ciclo térmico de soldadura. de manera similar la figura 15 ilustra el espectrograma del carburo señalado con el numero 1 en la figura. 14a, comprobando que es un carburo de Cr₂₃C₆ la presencia del cromo y carbono en el análisis químico realizado en forma puntual corresponde a dicho carburo.

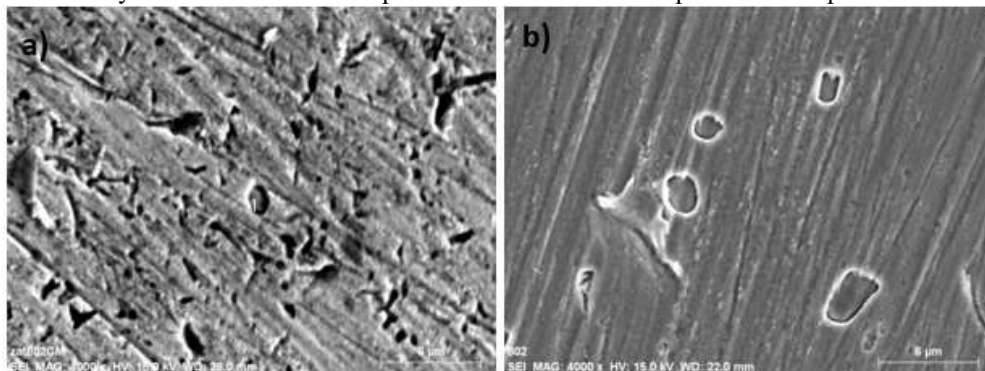


Figura 14. Ilustra la superficie del acero 321 tratado térmicamente a 650°C antes de la soldadura, y tiempo de permanencia a 80h a) soldado sin campo magnético y b) soldado con 2mT.

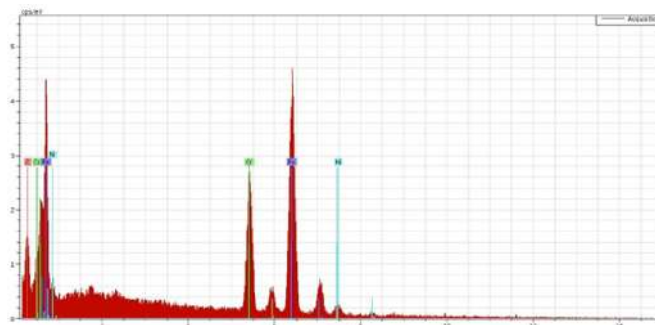


Figura 15. Muestra el espectrograma del carburo de cromo de la figura 14a.

Por otra parte los resultados obtenidos de la evaluación de la resistencia a la corrosión por picaduras se ilustra en las figuras 16 a y b, correspondientes a la técnica de resistencia electroquímica a la polarización (REP) en donde podemos ver las curvas potenciodinámica del MB de llegada y el tratado térmicamente a 650°C y 40 y 80 h de permanencia figura 16a, donde se puede observar claramente que el MB de llegada tiene un potencial de corrosión más negativo que los tratados térmicamente a 40 y 80 h de permanencia a la temperatura de tratamiento térmico de envejecimiento, mientras que la figura 16b, muestra este tipo de comportamiento de todas las condiciones del acero soldado en las ZAT con y sin tratamiento térmico, así como con y sin la aplicación de campo magnético durante la soldadura.

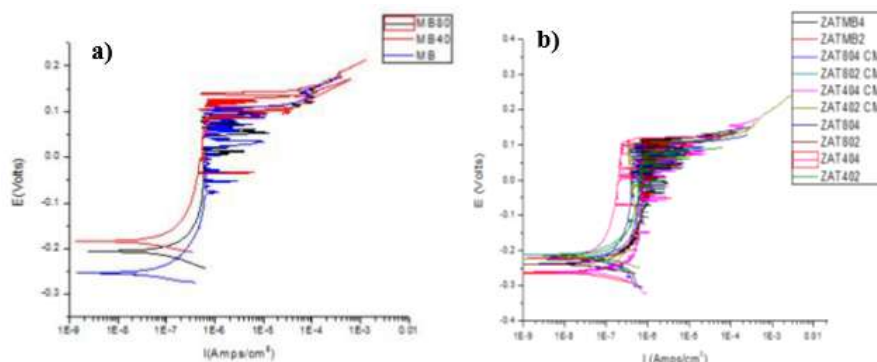


Figura 16. Muestra las curvas de polarización a) del MB TT con 40 y 80 h de permanencia y b) de todas las ZAT de las uniones realizadas en este trabajo realizado.

De forma similar se puede observar que lo ya reportado por M.B.Levan and R.Tisu [1], quienes han reportado que el nitruro de titanio actúa como un cerámico creando un par galvánico entre el y el material que lo rodea propiciando la corrosión por picadura, como se ilustra en la figura 17a, y la figura 17b, muestra el microanálisis químico del nitruro. En cuanto a los valores de la temperatura crítica de picado, la figura 18, ilustra que el material base y las ZAT con 40 y 80 h de permanencia a 650°C en el tratamiento previo a la soldadura y con campo magnético aplicado durante la soldadura son las probetas que tienen mayor temperatura crítica de picado.

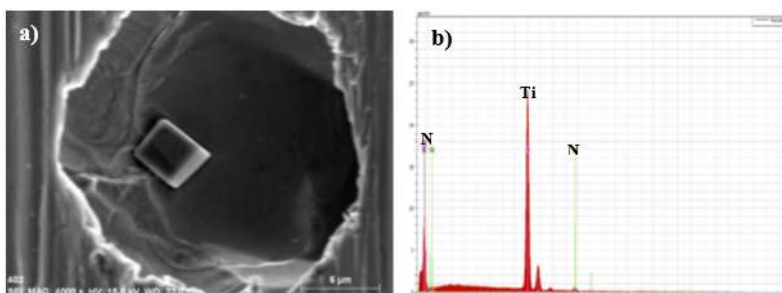


Figura 17. Muestra la picadura ocasionada por el TiN a) y b) el espectrograma de la composición química

Mientras que las probetas que menor temperatura crítica de picado son: el material base tratado térmicamente a 40 y 80 h, así como también las ZAT de estos mismos materiales sin aplicación de campo magnético, lo que significa que la aplicación del campo magnético de baja intensidad durante la soldadura, también ayuda a que la capa de óxido formada durante la pasividad sea más resistente y soporte una mayor temperatura crítica de picado o rompimiento en los ensayos potencio-dinámicos a temperatura.

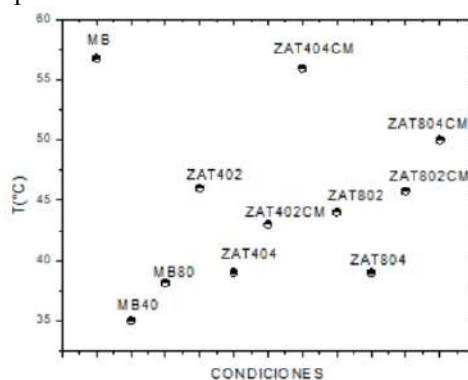


Figura 18. ilustra los valores de la temperatura crítica de picado de las diez condiciones realizadas en este proyecto.

Conclusiones

Una vez analizados y discutidos los resultados del presente trabajo podemos concluir lo siguiente: La aplicación de la interacción electromagnética de baja intensidad aplicada durante la soldadura del acero inoxidable austenítico AISI 321, da como resultado una disminución importante en la susceptibilidad a la corrosión intergranular en la ZAT del acero sensibilizado por medio del restablecimiento de las zonas empobrecidas alrededor de los carburos precipitados por el tratamiento térmico de envejecimiento a la temperatura de 650°C, con tiempos de duración de 40 y 80 h de permanencia a dicha temperatura. De forma similar favorece el incremento de la temperatura crítica de picado debido al fortalecimiento de la película de óxido formada durante el estado pasivo del acero en la solución de 3.5 Molar de NaCl, disuelto en agua destilada, tal como se muestran los valores en la figura 18.

Bibliografía

- R. C. De Sousa, J. C. Cardoso Filho, A. A. Tanaka, A. C. S. De Oliveira, W. E. I. Ferreira. Effects of solution heat treatment on grain growth and degree of sensitization of AISI 321 austenitic stainless steel, *J Mater Sci* 41 (2006) 2381–2386.
- M.B.Levan and R.Tisu, The effect of TiN inclusions and deformation-induced martensite on the corrosion properties of AISI 321 stainless steel, *Engineering Failure Analysis* 33 (2013) 430–438.
- M. J. G. Silva, A. A. Souza, A. V. C. Sobral, P. de Lima-Neto, Microstructural and electrochemical characterization of the low temperature sensitization of AISI 321 stainless steel tube used in petroleum refining plants, *Journal of Materials Science* 38 (2003) 1007 – 1011.
- A. S. Lima, A. M. Nascimento, H. F. G. Abreu, P. de Lima-Neto, Sensitization evaluation of the austenitic stainless steel AISI 304L, 316L, 321 and 347.
- Y.Y. Chen, Y.M. Liou, H.C. Shih, Stress corrosion cracking of type 321 stainless steels in simulated petrochemical process environments containing hydrogen sulfide and chloride, *Materials Science and Engineering A* 407 (2005) 114–126.
- E. A. Martinez, Las técnicas electroquímicas aplicadas al estudio de la corrosión en la industria nuclear [en línea]. Disponible en: <http://depa.fquim.unam.mx/labcorr/libro/Sensibilizacion.pdf>. 2002.

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Dianely Yazuri Chulim Tec¹, Alberto Yeladaqui Tello²,
Danna Lizeth Trejo Arroyo³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 27/06/2019 Aceptado: 17/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen

En esta investigación fue evaluado el efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) proveniente del Ingenio Azucarero San Rafael de Pucté, perteneciente al estado de Quintana Roo como material alternativo del Cemento Portland para un concreto con una relación agua/cemento de 0.5. La CBCA fue caracterizada mediante Difracción de Rayos X (DRX), Fluorescencia de Rayos X (XRF) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB-EDS). Para los concretos adicionados con CBCA se seleccionó un tamaño de partícula de 0.058 mm y se realizaron ensayos de resistencia mecánica a la compresión y caracterización física (absorción, porosidad y volumen de vacíos). Se elaboraron muestras de concreto convencional (de referencia) y con sustitución parcial de CBCA del 10% en peso de cemento. Se comprueba que las características de la ceniza de bagazo de caña (composición química, morfología y tamaño de partícula) son determinantes para el adecuado desempeño de la sustitución de ésta en el concreto.

Palabras clave: Ceniza de bagazo de Caña, materiales alternativos, puzolanidad.

Abstract: In this research, the effect of sugarcane bagasse ash (CBCA) from the San Rafael de Pucté Sugar Mill was evaluated, belonging to the state of Quintana Roo as an alternative material of Portland Cement for concrete with a water / cement ratio of 0.5. CBCA was characterized by X-ray Diffraction (DRX), X-ray Fluorescence (XRF) and Scanning Electron Microscopy (MEB-EDS). For concrete added with CBCA a particle size of 0.058 mm was selected and tests of mechanical resistance to compression and physical characterization (absorption, porosity and void volume) were performed. Samples of conventional concrete (reference) and with partial replacement of CBCA of 10% by weight of cement were made. It is verified that the characteristics of the cane bagasse ash (chemical composition, morphology and particle size) are determinants for the performance of its replacement in concrete.

Keywords: Sugar Cane Bagasse Ash, Alternative Materials, Pozzolanity.

Introducción

El cemento es el material de mayor uso en la construcción y desarrollo de infraestructura. Se considera un material de construcción durable. Sin embargo, el proceso de fabricación del cemento se ha convertido en una preocupación en el ámbito ambiental, ya que las industrias del cemento son responsables de alrededor del 8% del total de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, según el centro de estudios británico Chatham House. Por lo que el uso de materiales alternativos que permitan el reemplazo de cemento en el concreto, es uno de los temas de mayor estudio en la actualidad. Uno de los materiales que ha demostrado poseer características puzolánicas propias de los cementantes es la ceniza de bagazo de caña (CBCA).

El bagazo de caña de azúcar es un subproducto que se genera después de la extracción de jugo de la caña de azúcar. La ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) se adquiere mediante la quema controlada del bagazo de caña de azúcar que se realiza en calderas como parte del proceso de producción. Sin embargo, para su aplicación efectiva en mortero y concreto requiere primero el uso controlado de la clasificación por tamaño de partícula para permitirle lograr la finura y homogeneidad que se requieren para cumplir con los estándares (Cordeiro, 2009). Los resultados obtenidos por diferentes investigadores muestran que la actividad puzolana del CBCA depende significativamente de su tamaño de partículas y finura. Por otro lado, el porcentaje de sustitución permisible de CBCA es posible hasta en un 20%, sin embargo, Cordeiro et. al (2010) encontraron que el porcentaje óptimo de sustitución es del 10%.

¹ Dianely Yazuri Chulim Tec. Alumna de la Maestría en Construcción. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal. m10390111@itchetumal.edu.mx (**Autor correspondiente**)

² Alberto Yeladaqui Tello. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

³ Danna Lizeth Trejo Arroyo. Cátedra Conacyt - Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar, como caso particular, la CBCA proveniente del Ingenio Azucarero “San Rafael de Pucté” como material cementante sustituto del cemento. Para ello, se elaborarán muestras de concreto con relación agua/cemento de 0.5, reemplazando el 10% de CBCA por cemento, utilizando 3 diferentes tamaños de partícula de CBCA. Las pruebas a realizar son: resistencia mecánica a la compresión (ASTM C-39), así como el ensayo para determinar la porosidad, densidad y absorción del concreto (ASTM C-642).

Materiales

Material utilizado para la investigación

Cemento

Para la elaboración de los especímenes se seleccionó el Cemento Portland Compuesto (CPC-30R) el cual cumple con la norma NMX-C-414-ONNCCE aplicable al país.

Agregado Fino

El agregado fino utilizado proviene de piedra caliza triturada de la región, adquirida con proveedores locales. Para determinar si el material es adecuado para uso ingenieril, se realizó la caracterización del agregado fino siguiendo el procedimiento indicado en la norma ASTM C-33, que incluye las siguientes pruebas: análisis granulométrico, peso volumétrico seco y suelto, peso volumétrico seco y compacto, porcentaje de absorción y contenido de humedad. Asimismo se llevó a cabo el proceso establecido en la norma ASTM C-125 para determinar el módulo de finura. Todos estos valores son necesarios para realizar el diseño de mezcla de acuerdo al método establecido por el Instituto Americano del Concreto (ACI-211.1). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del agregado fino utilizado

Característica	Valor
Tamaño máximo del agregado	4.75 mm
Peso Volumétrico Seco Suelto	1518 kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Compactado	1707 kg/m ³
Módulo de Finura	2.94
Contenido de Humedad (%)	0.30%
Porcentaje de Absorción	6.40%
Densidad Relativa	2.43 kg/l

Agregado Grueso

Para determinar las propiedades del agregado grueso utilizado se realizaron las siguientes pruebas: análisis granulométrico, peso volumétrico seco suelto y seco compactado (PVSS y PVSC), absorción, contenido de humedad, densidad relativa y el ensayo de desgaste de los Ángeles, de acuerdo a las normas ASTM C-33, ASTM C-29, ASTM C-127 y ASTM C-131 respectivamente. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades del agregado grueso utilizado

Característica	Valor
Tamaño máximo del agregado	1/2" (19.6 mm)
Peso Volumétrico Seco Suelto	1357 kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Compactado	1408 kg/m ³
Contenido de Humedad (%)	2.1%
Porcentaje de Absorción	6.7%
Densidad Relativa	2.52 kg/l
% de desgaste de los Ángeles	33.60%

Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).

La ceniza de bagazo de caña utilizada proviene del Ingenio Azucarero “San Rafael de Pucté”, producto de la calcinación del bagazo de caña a una temperatura promedio de 650 °C.

Clasificación de la ceniza de bagazo de caña por tamaño de partícula

Para su uso como material sustituto del cemento, se realizó un tamizado previo por una malla equivalente al tamiz No. 10, con la finalidad de eliminar los residuos orgánicos como el bagazo. Posteriormente, el material tamizado fue clasificado por tamaño de partícula utilizando tamices No. 80, No. 100, No.200 y No. 250.

Para ello, por cada muestra de 500 g de CBCA, con ayuda del agitador mecánico de tamices y lapsos de agitación de 15 minutos, se clasificó la CBCA en 3 diferentes tamaños de partícula: lo retenido en la malla No. 200 (0.075 mm), lo retenido en la malla No. 250 (0.058 mm) y lo que pasa la malla No. 250 y se retiene en la charola (TP>NO. 250).

Caracterización de la ceniza de bagazo de caña

La CBCA fue caracterizada mediante Difracción de Rayos X (DRX), Fluorescencia de Rayos X (XRF) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB-EDS). La difracción de rayos X realizada muestra los picos de los componentes minerales que contiene la CBCA. En la Figura 1 se muestra la gráfica obtenida de la DRX.

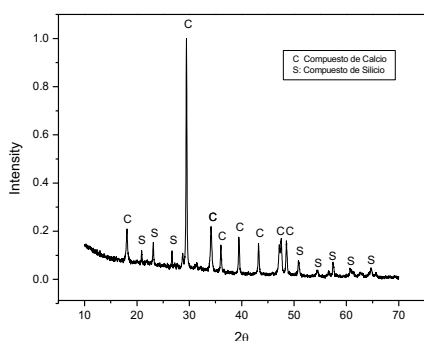


Figura 1. Difractograma de la muestra de CBCA

Tabla 3. Composición química de la CBCA mediante fluorescencia de rayos X

No.	Compuesto	Porcentaje (%)		
		Idris et al. (2015)	Jiménez-Quero (2018)	Muestra analizada
1	SiO ₂	65	59.56	10.83
2	Al ₂ O ₃	3.95	13.62	0.68
3	Fe ₂ O ₃	9.17	5.52	7.79
4	CaO	12.6	2.36	76.58
5	MgO	0.6	4.82	0.10
6	SO ₃	0.1	---	0.30
7	K ₂ O	---	4	2.05
8	TiO ₂	---	---	0.60
9	Na ₂ O	---	0.94	---
10	Pérdidas por ignición	8.58	9.18	1.08

Para conocer la composición química de la ceniza a utilizar, se analizó una muestra mediante Fluorescencia de Rayos X (XRF), el cual dió resultados similares a Idris et al. (2015) y Jiménez-Quero (2018). La Tabla 3 muestra una comparativa de la composición típica de la CBCA, así como el resultado obtenido de la muestra analizada.

La información relacionada con la morfología se obtuvo mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Dicho análisis muestra que la CBCA presenta tamaños y formas variables (Figura 2), lo cual coincide con Sajjad (2017) añadiendo que la morfología de la CBCA puede clasificarse en 3 tipos: prismáticas, esféricas y fibrosas.

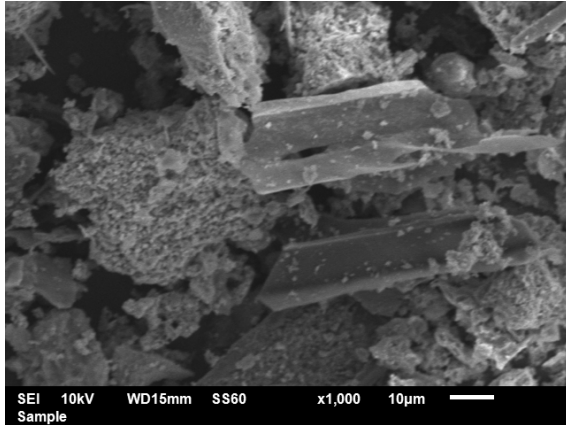


Figura 2. Morfología de la muestra de CBCA mediante MEB.

Agua

Se utilizó agua potable, accesible dentro del laboratorio para el mezclado y curado de cilindros de concreto.

Metodología

Diseño de mezclas

Para la fabricación de especímenes, se obtuvieron muestras de 4 diferentes tipos de mezcla: una de concreto convencional que serán las de referencia, y tres más donde se sustituya el 10% de cemento en peso por ceniza de bagazo de caña. A su vez, se emplearán 3 diferentes tamaños de partículas, es decir, el material retenido en la malla No.200 (C-CBCA-A), la malla No.250 (C-CBCA-B) y lo que pasa la malla No. 250 (C-CBCA-C). El diseño de mezcla se realizó de acuerdo al procedimiento del Instituto Americano del Concreto (ACI-211.1). La tabla 4 muestra las diferentes proporciones de los materiales para elaborar 1 m³ de concreto a una relación agua/cemento de 0.5.

Tabla 4. Diseño de mezclas (Kg/m³)

Mezcla	Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	CBCA	Agua
Concreto Normal (Referencia)	410	642.3	876	N/A	270
Concreto CBCA-A (No. 200)	369	642.3	876	41	270
Concreto CBCA-B (No. 250)	369	642.3	876	41	270
Concreto CBCA-C (TP>No. 250)	369	642.3	876	41	270

Elaboración de muestras.

Para la prueba de resistencia mecánica a la compresión, se elaboraron muestras de concreto de acuerdo a la norma ASTM C-39, es decir, 5 especímenes cilíndricos de 30 cm. de altura y 15 cm de diámetro por cada tipo de mezcla, haciendo un total de 20 muestras.

Para la prueba de porosidad, densidad y absorción, se elaboraron muestras cilíndricas de 5 cm de altura y 10 cm de diámetro, en cumplimiento de la norma ASTM C-642. Por cada prueba, se requieren 5 especímenes, que se replicarán por cada tipo de mezcla. Lo cual hace un total de 60 muestras.

Curado de muestras

Posterior a la elaboración de muestras, se curaron en agua por un periodo de 28 días para que adquiriera su resistencia final y así se pudieran realizar las pruebas físico-mecánicas.

Pruebas físico-mecánicas.

Para la realización de las pruebas se dividió en dos etapas:

- Pruebas al concreto en estado fresco, que incluye los siguientes ensayos: revenimiento, peso volumétrico, contenido de aire y temperatura.
- Pruebas al concreto en estado endurecido, después del periodo de curado se procede a realizar las pruebas físico-mecánicas. Para ello se realizó el procedimiento establecido en la norma ASTM C-39 para determinar la resistencia mecánica, y la norma ASTM C-642 para calcular la porosidad, densidad y absorción de las muestras de concreto.

Resultados

Los resultados obtenidos en las pruebas al concreto en estado fresco, se resumen en la Tabla 5. Se realizaron las operaciones correspondientes para obtener el valor de la resistencia para cada tipo de mezcla (ver Tabla 6). Con respecto a las pruebas de porosidad, densidad y absorción, los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 5. Resultados de las pruebas al concreto en estado fresco

Mezcla	Pruebas			
	Revenimiento (cm)	Peso Volumétrico (kg/m ³)	Contenido de aire (%)	Temperatura (°C)
Concreto Normal (Referencia)	9.4	2274	4	29
Concreto CBCA-A (No. 200)	9.6	2342	3.5	29.5
Concreto CBCA-B (No. 250)	9.8	2355	3.4	30.5
Concreto CBCA-C (TP>No. 250)	10	2346	2.9	30.6

Tabla 6. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días

Tipo de Mezcla	Resistencia (kg/cm ²)
Concreto Normal (Referencia)	304
Concreto CBCA-A (No. 200)	291
Concreto CBCA-B (No. 250)	294
Concreto CBCA-C (TP>No. 250)	300

Tabla 7. Resultados de la prueba de porosidad, densidad y absorción del concreto

Mezcla	Pruebas		
	Porosidad (%)	Densidad (%)	Absorción (%)
Concreto Normal (Referencia)	11.6	1.7	7.3
Concreto CBCA-A (No. 200)	15.1	2.2	7.4
Concreto CBCA-B (No. 250)	15	2.2	7
Concreto CBCA-C (TP>No. 250)	14.4	2.3	6.9

Discusión

Los resultados de las pruebas al concreto en estado fresco, muestran que el concreto elaborado con CBCA y el concreto de referencia son concretos trabajables ya que el revenimiento esperado de acuerdo al diseño de mezclas es de 7.5 a 10 cm, por lo que los resultados obtenidos quedan dentro del rango. Los resultados en contenido de aire, temperatura y peso volumétrico fueron similares en las 4 mezclas elaboradas.

Respecto a las propiedades mecánicas, los resultados muestran que el concreto elaborado con una sustitución del 10% de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) por cemento, en cuanto a resistencia mecánica, presenta un comportamiento similar al concreto de referencia, teniendo una diferencia o variación del 3%, lo cual es permisible ya que queda dentro de la tolerancia en resultados de acuerdo a la norma ASTM C-39. Con respecto a la porosidad, el concreto de referencia presenta menos poros que las muestras que contienen CBCA, con una diferencia del 2.8%. Se observa que la mezcla elaborada con CBCA-C que es la de menor tamaño de partícula de las 3, presenta mayor densidad que la mezcla de control. En términos de absorción, las 4 mezclas presentan un comportamiento similar, en donde el concreto de referencia presenta un mayor porcentaje de absorción que las mezclas elaboradas con CBCA, teniendo una variación promedio de $\pm 2\%$.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se demuestra que el uso de la CBCA proveniente del Ingenio Azucarero “San Rafael de Pucté”, como material alternativo al cemento es viable ya que se obtienen resultados similares al concreto convencional, y que el tamaño de partícula es determinante para obtener concretos con mayor densidad, lo cual coincide con Bentur (1993) quien menciona que la adición de puzolana fina la mezcla mejorará significativamente en su densidad debido al efecto de micro-filling. Por lo que se sugiere un estudio donde se analicen partículas de menor tamaño y su influencia en la resistencia del concreto, así como la propuesta de diferentes porcentajes de sustitución de cemento por CBCA.

Bibliografía

- A. Goldman, Bentur. The influence of microfillers on enhancement of concrete strength, *Cement and Concrete Research*. 3 (4) (1993) 962–972
- Payá, J., Monzó, J., Borrachero, M. V., Díaz-Pinzón, L., & Ordóñez, L. M. (2002). Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 77(3), 321-325.
- Ganesan, K., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2007). Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement and concrete composites*, 29(6), 515-524.
- Srinivasan R and Sathiya K (2010) Experimental study on bagasse ash in concrete, *Int. J. for Serv. Learn. in Engineering* 5 60–66

- Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., & Fairbairn, E. D. M. R. (2010). Ultrafine sugar cane bagasse ash: high potential pozzolanic material for tropical countries. *Revista IBRACON de estruturas e materiais*, 3(1), 50-67.
- Hailu, B., & Dinku, A. (2012). Application of sugarcane bagasse ash as a partial cement replacement material. *Zede Journal*, 29(1), 1-12.
- Idris M K, Eldin K and Yassin E (2015). Determination of the effects of bagasse ash on the properties of portland cement, *Journal of Appl. and Industr. Sci.* 3 6–11
- Jayminkumar A P and Raijiwala D B (2015) Experimental studies on strength of RC concrete by partially replacing cement with sugar cane bagasse ash, *Int. J. of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 4 2228–2232
- Gar, P. S., Suresh, N., & Bindiganavile, V. (2017). Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 153, 929-936.
- Mangi, S. A., Jamaluddin, N., Ibrahim, M. H., Halid Abdullah, A., Awal, A. S. M., Sohu, S., & Ali, N. (2017, November). Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement. In *Materials Science and Engineering Conference Series* (Vol. 271, No. 1, p. 012001).
- Deepika, S., Anand, G., Bahrudeen, A., & Santhanam, M. (2017). Construction products with sugarcane bagasse ash binder. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(10), 04017189.
- Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A., & Murugesan, R. (2018). Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. *Construction and Building Materials*, 176, 608-617.

"VALIDACIÓN DE TEMPERATURA INTERIOR EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL DE TIPO AISLADO BAJO CONDICIONES DEL CLIMA TROPICAL"

R. Alexis Barrientos González*, Ricardo E. Vega Azamar, Danna L. Trejo Arroyo, Maritza Chan Juárez, José A. Domínguez Lepe
Instituto Tecnológico de Chetumal
*Contacto: ralbago7@gmail.com

RESUMEN

La expansión territorial producida en las últimas décadas ha generado como uno de los efectos ambientales más significativos la variación entre el clima urbano y suburbano, efecto que impacta la temperatura interior de las viviendas y deriva en el aumento del consumo eléctrico debido al uso de sistemas de enfriamiento. En la actualidad, los enfoques de modelos de simulación integral en edificios de vivienda se han enfocado en la validación energética y en menor medida optan por una validación térmica, la cual tiene como fin evaluar alternativas que aseguren el confort higrotérmico de los espacios. Para este trabajo fue ejecutada una evaluación de parámetros ambientales tanto en interior como en el exterior de dos casos de estudio en la ciudad de Chetumal, a través de un enfoque de simulación calibrada durante una semana representativa del periodo más cálido del año. La integración de la información recopilada y los datos de salida generados a nivel multizona, permitieron la reducción del rango de error en la temperatura interior bajo los índices NMBE entre el 7.10% y 0.74% y CV(RMSE) entre 16.72% y 2.62%, en los diferentes zonas que conforman las viviendas. Por último, la evaluación de consumo energético final presentó una diferencia del 33% para el modelo del Caso 1 y un 217% de diferencia en el Caso 2.

METODOLOGÍA

SELECCIÓN DE VIVIENDAS



ADQUISICIÓN DE DATOS AUDITADOS²

		ILUMINACIÓN				SISTEMA DE REFRIGERACIÓN			
ZONA	TIPO DE LUMINARIA	No. DE LUMINARIAS	POTENCIA W/m²	HORAS-USO SEMANA	POTENCIA A (kW)	Cap/EEB	CONSIGNA DE OPERACIÓN	HORAS-USO SEMANA	
CASA 1	SALA/COMEDOR	1	37.5	7	1.85	4.1	16	52	
	COCINA	1	7	7					
	BAÑO	1	7	7					
	RECÁMARA EXTERIOR	1	47	7					
CASA 2	COMEDOR/COCINA	1	84.5	14.5	1.2	3.52	23	64	
	BAÑO	2	88.5	14.5					
	RECÁMARA PRINCIPAL	1	79	7					
	RECÁMARA BODEGA EXTERIOR	2	3	3					

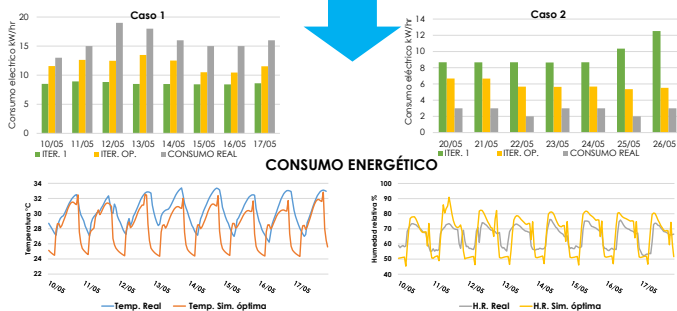
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO						CARACTERÍSTICAS DE ENVOLVENTE				EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO					
HABITANTES	FACHADA	SUPERFICIE M2	ALTURA	ESPACIOS	RELACIÓN VIDRIO/MURO %	SUELO	MURO	CUBIERTA	ACRISTALAMI ENTO/Valor U(W/m²K)	EQUIPOS ELECTRÓNICOS	CANT.	POTENCIA (W/hr)	HR/DIA (LUN-VIE)	HR/DIA (LUN-VIE)	
CASA 1	2	NORESTE	35.45	2.7	SAIA/COMEDOR	21.98	CAPA DE CONCRETO DE 10CM DE ESPESOR	BLOCK HUECO 15CM x 15CM MOBREDO ACABADO RUSTICO EN AMBOS LADOS	VIGUETA 30CM SIN CALCRETO Y APLANADO FINO INTERIOR	TINTEX 60MM	LICUADORA	1	400	0.083	0
					COCINA	15.68				REFRIGERADOR	1	100	0.5	0	
					RECÁMARA	M1=15.65				TELEVISIÓN 38"	1	235	18	18	
						M2=21.26				VIDEOPORTA	1	100	5	8	
						M2=21.26				COMPUTADORA PORTATIL	1	60	2	3	
BANO	7.66	CELULARES	2	5	6	6									
COMEDOR/COCINA	M1=22.5	N/A	0	0	0	0									
CASA 2	2	SUROESTE	42.5	2.75	COMEDOR/COCINA	21.98	CAPA DE CONCRETO DE 10CM DE ESPESOR	BLOCK HUECO 15CM x 15CM MOBREDO ACABADO RUSTICO EN AMBOS LADOS	VIGUETA 30CM SIN CALCRETO Y APLANADO FINO INTERIOR	CLARO 1.2MM	VENTILADOR DE PISO	1	70	1	2.5
					RECÁMARA PRINCIPAL	M1=15.62				REFRIGERADOR	1	250	16	16	
					M2=17.14	TELEVISIÓN 38"				1	55	4	8		
					M1=15.62	VIDEOPORTA				1	70	3	3		
					M2=17.14	COMPUTADORA PORTATIL				1	60	1	3		
RECÁMARA (BOSSA)	M1=15.62/18.64	FILTROSOL 4MM	PLANCHA	1	1400	0.25	0								
BANO	12.83	CELULARES	2	5	7	7									
SECADOR P/ CASERO	1	1860	0.16	0											
N/A	0	0	0	0											
N/A	0	0	0	0											
PROPIEDADES DE ACRISTALAMIENTO															
						VIDRIO CLARO 4MM	U (W/m²K)	3.200							
						TINTEX 6MM	U (W/m²K)	5.812							
						FILTROSOL 4MM	U (W/m²K)	6.508							

ÍNDICES DE EVALUACIÓN ASHRAE 14-2002 A NIVEL HORARIO⁴:
NMBE ≤10%, CV(RMSE) ≤30% Y R² ≥0.75

$$NMBE\% = \frac{1}{m_{avg}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n} \times 100 \quad CV(RMSE)\% = \frac{1}{m_{avg}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n}} \times 100$$

$$R^2 = \left(\frac{n \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot s_i - \sum_{i=1}^n m_i \cdot \sum_{i=1}^n s_i}{\sqrt{(n \cdot \sum_{i=1}^n m_i^2 - (\sum_{i=1}^n m_i)^2) \cdot (n \cdot \sum_{i=1}^n s_i^2 - (\sum_{i=1}^n s_i)^2)}} \right)^2$$

RESULTADOS DE ITERACIONES MANUALES: MODELOS VALIDADOS Y DATOS REALES



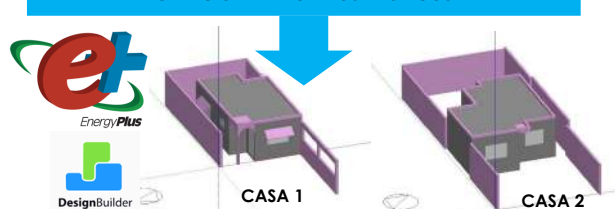
COMPARACIÓN DE DATOS REALES CON DATOS DE SALIDA EN LA RECÁMARA DEL CASO 1

		TEMPERATURA				HUMEDAD RELATIVA				
			R²	Media	NMBE%	CV(RMSE)%	R²	Media	NMBE%	CV(RMSE)%
CASA 1	Recámara	ITER. 1	0.25	26.11	16.03	18.17	0.41	60.85	7.26	13.25
		ITER. OPT.	0.37	28.29	7.10	16.72	0.68	66.52	-1.88	11.27
	Sala/comedor	ITER. 1	0.67	28.41	12.57	12.97	0.36	74.86	-6.79	10.70
		ITER. OPT.	0.68	31.76	0.68	2.62	0.64	65.85	5.96	7.44
CASA 2	Recámara pral.	ITER. 1	0.09	29.35	-5.01	13.77	0.60	63.86	-29.58	38.51
		ITER. OPT.	0.38	28.09	-0.74	11.01	0.50	69.20	-35.01	40.49
	Comedor/cocina	ITER. 1	0.54	31.16	5.73	6.95	0.40	64.27	-9.55	14.72
		ITER. OPT.	0.62	32.94	0.02	3.42	0.43	70.58	-8.94	13.24
CASA 2	Recámara/bodega	ITER. 1	0.47	30.27	7.92	8.70	0.43	73.14	-4.86	9.79
		ITER. OPT.	0.51	30.80	6.07	6.87	0.44	68.97	0.88	6.39

PARÁMETROS TÉRMICOS MULTIZONA

PROCESAMIENTO DE DATOS

CREACIÓN DE MODELOS TEÓRICOS



Herramientas de interfaz gráfica y cálculo desarrolladas por el Departamento de Energía de E.U.A. y con validez para la certificación de edificios verdes LEED³.

REGISTRO DE PARÁMETROS AMBIENTALES Y DE ENERGÍA



CONCLUSIONES

Mediante la reducción de incertidumbre en los parámetros de ocupación y clima, la validación manual de datos horarios se realizó mediante iteraciones ajustando los niveles de infiltración, así como la consigna de temperatura de aire acondicionado para cada zona de ambos casos estudiados. Utilizando tres diferentes valores de infiltración, se observó que se produce una afectación máxima del 7% en la temperatura interior frente al 21% de influencia en la humedad relativa. Por otro lado, el ajuste mas significativo en los resultados fue mediante los índices NMBE y CV(RMSE), mientras que la correlación (R²) arrojó en todos los casos una dependencia de tipo medio, rango inferior al establecido por los lineamientos de la ASHRAE 14-2002.

REFERENCIAS

- [1] Barrientos Gonzalez, R. A., Vega Azamar, R. E., Cruz Argüello, J., Oropeza García, N., Chan Juárez, M., & Trejo Arroyo, D. L. (2019). Indoor temperature validation of low-income detached dwellings under tropical weather conditions. *Climafe*, 1-14.
- [2] Hwa Cho (2019). Energy performance assessment according to data acquisition levels of existing buildings. *Energies*, 12(1149), 1-17
- [3] Crawley, D., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (2008). Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs. *Building and Environment*, 43, 661-673
- [4] ASHRAE Inc. (2002). *ASHRAE Guideline 14-2002: Measurement of Energy and Demand Savings*. Atlanta: ASHRAE.

DIALÉCTICA ENTRE LA VIVIENDA RURAL Y EL MEDIO AMBIENTE. QUINTANA ROO, MÉXICO

Clara Sugeydy Torres Uicab ¹

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 27/06/2019

Aceptado: 24/08/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen.- En este trabajo se dialoga sobre la incidencia de los factores ambientales en la configuración de la vivienda rural por medio de la identificación de las estrategias de adaptación al medio ambiente y recursos naturales disponibles. Se toma como ejemplo el caso de estudio en asentamientos rurales en Quintana Roo, consolidados a principios y mediados del siglo XX, después de la Guerra de Castas, suceso que trajo consigo, entre otros aspectos, poblamiento dirigido a través de procesos migratorios con grupos provenientes de diversas partes del país. La construcción metodológica tiene un diseño mixto, compuesto de entrevistas cualitativas semi-estructuradas, observación directa, levantamiento arquitectónico y fotográfico. Bajo el supuesto de que el medio ambiente condiciona a través de procesos de transferencia, adopción y adaptación, inmersos en el bucle del tiempo en la apropiación socio-física, la interrelación de factores resulta en múltiples soluciones de dispositivos de adecuación al medio.

Palabras clave: Vivienda, rural, medio ambiente.

DIALECTIC BETWEEN RURAL HOUSING AND THE ENVIRONMENT. QUINTANA ROO, MEXICO

Abstract.- This work deals with the incidence of environmental factors in the configuration of rural housing through the identification of adaptation strategies in the environment and the available natural resources. It is taken as a case study, rural settlements in Quintana Roo, consolidated at the beginning and middle of the 20th century, after the Caste War, fact that brought among other aspects, migration processes with groups coming from different parts of the country. The methodological construction has a mixed design, composed of semi-structured qualitative interviews, direct observation, architectural and photographic survey. Under the assumption that the environment conditions through the processes of transfer, adoption and adaptation, immersed in the loop of time in the sociophysical appropriation, the interrelation of the factors results in the multiple solutions of adaptation to the environment.

Keywords: Housing; rural; environment

Introducción

La forma de la vivienda responde a factores socioculturales y climatológicos (Rapoport, 1969). Existe una fuerte dicotomía cultura-natura, cuya influencia en mayor o menor medida permite la presencia de distintos elementos de adaptación en la vivienda.

En base a la relación vivienda-habitante-entorno, se realizó la revisión del estado del arte, en el cual se identificó que la vivienda rural ha sido estudiada desde diversas disciplinas: antropología (Falcone, 2013), biología (Jesús, 1988), economía ecológica (Moure, 2013), estadística (Zamudio, Soriano e Ibarra, 2012), filosofía (Ricoeur, 1985), geografía turística (Checa, 2012), y humana (Demangeon, 1963), psicología ambiental (Mercado, s/f), salud referente al entorno y ambiente (Valencia y Zeña, 2009), sociología (Baños, 2003) y, por supuesto, desde la arquitectura.

Referente al estado de Quintana Roo, destacan los estudios de Martín Checa Artasu (Checa, 2009, 2012 y 2013), quien ahonda en la vivienda patrimonial de madera de la ciudad de Chetumal, capital del estado de Quintana Roo. En su estudio destaca las influencias maya e inglesa y pone énfasis en las escasas investigaciones e interés local por la arquitectura de la entidad y su tipología.

Por otra parte, aunque no son investigaciones centradas específicamente en Quintana Roo, Sánchez (2006) es uno de los principales estudiosos y productores de conocimiento relativo a la vivienda maya. Así mismo, desde un enfoque social, Baños (2003) tiene publicaciones que abordan la vivienda maya y su hábitat.

¹ Clara Sugeydy Torres Uicab. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal. arq_touiclara@hotmail.com (**Autor correspondiente**)

Tomando como base las características térmicas de la casa maya, Fernández y Castro (1988) propusieron un nuevo sistema de construcción. En contraste, Jaime Iturbide llevó a cabo su investigación sobre viviendas de interés social plurifamiliar en Cancún, Quintana Roo. Finalmente, cabe mencionar el trabajo de investigación de Torres (2013), quien explora el panorama actual de la vivienda rural de Quintana Roo y propone una tipología constructiva y formal de esta vivienda.

Después de lo anterior, se puede observar que las investigaciones sobre la vivienda han favorecido la producción de conocimiento relacionado con temas descriptivos, aspectos estéticos-formales o constructivos. Respecto a la investigación en Quintana Roo, puede concluirse que aquellas que tratan a la vivienda rural de Quintana Roo como un todo son insuficientes. Lo anterior conlleva la necesidad y oportunidad de generar conocimiento sobre las formas de apropiación en la vivienda rural, cuya compleja estructura deriva en manifestaciones físicas y sociales.

De esta manera, hay que tomar en cuenta que en el reordenamiento territorial en Quintana Roo, los asentamientos humanos se consolidaron con la presencia de grupos de trabajadores migrantes, provenientes de diversas partes del país. Este aspecto marcó especificidades respecto a los asentamientos cuyos componentes están basados en una larga tradición y arraigo cultural, en los cuales el papel de la memoria colectiva y la tradición permean naturalmente de una generación a la otra.

Bajo esta premisa, la relación entre la vivienda y el medio ambiente se establece desde una perspectiva física de adecuación al medio natural junto con procesos de apropiación del espacio, entorno y cultura. La interrelación entre estos factores resulta en múltiples soluciones de la vivienda rural y, con ello, en heterogeneidad formal, espacial, constructiva y de dispositivos de adaptación al medio. De acuerdo con Rapoport (1969), la existencia de gran variedad en formas, en este caso de la vivienda, sugiere que no es el lugar, el clima o los materiales, los que determinan el modo de vida o hábitat; en este contexto, el vínculo que guarda con la cultura de los habitantes juega un papel definitivo en la configuración de la vivienda.

Dicho planteamiento surge de la concepción de la vivienda rural como un todo, y deriva en una propuesta de análisis enfocada en la apropiación socio-física. Al ser ésta consecuencia y causa, puede decirse que se encuentra inmersa en un bucle de adaptaciones y permanencias en el tiempo-espacio para mantener vigente la vivienda rural. Esta apropiación, a la vez, reutiliza elementos tradicionales y crea otros nuevos (Núñez, 2017); por lo tanto, podemos decir que la vivienda rural consiste en un sistema complejo interdependiente, donde cada parte funciona por separado y, al mismo tiempo, se relaciona con otras en el habitar diario.

Al formar parte del bucle de la apropiación socio-física, se plantea el cuestionamiento ¿En qué medida el medio ambiente condiciona la configuración de la vivienda rural?, el cual se resuelve bajo el supuesto de que el medio ambiente condiciona a través de procesos de transferencia, adopción y adaptación, inmersos en el bucle del tiempo en la apropiación socio-física, cuya interrelación de factores resulta en múltiples soluciones de dispositivos de adecuación al medio. Por lo cual, el objetivo particular es determinar la incidencia de los factores ambientales en la configuración de la vivienda rural a través de la identificación de las estrategias de adaptación al medio ambiente y recursos naturales disponibles. Por la extensión de esta comunicación, de la tipología de vivienda rural conformada por la vivienda con rasgos anglo-caribeños, vivienda maya, vivienda con reminiscencias de la yucateca colonial popular y vivienda industrializada, se limita al análisis del primer tipo mencionado.

Metodología: materiales y métodos

Para realizar este trabajo se recurrió al método de investigación mixto (cualitativo-cuantitativo); por ser un fenómeno que es causa y consecuencia, su observación se realiza a través del corte temporal longitudinal-transversal. Para la selección de los casos de estudio se llevó a cabo un análisis histórico-cartográfico en contraste con el archivo histórico de localidades del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Esto dio como resultado distintos asentamientos distribuidos al margen del Río Hondo y otros más internados en la selva, a través de recorridos de campo y de la selección no probabilística dirigida (Dodd y Epstein, 2012) se tienen como caso de estudio Vallehermoso y Chacchoben. Esto no significa que son las únicas posibilidades de estudio, pero son asentamientos que responden a la conformación durante principios y mediados del siglo XX, realizaron actividades forestales, fueron parte de las políticas de poblamiento de Quintana Roo y la arquitectura observada en tema de vivienda rural es heterogénea.

El instrumento incluyó cédulas de observación de campo para registrar las situaciones de manera sistemática, válida y confiable, por medio de categorías y subcategorías (Hernández, Fernández y Baptista, 2010) de los elementos materiales de la vivienda, la disposición y uso del espacio.

Para la categoría habitante fue necesario conocer el perfil tanto de la familia nuclear como de la ampliada, con las variables de rol familiar, escolaridad, ocupación, ingreso y lugar de nacimiento; para la familia ampliada había que registrar también su lugar de procedencia. Tales datos permitieron conocer el origen de las posibles influencias constructivas.

Las actividades cotidianas están relacionadas con la organización y vinculación de los espacios techados y al aire libre, los cuales constituyen un vínculo entre el habitante y la vivienda. De los espacios techados fue necesario reconocer las características de la envolvente, la función, organización interna, sanidad, materiales y crecimiento en etapas; y del segundo se recabaron datos relativos a las dimensiones del terreno, la delimitación, vegetación y actividades realizadas al aire libre. Esto lleva a relacionarse con el entorno inmediato, tanto en la construcción como en la apropiación de elementos. Del entorno natural se realizó una caracterización climatológica y se identificó la vegetación de la zona y de las viviendas de los casos de estudio. Así fue posible conocer las estrategias de adecuación de la vivienda al medio natural.

Además de los entornos natural y construido, se encuentra el entorno social, cuyos efectos se ven influenciados por el proceso de migración y poblamiento. Esto se vincula con el origen de los habitantes y su establecimiento en el estado de Quintana Roo, sus actividades cotidianas y especiales que influyen en la autorrealización, su sentido de pertenencia, su seguridad física, patrimonial y la privacidad sobre su vivienda. Estos elementos forman parte de una investigación más amplia sobre la apropiación sociofísica de la vivienda rural como manifestación del habitar humano.

Como estrategia cuantitativa se incorporaron cédulas para el levantamiento arquitectónico y así conocer los rasgos físicos de la vivienda, tanto de los elementos al aire libre como de los espacios techados; y al interior de éstos, los objetos y su organización. Se buscó apoyo en bosquejos de campo y en levantamiento fotográfico de exteriores e interiores; y se implementaron imágenes aéreas tomadas con un dron para obtener una imagen del conjunto de espacios techados y al aire libre que conforman la vivienda, así como para conocer su ubicación y la relación entre ellos.

Se recurrió a planos de asentamiento de los casos de estudio durante los recorridos de preselección y selección de la muestra, así como a la planeación estratégica de tiempo, ubicación y rutas de acceso. Su importancia radicó en identificar los diversos tipos de núcleos de vivienda, la ubicación y distribución en el asentamiento; y posteriormente se utilizaron para la sistematización de la información y obtención de estadísticas sobre los tipos de núcleos existentes por asentamiento, y así poder conocer cuáles predominan en la actualidad en los casos de estudio.

En resumen, se conjugaron herramientas cualitativas y cuantitativas para estructurar un instrumento mixto – retroalimentado por la investigación documental y pruebas piloto en campo–, compuesto por doce cédulas organizadas de la siguiente manera:

Entrevista cualitativa semiestructurada

- C1. Cédula de datos socioeconómicos
- C2. Cédula de datos sociohistóricos
- C3. Cédula de etapas de crecimiento en la vivienda
- C4. Cédula de rasgos psicológicos
- C5. Cédula de rasgos sociales

Levantamiento arquitectónico

- C6. Cédula de unidades domésticas
- C7. Cédula del levantamiento arquitectónico

Observación y levantamiento fotográfico

- C8. Cédula de vivienda y entorno natural
- C9. Cédula de reporte fotográfico de la vivienda y sus habitantes
- C10. Cédula de entorno inmediato
- C11. Cédula de reporte fotográfico de la comunidad

C12. Cédula de entorno urbano construido

Resultados

Describe la solución a la problemática planteada, se deberán utilizar tablas y figuras como complemento. Esta sección puede ser dividida en sub-secciones. La sección debe proporcionar una descripción concisa y precisa de los resultados y su interpretación.

Conocer a profundidad los elementos adaptados al medio permite comprender el papel de la natura en la apropiación sociofísica de la vivienda rural de Quintana Roo. Por ello, como parte de los resultados, se presenta la caracterización climática de la zona de estudio, más adelante se identifican los dispositivos de adaptación al medio de acuerdo al sembrado y orientación, vegetación, ventilación, control de asoleamiento, principales materiales constructivos y estrategias de desalojo de aguas pluviales.

Caracterización climática

El 99% de la superficie de Quintana Roo presenta clima cálido-subhúmedo, dejando el 1% restante para el cálido-húmedo, localizado en la isla de Cozumel, la temperatura media anual es de 26°C y la máxima promedio se presenta de abril a agosto con 33°C, en contraste con la temperatura mínima promedio que es de 17°C durante el mes de enero (INEGI).

La precipitación media estatal es de alrededor de 1,300 mm anuales; las lluvias se presentan durante todo el año, con mayor abundancia de junio a octubre (INEGI). En la zona de estudio, el clima es uniforme: cálido-subhúmedo con una precipitación promedio de 1,200 mm (véase figura 1). Sobre la vegetación inmediata a la zona de estudio, en Presidente Juárez y Vallehermoso es pastizal cultivado, rodeado de vegetación secundaria arbustiva y arbórea; además, en Vallehermoso existen pequeñas áreas de agricultura de temporal. Chacchoben está rodeado de pastizales cultivados y de vegetación secundaria arbórea (véase figura 2).

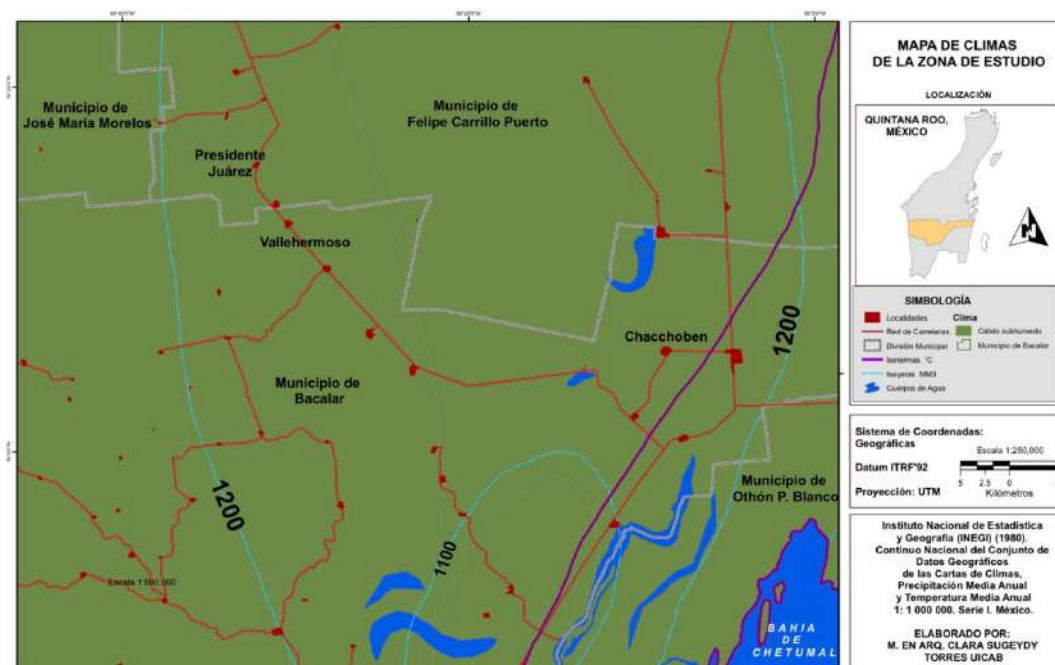


Figura 1. Clima en la zona de estudio, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, Continuo nacional del conjunto de datos geográficos de las cartas de climas, precipitación media anual y temperatura media anual 1:1000000, serie I. México, 1980.

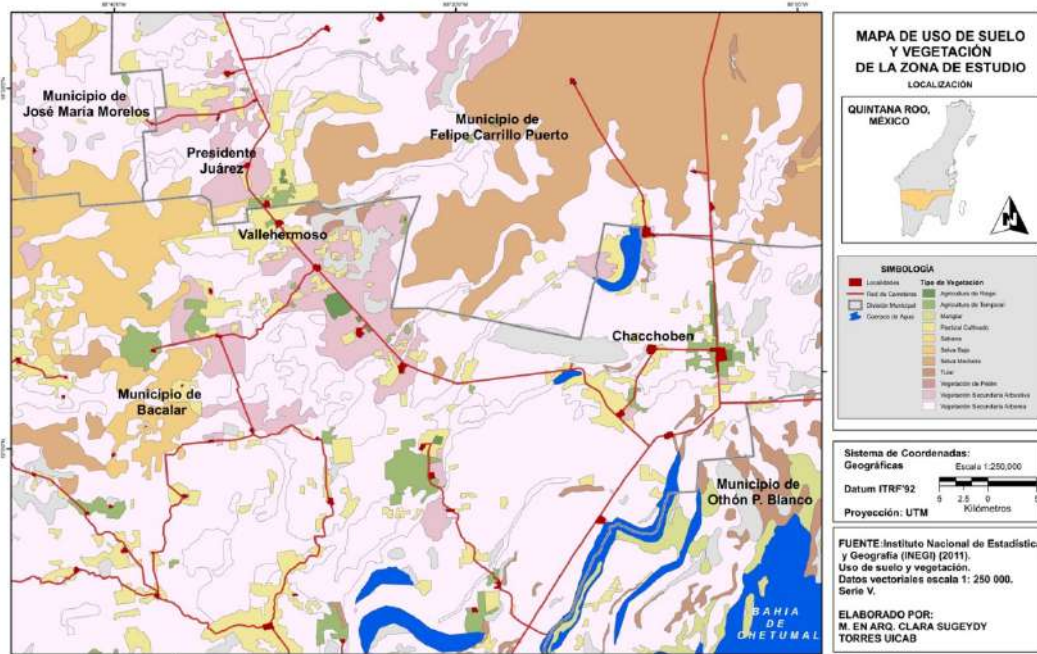


Figura 2. Uso de suelo y vegetación en la zona de estudio, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, Uso de suelo y vegetación. Datos vectoriales escala 1:250000, serie V, 2011.

Al estar constituidos los asentamientos por grupos heterogéneos y por ser la vivienda una construcción social, las condiciones climáticas se relacionan de manera directa con el tipo de edificación. No obstante, es pertinente recurrir al cuestionamiento “¿Por qué han sido desarrolladas tantas formas en las viviendas dentro del limitado número de zonas climáticas?” (Rapoport, 1969,10), sobre todo en Quintana Roo, cuya caracterización climática demostró uniformidad en la zona de estudio con condiciones similares de vegetación y entorno. Ante esta heterogeneidad, una posible respuesta sería la amalgama de factores culturales y físicos del entorno.

Dispositivos en núcleos de vivienda tipo A

Estas unidades se caracterizan por su similitud con el bungalow inglés, cuya influencia constructiva se manifiesta en la unidad techada principal o núcleo de la vivienda rural, donde se agrupan de manera contigua el dormitorio, la cocina y el comedor, con algunas variantes de espacios como el sanitario, la sala, el lavadero o la bodega. En Vallehermoso y Chacchoben se presentaron este tipo de núcleos, se puede inferir que es debido al origen de los habitantes.

Por lo general, este núcleo inicia con un módulo al que de manera paulatina se le van sumando anexos en la parte frontal o trasera, en otras palabras, presenta etapas de crecimiento a lo largo del habitar humano. Por otra parte, el sembrado o desplante tiende a disponer del núcleo cercano o contiguo de la vialidad próxima (véase figura 3).

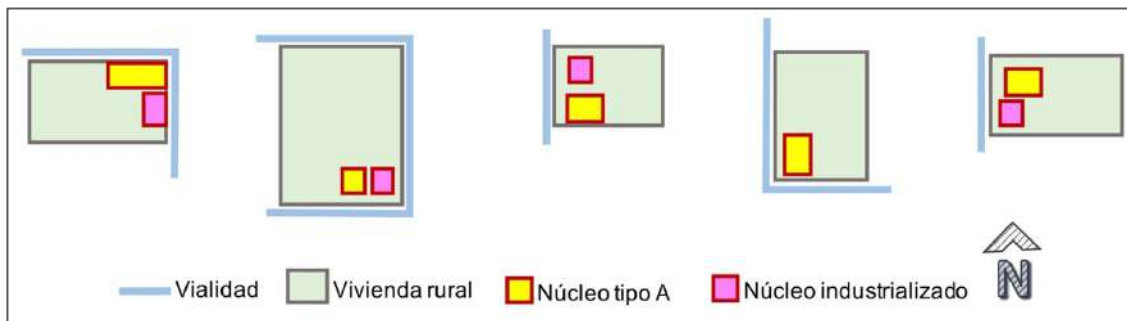


Figura 3. Orientación en la vivienda rural, Quintana Roo, México (Fuente: Elaboración propia).

En esta orientación no se observa algún patrón relacionado propiamente con el medio natural, pero sí con la trama urbana de los asentamientos, cuyo núcleo es la unidad techada de mayor tamaño en la vivienda. Respecto de la vinculación interior-exterior, la vegetación se sitúa a cierta distancia de la unidad principal y cumple diversas funciones: generar sombra, ornamental y frutal (véase figura 4).



Figura 4. Relación entre la vegetación y el núcleo en la vivienda rural, tipo A
(Fuente: Archivo Clara Torres 2017)

El interior se relaciona con el exterior a través de los dispositivos de comunicación ambiental, como puertas y ventanas. Como ya se mencionó, algunos árboles desempeñan un doble papel: sombra y frutal; por ejemplo, el tamarindo y el mango; algunas especies frutales de alta recurrencia son el plátano, ciruelas, naranja, mandarina y cocos. También hay que considerar los productos cultivados en huertos, como cilantro, sandía, acelgas, pitahaya, plátanos, entre otros.

Pasando a otro tema, hay que mencionar que las estrategias constructivas empleadas condicionan la calidad ambiental interior de los espacios techados. La orientación y vegetación en la vivienda se relaciona estrechamente con la ventilación y el control de asoleamiento. Es común la ventilación cruzada a través de puertas y ventanas; sin embargo, al tener una unidad contigua conformada por varios anexos, mantener fresco el interior dependerá de la intensidad y frecuencia de los vientos. Otra estrategia es la incorporación de celosías, cuya función principal es evitar la incidencia solar directa en los espacios y permitir una ventilación constante (véase figura 5).

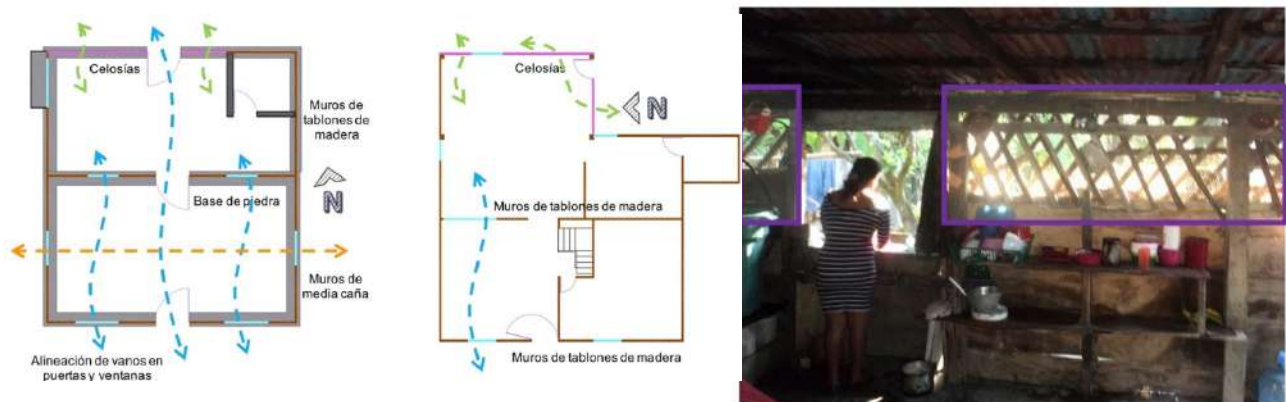


Figura 5. Uso de ventilación cruzada y celosías.
(Fuente: Elaboración propia. Imagen del archivo Clara Torres 2017)

Las adecuaciones al medio están en continua prueba y error. Este proceso de experimentación permite incorporar elementos en los casos donde la unidad construida no responde adecuadamente a los requerimientos climáticos. Es el caso de los aleros móviles o fijos en las ventanas, los cuales controlan el exceso de iluminación y radiación solar hacia el interior del espacio. El uso del volado es otra estrategia empleada para proteger las ventanas de la incidencia directa de la radiación solar (véase figura 6).



Figura 6. Estrategias de protección de radiación solar en ventana.
Fuente: Archivo Clara Torres 2017.

Los pórticos o verandas son una extensión exterior bastante útil en climas cálidos extremos. Se trata de espacios de transición exterior-interior que, en conjunto con los corredores, se ubican al frente de la fachada principal (Kowaltowsky et al, 2015). Los habitantes recurren a estos espacios para salir a “tomar el fresco”, ya que proporcionan protección solar a la unidad construida (véase figura 3.6), al estar acompañados de cubiertas inclinadas para el desalojo de aguas pluviales y para evitar la radiación solar directa en el interior de las unidades construidas.

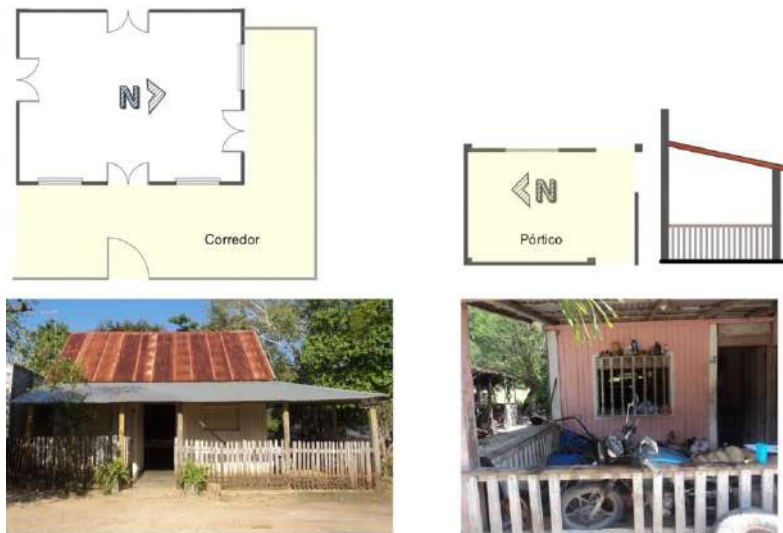


Figura 7. Pórticos y corredores.
Fuente: Elaboración propia con base en investigación de campo.

Entre los materiales constructivos empleados, la muestra indica que predominan los núcleos de tablonos y estructuras de maderas. Para la incorporación de anexos a las unidades se recurre a distintos materiales, entre ellos los industrializados como los bloques de concreto prefabricado.

La forma más común de las cubiertas del módulo inicial es de dos aguas, combinadas con pórticos al frente o anexos en la parte de atrás con cubiertas de un agua. También se implementan las cubiertas a cuatro aguas. Esto da lugar a diversos repertorios en la forma de las cubiertas inclinadas (véase figura 8).



Figura 8. Diversas combinaciones en las formas de las cubiertas.
Fuente: Archivo Clara Torres 2017.

Una de las funciones de la inclinación en techumbres es el desalojo de aguas pluviales, debido a la presencia de lluvia durante la mayor parte del año; sin duda, son elementos útiles para el diseño de la vivienda rural. Entre los materiales más comunes para las cubiertas están las láminas de zinc y cartón con estructura de madera. En cuanto a la forma de las cubiertas y al crecimiento en etapas del núcleo principal, se apreciaron adaptaciones para conectar los módulos, hacerlos uno solo y evitar problemas de tránsito entre uno y otro en época de lluvias. Esta solución consiste en colocar una canaleta de lámina para conducir las aguas pluviales fuera de la unidad techada (véase figura 9).



Figura 9. Canaleta para desalojo de aguas pluviales.
Fuente: Elaboración propia. Imágenes del archivo Clara Torres 2017.

Por lo general, la orientación de la fachada principal de los núcleos de vivienda está dirigida hacia la calle. El sembrado también se encuentra cercano a la calle y a la vegetación existente. Al respecto, cabe mencionar que, aún cuando la relación con el medio natural no se ha perdido, los árboles suelen ubicarse al fondo del lote, minimizando las ventajas de sombra directa que pueden proporcionar.

En cuanto al clima, las adaptaciones se efectúan en función de la temporada de lluvias. La protección solar y orientación de vanos en puertas y ventanas obedecen más la continuación de la forma simétrica de la fachada principal que a una intención estratégica relacionada con los vientos o el asoleamiento. Los dispositivos observados no se aíslan unos de otros, trabajan en conjunto.

Discusión

Durante el proceso de poblamiento de inicios y mediados del siglo XX, en el medio natural abundaba la vegetación de maderas duras, sin embargo, se pone en duda su uso inmediato para construir la vivienda. Los resultados de las entrevistas coinciden que las primeras viviendas de la región fueron campamentos temporales, básicamente postes de madera sin muros y cubiertas de huano a manera de palapas.

Si bien al inicio de la consolidación de asentamientos en Quintana Roo, las primeras viviendas familiares fueron construidas con tasiste y huano, los resultados indican que con la introducción de motosierras para trabajar la madera, los habitantes tuvieron la oportunidad de emplear estos materiales en la construcción de la vivienda, suscitando el cambio de tasiste/bajareque por tablonés. El cambio de materiales no ocurrió de manera uniforme, ya que el sistema constructivo de tasistes/bajareque forma parte de una herencia cultural. Con ello se refuerza la idea del vínculo entre cultura y medio ambiente: más que factores opuestos, son aliados que se amalgaman. Por otra parte, el concepto de predominio de natura sobre cultura al inicio del poblamiento no es algo fijo: el bucle recursivo permite que esta relación cambie con el tiempo mediante las acciones de la sociedad misma.

En lo que respecta a la utilización de los recursos constructivos, con frecuencia mismos materiales producen formas distintas (Rapoport, 1969). Así, el uso de tablonés de madera, piedra o tasiste en los muros no es exclusivo de algún tipo de vivienda en específico. En este sentido, para determinar la incidencia de los factores ambientales en la configuración de la vivienda rural, hubo de caracterizarse la zona, lo que permitió reconocer el clima, vegetación, temperatura, precipitación, entre otros; mismos que servirían para identificar las estrategias de adaptación al medio.

Durante el proceso de poblamiento de este territorio inhóspito y aislado, la cultura permeó y se amalgamó con el medio ambiente, de manera que las reminiscencias culturales se hicieron presentes para reconstruir o adoptar modos de vida en el nuevo espacio, mostrando que en algunos casos domina la natura y en otros la cultura. Esta relación también está influenciada por el factor tiempo.

La conexión interior-exterior entre el núcleo y los espacios abiertos da lugar a la relación con la vegetación, que puede proporcionar sombra, frutos o ser ornamental. En los casos observados, si bien se mantiene la vegetación al interior, ésta se ubica a cierta distancia del núcleo, sobre todo los árboles de gran altura, cuya proyección de sombra incide sólo durante ciertas horas del día. Uno de los factores que lleva a inferir la existencia de esta separación son los fenómenos naturales de la zona, por ejemplo los huracanes, cuyos vientos son capaces de doblegar los árboles sobre los núcleos y destruirlos.

Conclusiones

La apropiación socio-física en la vivienda rural conlleva un traslado de tecnología como producto del proceso de migración; se adoptan cambios que permiten vigencia y se mantienen elementos que han probado su eficacia. Todo en un continuo ajuste en el bucle de la apropiación, cuyos saltos evolutivos hibridan las formas de construir la vivienda rural y de relacionarse con el medio natural.

Si bien existe una dialéctica entre la vivienda y la natura, hay condiciones del medio donde no cabe duda la prevalencia de la natura; por ejemplo, frente a un entorno lluvioso se requieren estrategias de desalojo de aguas pluviales, por lo cual predominan las cubiertas inclinadas de materiales vegetales o industrializados. También se observaron adaptaciones en las ventanas con aleros fijos, abatibles o volados para la protección de la radiación solar directa; así como celosías para ventilación continua al interior de los espacios.

Distintos dispositivos de adaptación al medio coexisten en los núcleos de las viviendas, combinando elementos que aportan a su renovación continua para un mejor desempeño en el entorno natural inmediato. El crecimiento de los núcleos trae consigo la implementación de soluciones para el tránsito entre espacios sin filtraciones de agua en temporada de lluvia, al mismo tiempo que se unen varios módulos para generar un solo núcleo. En estos casos las cubiertas independientes se adaptan para trabajar en conjunto a través de una canaleta en medio de ambas.

En la zona de estudio no hay una vivienda propiamente autóctona, si bien existen reminiscencias culturales constructivas, otra serie de factores como el tiempo, las influencias sociales, el desarrollo e introducción de nuevos materiales también se hacen presentes. El conjunto se transforma con la materialización de estructuras de vida; algunos de sus elementos persisten, mientras que otros han ido modificándose para mantener una vivienda rural vigente y acorde con su medio, cultura y economía. Los procesos de adaptación del humano al medio natural, social y económico son parte de las apropiaciones sociales y físicas dadas con el paso del tiempo. Este no es un proceso finito, sino que evoluciona con los habitantes. La vivienda rural actual forma parte de los cambios de las prácticas cotidianas y culturales.

Referencias citadas

Censos

- INEGI. "Cuéntame. Quintana Roo. Información por entidad", 2017, recuperado en:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/default.aspx?tema=me&e=23>.
 INEGI. Continuo nacional del conjunto de datos geográficos de las cartas de climas, precipitación media anual y temperatura media anual 1:1000000, serie I. México, 1980.
 INEGI. Uso de suelo y vegetación. Datos vectoriales escala 1:250000, serie V, 2011.

Bibliografía

- Baños Ramírez, O. (2003). Hamaca y cambio social en Yucatán. *Revista Mexicana del Caribe*, (15), 169-214.
 Checa Artasu, M. M. (2012). Aproximación turística cultural para un patrimonio en vías de extinción: la arquitectura en madera de Chetumal, Quintana Roo. *Revista El Periplo Sustentable*, (23), pp. 49-78.
 Checa Artasu, M. M. (2009). Entre la casa maya y el bungalow. *Arquitectura de la frontera México-Belice*. Bitácora. *Arquitectura*, (19), 62-69.
 Checa Artasu, M. M. (2013). Un patrimonio en busca de actores y acciones: la arquitectura histórica en madera de Chetumal, Quintana Roo. En Paredes Guerrero, B. (coord). *Actores de la conservación del patrimonio cultural edificado* (139-148). Mérida: UADY, Facultad de Arquitectura.
 Demangeon, A. (1963). *Problemas de geografía humana*. Barcelona: Omega.
 Falcone, Maria et al., (2013). Rural Architecture in Sorrento-Amalfitan Coast. Constructive Tradition and Prospect for Preservation. En Papanikos, G. T. (ed.), *Architecture Abstracts Third Annual International Conference on Architecture 10-13 June 2013*. Atenas: Athens Institute for Education and Research.
 Fernández González, A. y Castro Borges, P. (1988). Nuevo sistema de construcción aprovechando las características de la casa de paja maya. La vivienda rural en el Sureste de México: seis estudios sobre la vivienda rural en la región Sureste de México (11-18). Villahermosa: Comisión Nacional de los Estados Unidos Mexicanos para la UNESCO IV Comité Regional, Gobierno de Tabasco, Secretaría de Educación, Cultura y Recreación.
 Gómez Amador, A. y Gomes da Silva, V. (2015). Naturaleza e identidad de la tradición constructiva de Colima-Espíritu Santo. Un estudio comparativo. En Gómez Amador, A. y Alcántara Lomelí, A. (coords.), *Desempeño ambiental comparado de la tradición constructiva de Colima* (47-66). Colima: Universidad de Colima.
 Guerrero Baca, L. F. (2015). Sostenibilidad y conservación del patrimonio edificado. *Palapa*, 3(17), 73-84.
 Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
 Jesús Herrera, J. E. (1988). La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en la vivienda rural. En La vivienda rural en el Sureste de México: seis estudios sobre la vivienda rural en la región Sureste de México (11-18). Villahermosa: Comisión Nacional de los Estados Unidos Mexicanos para la UNESCO IV Comité Regional, Gobierno de Tabasco, Secretaría de Educación, Cultura y Recreación.
 Kowaltowsky, D. C. C. K, et al. (2015). Verandas en la arquitectura tradicional de Brasil. En Gómez Amador, A. y Alcántara Lomelí, A. (coords.), *Desempeño ambiental comparado de la tradición constructiva de Colima* (73-74). Colima: Universidad de Colima.
 Lindón Villoria, A. (2002). La construcción social del territorio y los modos de vida en la periferia metropolitana. *Territorios*, (7), 27-41.
 Mercado Doménech, S. J. (s.f.) Factores psicológicos y físicos de la habitabilidad de la vivienda en México. Recuperado en:
http://www.academia.edu/10711327/ULTIMA_VERSION%93N_DEL_TRABAJO_DE_VIVIENDA.
 Moure Peña, M. (2013). Desarrollo sustentable ante el cambio climático ¿qué papel puede tener REDD+ en las comunidades? (Tesis inédita de maestría). El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal.

- Núñez Miranda, B. (2017). Intercambio y procesos de apropiación: alfarería canaria, tonalteca y camagüeyana. En García Fernández, E. y Vaca, A. (coords.). *Patrimonio cultural: intertextos y paralelismos* (135-156). Zapopan: El Colegio de Jalisco.
- Ochoa de la Torre, J. M., Marincic Lovriha, I. y Alpuche Cruz, M. G. Análisis del confort climático para la planeación de sitios turísticos. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11586/03_PROCEEDINGS_M3_15_0025.pdf, consultado el 5 de agosto 2018.
- Rapoport, A. (1969). *House Form and Culture*. Nueva Jersey: Prentice-Hall.
- Ricœur, P. (1985). *Tiempo y narración I. Configuración del tiempo en el relato histórico*. México: Siglo XXI.
- Sánchez Suárez, A. (2006). La casa maya contemporánea. Usos, costumbres y configuración espacial. *Península*, 1(2), 81-105.
- Torres Uicab, C. S. (2013). *Tipología constructiva de apoyos y cubiertas de la vivienda rural en la zona centro de Quintana Roo, México* (Tesis inédita de maestría). Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.
- Valencia, L. y Zeña, S. (2009). *Hacia una vivienda saludable. Guía para el facilitador*, Organización Panamericana de la Salud (OPS). Perú: Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Zamudio Sánchez, F., Soriano Montero, M. y Ibarra Contreras, P. (2012). Análisis sobre la evolución del desarrollo humano en la península de Yucatán. *Economía, Sociedad y Territorio*, 12(40), 543-596.

“Evaluación de morteros autolimpiables adicionados con dióxido de titanio”

Cruz Liliana Kuk Dzul, Danna Lizeth Trejo Arroyo, Julio César Cruz Arguello, Ana María Valenzuela Muñiz

INTRODUCCIÓN

Debido a factores técnicos y económicos un gran número de envoltentes de los edificios se hacen típicamente de mortero. El cual al estar expuesto a la intemperie son afectados por las condiciones atmosféricas, ambientales y de microorganismos que afectan la estética de las estructuras y en un tiempo posterior pueden comprometer la durabilidad de la misma.

Para ello actualmente existe pinturas, aditivos, sellantes y solventes químicos para prevenir o mitigar el problema. Aunque esto implica tiempo, dinero y en algunos casos pueden contaminar el medio ambiente.

Por lo que el uso de TiO_2 en morteros resulta ser una opción comprometedor ya que posee 4 propiedades principales desarrolladas por la fotocatalisis de TiO_2 en materiales de construcción, las cuales son autolimpieza, antimicrobianas, purificación del aire y agua.

RESULTADOS

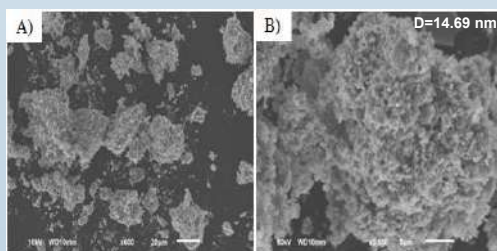
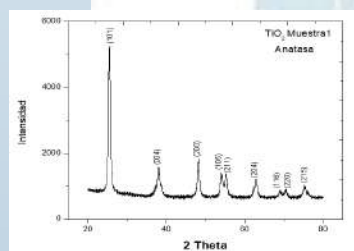


Imagen obtenida por MEB de polvos obtenidos mediante 1er síntesis de TiO_2 con adición de etanol.



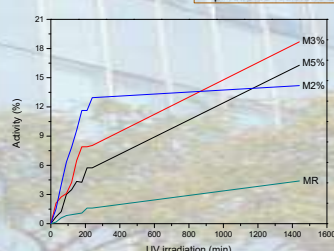
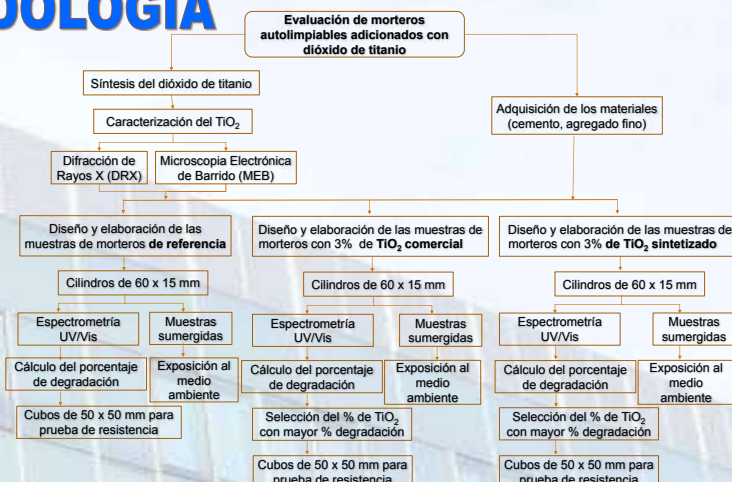
Patrón de Difracción de Rayos X de la síntesis de TiO_2 con etanol

Tiempo expuesto	Mortero de Referencia	Mortero con adición de TiO_2 comercial al 3%	Mortero con adición de TiO_2 sintetizado al 3%
Semana inicial			
Semana 2			
Semana 4			
Semana 6			
Semana 8			

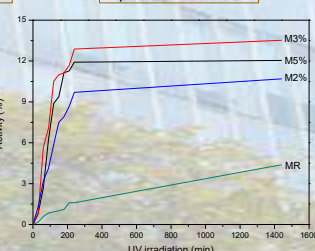
Avance de la degradación del naranja de metilo de los morteros de referencia, TiO_2 comercial al 3% y del TiO_2 sintetizado al 3%.

Avance de la degradación del vino tinto de los morteros de referencia, TiO_2 comercial al 3% y del TiO_2 sintetizado al 3%.

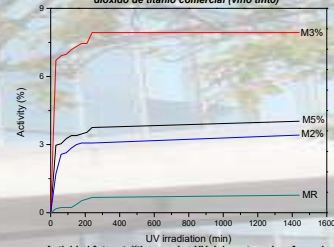
METODOLOGÍA



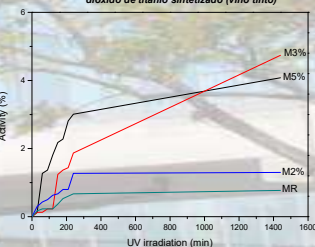
Actividad fotocatalítica con luz UV del mortero de referencia, así como de los morteros con adición de 2%, 3% y 5% de dióxido de titanio comercial (vino tinto)



Actividad fotocatalítica con luz UV del mortero de referencia, así como de los morteros con adición de 2%, 3% y 5% de dióxido de titanio sintetizado (vino tinto)



Actividad fotocatalítica con luz UV del mortero de referencia, así como de los morteros con adición de 2%, 3% y 5% de dióxido de titanio comercial (naranja de metilo)



Actividad fotocatalítica con luz UV del mortero de referencia, así como de los morteros con adición de 2%, 3% y 5% de dióxido de titanio sintetizado (naranja de metilo)



Gráfica de los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días en MPa

AGRADECIMIENTOS

La autora reconoce el apoyo financiero otorgado por parte de CONACYT para la realización de este proyecto. Así como de la asesoría de la Dr. Danna Trejo y comité evaluador. También un reconocimiento a ECOSUR y al Instituto Tecnológico de Cancún por el apoyo para la realización de las pruebas de MEB y DRX respectivamente. Así como de la compañía Ximena Bello por su colaboración durante la síntesis de TiO_2 .

Referencias

- [1] Jun Chen, Chi-sun Poon, Photocatalytic construction and building materials: From fundamentals to applications, Elsevier, (2009).
- [2] Anibal Maury-Ramirez, Willem De Muynck, Ruben Stevens, Kristof Demeestere, Nele De Belie, Titanium dioxide based strategies to prevent algal fouling on cementitious materials, Elsevier, (2013).
- [3] T.Vulic, M. Hadnadjev-Kostic, O. Rudic, M. Radeka, R. Marinkovic- Neducin, J. Ranogajec, Improve of cement-based mortars by application of photocatalytic active Ti-Zn-Al nanocomposites, Elsevier, (2013).
- [4] Elia Boonen, Anne Beeldens, Inge Dirix, Veerle Bams, Durability of Cementitious Photocatalytic Building Material, Elsevier, (2017).

CONCLUSIONES

- Los polvos obtenidos al utilizar solo etanol como solvente presentaron fase anatasa, una morfología esférica la cual incrementa su área superficial activa y una estrecha distribución de tamaño de partícula del orden submicrónico y tamaño de cristal nanométrico que puede determinar una mayor efectividad fotocatalítica.
- En las pruebas de degradación de color de los morteros mediante la espectrometría UV-Vis y los expuestos al medio ambiente. Se tuvo como resultado que el mejor porcentaje de adición del dióxido de titanio es del 3%. Sin embargo, en comparación de la actividad fotocatalítica del TiO_2 comercial y del sintetizado, se tuvo que las partículas de TiO_2 comercial tiene una mayor actividad fotocatalítica.
- En la prueba de resistencia se obtuvo que el dióxido de titanio si afecta en la resistencia, debido a que si aumento la resistencia a la compresión teniendo un promedio de 15 MPa para los morteros elaborados con el TiO_2 comercial a comparación de los morteros de referencia que tuvo un promedio de 11.37 MPa.

MORTERO ARQUITECTÓNICO A BASE DE RESINA DEL ÁRBOL DE CHUKUM

Ariadne Guadalupe Ordóñez Melken¹, Claudia Beatriz Rodríguez Poot²,
Jesús Armando Gómez Pinzón³, Nínive Margely Navarrete Canto⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

Recibido: 28/06/2019

Aceptado: 28/09/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen. - El proyecto consiste en el diseño de un mortero arquitectónico a base de resina del árbol de Chukum, que tuvo como objetivo determinar las características físico-mecánicas con adición de resina orgánica. Se elaboraron 36 cilindros en moldes de acero con mortero testigo y con 5%, 10% y 20% de resina de Chukum, sometiéndolos a pruebas de resistencia bajo cargas de compresión y cortante mediante la aplicación de esta mezcla en adoquines, y el uso de pigmentos para la comparación de tonalidades en la gama de colores. Con este aditivo, el mortero generó una mejor resistencia que el mortero tradicional. Es recomendable para las zonas húmedas, ya que inhibe la presencia de moho, tiene propiedades impermeables, además de ser económico y de fácil aplicación. La metodología está basada en la normativa mexicana ONNCCE.

Palabras clave: Mortero, uso arquitectónico, Chukum, resistencia mecánica.

RESIN BASED ARCHITECTURAL MORTAR FROM THE CHUKUM TREE

Abstract. - The project consists in the design of an architectural mortar based on Chukum tree resin, which aims to determine its physical-mechanical characteristics with the composition of the organic resin. 36 cylinders were made in steel molds with control mortar and with 5%, 10% and 20% of Chukum resin, and subjected to resistance tests under compression and shear loads by applying this mixture on pavers and using pigments for comparison of tonalities in the color range. With this additive, the mortar generated a better resistance than that of the traditional mortar. It is suitable for humid regions since it does not breed mold, it has waterproof properties, as well as being economical and easy to apply. The methodology is based on Mexican ONNCCE regulations.

Keywords: Mortar, architectural use, Chukum, mechanical resistance.

Introducción

El constante crecimiento de la población ha traído consigo distintas problemáticas en el mundo, incluso en el país, tal es el caso de la falta de viviendas con aplanados resistentes a los impactos ambientales y accidentales, en especial para las personas de escasos recursos. Debido a este tipo de problemas, investigadores y expertos en la construcción han encontrado alternativas ecológicas de manera que no se dañe al medio ambiente, sea económico y sobre todo de larga duración, así como también la industria de la construcción está interesada en la búsqueda de nuevos materiales que ayuden a la optimización de procesos constructivos. El cemento Portland es un material de suma importancia para el desarrollo de dichos procesos, ya que es la base primordial para la elaboración de morteros y concretos. (J.B, 2008)

Según la Norma Oficial Mexicana NMX-C-021, Mortero Portland es el conglomerante hidráulico que se usa en trabajos de albañilería. La *Cement Concrete Terminology*, ACI SP-19 define un Aditivo como un material diferente del agua, de los agregados y del cemento, que se emplea como componente del concreto o mortero, agregándose a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.

Existen distintos tipos de aditivos que se le agregan a los morteros para obtener distintas ventajas que lo hacen distintos al mortero común. La resina del Chukum es considerado como aditivo colorante e impermeabilizante.

¹ Ariadne Guadalupe Ordóñez Melken. Estudiante de la Carrera de Arquitectura del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal. aris1139@hotmail.com (**Autor correspondiente**)

² Claudia Beatriz Rodríguez Poot. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

³ Jesús Armando Gómez Pinzón. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

⁴ Nínive Margely Navarrete Canto. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

Debido a lo anterior el presente proyecto se desarrolló con el objetivo de analizar la reacción mortero-resina, su resistencia bajo cargas de compresión y cortante tanto para el mortero testigo como para los sustituidos (5%,10% y 20%), determinando y analizando los datos adquiridos según la normativa ONNCCE, y su acabado final, mediante pruebas de laboratorio.

Materiales y métodos

Materiales

Para la elaboración del mortero testigo se utilizaron los siguientes materiales basado en la normativa mexicana ONNCCE: Agua, Cemento blanco CPC 30R, agregado pétreo fino para morteros testigo, vaciado en moldes cilíndricos de acero con medidas de 7.5 cm x 15cm. De igual manera se elaboraron cilindros de mortero con aditivo de resina del árbol de Chukum utilizando 5%,10% y 20% de esta misma.

Métodos

Obtención de la resina orgánica y pruebas de laboratorio

La resina del árbol del Chukum, como se le conoce al árbol endémico de la península de Yucatán (*Havardia albicans*), se caracteriza por tener una corteza espinosa y una resina rica en taninos que le da el color rojo similar al vino y posee múltiples propiedades para el uso en coloración de curtidos, la medicina tradicional y actualmente en la construcción. Para la extracción de la resina se trazan estrías en la corteza, de tal manera que no se genere un impacto ambiental, ya que se contemplan diversos cultivos de esta especie.

Caracterización del agregado fino

Esta fase en la elaboración del mortero se realizó con un solo fin, el conocer las diferentes reacciones y el análisis del agregado pétreo fino que se utilizará, que mediante las distintas normativas mexicanas ONNCCE y con las respectivas ecuaciones se llegó a lo siguiente:

- Humedad: 1.75%
- PVSS: 1303.67 kg/m³
- PVSC: 1535.14 kg/m³
- Absorción: 5.26%
- PVSSS: 2.67 g/cm³
- PVSA: 2.54 g/cm³

Diseño de la mezcla del mortero

El diseño de la mezcla se trabajó de acuerdo a la norma NMX-C-061-ONNCCE-2010 referente a la determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos, utilizando cemento portland CPC 30R y una relación agua cemento (a/c) de mortero testigo =0.611, 5% = 0.612, el de 10% = 0.540 y el mortero con 20% = 0.520.

Calidad y ajuste de las mezclas con resina de Chukum

Se determinó las calidades de las mezclas mediante la prueba de fluidez según establece la norma NMX-C-144-ONNCCE-2010 y se elaboró el ajuste de contenido de agua. En esta etapa se realizó el moldeado del mortero en cilindros de acero y el curado de las muestras a los 7, 14 y 28 días.

Pruebas mecánicas

Se realizaron pruebas de compresión basadas en la norma NMX-C-061-ONCCEE-2010 para las edades de 7,14 y 28 días, sometiendo a las muestras a una prueba de carga axial en una prensa mecánica. Las pruebas de esfuerzo cortante se basaron en la elaboración del mortero en sus diferentes proporciones de 5%,10% y 20% de resina utilizado para la unión de adoquines y ensayarlos a la edad de 28 días para así conocer la resistencia o adherencia que existe.

Resultados y discusión

En la Gráfica 1, se puede observar la curva granulométrica del agregado pétreo fino después de su proceso granulométrico, se observó que el módulo de finura fue de 3.36, sobrepasando el límite permitido por la norma NMX-C-329-ONNCCE como se muestra en la Tabla 1, por lo tanto, esto demanda más cemento y agua en el diseño de la mezcla, elevando así la resistencia de las muestras testigo y con aditivo.

Tabla 1. Módulo de finura del agregado fino para morteros.

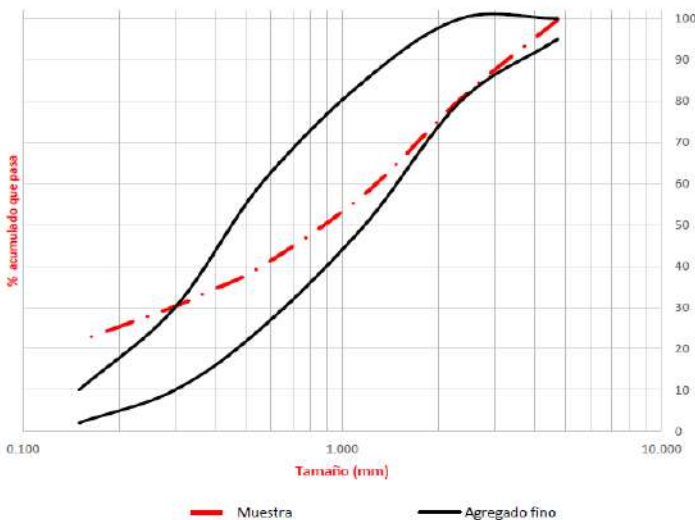
TIPO DE AGREGADO	MÓDULO DE FINURA
Gruesa (concreto)	2.90 – 3.20
Media (morteros de pega)	2.20 – 2.90
Fina (aplanados)	1.50 – 2.20
Muy fina	1.50

Fuente: Norma ASTM C-33

Material: Polvo de piedra

Fecha: Del 11/02/2019 al 15/02/2019

Curva granulométrica



Gráfica 1. Curva granulométrica del agregado pétreo fino

Diseño y ajustes de la mezcla de mortero

Se realizaron los ajustes de los contenidos de agua y Chukum para las diferentes proporciones de las mezclas testigo y con aditivo, mediante la prueba de fluidez, teniendo para el mortero testigo un porcentaje de fluidez de 110.40%, para el 5% un porcentaje de 111.75%, para 10% un porcentaje de fluidez de 113.10% y para el 20% 114.40%. los resultados cumplen con el rango establecido de 110 ± 5 según la norma NMX-C-061-ONNCCE-2010. Se puede observar que, de acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a la fluidez de la consistencia normal de la mezcla, las muestras con resina tuvieron una consistencia más fluida, tal es el caso del mortero con 20% teniendo una fluidez de 114.40% por lo que la mezcla de mortero testigo tuvo una fluidez de 110.40%, lo cual indica que el aditivo provocó que la mezcla fuera más trabajable.

Determinación de la resistencia a la compresión

Ensayo efectuado bajo los lineamientos de la norma NMX-C-061-ONNCCE a los 7,14 y 28 días al mortero testigo y a los morteros con sustitución de agregado. Fueron sometidas una por una la muestras a una prueba de carga axial en

una prensa mecánica, previamente cabeceados con azufre, dando así la carga resistente de cada cilindro como se muestra en la Tabla 2 y la Grafica 2.



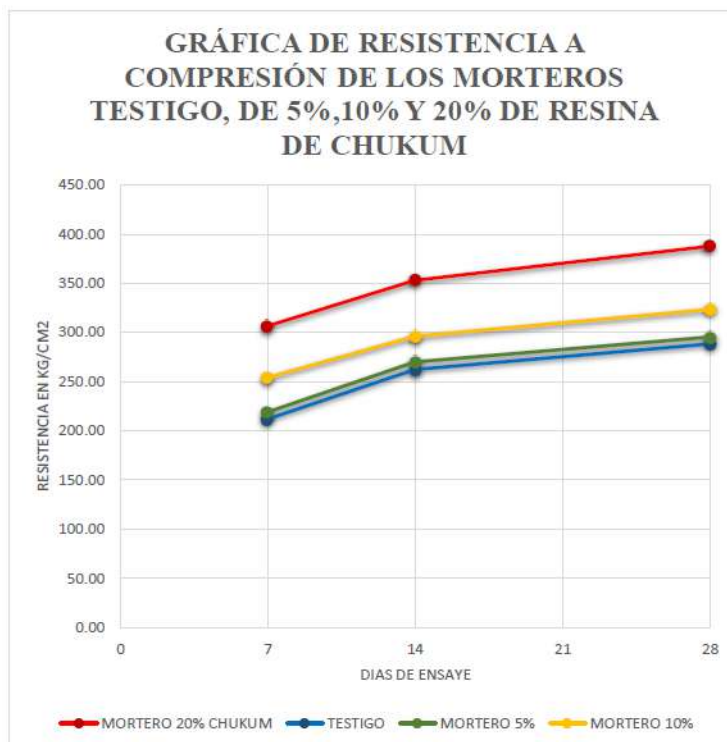
Figura 1. Muestras después de la prueba a compresión.



Figura 2. Cilindro en la prensa mecánica.

Tabla 2. Resistencia promedio a compresión de 7,14 y 28 días.

RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESIÓN EN KG/CM ²				
DÍAS	TESTIGO	5% CHUKUM	10% CHUKUM	20% CHUKUM
7	211.74	218.94	253.99	306.41
14	262.43	270.10	296.20	352.93
28	288.21	295.23	323.26	387.55



Grafica 2. Gráfica comparativa de las resistencias de los morteros a diferentes edades.

En cuanto a la normativa ONNCCE, en relación a las especificaciones técnicas para construcción de obras, delimitan un rango mínimo de resistencia a compresión para morteros y aplanados de 40 kg/cm² a los siete días y de 65 kg/cm² a la edad de 28 días. Los resultados obtenidos en comparación a lo mencionado anteriormente y lo estipulado por la

norma NMX-061-ONCCEE-2010 sobrepasaron el mínimo permitido, teniendo como respuesta a la prueba de compresión a una edad de 28 días para el mortero testigo una $f'c$ de 288.21 kg/cm², para 5% de resina $f'c$ 295.23 kg/cm², de 10% $f'c$ 323.26 kg/cm² y 20% con un $f'c$ de 387.55 kg/cm², todas las muestras superaron la mínima $f'c$ 40 kg/cm², sin embargo las muestras con aditivo superaron al mortero testigo, de tal manera que se puede observar que con el paso del tiempo la resistencia de fue aumentando pero sobre todo que la muestra de 20% resulto ser más resistente a comparación de las otras muestras.

Esfuerzo cortante

Con base a la fórmula de resistencia, se determinó la adherencia o el esfuerzo cortante del mortero testigo y con sustitución, como una prueba alternativa o método indirecto, debido a que el cortante se presentara en las zonas de contacto del adoquín - mortero – adoquín, y mide la fuerza con la que el mortero mantiene unido a los adoquines, es decir, la tensión cortante es aquella que fijado a un plano actúa tangencialmente sobre el mismo.



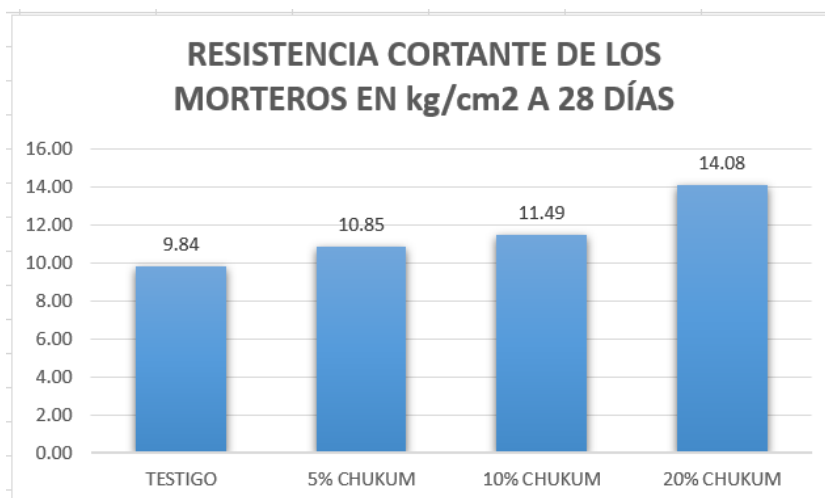
Figura 3. Adoquines unidos con mortero testigo y sustituidos.



Figura 4. Ensayo de prueba de esfuerzo cortante

Tabla 3. Resultado de la adherencia de los morteros

ESFUERZO CORTANTE KG/CM ²			
TESTIGO	5% CHUKUM	10% CHUKUM	20% CHUKUM
9.84	10.85	11.49	14.08



Grafica 3. Resistencia promedio a cortante.

La adherencia es una característica propia de los morteros, para adherirse a los materiales con los cuales está en contacto. Ésta es para muchos la propiedad fundamental que deben cumplir los morteros, y son pocos los que han realizado una investigación para determinar los valores que deben alcanzar.

Puesto que no existen parámetros establecidos para delimitar la adherencia del mortero, los estudios realizados para ello solo comparan sus resultados obtenidos en base a la prueba testigo contra sus pruebas de ensaye, lo que hace difícil tener una resistencia a la adherencia mínima permisible. Al momento de la fractura en los adoquines con mortero testigo y el de 5% de resina no se notó un desprendimiento del adoquín, sino fractura del mortero; por lo tanto, los adoquines con 10% y 20 % fue desprendimiento del adoquín.

Gama de colores

Como se observa en la figura 5, se realizó la última prueba utilizando colorantes en polvo en tono amarillo y rojo cobre en diferentes porciones, lo cual da como resultado distintas tonalidades que benefician al mortero ya que además del pigmento neutro que proporciona la resina del Chukum también le da un realce con los colorantes haciéndolo más armónico y estético tanto en fachadas, como en interiores.

El color es necesario en la arquitectura y más allá del interiorismo o de esa función por el afán de embellecer y singularizar el resultado o por marcar las diferencias de éste con convecinos a partir de su frescura, capacidad de sorpresa, refinamiento, originalidad, etc. Se debe entender que el color es una variable destacada del diseño edificatorio. (OVACEN, 2016)



Figura 5. Gama de colores en mortero testigo y con aditivo.

Conclusiones y recomendaciones

El mortero con aditivo de resina se presentó como una posible solución a la demanda constante de un recubrimiento para aplanados de casas habitación que carezcan de éste. Así mismo se estudió las propiedades mecánicas del mortero, esfuerzo a compresión y cortante.

Con el análisis granulométrico se observó que el agregado pétreo fino no fue el adecuado, ya que mediante la curva granulométrica se determinó que el módulo de finura de 3.36, el cual la norma NMX-C-329-ONNCCE establece parámetros de 1.5 (aplanados) a 3-20 (concreto), el agregado pétreo sobrepasa el límite permitido por la normativa debido a que presenta una gran cantidad de finos por lo que incremento la dosificación utilizada al momento de realizar el diseño de la mezcla del mortero demandando más agua y cemento.

El mortero testigo presentó características poco favorables de un recubrimiento para aplanado, adherencia, fluidez y trabajabilidad. La relación agua/cemento del mortero testigo fue de 0.611, por lo que la resistencia obtenida de la muestra fue de $f'c = 288.21 \text{ kg/cm}^2$ a una edad de 28 días, tomando en cuenta una fluidez de 110 ± 5 según la norma NMX-C-061-ONNCCE-2010, sin embargo, la mezcla tuvo una fluidez de 110.40% y en la prueba de esfuerzo cortante se obtuvo un resultado de 9.84 kg/cm^2 .

Se recomienda para fines más específicos de la investigación realizar un graduado del agregado pétreo fino o en su caso conseguir éste mismo de tal manera que cumpla con las condiciones del módulo de finura para así evitar problemas en este tipo de ajustes.

El mortero de 5% de Chukum presentó tendencias casi similares en la mezcla al del mortero testigo, teniendo una relación $a/c = 0.612$, por lo que su resistencia fue de $f'c = 295.23 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días con un aumento de resistencia del 2.44% y en la adherencia un 10.25% valores mayores en comparación al testigo, además de tener una fluidez de 111.75%. En cuanto al mortero con el 10% de aditivo, se obtuvieron datos más altos al testigo y 5%, teniendo una resistencia de $f'c = 323.26 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días con un aumento de 12.16% y en resistencia cortante con 11.49 kg/cm^2 aumentando un 16.77% a comparación del mortero testigo, tomando en cuenta que la mezcla tuvo una fluidez de 113.10%.

Por último, con el mortero de 20% se obtuvieron datos favorables, ya que presentó una resistencia y adherencia satisfactoria, a pesar de que en materia de normativa pasa el mínimo permitido a los 28 días, presentando una relación $a/c = 0.520$, con una resistencia de $f'c = 387.55 \text{ kg/cm}^2$ aumentando un 34.47% con relación al testigo y una adherencia de 14.08 kg/cm^2 , teniendo una fluidez en la mezcla de 114.40%.

De acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a la fluidez de la consistencia normal de la pasta, se observó que las muestras con resina tuvieron una consistencia más fluida que la mezcla del mortero testigo, lo cual indica que el aditivo provocó que la mezcla fuera más trabajable. Cabe mencionar que el mortero a base de resina es eficiente ya que físicamente presenta distintas características al mortero testigo, tal es el caso que no genera poros por lo que no tiende a absorber agua de más y presenta propiedades impermeables, además de que aparentemente brinda un tono neutro. Se considera que este tipo de mortero a base de resina es factible, económico, de fácil aplicación y resistente, por lo que se recomienda llevar a cabo su aplicación en muros para comprobar lo dicho anteriormente, además del tiempo de vida que genere. También se recomienda realizar un estudio químico de éste y del aditivo para conocer su composición más a fondo.

Con relación a la gama de colores, se concluye que el Chukum hace que los pigmentos tengan una tonalidad más elevada, y estas muestras sean una opción para la arquitectura en aplanados. El color en la arquitectura es importante y necesario, no solo para embellecer el espacio, sino también para la sensación de una persona ya que puede tener incidencia directa a ciertas actitudes de las personas, algo a lo que se le conoce como psicología del color. El Chukum posee un tono natural el cual brindaría una tendencia minimalista en construcciones.

Bibliografía

- Alvarez, J. I. (2015). *Historia de los morteros*. Navarra: Departamento de Química y Edafología, Facultad de Ciencias. Obtenido de:
http://www.researchgate.net/profile/Jose_Alvarez37/publication/273110688_Historia_de_los_morteros
- Bizzotto, M. B. (Junio de 1998). *Minihormigones con cascarilla de arroz natural y tratada como agregado granular*. Primer Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón, 11. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, Obtenido de http://ing.unne.edu.ar/revista/noviembre/ARANDU_BIZZOTTO.PDF
- Botero, J. C. (2005). *Uso del licor de plantas agavaceas como aditivo en morteros y hormigones de cementos portland*. Colombia. Recuperado el 13 de Octubre de 2019, Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4543/>
- Cabrera, J. L. (1995). *La adherencia en los morteros de albañilería*. Materiales de construcción. Obtenido de:
<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/546>
- CEMEX. (2014). *Catálogo Soluciones Cemex. Colombia*. Obtenido de:
<http://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757403/catalogo-soluciones.pdf>
- Cetzal-Ix, E. N. (2018). *Plantas tintóreas y su uso en las artesanías de palma jipijapa*. Campeche: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Obtenido de:
https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2018/2018-02-01-WCetzal-Plantas-tintoreas.pdf
- Correa, R. S. (2000). *Aplicación del Cemento Portland y los Cementos Adicionados*. Obtenido de Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina: Obtenido de: <https://es.scribd.com/document/362600346/Dialnet-AplicacionDelCementoPortlandYLosCementosAdicionado-5314014>
- Duno, R. (2014). *La Endémica del mes: Patrón de distribución y conservación de Harvardia Albicans (Chukum)*. Mérida, Yucatán: Herbario CICY, Unidad de Recursos Naturales. Obtenido de:
https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2014/2014-03-06-Duno.pdf
- Ferrándiz Mas, V. ,. (01 de Marzo de 2012). *Caracterización física y mecánica de morteros de cemento Portland fabricados con adición de partículas de poliestireno expandido (EPS)*. (I. d. Torroja, Ed.) Materiales de

- Construcción, 547-566. Obtenido de
<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/747/798>
- Fortaleza, C. (2016). *Cemento Portland Compuesto CPC 30 R*. Obtenido de
https://www.cementosfortaleza.com/cpc_30/
- GOVEA, R. P. (2009). *Estudio y caracterización de morteros para la restauración arquitectónica*. Obtenido de:
<http://hdl.handle.net/10045/12207>
- I. Vegas, I. A. (2009). *Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón*. *Materiales de Construcción*, 5-18. Obtenido de:
<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/142/183>
- Rivera, A. S. (2018). *Especies nativas con potencial forrajero y multipropósito*. Mérida, Yucatán: Biodiversidad Yucatán. Obtenido de: http://sds.yucatan.gob.mx/biodiversidad-yucatan/04Parte3_Usos_Biodiversidad/Capitulo7/10Especies_nativas_potencial.pdf
- Seguí, P. S. (2016). *OVACEAN*. Recuperado el 09 de Octubre de 2019, de *¿Cómo afecta el color en la Arquitectura?*, Obtenido de: <https://ovacen.com/como-afecta-color-en-la-arquitectura/>
- Torres, M. d. (2008). *Desempeño de morteros adicionados con Metacaolín frente a la acción de sulfatos*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64328113>
- UH, E. J. (2013). *Evaluación de las resistencias mecánicas (compresión y cortante) de un mortero para aplanados con la sustitución parcial del agregado fino por PET*. Chetumal, Quintana Roo.
- UMACON. (2017). *Materiales innovadores en la construcción. ¿Qué beneficios nos aportan?* 18/09/2019, Obtenido de: <http://www.umacon.com/noticia.php/es/materiales-innovadores-para-construccion/431>
- Zaragoza, H. (2008). *Mejoramiento de morteros a través de Nopal*. (U. A. Querétaro, Ed.) *J.PACD*, 7. Obtenido de: <http://www.jpacd.org/downloads/Vol10/V10P126-132.pdf>

CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS CALIZOS PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO EN VALLADOLID, YUCATÁN

Lucila Guadalupe Aguilar Rivero¹, Diana Aracelly Loria Arjona²,
Suyen Gandhi Kauil Uc³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 28/06/2019

Aceptado: 24/09/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen.- La falta de estudios de caracterización en materiales empleados en la construcción, pone en riesgo la calidad de las construcciones, por ello el siguiente trabajo expone un procedimiento normado para la caracterización de agregados calizos de alta absorción y lograr así, determinar sus características para ser usados en la elaboración de concretos. Los agregados provienen de cinco bancos de pétreos, los cuales proveen arenas y gravas en la región de Valladolid, Yucatán. Se desarrollaron 10 ensayos regulados por la NMX-C-030-ONNCCE-2004, que abarcaron desde el proceso de muestreo, hasta la ejecución de las pruebas físicas. Los resultados determinaron que los agregados gruesos tienen altos porcentajes de absorción, desgaste; los agregados finos tienen una alta absorción, un módulo de finura elevado y una concentración significativa de partículas arcillosas. La masa específica y densidad de los agregados son adecuadas para concretos.

Palabras clave: Caracterización de agregados, piedra caliza, concreto.

LIMESTONE AGGREGATES CHARACTERIZATION FOR CONCRETE PRODUCTION IN VALLADOLID, YUCATÁN

Abstract.- The lack of characterization studies in materials used in construction, putting the quality of the constructions at risk, therefore the following work will expose a standardized procedure for the characterization of high absorption limestone aggregates and thus achieve, determine their characteristics for be used in the elaboration of concrete. The aggregates come from five stone banks which provide sands and gravels in Valladolid, Yucatan region. Ten trial regulated by NMX-C-030-ONNCCE-2004 were developed, ranging from the sampling process to the execution of the physical tests. The results showed that coarse aggregates have high percentages of absorption, abrasion, as well as elongated and layered particles; Fine aggregates have high absorption, high fineness modulus and a significant concentration of clay particles. Compact unit weight and specific of the aggregates are suitable for concrete.

Keywords: Aggregates characterization, limestone, concrete.

Introducción

Sin duda en el estado de Yucatán uno de los materiales más usados en la industria de la construcción es la piedra caliza. Dada la gran cantidad de este tipo de roca que se encuentra en la región y la importancia que tiene en las obras de infraestructura para la elaboración de materiales o su uso como agregados para la construcción y una amplia gama de aplicaciones que tiene siempre se ha considerado de importancia el conocimiento de sus propiedades físicas y químicas, que, por condiciones de laboratorio y recursos, se aborda esta primera investigación con las propiedades físicas.

En la zona oriente del estado de Yucatán se presentan problemas al momento de diseñar las mezclas para concretos, asfaltos y morteros; ya que se desconocen sus propiedades reales y no es posible tener una confiabilidad en los resultados mecánicos cuando son evaluados. Otro problema es la durabilidad, ya que la zona está sujeta a un alto contenido de humedad, se pueden presentar problemas como la florescencia y carbonatación, provocados en muchas ocasiones por la concentración de elementos degradantes en los agregados que reaccionan con la humedad, por ejemplo, los cloros. Valladolid es una zona con un crecimiento poblacional alto, y la industria de la construcción tiene un avance gradual en el desarrollo de unidades habitacionales, viviendas, oficinas y negocios. Todo lo anterior lleva a la necesidad de conocer, para establecer un mejor control de calidad hacia los agregados de la zona.

Conocer las propiedades de los agregados conlleva a la posibilidad de realizar mejores diseños de mezclas de concretos y asfaltos, ya que se pueden obtener resistencias estimadas y durabilidades más prolongadas. Este estudio se realizará

¹Lucila Guadalupe Aguilar Rivero. Docente del Instituto Tecnológico Superior de Valladolid, Yucatán.

²Diana Aracelly Loria Arjona. Docente del Instituto Tecnológico Superior de Valladolid, Yucatán.

³Suyen Gandhi Kauil Uc. Docente del Instituto Tecnológico Superior de Valladolid, Yucatán. suyen.ku@valladolid.tecnm.mx (**Autor correspondiente**).

de forma técnica-aplicada por los tipos de prueba que se plantean en la metodología, cada una de ellas es regulada por organismos especializados en materiales de la construcción.

Este proyecto se organiza por temas donde se describe en los antecedentes los trabajos previos que se han realizado de los agregados en Yucatán y los resultados obtenidos. Se presentan los objetivos y la metodología que se emplea para alcanzar las metas propuestas; seguido del marco teórico y normativo que establece los lineamientos de las pruebas que serán desarrolladas, así como los espacios a utilizarse, equipos y maquinaria necesaria para su realización; por último, se exponen los resultados de las pruebas realizadas por banco, la comparativa y resultados generales, así como la discusión de los cinco bancos de materiales estudiados. Por fines de confidencialidad se denominarán banco de materiales A, B, C, D, y E respectivamente.

Hoy en día existen estudios de la conformación geológica de la península de Yucatán, así como el estudio de las rocas, realizados en las canteras cercanas a la ciudad de Mérida, Yucatán, propiamente de la región oriente, en el municipio de Valladolid y sus alrededores no hay estudios específicos al respecto.

En la región oriente del Estado se suscita de manera natural el crecimiento tanto poblacional como de la mancha urbana, este último por medio de las unidades habitacionales, que se empezaron a desarrollar desde la década de los 80s, y es en los últimos años que dichas unidades han ido desarrollándose de manera exponencial, así como la construcción y habilitación de edificaciones para diversos usos del sector comercial u habitacional. Lo que hace notorio la presencia de la construcción en la región, por lo que se requiere empezar a conocer las características con las que cuentan los materiales pétreos, más utilizados por su accesibilidad en esta región.

Existen varios bancos de materiales que se están explotando en la zona, de manera particular, este trabajo presenta los resultados de las pruebas realizadas a los materiales pétreos, de las muestras obtenidas en los bancos de materiales de las cinco empresas que venden la mayor cantidad de los mismos en la localidad.

Según observaciones y criterios de los ingenieros civiles con más de veinte años que se encuentran en obra de la edificación, actualmente las edificaciones están presentando diversos comportamientos con respecto a años anteriores, lo que hace suponer que el material de construcción que llega al constructor, tiene alguna alteración, esto hace necesario el estudio de los materiales pétreos, obtenidos desde el banco de materiales, para que en un estudio posterior se haga la comparativa con el que se comercializa y el obtenido directamente después del proceso de extracción.

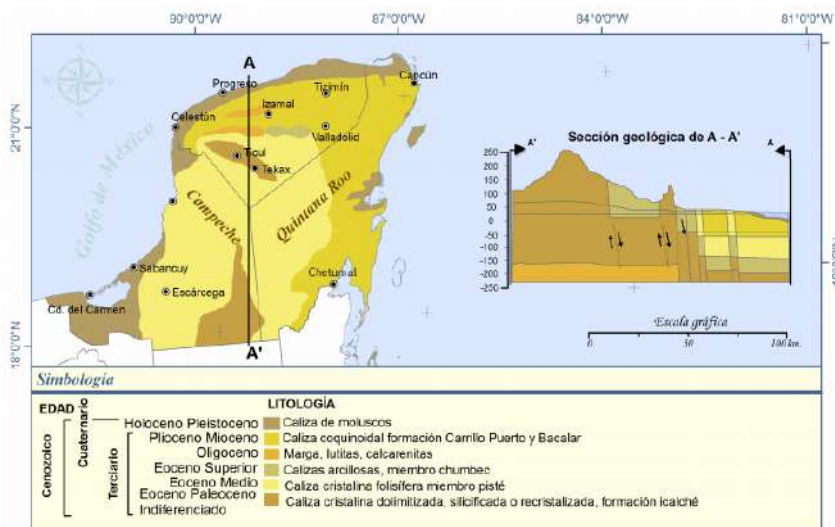


Figura 1. Clasificación Geológica de la Península de Yucatán (García y Graniel, 2010)

En la Figura 1 se observa que la conformación del suelo en la zona oriente es similar y/o igual a la del norte de la Península de Yucatán. Corresponde al de tipo "caliza coquinoal formación Carrillo Puerto y Bacalar por lo cual sería adecuado el estudio de las características físicas de los materiales para la construcción, debido a que los realizados a la fecha son propiamente del tipo de suelo y no de los materiales, lo que se pretende con esta investigación, es trabajar con el material pétreo después del proceso de extracción. La clasificación geológica denominada Felipe Carrillo Puerto y Bacalar, está conformado en la parte inferior por "coquinas" de 1 m de espesor aproximadamente, cubiertas de calizas duras. El Objetivo General consistió en determinar las propiedades físicas de los agregados calizos usados como material de construcción en la región oriente del Estado de Yucatán. Los objetivos específicos fueron: Obtener las

muestras para su estudio, caracterizar las propiedades físicas de los agregados calizos, y analizar los resultados de la caracterización en base a las especificaciones propias del diseño de mezclas para concreto.

Metodología

La metodología consistió en la obtención de muestras en el campo de los diferentes bancos para su estudio de determinación de muestras, de acuerdo a la norma NMX-C-030-ONNCCE-2004. Se realizó la preparación y acondicionamiento de las muestras mediante el secado de material y el cribado del mismo, utilizando la norma M·MMP·1·03/03. Realización de las pruebas de masa volumétrica para agregados finos y gruesos (NMX-C-073-ONNCCE-2004), análisis granulométrico (NMX-C-077-1997-ONNCCE), masa específica y absorción de agua del agregado grueso (NMX-C-164-ONNCCE-2014), agregados para concreto, las partículas más finas que la criba 0,075 mm (No. 200) por medio de lavado (NMX-C-084-ONNCCE-2006), masa específica y absorción de agua del agregado fino (NMX-C-165-ONNCCE-2014), contenido de agua por secado, método de prueba (NMX-C-166-ONNCCE-2006), resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos usando la máquina de los ángeles (NMX-C-196-ONNCCE-2010), Límites de Consistencia, Límites líquido y Plástico (M·MMP·1·07/07), partículas alargadas y lajeadas de materiales pétreos para mezclas (M·MMP·4·005/02). Se analizaron los resultados de la caracterización en base a especificaciones de diseño de mezclas de concreto, mortero y asfalto (NMX-C-111-ONNCCE-2004) mediante métodos estadísticos.

Las actividades principales del estudio fueron:

La identificación de los bancos de agregados calizos, realizada por medio de investigación documental y de opinión de especialistas en la región. Encontrando 5 bancos con mayor presencia comercial en la zona oriente del Estado de Yucatán, denominándolos A, B, C, D y E. Una vez definidos los bancos de materiales a estudiar, se procedió a contactar a los propietarios y solicitar las facilidades para la toma de muestras. La recolección de muestras se realizó en un periodo de 6 meses, tomando porciones iguales de diferente nivel y directriz al del almacén. Las muestras simples se mezclaron para formar una muestra compuesta, representativa del material total almacenado. La determinación del tamaño de muestra por banco de materiales, se realizó conforme a la norma NMX-C-030-ONNCCE-2004, por lo tanto, la muestra fue de 100 kg por banco en lo referente a arenas y de 150 kg por banco en lo referente a gravas.

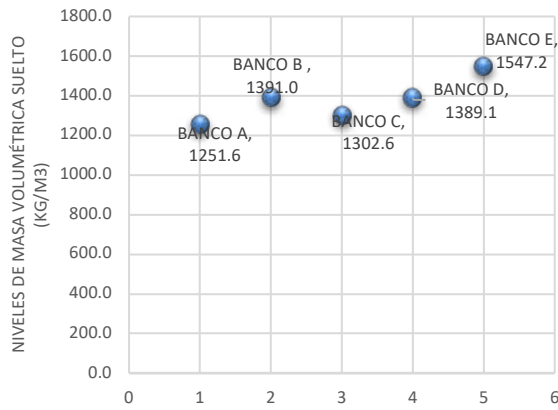
Para la determinación de las características físicas, se realizaron 10 pruebas para determinar masa volumétrica de los agregados finos, 5 pruebas para determinar masa volumétrica de los agregados gruesos, 10 pruebas para determinar tamaños granulométricos de los agregados, 10 pruebas para determinar partículas más finas que la criba 0,075 mm (No. 200) por medio de lavado, 10 pruebas para conocer la masa específica y absorción de agua del agregado fino, 10 pruebas para conocer la masa específica y absorción de agua del agregado grueso, 10 pruebas para conocer el contenido de agua por secado, 5 pruebas para determinar la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos usando la máquina de los ángeles, 5 Pruebas para Límites de Consistencia, y 5 Pruebas para determinar partículas alargadas y lajeadas de materiales pétreos para mezclas.

Resultados

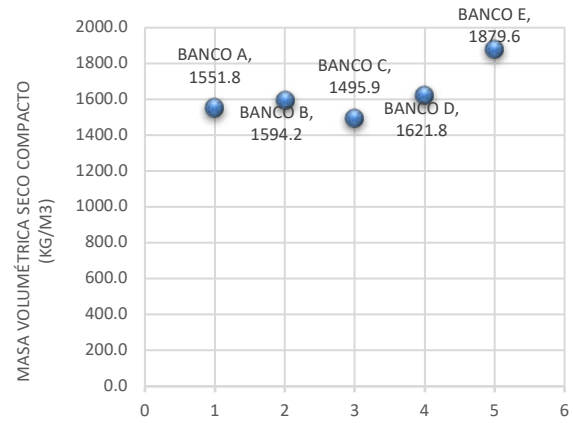
Los resultados para el agregado fino pueden observarse en la Tabla 1 y Gráficas 1 a 8, y para el agregado grueso en la Tabla 2 y Gráficas 9 a 16.

Tabla 1. Resultados de la caracterización del agregado fino por cada Banco

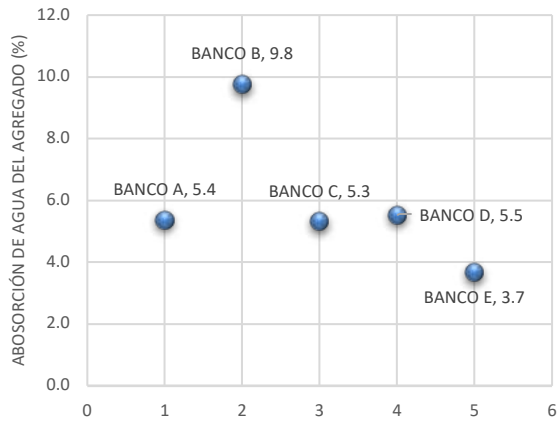
Propiedades	A	B	C	D	E	Promedio	Varianza
Masa Volumétrica Suelta (kg/m ³)	1251.6	1391.0	1302.6	1389.1	1547.2	1376.3	12642.9
Masa Volumétrica seca compacta (kg/m ³)	1551.8	1594.2	1495.9	1621.8	1879.6	1628.6	21929.0
Absorción de agua del agregado (%)	5.4	9.8	5.3	5.5	3.7	5.9	5.2
Módulo de Finura	4.7	4.9	4.9	4.9	5.2	4.9	0.0
Partículas Finas (%)	34.1	28.8	31.0	22.5	28.6	29.0	18.1
Masa específica (dm ³ /kg)	2.3	2.1	2.5	3.1	2.4	2.5	0.1
Contenido de agua (%)	10.2	8.2	9.8	5.9	7.0	8.2	3.3
LL	18.9	19.7	23.2	28.3	17.2	21.5	19.3
LP	17.3	17.7	19.8	12.3	10.9	15.6	14.2
IP	1.7	2.1	3.5	15.9	6.9	6.0	35.0



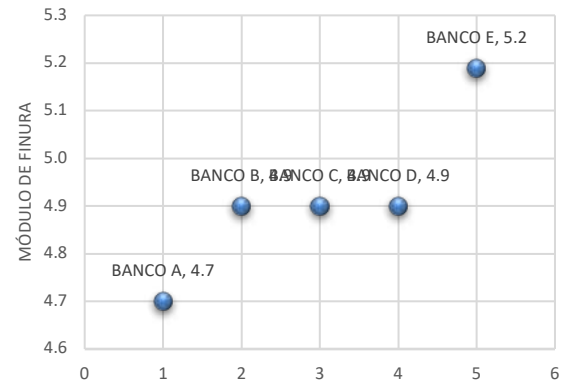
Gráfica 1. Masa volumétrica suelta (kg/m³)



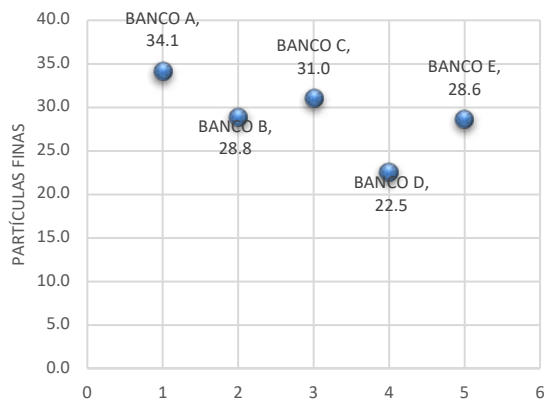
Gráfica 2. Masa volumétrica seca compacta (kg/m³)



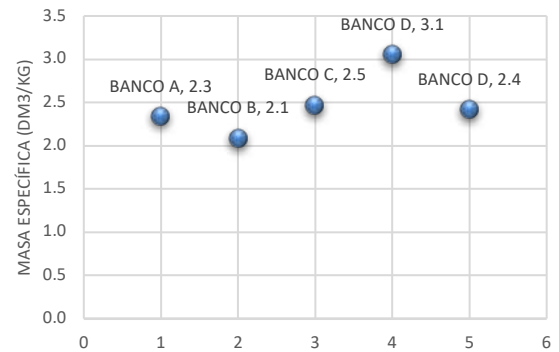
Gráfica 3. Absorción de agua del agregado (%)



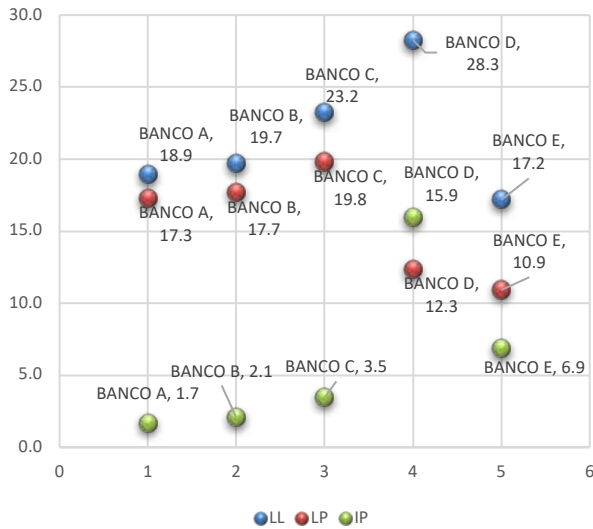
Gráfica 4. Módulo de finura



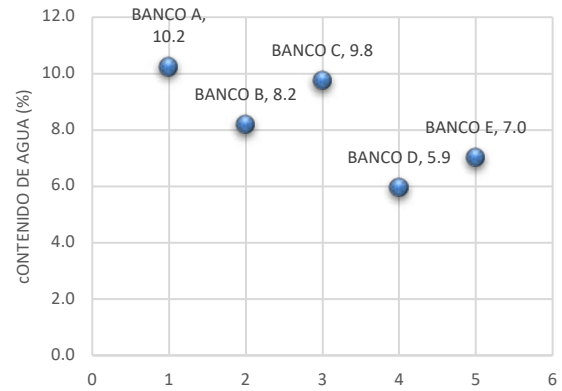
Gráfica 5. Partículas finas (%)



Gráfica 6. Masa específica (dm³/kg)



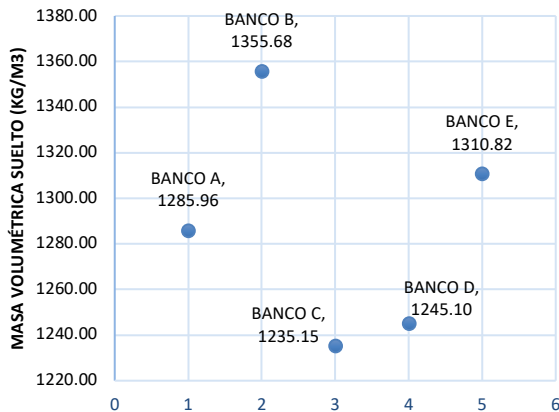
Gráfica 7. Límites de consistencia



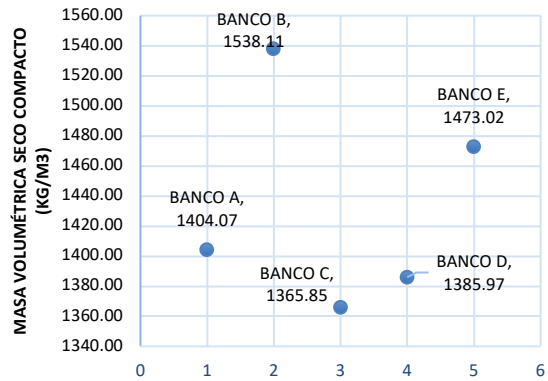
Gráfica 8. Contenido de agua (%)

Tabla 2. Resultados de la caracterización del agregado grueso por cada Banco

Propiedades	A	B	C	D	E	Promedio	Varianza
Masa Volumétrica Suelto (kg/m ³)	1285.96	1355.68	1235.15	1245.10	1310.82	1286.54	2432.205
Masa Volumétrica seco compacto (kg/m ³)	1404.07	1538.11	1365.85	1385.97	1473.02	1433.40	5051.527
Masa específica (dm ³ /kg)	2092.43	2041.24	2555.49	2156.74	2234.43	2216.06	41228.97
Absorción de agua del agregado (dm ³ /kg)	6.31	2.71	3.81	3.68	2.89	3.88	2.077357
Contenido de agua por secado (%)	2.91	2.52	0.35	1.4	3.55	2.15	1.61923
Resistencia a la abrasión (%)	39.68	34.91	26.35	28.51	37.52	33.39	33.07683
Lajeadas (%)	12.11	10.01	13.35	13.57	18.47	13.50	9.71012
Alargadas (%)	33.66	35.13	28.52	22.1	23.64	28.61	33.7755



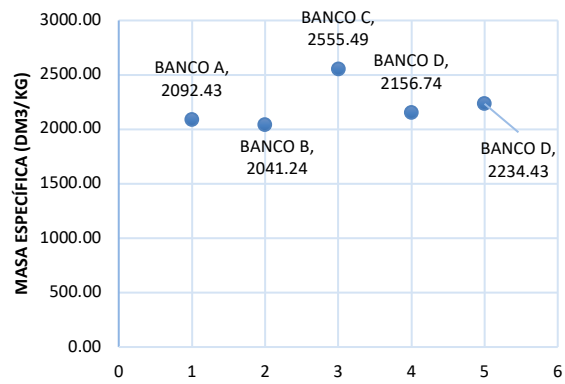
Gráfica 9. Masa volumétrica suelta (kg/m³)



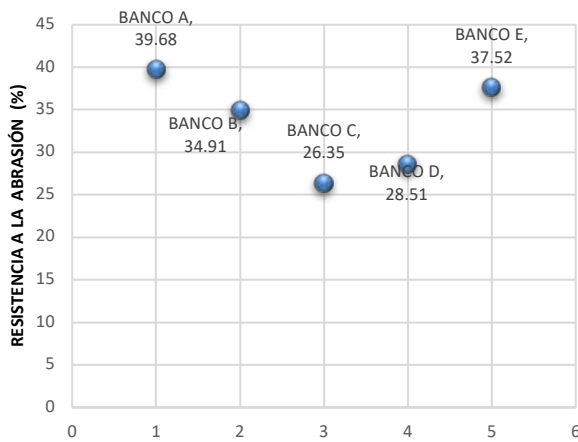
Gráfica 10. Masa volumétrica seca compacta (kg/m³)



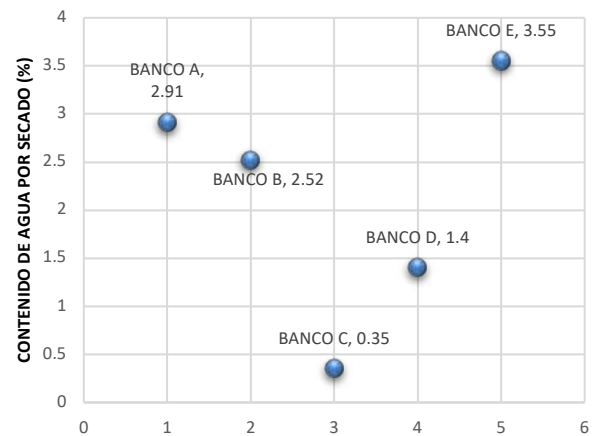
Gráfica 11. Absorción del agua del agregado (dm³/kg)



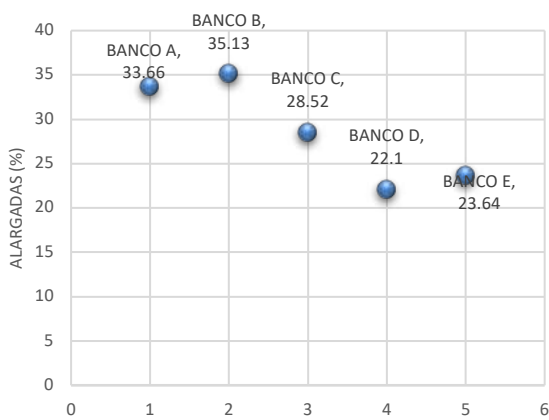
Gráfica 12. Masa específica (dm³/kg)



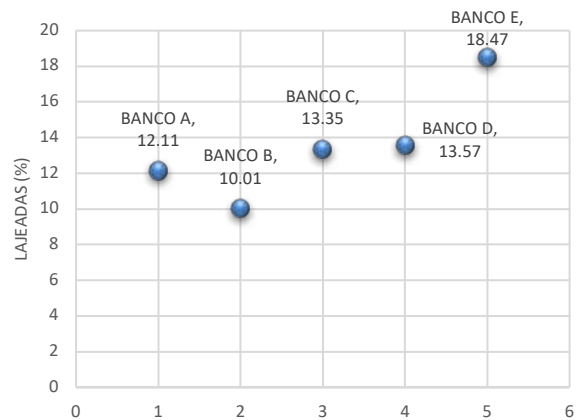
Gráfica 13. Resistencia a la abrasión (%)



Gráfica 14. Contenido de agua por secado (%)



Gráfica 15. Partículas Alargadas (%)



Gráfica 16. Partículas Lajeadas (%)

Discusión

Banco A

Los resultados del banco A para arenas demuestran que la masa volumétrica suelta y compacta tiene valores de pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos, los módulos de finura a partir de la malla numero 200 son altos, se sugiere por ello graduar el material fino antes de incorporarlo para la elaboración de algún mortero o concreto. La masa específica está ligeramente por debajo de lo que se indica para material calizo en concreto normal. Las arenas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural. Los límites de consistencia están dentro de los rangos permisibles, por lo que no deben generar ningún problema en los concretos por separación de partículas u ondulación de superficie.

De acuerdo a los resultados de pruebas para gravas, la masa volumétrica suelta y compacta tiene valores de pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos. La masa específica está ligeramente por debajo de lo que se indica para caliza en concreto normal.

Las gravas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural.

Las partículas alargadas y lajeadas no superan los límites máximos, es decir no afectan en la resistencia a la compresión cuando son aplicados en concretos en estado endurecido. Los agregados son resistentes a las cargas abrasivas en más de un 50% por lo que son adecuados para concretos.

Por lo antes descrito, se concluye que los agregados pétreos del banco de materiales A, tienen las características físicas adecuadas para la elaboración de concretos a excepción del exceso de arcillas en la arena.

Banco B

De acuerdo a los resultados para arenas, la masa volumétrica suelta tiene valores acordes a los materiales pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal y la masa volumétrica seca compacta se encuentra ligeramente por encima del límite permisible. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos, los módulos de finura a partir de la malla numero 200 son altos, se sugiere por ello graduar el material fino antes de incorporarlo para la elaboración de algún mortero o concreto. La masa específica está ligeramente por debajo de lo que se indica para material calizo en concreto normal.

Las arenas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural. Los límites de consistencia están dentro de los rangos permisibles, por lo que no deben generar ningún problema en los concretos por separación de partículas u ondulación de superficie.

De acuerdo a los resultados de pruebas para gravas, la masa volumétrica suelta tiene valores acordes a los materiales pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal y la masa volumétrica seca compacta se encuentra ligeramente por encima del límite permisible. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos. La masa específica está por debajo de lo que se indica para roca caliza en concreto normal.

Las gravas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural.

Las partículas alargadas y lajeadas no superan los límites máximos, es decir no afectan en la resistencia a la compresión cuando son aplicados en concretos en estado endurecido, sin embargo, es importante analizar y considerar la proporción de partículas lajeadas, esto debido a que se encuentra en el límite máximo permisible. Los agregados son resistentes a las cargas abrasivas en más de un 50% por lo que son adecuados para concretos.

Por lo antes descrito, se concluye que los agregados pétreos del banco de materiales B, tienen las características físicas adecuadas para la elaboración de concretos a excepción del exceso de arcillas en la arena.

Banco C

Los resultados del Banco C demuestran que las arenas tienen masa volumétrica suelta y compacta con valores acordes a los materiales pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos, los módulos de finura a partir de la malla numero 200 son altos, se sugiere por ello graduar el material fino antes de incorporarlo para la elaboración de algún mortero o concreto. La masa específica se encuentra entre el rango permisible para el material calizo en concreto normal.

Las arenas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural. Los límites de consistencia están dentro de los rangos permisibles, por lo que no deben generar ningún problema en los concretos por separación de partículas u ondulación de superficie.

Para las gravas, la masa volumétrica suelta y compacta tiene valores acordes a los materiales pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos. La masa específica se encuentra entre los límites permisibles, para roca caliza en concreto normal.

Las gravas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural.

Las partículas alargadas y lajeadas no superan los límites máximos, es decir no afectan en la resistencia a la compresión cuando son aplicados en concretos en estado endurecido. Los agregados son resistentes a las cargas abrasivas en más de un 50% por lo que son adecuados para concretos.

Por lo antes descrito, se concluye que los agregados pétreos del banco de materiales C, tienen las características físicas adecuadas para la elaboración de concretos a excepción del exceso de arcillas en la arena.

Banco D

De acuerdo a los resultados para arenas, la masa volumétrica suelta tiene valores acordes a los materiales pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal y la masa volumétrica seco compacta se encuentra por encima del límite permisible. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos, los módulos de finura a partir de la malla numero 200 son altos, se sugiere por ello graduar el material fino antes de incorporarlo para la elaboración de algún mortero o concreto. La masa específica está ligeramente por encima de lo que se indica para material calizo en concreto normal.

Las arenas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural. Los límites de consistencia están dentro de los rangos permisibles, a excepción del límite líquido que se encuentra por encima del límite aceptable por lo que no deben generar ningún problema en los concretos por separación de partículas u ondulación de superficie.

Para las gravas, la masa volumétrica suelta y compacta tiene valores de pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos. La masa específica está por debajo de lo que se indica para caliza en concreto normal.

Las gravas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural.

Las partículas alargadas y lajeadas no superan los límites máximos, es decir no afectan en la resistencia a la compresión cuando son aplicados en concretos en estado endurecido. Los agregados son resistentes a las cargas abrasivas en más de un 50% por lo que son adecuados para concretos.

Por lo antes descrito, se concluye que los agregados pétreos del banco de materiales D, tienen las características físicas adecuadas para la elaboración de concretos a excepción del exceso de arcillas en la arena.

Banco E

Los resultados del Banco E mostraron que en arenas la masa volumétrica suelta y compacta tiene valores por encima de los límites permisibles de los materiales pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal, esto se atribuye al exceso de finos que presenta el material. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos, los módulos de finura a partir de la malla numero 200 son altos, se sugiere por ello graduar el material fino antes de incorporarlo para la elaboración de algún mortero o concreto. La masa específica se encuentra en el límite inferior permisible que se indica para el material calizo en concreto normal.

Las arenas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural. Los límites de consistencia están dentro de los rangos permisibles, por lo que no deben generar ningún problema en los concretos por separación de partículas u ondulación de superficie.

De acuerdo a los resultados de pruebas para gravas, la masa volumétrica suelta y compacta tiene valores acordes a los materiales pétreos calizos (agregados) para generar concreto de peso normal. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites permitidos por lo que se considera apto para elaborar concretos. La masa específica está ligeramente por debajo de lo que se indica para caliza en concreto normal.

Las gravas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad en estado natural.

Las partículas alargadas y lajeadas no superan los límites máximos, es decir no afectan en la resistencia a la compresión cuando son aplicados en concretos en estado endurecido. Los agregados son resistentes a las cargas abrasivas en más de un 50% por lo que son adecuados para concretos.

Por lo antes descrito, se concluye que los agregados pétreos del banco de materiales E, tienen las características físicas adecuadas para la elaboración de concretos a excepción del exceso de arcillas en la arena.

Conclusiones

Con base en los resultados de la investigación, se asume que la masa volumétrica suelta de las arenas en todos los bancos, tiene valores para generar concreto de peso normal y las masas volumétricas secas compactas se encuentran dentro de los límites permisibles. Las distribuciones de granulometría tienen una distribución dentro de los límites aceptables por lo que se considera apto para elaborar concretos, los módulos de finura son altos, por lo que se recomienda graduar el material fino. Las arenas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad, pero estos factores no limitan el uso de los agregados en los concretos.

Por lo que toca a las gravas, la masa volumétrica suelta, compacta y masas específicas son aptas para elaborar concretos de peso normal. La granulometría tiene una distribución dentro de los límites, por ella se considera de buena calidad. Las gravas presentan un alto grado de absorción y tienen alto contenido de humedad que no afectan para al diseño de concretos. Las partículas alargadas y lajeadas no superan los límites máximos normados y la abrasión no supera el 50% de desgaste por lo que son adecuados.

En términos generales nuestros agregados tienen condiciones y características para realizar con ellos concreto de peso normal de buena calidad, siempre y cuando tengamos una buena graduación de arena.

Bibliografía

Chan J. et al, Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto, Ingeniería 7-2 (2003), 39-46 pp. Tomado de <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/influencia.pdf>

Espinosa L. et al, Propiedades geofísicas de rocas y suelos calcáreos. Mediciones de laboratorio en especímenes pequeños, Ingeniería 6-2 (2002), 23-32 pp. <http://www.Users/PC17052016/Downloads/Propiedades>.

Estrada, H., Análisis de compresión en rocas calizas de Yucatán, Memorias del 14 Congreso internacional anual de la SOMIM, Puebla, México, (2008), 602-608 pp.

García, Gerardo y Eduardo Graniel (2010), Geología en: Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán 4-6 pp. <http://www.cicy.mx/Documentos/CICY/sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap1/01%20Geologia.pdf>

Pacheco J., et al, Caracterización del material calizo de la formación Carrillo Puerto en Yucatán, Ingeniería 7-1 (2003), 7-19 pp. <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/caracterizacion.pdf>

Padilla Rodríguez, A., Materiales Básicos, Universidad Politécnica de Catalunya.

Secretaría de economía, Anuario Estadístico de Minería mexicana 2012, ed. 2013, 552 pp.

Norma Mexicana NMX-C-030-ONNCCE-2004

Norma Mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004

Norma Mexicana NMX-C-077-ONNCCE

Norma Mexicana NMX-C-111-ONNCCE-2004

Norma Mexicana NMX-C-072-1997-ONNCCE

Norma Mexicana NMX-C-196-ONNCCE-2010

Norma Mexicana M·MMP·1·07/07

Norma Mexicana M·MMP·4·04·005/08

N·CMT·2·02·002/02

ASTM C33/C33M-08

Cuerpo Académico de Construcción Sustentable

IES	Instituto Tecnológico de Chetumal
Año de registro	2016

Líneas de generación y/o aplicación del conocimiento que cultiva el cuerpo académico	
Nombre de la línea	Descripción
Tecnologías sustentables para la construcción	Proponer el uso de tecnologías sustentables y procesos alternativos de construcción para el desarrollo de la infraestructura y edificación mediante control de obra y uso de software especializados.
Materiales innovadores para la construcción	Proponer el uso de materiales que contribuyan a reducir el impacto ambiental así como aplicación de nanomateriales y micromateriales innovadores y modificadores de propiedades específicas de los materiales utilizados en la industria de la construcción.

Miembros del cuerpo académico y línea(s) de generación y/o aplicación del conocimiento que cultiva en el cuerpo	
Nombre del miembro	LGAC
CRUZ ARGUELLO JULIO CESAR	Materiales innovadores para la construcción
CRUZ ARGUELLO JULIO CESAR	Tecnologías sustentables para la construcción
JIMENEZ TORREZ LUIS FELIPE	Materiales innovadores para la construcción
JIMENEZ TORREZ LUIS FELIPE	Tecnologías sustentables para la construcción
DOMINGUEZ LEPE JOSE ANTONIO	Tecnologías sustentables para la construcción
YELADAQUI TELLO ALBERTO	Materiales innovadores para la construcción

Áreas y disciplinas del conocimiento en las que impacta el trabajo del cuerpo académico	
Área	Disciplina
Ingeniería y Tecnología	CONSTRUCCIÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MECÁNICA DEL MATERIAL CALIZO UTILIZADO EN EL SURESTE MEXICANO

Karen Estefany Acosta Guzmán¹, Danna L. Trejo-Arroyo²,
Julio C. Cruz Argüello³, Alberto Yeladaqui Tello¹⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 01/07/2019 Aceptado: 24/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- La influencia de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de rocas, agregados finos y gruesos, se ven reflejadas directamente en las propiedades mecánicas de elementos de concreto o morteros. En este estudio se presenta la caracterización físico-química y mecánica de roca y agregados calizos provenientes del sureste de la península de Yucatán que son utilizados para la industria de la construcción. Las muestras analizadas son provenientes de la subprovincia fisiográfica n°64, correspondientes al estado de Quintana Roo. Las propiedades físicas de los agregados fueron analizadas por medio de las normas ASTM que corresponden a granulometría, módulo de finura, absorción, humedad y peso volumétrico. Los análisis por MEB y EDS determinaron sus características superficiales y su composición elemental, respectivamente.

Palabras clave: Agregados calizos, caliza dolomítica, microestructura.

PHYSICAL-CHEMICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE LIMESTONE MATERIAL USED IN SOUTHEASTERN MEXICO

Abstract.- The influence of the physical, chemical and mechanical properties of rocks, fine and coarse aggregates, are directly reflected in the mechanical properties of concrete or mortar elements. This study presents the physical-chemical and mechanical characterization of rock and limestone aggregates from the south-east of the Yucatan Peninsula that are used for the construction industry. The samples analyzed are from physiographic subprovince n° 64, corresponding to the state of Quintana Roo. The physical properties of the aggregates were analyzed by ASTM norms that correspond to granulometry, modulus of fineness, absorption, humidity, volumetric weight and sanitation. The analyzes performed by SEM and EDS determined their surface characteristics and elementary composition, respectively.

Keywords: Limestone aggregates, dolomitic limestone, microstructure.

Introducción

La Península de Yucatán posee varios tipos de calizas (piedras sedimentarias no clásticas; calizas: margas, dolomitas y yeso) compuesta mayoritariamente en carbonato de calcio (Monteiro k. e., 1998). En abundancia han sido utilizados desde tiempos antiguos en la infraestructura y edificación. Dentro del ámbito de la construcción, en la península de Yucatán, el agregado calizo es considerado como un material de propiedades físicas, químicas y mecánicas de comportamiento muy variable dentro del concreto, mortero, asfaltos etc. (Chan, 2003) ya que sus propiedades dependen de su formación y evolución geológica por lo que pueden afectar directamente en su vida útil (Salomón, 2003). En algunas regiones es común utilizar este tipo de rocas calcáreas como materia prima para la industria de la construcción. Este grupo de rocas tiene una distribución dentro del territorio nacional, en el sureste (Quintana Roo, Tabasco y Oaxaca) que se concentra en el 16.6% (Minero, 2014). Debido a sus propiedades físicas y mecánicas del agregado (porosidad capilar, densidad, sanidad, resistencia a compresión entre otras) los concretos llegan a ser sobre-dosificados para alcanzar las resistencias que establecen las normas internacionales existentes como las de American Society for Testing and Materials (ASTM) (Chan, 2003), las cuales no son adecuadas para el tipo de agregado calizo de la región mencionada; generando gastos superiores a los establecidos a la hora de diseñar y ejecutar el concreto.

¹ Karen Estefany Acosta. Estudiante de la Maestría en Construcción. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

² Danna Lizeth Trejo-Arroyo. Cátedra Conacyt-Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal. danna@itchetumal.edu.mx (**Autor correspondal**).

³ Julio Cesar Cruz-Argüello. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

⁴ Alberto Yeladaqui Tello. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

Durante mucho tiempo los agregados calizos han sido considerados como un relleno inerte y por lo tanto un material carecido de atención con respecto a su posible influencia en las propiedades del concreto. Sin embargo, debido al creciente conocimiento del papel que juegan los agregados para determinar muchas propiedades importantes del concreto, la idea tradicional del agregado como relleno inerte está siendo cuestionada, por lo tanto, toma mayor relevancia. Los últimos años se han estudiado los cambios que ha sufrido la roca madre del sureste de la península de Yucatán, ya que ocupan un gran volumen que va del 50 al 70% de la mezcla del concreto, su estudio es de gran importancia, ya que los agregados son componentes críticos dentro de la mezcla dando un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras. (Minero, 2014).

Esta investigación ofrece establecer ventajas y desventajas de utilizar agregado calizo con diferentes tipos de composición mineralógica y/o un avance para mejorar la aplicación y uso en la construcción que se le da al agregado. Específicamente se determinan los efectos de las propiedades físico-químicas de los agregados calizos en las propiedades mecánicas del concreto. Para este estudio, se establece el banco de estudio en función de su fisiografía y tipo de material calizo existente en Quintana Roo. Posteriormente se realiza la caracterización físico-química de los diferentes tipos de agregado obtenidos del banco en estudio por medio de granulometría, peso volumétrico seco varillado, humedad, densidad, absorción y tamaño máximo del agregado. Para determinar sus características superficiales se realizó un ensayo por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y se realizó un análisis químico elemental por medio de MEB-EDS. Se sugiere que la caracterización físico-química del material calizo presente en el estado de Quintana Roo utilizado en la industria de la construcción, aportará nuevos conocimientos que complementen los ya establecidos en cuanto al comportamiento mecánico de concretos, permitiendo recomendar la calidad técnica más adecuada..

Metodología: materiales y métodos

-Definir y establecer los bancos de estudio localizados en la subprovincia fisiográfica n°64 y con respecto a los diferentes tipos de material calizo existentes en Quintana Roo.

La república mexicana posee 15 provincias fisiográficas terrestres. Para la selección de los agregados en estudio, se tomó en cuenta que, de acuerdo a la estructura fisiográfica el estado de Quintana Roo se encuentra localizado dentro de la provincia N°13 con el nombre denominado península de Yucatán. La provincia fisiográfica “la península de Yucatán” posee a su vez 3 subprovincias denominadas, N°62 el Carso Yucateco, N°63 el Carso y Lomeríos de Campeche y n°64 Costa baja de Quintana Roo.

Para establecer los límites del trabajo de acuerdo a su fisiografía, se consideró el estudio enfocado a la zona fisiográfica n°64, costa baja de Quintana Roo (Zona escasamente explorada). Delimitando por su geología, el estado de Quintana Roo posee 13 tipos de suelo de la era cenozoica del cuaternario y del terciario específicamente.

-Identificar y definir los bancos asentados en el área de estudio, así como el tipo de agregado de cada uno de acuerdo a su fisiografía y geología.

El estado de Quintana Roo cuenta con 19 bancos activos en base a un estudio realizado por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), donde se da a conocer los nombres de cada uno de estos bancos, así como coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) y, los usos más comunes en la construcción y mantenimiento de carreteras. En base a estas coordenadas, se realizó un dibujo técnico en el programa de AutoCAD el cual permitió determinar en qué zonas geológicas se localizan cada uno de estos 19 bancos existentes usando las coordenadas UTM. Se determinó que varios de los bancos se encontraron en zonas geológicas con el mismo tipo de suelo por lo que se fueron descartando, tomando en cuenta solo los que se encuentran dentro de la zona fisiográfica número n°64 y donde su tipo de suelo fue diferente.

-Sondear/muestrear el agregado calizo en base a la fisiografía y geología.

Una vez delimitada el área de estudio, se procedió a realizar la exploración de campo a los bancos seleccionados, por medio de las coordenadas UTM para establecer el muestreo de los agregados de acuerdo a las normas ASTM D-75 y NMX C-030-ONNCCE 2004.

-Caracterización física de los agregados obtenidos del muestreo.

Pruebas físicas al agregado fino

Cuarteo. El agregado fino fue dividido en 4 partes iguales en forma de cruz y se tomaron 2 partes opuestas, se realizaron los cuarteos necesarios en base a la norma ASTM C-702, reduciendo la cantidad de agregado fino para la obtención de una muestra exacta.

Granulometría y módulo de finura. La granulometría de la arena se realizó en base a la norma ASTM C-136 y fue determinado el módulo de finura.

Absorción. Para obtener la absorción de humedad en el agregado fino se utilizó la norma ASTM C-128.

Contenido de Humedad. La determinación del contenido de humedad se realizó mediante la norma ASTM C-70..

Pruebas físicas al agregado grueso

Cuarteo. El cuarteo del agregado grueso se determina en base a la norma ASTM C-702 teniendo como opción el cuarteo mecánico y el manual. Por lo tanto, se realizó por el método manual como en el agregado fino.

Granulometría. La granulometría de la grava se realizan en base a la norma ASTM C-136 y C117. De acuerdo al banco; manejan agregados de 19 mm o 3/4 in a 9.5 mm o 3/8 in $\pm$ en promedio. Bajo este criterio es utilizada la norma que deberá aplicarse. Siendo la norma ASTM C117 para agregados gruesos menores de 1/2 in como se observa en la Figura 1a, y aplicando la norma ASTM C136 en caso de agregados gruesos de 1 in o más, como tamaño nominal, Figura 1b, norma ASTM C33.

a)		b)	
Nominal maximum size	Minimum Mass, g	Nominal maximum size, Square Openings, mm (in.)	Test sample size, min, kg (lb)
4.75 mm (No. 4) or smaller	300	9.5 (3/8)	1 (2)
9.5 mm (3/8 in.)	1000	12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 mm (3/4 in.)	2500	19.0 (3/4)	5 (11)
37.5 mm (1 1/2 in.) or larger	5000	25.0 (1)	10 (22)
		37.5 (1 1/2)	15 (33)
		50 (2)	20 (44)
		63 (2 1/2)	35 (77)
		75 (3)	60 (130)
		90 (3 3/4)	100 (220)
		100 (4)	150 (330)
		125 (5)	300 (660)

Figura 1. a) Tamaño máximo nominal menor de 1/2" agregado grueso. b) Tamaño máximo nominal agregado grueso.

Tamaño máximo nominal. El tamaño máximo nominal se estableció de acuerdo con la norma ASTM C33. De acuerdo a cada banco; manejan agregados de 19 mm o 3/4 in a 9.5mm o 3/8 in $\pm$ en promedio. Por lo tanto, de acuerdo a estos tamaños, el rango que determina el tamaño nominal será entre estos.

Masa volumétrica seca suelta y seca compacta. Para la obtención del peso unitario e índice de huecos en los agregados, se realizó en base la norma ASTM C-29.

Absorción. Para la determinación de la absorción del agregado grueso se realiza en base a la norma ASTM C 127.

Humedad. Para determinar la humedad en el agregado grueso se determinó en base a la norma ASTM C566.

Caracterización físico-química del agregado

Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y Espectrometría de Dispersión de Energía de Rayos X (EDS). Esta prueba se realiza con un microscopio electrónico de barrido modelo JEOL JSM 6010PLUS/LA. Para realizar esta prueba fue necesario preparar las muestras con un tamaño menor a 0.5 cm de largo por 1mm de ancho posteriormente son colocadas en el porta-muestras del microscopio y es recubierta por un baño de oro.

-Diseño de mezcla en base a las características del agregado de muestreo y en base a una relación agua/cemento de 0.7

Con los resultados de las pruebas de caracterización física y química de los agregados grueso y fino, se elaborará un diseño de mezcla en base al método ACI-211.1 del American Concrete Institute y en base a lo establecido en la norma NMX-C-403-ONNCCE. En ese punto se ajustará el diseño con la condición que mantenga la relación establecida.

-Determinar la resistencia mecánica a la compresión de un concreto fabricado con los agregados en estudio

Se elaborarán especímenes de concreto a 28 días de curado por cada agregado en estudio proveniente de cada banco para determinar la resistencia a la compresión, aplicando la norma ASTM C-39. Todos los especímenes deben ser curados a la temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en una solución de agua saturada con cal de acuerdo a la norma ASTM C 192.

Resultados

En la imagen de la Figura 2, se muestra la localización de los bancos de Quintana Roo obtenida de Carta Fisiográfica 1:1.000,000 Mérida XI 1987 (informativa, 1987); se puede observar la distribución de las zonas fisiográficas de la península de Yucatán donde se encuentran las subprovincias fisiográficas, n°62 Carso yucateco en color verde claro, n°63 Lomeríos de Campeche en color naranja y n°64 correspondiente a la costa baja de Quintana Roo en color verde oscuro. Se localizaron en el mapa los 19 bancos del estado de Quintana Roo en círculos color azul, de acuerdo a las zonas geológicas que poseen y a la zona fisiográfica se descartaron los que poseen el mismo tipo de suelo fuera de la subprovincia quedando así 4 tipos de suelo. La investigación presente se centró en el banco 001 de la zona geográfica n°64 señalada en el mapa con la flecha negra.

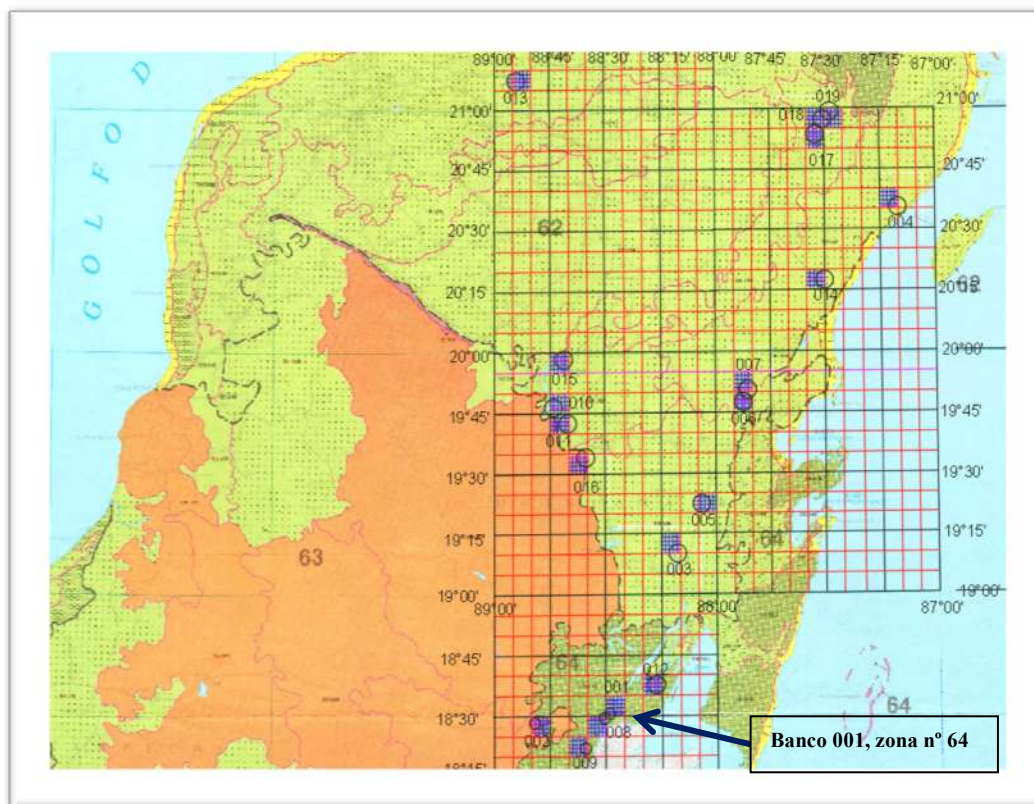


Figura 2. Fuente: Elaboración propia con los datos de la “Localización de los bancos de Quintana Roo, Carta Fisiográfica 1:1.000,000 Mérida XI 1987 (informativa, 1987)”

En la imagen de la Figura 3, que corresponde a “Inventario de bancos de materiales de Quintana Roo”, (Secretaría de comunicaciones y subsecretaría de infraestructura, 2019) señala que, el estado de Quintana Roo posee 4 tipos de material calizo de acuerdo a los 19 bancos existentes, los cuales corresponden a del tipo:

Aluvión (Qhoal), Caliza Coquina (Tmpl Cz-Cq), Caliza Marga (Te Cz-Mg) y Caliza-dolomía (Tm Cz-Do). Por lo tanto, los agregados seleccionados para el estudio correspondieron al banco denominado “El 21”, que de acuerdo al inventario del banco de materiales de Quintana Roo mostrado, corresponden a los agregados del banco Número 1, localizado en el kilómetro 251+00, en las coordenadas $18^{\circ}30'57.75''\text{N}$ - $88^{\circ}29'04.79''\text{O}$, con el tipo de material del

aluvión bajo la denominación (Qhoal), un material que contiene caliza alteradas por el intemperismo, arcillas lateríticas y limos correspondiente a la era cuaternaria (Castro G. G.).

INVENTARIO DE BANCOS DE MATERIALES ACTIVOS QUINTANA ROO 2019									
N° DE BANCO	NOMBRE	KILOMETRO	COORDENADAS UTM	ULTIMO ESTUDIO	TIPO DE MATERIAL (CALIZA)	TRATAMIENTO	USOS	N° DE PLANO	ZONA FISIOGRAFICA
1	EL "21"	251+00	18°30'57.75"N, -88°29'04.79"O	oct-96	Qhoal	TPC	5 al 10	1	64
2	EL "60"	215+100	18°28'39.63"N, -88°49'17.12"O	oct-96	Tm Cz-Do	TPC	5 al 10	1	63
3	S/N	078+200	19°10'01.79"O, -88°10'69.66"O	dic-08	Tmpl Cz-Cq	TPC	1	2	63
4	CALICA	281+440	20°35'46.26"N, -87°10'21.00"O	oct-96	Tmpl Cz-Cq	TPC	5 al 11	4	62
5	S/N	104+750	19°20'11.39"N, -88°04'45.89"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 5	2	62
6	S/N	162+500	19°47'58.02"N, -87°52'50.57"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 5	3	62
7	S/N	168+000	19°50'53.72"N, -87°51'24.91"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 5	3	62
8	LA VACADILLA	001+100	18°29'45.95"N, -88°30'31.90"O	oct-96	Tm Cz-Do	TPC	5 al 10	1	64
9	SABIDOS	18+500	18°22'01.35"N, -88°35'48.16"O	nov-15	Qhoal	TPC	5 al 10	1	64
10	EL TAMARINDO	134+900	19°46'40.77"N, -88°44'10.87"O	nov-15	Te Cz-Mg	TPC	1 al 10	2	62
11	DOS AGUADAS	145+000	19°42'45.62"N, -88°40'33.20"O	nov-15	Te Cz-Mg	TPC	1 al 10	2	62
12	BETANIA	192+500	19°37'59.28"N, -88°16'47.69"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 10	2	64
13	A.B.C.	309+900	21°07'27.16"N, -88°54'12.47"O	oct-96	Tmpl Cz-Cq	TTC	5 al 10	5	62
14	S/N	10+500	20°17'44.16"N, -87°30'09.14"O	sep-05	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 10	4	62
15	TABASQUILLO	17+100	19°58'27.42"N, -88°41'36.64"O	sep-13	Tmpl Cz-Cq	TTC	1 al 10	2	62
16	CHUNHUHUB	095+000	19°34'06.43"N, -88°35'44.28"O	jun-99	Te Cz-Mg	TTC	5 al 10	2	62
17	EL IDEAL	2+380	20°53'57.06"N, -87°32'51.84"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TTC	1 al 10	4	62
18	EL CEDRAL	12+250	20°57'28.07"N, -87°30'50.55"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TTC	1 al 10	4	62
19	SAN PEDRO	001+300	20°59'22.14"N, -87°28'57.13"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TTC	5 al 10	4	62
tratamiento:				USOS:		6	concreto asfáltico		
TPC	TRITURACION PARCIAL Y CRIBADO			1	revestimiento	7	mezcla asfáltica en el lugar		
TTC	TRITURACION TOTAL Y CRIBADO			2	sub-base	8	sello		
Uso de explosivos: en general no tienen restricciones fecha de actualización: noviembre 2015 aspecto económico: conveniente				3	sub-balasto	9	mampostería		
				4	balasto	10	concreto hidráulico		
				5	base	11	escolleras		

Figura 3. Elaboración propia con los datos del "Inventario de bancos de materiales activos Quintana Roo, 2019."

En cuanto a los resultados de la caracterización física de los agregados finos, los datos obtenidos del análisis granulométrico del banco 1 son presentados en la Tabla 1. Se obtuvo un Módulo de finura de 3.04 encontrándose dentro de los límites granulométricos que establece la norma ASTM C33 y como puede observarse en la gráfica de la Figura 3.

Tabla 2. Análisis granulométrico promedio del agregado fino.

TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	% DEL LÍMITE INFERIOR	% DEL LÍMITE SUPERIOR
9.5	0	0	0	100	100	100
4.75	0.6	0	0	100	95	100
2.36	202.4	20	20	80	80	100
1.18	226.8	23	43	57	50	85
0.6	178.20	18	61	39	25	60
0.3	224.8	22	83	17	5	30
0.15	144.2	14	97	3	0	10
Bandeja	23	2	99	0	-	-
Σ	1000			Módulo de finura	3.04	

Fuente: Elaboración propia.

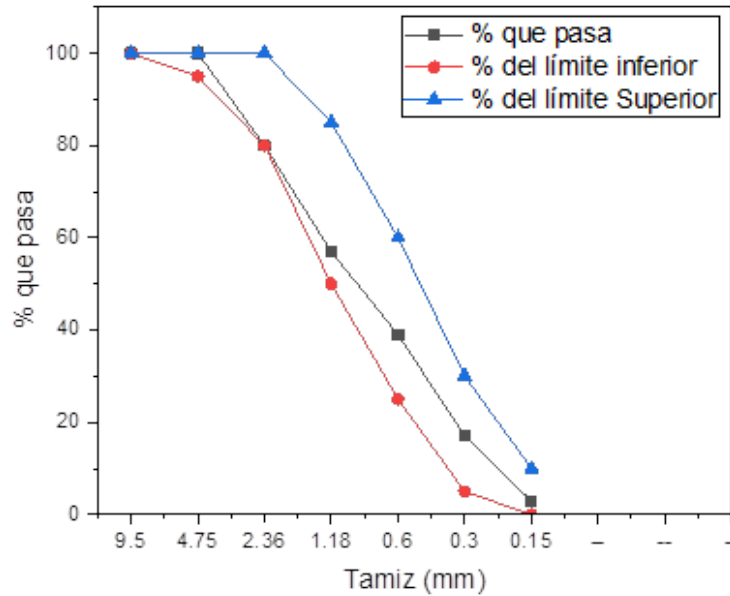


Figura 3. Análisis granulométrico promedio del agregado fino.

Los datos del análisis granulométrico del agregado grueso son presentados en la imagen de la Figura 4. Se sugiere que el agregado grueso obtenido del banco 1 cumple con las especificaciones establecidas de acuerdo a la norma ASTM C 136 por medio de la cual se determinó el tamaño máximo del agregado siendo este de 3/4 in.

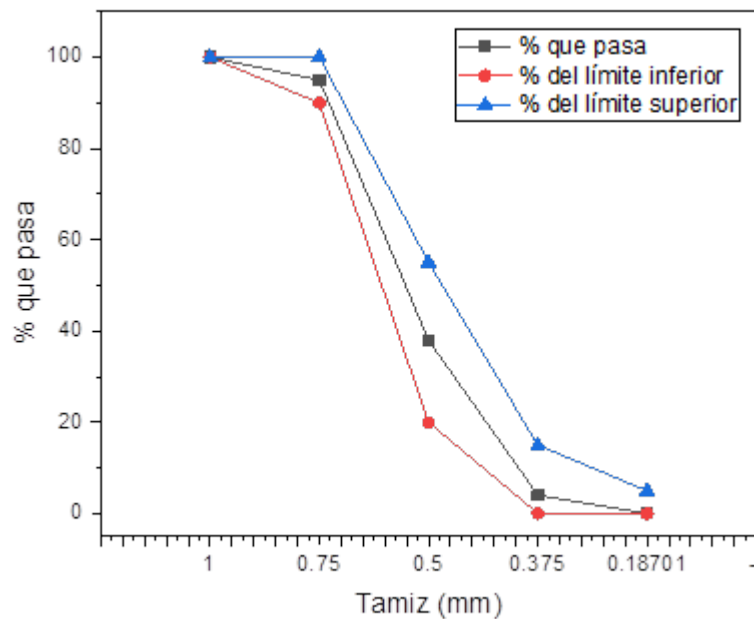


Figura 4. Análisis granulométrico promedio del agregado grueso.

En las Tablas 3 y 4, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización física de agregado fino y grueso, en la cual se observó un porcentaje de absorción de los agregados considerablemente alto por lo que son considerados como agregados de alta absorción.

Tabla 3. Caracterización física mediante las normas ASTM de agregados finos.

Caracterización Física Agregados Finos				
Absorción %	Humedad superficial %	Densidad aparente kg/m ³	Densidad relativa	Módulo de finura
4.90	0.30	2665.76	2.67	3.04

Tabla 4. Caracterización física mediante las normas ASTM de agregados gruesos.

Caracterización Física Agregados Gruesos				
Peso Volumétrico suelto kg/m ³	Peso Volumétrico compacto Kg/m ³	Absorción %	Densidad aparente kg/m ³	Densidad relativa
5.953	6.736	3.31	2595.65	2.6

Los análisis de la caracterización físico-química por medio de MEB y MEB-EDS se muestran a continuación. La micrografía de la Figura 5a, muestra una imagen de un agregado fino a una magnificación de 2000X donde se observa en general una morfología irregular, su superficie expuesta parece estar compuesta por diversos poliedros o superficies angulosas y rugosas lo que sugiere es benéfico para su uso en concretos ya que según (Çeçen, 1997) y (Monteiro k. M., 1998), las reacciones químicas interfaciales mejoran la resistencia de la unión (adherencia) entre la pasta cementante y las superficie de las partículas de agregado, obteniendo a edades tempranas una reducción en la fuerza de adherencia mientras que a edades tardías estos poros llegan a llenarse con productos de reacción incrementando la fuerza de adherencia (Tasong 1999), (Chan, 2003). En cuanto al análisis químico por EDS de los agregados, en la gráfica de la Figura 5b, puede observarse los picos característicos correspondientes a los elementos encontrados como Ca y Mg, (los picos presentes de C y Au forman parte de los elementos utilizados para la preparación de las muestras).

Por lo tanto, se sugiere que los agregados analizados correspondientes al banco 1 en estudio, pertenecen a agregados del tipo caliza-dolomítica, ya que presentó altos porcentajes de Mg alrededor del 21.09% en su composición, como puede observarse en el inserto de la Figura 5b del análisis químico por EDS. Cuando el carbonato de magnesio (MgCO₃) oscila entre el 10 y el 50% la roca puede denominarse caliza dolomítica (Mishari Al- Awadi, 2009) cuando posee más del 50% de MgCaO₃ se le considera dolomía, y cuando posea entre un 5% y un 10% de MgCaO₃ es considerado como caliza magnesiana un término que considera (Mishari Al- Awadi, 2009) obsoleto, con menos del 5% de MgCaO₃ la roca se denomina simplemente caliza.

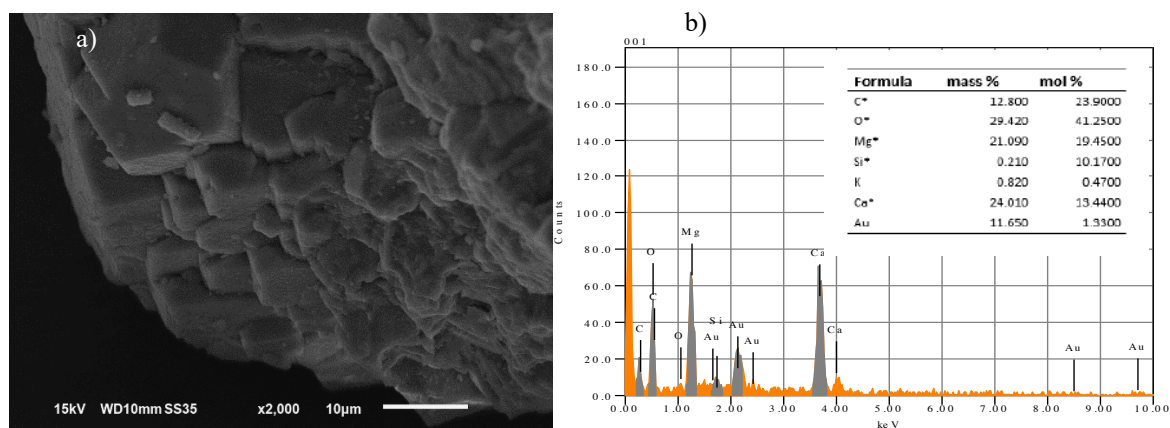


Figura 5. a) Micrografía obtenida por MEB de una muestra de arena de 2000X. b) Gráfica de EDS de la muestra de arena.

Discusión y contexto

Los resultados obtenidos corresponden al banco 1 denominado “el 21” de acuerdo al “Inventario de bancos de materiales de Quintana Roo”, localizado en el kilómetro 251+00, en las coordenadas 18°30'57.75"N, -88°29'04.79"O, que de acuerdo a la literatura contiene material calizo del tipo aluvión, sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, el banco estudiado posee caliza del tipo caliza dolomítica el cual contiene más del 30% en contenido de magnesio (Mg), sugiriendo que además químicamente podría tener potencial reactivo. Las propiedades químicas de la roca serán evaluadas posteriormente por medio del método del cilindro de roca en función de la norma ASTM C-586.

El agregado posee un clivaje natural con formas geométricas definidas y de textura rugosa el cual de acuerdo a la literatura estas características incrementan la fuerza de adherencia entre los agregados y la pasta cementante. El agregado fino calizo cumple con la granulometría especificada y posee un módulo de finura de 3.04 lo cual indica que el agregado posee mayoritariamente partículas más gruesas que finas con respecto a los tamaños de malla que se manejan, esto es debido al alto módulo de finura que se obtuvo.

En cuanto a los agregados gruesos del banco 001, se sugiere que su tamaño máximo y su granulometría cumplen con lo establecido por la norma, dentro del rango de tamaño de 3/4 a 3/8 in, sin embargo el tamaño máximo del agregado puede variar en función de la condiciones de explotación y trituración.

Una de las ventajas del uso de agregados calizos con estas características morfológicas y superficiales que se han determinado, es que existe una mayor adherencia en la zona de transición interfacial debido a la interacción química de la pasta cementante con este tipo de roca caracterizada por su relativa porosidad, algunos autores han mencionado que incluso la falla se puede generar al interior de los agregados y no en esa fase considerada como la más propensa al inicio de falla.

Conclusiones

El estudio del banco “El 21” determinó que se obtuvo el 21.09% de magnesio por lo que se denomina caliza del tipo dolomítica.

Se determinó que la granulometría del agregado cumple con lo estipulado en la norma ASTM C33.

La morfología que posee el agregado del banco en estudio es irregular, con superficies expuestas compuesta por diversos poliedros, en su mayoría cuadriláteros con superficies angulosas y rugosas lo que sugiere es benéfico para su uso en concretos mejorando la adherencia entre la pasta cementante y la superficie de las partículas de agregado.

El porcentaje de absorción del agregado fino del banco en estudio fue del 4.9%; las calizas de la región se distinguen por poseer una absorción que va más del 1% clasificándose como agregados de alto absorción, por lo que se debe tener en cuenta que el concreto que se elabore con materiales del banco “El 21” requerirán de un mayor porcentaje de agua en su mezcla.

Bibliografía

- Castro, G. G. (2010). Geología, biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán, 4-6.
- Cerón M., D. F. (1996). Propiedades físicas de los agregados pétreos de la ciudad de Mérida. “Boletín académico FIUADY,” (México), (31), 27.
- Chan, J. L. (2003). Influencia de los agregados pétreos en la características del concreto. Ingeniería 7-2, 39-46.
- Córdova, J. L. (1991). Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. Instituto de geografía, universidad nacional autónoma de México, 25-63.
- Hernández, D. C. (2013). Caracterización de la roca caliza, producto de la explotación en los bancos de material pétreo en el municipio de Othón p. blanco. Chetumal. Quintana Roo.
- hubp, j. l. (1990). El relieve de la república mexicana. Univ. Nacional autónoma de México instituto de geología revista vol. 9, 82-111.
- informativa, i. n. (1987). Carta fisiográfica 1:1.000,000 Mérida. San Antonio abad 124 México 8, D.F.: dirección general de geografía del territorio nacional.

- Ing. Javier Zarate López, I. F. (2005). cartografía y edición por el servicio geológico mexicano "Carta Geológico-Minera Quintana roo y Campeche". col. venta prieta C.P. 42080 Pachuca hidalgo: servicio geológico mexicano.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. (enero 2010). NMX C-030-ONNCCE 2004. El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones, 68-71.
- INTERNACIONAL, A. (1999). Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method) C 586. ASTM INTERNACIONAL Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., 1-5.
- INTERNATIONAL, A. (1994). Standar Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate. ASTM INTERNATIONAL, 1-3.
- INTERNATIONAL, A. (1996). Standard Test Method for Sieve Analysis of fine and coarse Aggregates C-136. ASTM INTERNATIONAL, 1-5.
- INTERNATIONAL, A. (1999). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate C 88. Annual Book of ATSM Standards, Vol 04.03. Vol 14.02. y 14.03, 1-5.
- INTERNATIONAL, A. (2000). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils D 4318. ASTM INTERNATIONAL, 1-14.
- INTERNATIONAL, A. (2001). Standard Test Method for Density, Relative Density, and Absorption of fine aggregate C128. ASTM INTERNATIONAL, 1-6.
- INTERNATIONAL, A. (2001). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine C 131. ASTM INTERNATIONAL , 1-4.
- INTERNATIONAL, A. (2017). Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials ASTM E 384-17. ASTM INTERNATIONAL Book of Standards Volume: 03.01, -.
- Iriondo, M. H. (1985). Introducción a la Geología 3° edición. Paraná, Argentina: Brujas.
- José Lugo-Hup, J. F.-Q.-P. (1992). Rasgos Geomorfológicos Mayores de la Península de Yucatán . Universidad Autonoma de México, Instituto de geología volumen 10 numero 2, 143-150.
- José Luis Chan Yam, R. S. (2003). Influencia de los agregados pétreos en la características del concreto. Ingeniería 7-2, 39-46.
- Ke-Ru Wu*, B. C. (2001). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete. Cement and Concrete Research, 1421-1425.
- M.I. Sánchez de Rojas, N. G. (1999). Influencia del Medio Ambiente en el Deterioro de Materiales Calizos: estudios mediante Porosimetria de Mercurio. Materiales de Construcción vol. 49 n° 254, 31-41.
- minero, D. g. (2014). perfil de mercado de la caliza. México.
- Mishari Al- Awadi, e. a. (2009). La dolomía: Aspectos de un mineral desconcertante. Oilfield Review VOLUMEN 21 N°3, 32-47.
- Monteiro, k. e. (1998). Concreto, estructura, propiedades y materiales. berkeley, universidad de california: Imcyc.
- R, U. (1991). El control de calidad en los agregados para concreto 3 parte. Construcción y tecnología,” (México), p. 34.
- Salomón, J. P. (2003). Caracterización del material calizo de la formación carrillo puerto en Yucatán. ingeniería 7-1, 7-19.
- Secretaria de comunicaciones y subsecretaria de infraestructura, C. S. (2018). GOB.MX. Obtenido de sct/infraestructura/ Dirección General de Servicios Técnicos/ Banco de Materiales: <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/banco-de-materiales/>
- Trejo, A. D. (2018). Influence of ZrO2 Nanoparticles on the Microstructural Development of Cement Mortars with limestone Aggregates. Applied sciences.
- Çeçen, T. Ö. (1997). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths. Cement and Concrete Research, 165-170.

MIEMBROS DEL CONSEJO DE POSGRADO DE LA MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN

José Antonio Domínguez Lepe, nació en Chetumal, Quintana Roo, México el 09 de marzo de 1966. Obtiene el título de Ingeniero civil en el Instituto Tecnológico de Chetumal en 1989. Es Maestro en Ingeniería-Construcción por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México desde 1993. Es Doctor en ciencias técnicas por el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” de La Habana, Cuba desde el 2006. Es Profesor del Instituto Tecnológico de Chetumal desde 1993. Responsable técnico y colaborador de diversos proyectos de investigación financiados. Es autor y coautor de múltiples artículos de Investigación a nivel nacional e internacional en revistas arbitradas. Ponente y conferencista en congresos Internacionales. Desarrolla investigación entorno al desarrollo sustentable de la construcción y administración de la construcción desde hace 23 años. Sus principales temáticas están relacionadas con los residuos de construcción y demolición y con el Análisis del Ciclo de Vida de procesos y materiales para la Construcción.

Luis Felipe Jiménez Torrez, Maestro y Doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Yucatán, profesor fundador de la Maestría en Construcción en el Instituto Tecnológico de Chetumal. Autor del libro Concreto con agregados reciclados Una opción durable y sustentable. Cuenta con diversas publicaciones en revistas especializadas y congresos relacionados con la Durabilidad del Concreto. Ha sido reconocido como perfil deseable del PRODEP desde 2010. Es miembro de organismos internacionales como el ACI y el RILEM dedicados al estudio de la tecnología del concreto. Se ha desempeñado exitosamente como consultor en Ingeniería Civil desde 1996 en México.

Alberto Yeladaqui Tello nació en Quintana Roo, México. Recibió el título de Ingeniero Civil del Instituto Tecnológico de Chetumal, México, en 1991 y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de la Construcción del Instituto Tecnológico de Durango en 1997. Actualmente, es profesor investigador en el Instituto Tecnológico de Chetumal. Autor y coautor de artículos. Responsable técnico y colaborador de proyectos de investigación. Sus líneas de investigación son: tecnologías del concreto y materiales alternativos para la construcción

Ricardo Enrique Vega Azamar nació en Veracruz, México. Recibió el título de Ingeniero Civil de la Universidad Autónoma de Yucatán, México, en 1997 y los grados de Maestro en Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México en 2001 y de Doctor en Ingeniería de la Escuela de Tecnología Superior de la Universidad de Quebec, Montreal, Canadá, en 2013. Actualmente, es profesor investigador en el Instituto Tecnológico de Chetumal y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I) del CONACYT. Autor y coautor de artículos científicos y revisor de artículos para revistas internacionales arbitradas. Responsable técnico y colaborador de proyectos de investigación. Sus líneas de investigación son: análisis de ciclo de vida energético, huella de carbono y evaluación de sostenibilidad en entornos construidos; ecología y metabolismo urbanos; dinámica de ecosistemas modificados por el ser humano.

Maritza Chan Juárez, nació en Chetumal Quintana Roo, México. Recibió el título de Ingeniería Civil y Maestra en Construcción en el Instituto Tecnológico de Chetumal en 2007 y 2009 respectivamente. Actualmente es profesora de la Licenciatura en Arquitectura y de la Maestría en Construcción. Sus áreas de interés son: Análisis del Ciclo de Vida, Huella de Carbono y Construcción Sustentable

Danna Lizeth Trejo Arroyo nació en Michoacán, México. Recibió el título de Ingeniera en Materiales del Instituto Tecnológico de Morelia, México, en 2006, y los grados de Maestra en Metalurgia y Ciencias de los Materiales en 2008 y de Doctora en Ciencias en Materiales y Ciencias en Metalurgia y Ciencias de los Materiales, por el Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2015. Actualmente, es Cátedra CONACYT adscrita al TecNM/Instituto Tecnológico de Chetumal y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (candidato). Autor y coautor de artículos científicos y revisor de artículos para revistas internacionales arbitradas. Responsable y colaborador de proyectos de investigación. Sus líneas de investigación son: síntesis y caracterización de micro nanomateriales, materiales alternativos para la construcción sustentable.

Zakaryaa Zarhri nació en Marruecos. Recibió el título de Licenciatura en ciencias de la materia física de la Universidad Mohamed V de Rabat, Marruecos en 2010, y los grados de Maestro en Física Informática en 2012 y de Doctor en Física computacional aplicada a la ciencia de los materiales en la misma dicha Universidad en 2016. Actualmente, es profesor investigador Cátedra CONACYT en el Instituto Tecnológico de Chetumal y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I). Autor y coautor de más de 20 artículos científicos internacionales indexados JCR y revisor de artículos para varias revistas internacionales arbitradas. Colaborador de proyectos de investigación. Sus líneas de investigación son: Ciencia de los materiales, Física computacional y estudios Ab-initio, Energías limpias, Tecnología de la construcción, Estudios teóricos de las propiedades físico-químicas de los materiales y teoría de la densidad funcional DFT.

MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA JUNTA SOLDADA DE PLACAS BICAPA API X60/316L

Blanca Anilú Pichardo Álvarez¹, Víctor Hugo López Morelos^{2*},
Rafael García Hernández³, Melchor Salazar Martínez⁴,

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 02/07/2019 Aceptado: 14/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen. - : En este estudio se evaluó el comportamiento microestructural y mecánico de una junta soldada de placas de acero API Spec. 5L X60 revestidas de acero 316L con el proceso soldadura por arco metálico con protección de gas (por sus siglas en inglés GMAW). El revestimiento se elaboró por medio de deposición de soldadura sobre la placa, con un aporte térmico de 1.3 kJ/mm, corriente directa-polaridad invertida y la aplicación de un campo electromagnético de 4.5 mT. Para unir la junta de placas bimetalicas con preparación en V simple, se usó el electrodo ER316L en la pasada de raíz y para las pasadas subsecuentes se utilizó el electrodo ER70s-6. Para prevenir el efecto del sople magnético y estabilizar el arco eléctrico se aplicó un campo electromagnético de 3.5 mT durante el soldeo. En la caracterización microestructural de la junta soldada se identificó martensita en la interfase entre los dos aceros, además de crecimiento de grano en las zonas afectadas térmicamente del acero C-Mn. Los perfiles de microdureza registraron valores promedio de ~180 HV en el acero API X60, ~220 HV en el acero 316L y ~400 HV en la zona con formación de martensita. En los ensayos de tracción uniaxial, el límite elástico estuvo entre 400 y 450 MPa con una resistencia a la tensión de ~512 MPa. Los valores de los ensayos de impacto a 0 °C, fueron de 86 J para probetas de cara y 96 J en probetas de raíz, los resultados de las pruebas mecánicas estuvieron dentro del rango del material base API Spec. 5L X60. En conclusión, fue posible la obtención de placas bimetalicas de acero API Spec. 5L X60 con revestimiento de acero inoxidable 316L y su unión mediante el proceso GMAW.

Palabras clave: Soldadura; placa revestida; comportamiento mecánico; microestructura.

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF A WELDED JOINT OF API X60/316L CLADDED PLATES

Abstract. - In this study, the microstructure and mechanical behavior of API X60/316L clad plates welded by the gas metal arc welding (GMAW) process were evaluated. The 316L stainless steel cladding was deposited onto API 5L X-60 plates by overlay welding with direct current – reverse polarity, heat input of 1.3 kJ/mm and applying a magnetic field of 4.5 mT. To weld the bimetallic plates with a single V groove joint, an ER316L-Si filler was used for the root pass whereas an ER70s-6 was fed for the subsequent welding passes. An electromagnetic field of 3.5 mT was applied to assist the stability of the electric arc during welding in order to avoid magnetic arc blow.

In the microstructural characterization of the welded joint, martensite was identified at the interface between both steels and grain growth in the heat affected zones of the C-Mn steel. Vickers microhardness profiles recorded average values of ~180 HV for the API X60 steel, ~220 HV in the 316L stainless steel and ~400 HV in the zone of martensite formation. In the tensile tests, yield strength was between 400 to 450 MPa with a tensile strength of ~512 MPa. In the Charpy impact tests, the results were 86 and 96 J for specimens with the notch in the face and in the root of the weld bead, respectively. The results of the mechanical properties were in the range of the API 5L X-60 base material. In conclusion, it was viable to clad plates of API Spec. 5L X60 steel with 316L stainless steel and weld the bimetallic plates by the GMAW.

Keywords: Welding; clad plate; mechanical behavior, microstructure.

Introducción

En la industria del petróleo, el acero más utilizado para las líneas de transporte es el acero al carbono-manganeso, esto debido a su bajo costo, además de sus propiedades mecánicas. Sin embargo, es un material susceptible a la corrosión,

¹ Blanca Anilú Pichardo Álvarez. Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Víctor Hugo López Morelos. Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. vhlopez@umich.mx (Autor correspondiente).

³ Rafael García Hernández. Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

⁴ Melchor Salazar Martínez. Instituto Politécnico Nacional, Cluster Politécnico, Papantla, Veracruz, México.

siendo esta última característica la responsable de fallas en las tuberías y elementos estructurales, dando como resultado pérdidas económicas significativas, accidentes catastróficos y contaminación al ecosistema. La corrosión externa presente en estos elementos es causada por el tipo de ambiente húmedo y salino al que están expuestos. Con lo que respecta al interior de los ductos, estos transportan gases y fluidos que son altamente corrosivos causantes del deterioro por corrosión dentro de las tuberías (Xu, 2013).

En México, algunos hidrocarburos han presentado altos contenidos de H₂S y CO₂ que pueden inducir el agrietamiento en los materiales, por lo cual es considerado uno de los factores que pueden afectar la integridad estructural o reducir la vida de las tuberías de acero. La fragilización es un término general que incluye: agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo, agrietamiento cáustico, fatiga - corrosión, ampollamiento por hidrógeno, agrietamiento inducido por hidrógeno, susceptibilidad al agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo en presencia de sulfuros (ISO, 2009). La industria del gas y petróleo ha sido de gran importancia debido a que es una de las principales fuentes de ingreso económico en nuestro país y se le ha dado mayor relevancia en las últimas décadas (Colmenares, 2008), por ello se requiere el uso de materiales y métodos adecuados, para que los procesos de extracción, refinación y transporte, sean realizados de una manera segura y duradera en operación.

Los aceros API (American Petroleum Institute) Spec. 5L de grado X52, X60 y X65, son los más utilizados en tuberías de diámetros desde 12" hasta 36". De acuerdo con la NRF-001 PEMEX, el acero API 5L X60 es un acero C-Mn C-Mn que aporta un buen comportamiento, con un límite de fluencia mínimo de 417 MPa, valor que indica la nomenclatura del grado de cada acero. De forma general la composición química de los aceros API Spec 5L se caracteriza por su contenido de carbono y manganeso, lo cual los hace aceros de alta resistencia y baja aleación. Microestructuralmente, estos aceros están constituidos por una matriz ferrítica con colonias de perlita. Debido a la alta resistencia mecánica por unidad de área de los aceros API se tienen estructuras de poco peso, facilitando el diseño al poderse emplear en claros grandes. Los aceros API son dúctiles y tenaces, pero muy susceptibles a la corrosión.

Las tuberías con revestimientos internos ofrecen una mayor resistencia a la corrosión, esto para satisfacer las necesidades que presentan los nuevos desafíos ya que los tiempos de extracción del petróleo barato y fácil en aguas someras ha terminado. Se estima que el 70 % de las reservas de petróleo restantes del mundo consisten en petróleo crudo con alto contenido de azufre o CO₂ que requiere materiales de alta calidad y resistentes a la corrosión. Para mantenerse al día con la demanda, las compañías petroleras deben identificar nuevas tecnologías para explotar estas reservas de petróleo pesado. Lo mismo ocurre con el gas, más del 50 % del gas de los campos del mundo es altamente corrosivo (standard, 2009). En estos entornos desafiantes, los encargados de desarrollar los procesos y tecnologías para la obtención del petróleo y gas deben aprovechar cada solución técnica disponible para mantener una producción óptima. Un elemento clave es la integridad de los ductos ascendentes y las líneas de flujo, que es donde entra en juego el tubo revestido resistente a la corrosión.

El acero inoxidable 316L es una versión del acero 316, en donde la L en la nomenclatura indica que este es de bajo carbono con un valor por debajo del 0.03%, lo que minimiza la precipitación de carburos perjudiciales en la zona afectada por el calor durante la soldadura, convirtiendo este acero en una opción para el revestimiento interno de la tubería (anónimo, 2015). Los requerimientos de las tuberías para el transporte de hidrocarburos son definidos por el API Spec 5L, esta norma aplica para tuberías de acero C-Mn, la API Spec 5LD para tubería bimetalica, tubería con revestimiento unido metalúrgicamente por laminado en caliente, tubería con revestimiento unido mecánicamente y tubería con revestimiento unido metalúrgicamente ya sea mediante material de aporte depositado en forma de cordones de soldadura o por unión por explosión (García, 2012).

Los materiales bimetalicos ofrecen grandes beneficios, sin embargo, también presentan problemas en las uniones de las secciones de este tipo de tubos, debido a que en el cordón se tendrá la interacción de dos materiales diferentes, se presentan zonas afectadas por formación de martensita derivada de la fase austenita presente en el acero 316L, esto ocasionado por la dilución y el rápido enfriamiento. La martensita es una microestructura débilmente estable, consiste en una solución sólida supersaturada de carbono en la fase α , por lo cual se debe tener especial cuidado en el control del calor de aporte durante el proceso de la soldadura (Martínez, 2010).

La presente investigación está enfocada a estudiar la unión entre placas bimetalicas de acero API Spec 5L X60 con revestimiento de acero inoxidable 316L, unidas por el proceso de soldadura por arco metálico y protección gaseosa, con el propósito de obtener buenas propiedades en el cordón y en la zona afectada térmicamente. Se utilizó la aplicación de campos electromagnéticos externos para mejorar las características de la microestructura.

Metodología: materiales y métodos

La composición química nominal del acero API Spec 5L X60 se lista en la Tabla 1. Las placas se obtuvieron de una tubería de 914 mm de diámetro con un espesor de 16 mm. Como material de aporte y para revestir las placas de acero API se utilizó el electrodo de acero inoxidable ER316L-Si de 1.2 mm de diámetro. El revestimiento se llevó a cabo por el método de deposición de soldadura con el proceso GMAW. Para la unión se utilizó un electrodo de bajo

carbono ER70s-6 con un diámetro de 1.6 mm y una composición química similar a la del material base. La composición química de los electrodos se presenta en la Tabla 1.

Se realizaron variaciones en los parámetros tales como voltaje e intensidad de campos magnéticos para determinar las mejores condiciones con las que se llevaría a cabo la depositación de soldadura para generar el revestimiento. En la

Tabla 1. Composición química del acero API 5L X60 y los electrodos ER 316L y ER70s-6 (% en peso).

Material	C	Mn	Ni	Cr	Nb	Cu	Si	S	P	V	Mo
APISPEC.5LX-60	0.08	1.15	0.30	0.01	0.004	0.03	0.26	0.01	0.01	0.06	0.01
ER-316L-Si	0.02	---	11.8	18.9	---	0.23	0.81	0.01	0.02	---	2.2
ER-70-6	0.06	01.6	0.15	0.15	---	0.50	0.97	0.04	0.03	0.03	0.15

En la Tabla 2 se presentan los valores que se utilizaron para el recubrimiento de aleación resistente a la corrosión, sobre el acero API Spec 5L X60. Una vez terminados los depósitos se procedió a cortar la placa revestida en 2 secciones las cuales se rectificaron con la finalidad de dejar un acabado liso como se presenta en la Figura 1. Se tuvo el cuidado de dejar un espesor de recubrimiento lo más cercano posible a 3 mm.

Tabla 2. Parámetros utilizados para aplicar revestimiento de acero inoxidable 316L por medio de depositación por soldadura.

Voltaje (V)	Corriente (A)	Calor aportado (kJ/mm)	Gas utilizado	Velocidad de avance (mm/s)	Velocidad de alimentación (mm/s)	Distancia de trabajo (mm)	Flujo de gas (L/s)	Intensidad del campo magnético (mT)
22.5	267	1.252	98% Ar + 2% O ₂	3.6	120	10	0.236	4.5

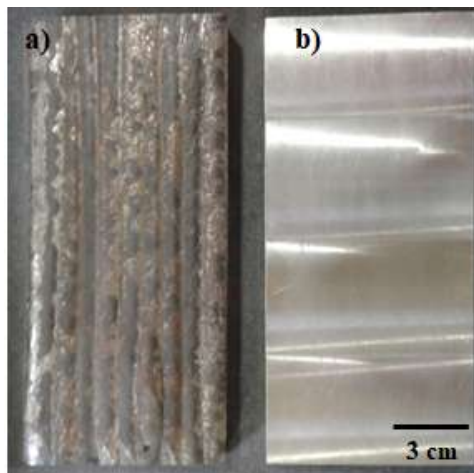


Figura 1. A) Placa con depósito de cordones y b) sección de placa con caras rectificadas.

La Figura 2 representa la preparación de la junta con un bisel a 30° y talón de raíz de 1 mm basado en la norma ISO 9692-4 para espesores menores de 18 mm. La soldadura se llevó a cabo con 4 pasadas, empezando con una pasada de raíz con el electrodo ER316L y las 3 subsecuentes con el electrodo ER70s-6. En la Figura 3 se puede observar que el arreglo de bobinas consta de 3 espiras de entrada y 2 de salida mismo que se utilizó para la depositación de soldadura para el revestimiento, las placas a unir se colocaron a mitad de las dos bobinas y el campo magnético se mantuvo durante 1 minuto al final de cada pasada.

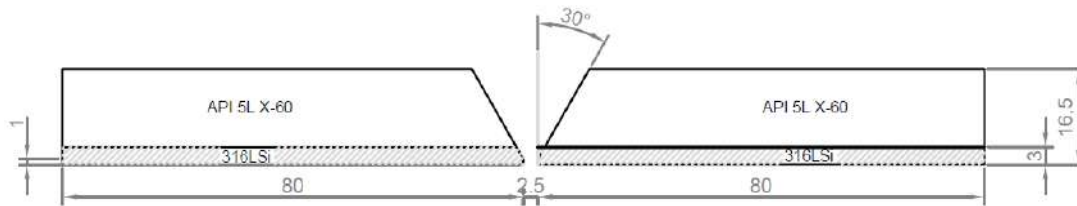


Figura 2. Diseño y dimensiones de la junta de placas bimetálicas.

Una vez preparadas las secciones a unir por el proceso de soldadura GMAW, se realizaron varias pruebas para ajustar los parámetros de soldadura más favorables. Se utilizó corriente directa – polaridad invertida alimentando el electrodo a una velocidad de 70 mm/s con 98% Ar – 2% O₂ (0.236 L/s) como gas de protección con una intensidad de campo magnético de 3.5 mT y un ángulo de la torcha a 90°. El resto de los valores se presentan en la Tabla 3



Figura 3. Arreglo experimental para soldar las placas bimetálicas con aplicación de campo magnético externo.

Terminada la junta y con la placa a temperatura ambiente se realizó el corte de las placas soldadas para obtener las diferentes probetas para llevar a cabo las diferentes caracterizaciones; se realizaron ensayos de tensión, impacto, microdureza y metalografía. Cada una de estas pruebas se llevaron a cabo con la finalidad de relacionar lo micro estructuralmente encontrado con el comportamiento mecánico de la junta soldada. Los cortes se realizaron con cinta sierra enfriada con refrigerante.

Tabla 3. Parámetros utilizados en la soldadura de las placas revestidas.

Número de pasada	Electrodo	Voltaje (V)	Corriente (A)	Velocidad de avance (mm/s)	Diámetro electrodo (mm)	Temperatura interpasadas (°C)
Pasada de raíz	ER316L	22.5	335	3.6	1.2	24
Segunda pasada	ER70s-6	21	338	3.6	1.6	40
Tercera pasada	ER70s-6	21	335	3.6	1.6	80
Cuarta Pasada	ER70s-6	21	328	4.2	1.6	106

Terminada la junta y con la placa a temperatura ambiente se realizó el corte de las placas soldadas para obtener las diferentes probetas para llevar a cabo las diferentes caracterizaciones; se realizaron ensayos de tensión, impacto, microdureza y metalografía. Cada una de estas pruebas se llevaron a cabo con la finalidad de relacionar lo micro estructuralmente encontrado con el comportamiento mecánico de la junta soldada. Los cortes se realizaron con cinta sierra enfriada con refrigerante.

Se llevó a cabo la metalografía del material base API Spec 5L X-60 revisando el sentido longitudinal y transversal del material. El proceso de preparación fue el mismo para la probeta de la junta soldada con lijas de diferente granulometría y pulido a espejo con pastas de diamante hasta 1 cm. Con la finalidad de revelar la microestructura y las diferentes fases presentes se realizó ataque químico. Para el ataque químico del material base API Spec 5L X60 y la ZAT se utilizó nital al 2% (98% alcohol y 2% ácido nítrico) el método fue por inmersión por un tiempo de 4 segundos, las muestras fueron enjuagadas con agua y secadas con aire inmediatamente. Para el ataque del cordón de acero inoxidable 316L se utilizó una solución con 2 g cloruro de cobre, 40 mL de ácido clorhídrico, 60 mL de etanol. El método de

ataque fue por goteo durante un tiempo de 10 segundos, se enjuaga la muestra con agua y posteriormente con alcohol previo al secado. La caracterización microestructural se realizó por microscopía óptica y electrónica de barrido.

Para las mediciones de microdureza Vickers (por sus siglas en inglés, HV), se usaron las probetas caracterizadas microestructuralmente. Esta prueba se realizó tanto en el MB como en la junta soldada. Las mediciones se realizaron aplicando una carga de 100 g durante 15 s, de acuerdo con la norma ASTM E384. Para la junta soldada, se realizaron 3 barridos en forma transversal a la soldadura, con separación de 250 μm entre mediciones, y en el área cercana a la interfase las mediciones fueron cada 100 μm .

Muestras de la junta soldada se ensayaron a tensión con probetas de configuración rectangular de acuerdo a la norma ASTM E8/E8M. Las pruebas se realizaron en una máquina universal Zwick/Roell Z100 con una capacidad de 100 kN. La velocidad de avance del cabezal fue de 0.016 mm/s. La medición de la deformación en las probetas durante el ensayo se realizó con un extensómetro.

La evaluación de la tenacidad a la fractura se llevó a cabo mediante ensayos de impacto Charpy en probetas rectangulares de las juntas soldadas de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM E23. Se utilizaron las subdimensiones de viga simple Tipo A para especímenes planos de 5 mm de espesor. Se ensayaron 3 probetas con la muesca en corona y tres probetas con la muesca en la pasada de raíz. Las pruebas se realizaron a 0° C basado en la norma API Spec 5L. Esto debido a la temperatura del mar a un tirante de 90 m de profundidad a los cuales se reportan temperaturas de 4 °C. La temperatura para el ensayo se alcanzó al sumergir las probetas de manera individual en nitrógeno líquido durante 25 s, la temperatura fue monitoreada con un medidor de temperatura infrarrojo. Se realizó la prueba en una máquina con péndulo Charpy con una capacidad de 358 J.

Discusión y contexto

Material base

En la Figura 4 se muestran las metalografías por microscopía óptica del material base en su forma de fabricación. En las imágenes de la Figura 4a) se observa el material visto en la dirección de laminación del material y la 4b) corresponde a la cara en sección transversal. En estas metalografías se puede apreciar la presencia de las fases perlita (zonas más oscuras) y ferrita (zonas claras) en mayor cantidad. Estas fases son características de este tipo de aceros debido a los componentes aleantes que la conforman, principalmente su alto contenido de manganeso y carbono. Se realizaron mediciones de microdureza Vickers en el sentido de laminación y en el sentido transversal a la laminación con la finalidad de tener los valores promedio de cada cara del material base. En la cara transversal al sentido de laminación los valores medidos estuvieron en el rango de 180 a 200 HV mientras que en la cara en el sentido de laminación se midieron valores en el rango de 170 a 185 HV.

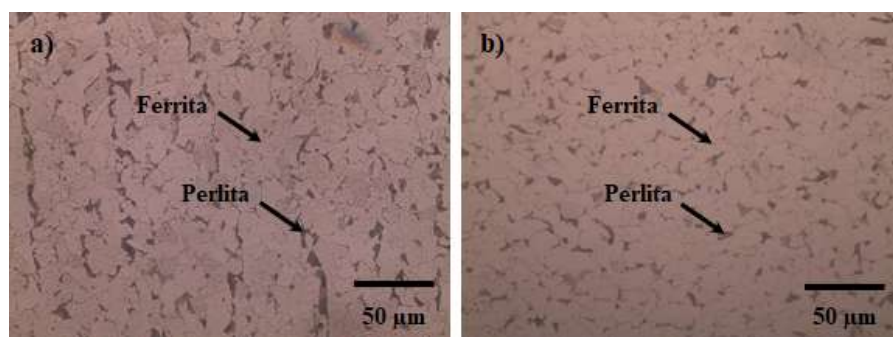


Figura 4. Microestructura característica del acero al carbono API Spec 5L X60; a) sentido de laminación y b) dirección perpendicular a la laminación.

Características macroestructurales de la junta soldada

En la Figura 5 se presenta la macrografía de la sección transversal de la junta soldada después del ataque químico. En la imagen se revelaron cada una de las zonas que conforman la muestra. A simple vista se logra identificar el crecimiento columnar dendrítico en los 2 cordones superiores y sus respectivas zonas afectadas por el calor, al igual que la ZAT del segundo cordón y de los depósitos de soldadura que conforman el revestimiento. En color gris más oscuro se muestra la zona del revestimiento de acero inoxidable 316L y la pasada de raíz, mientras que el segundo cordón a pesar de ser de acero 70s-6 visualmente no se ve igual que los 2 cordones superiores aun cuando fueron depositados con el mismo electrodo. Sin embargo, tampoco presenta un color similar al acero inoxidable en la zona inferior, dejando ver un color de tono gris pero más claro que el acero inoxidable. Durante la depositación de esta

pasada hubo difusión de elementos de aleación por parte del acero inoxidable alterando la composición química de este cordón convirtiendo el acero al carbono de esta zona en un acero de baja aleación al tener ahora bajos porcentajes de Cr y Ni principalmente. Una observación importante es que el acero inoxidable que se encuentra entre la pasada de relleno y el material base presentó un cambio en su forma cóncava de la pasada de raíz, esto debido a la diferencia que tiene en la temperatura de fusión los 2 aceros involucrados, la del inoxidable estando entre 1370 °C y 1400 °C mientras que la del material respaldo con bajo contenido de carbono es de 1530 °C. Por esta razón, las implicaciones del SEMOT son que el investigador funge como guía y orientador que proporciona ejemplos y modelos de aprendizaje interdisciplinario, inspirando a los maestros de la Facultad para explorar nuevas disciplinas desde sus unidades de enseñanza-aprendizaje que se imparten desde las aulas.

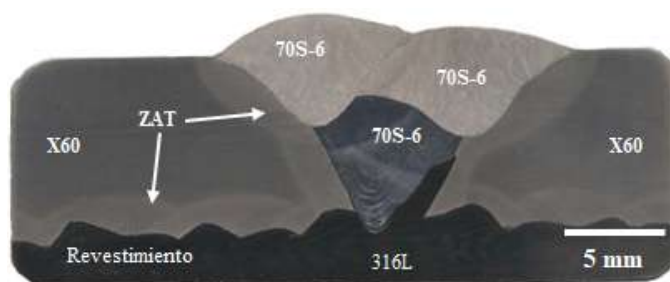


Figura 5. Macrografía de la sección transversal de la junta soldada.

Características microestructurales de la junta soldada

La unión soldada de las placas bimetalicas presentó una gran variedad de zonas debido principalmente a la diferencia en la composición química entre el acero C-Mn y el acero inoxidable 316L, así como a los ciclos térmicos y el calor aportado. En la junta se observó la variación en el tamaño y forma de los granos al igual que zonas en donde hubo refinamiento de grano por las pasadas de soldadura subsecuentes. También, fue evidente el crecimiento de los granos en las ZAT, alteración química y presencia de fases como la martensita, y zonas donde se observa claramente el crecimiento dendrítico en dirección a la salida del flujo del calor. Lo anterior se puede ver de manera ilustrativa en la Figura 6.

Se utilizó la técnica de microscopía electrónica de barrido (MEB) para observar cada una de las fases y zonas de la junta soldada. En la Figura 7 se presentan imágenes en la zona de unión del segundo cordón 70s-6 con el cordón de raíz 316L. Se realizaron análisis químicos puntuales, con la finalidad de conocer el porcentaje de elementos de aleación en esta área, ya que el segundo cordón presentó una apariencia a simple vista y textura diferente a los 2 cordones superiores. Además, los resultados de la prueba de dureza fueron muy elevados, todo esto característico de la fase martensita, la cual fue causada por enfriamiento rápido.

El barrido lineal de composición química muestra la presencia de Cr en mayor cantidad a la que hay en los cordones superiores de 70s-6. En la Figura 7c) se graficó el porcentaje de los elementos dejando ver como algunos de ellos se encuentran en mayor proporción como característica de los aceros involucrados como es el caso de Cr, característico de los aceros inoxidables en el cual disminuyó al pasar la zona de transición hacia el acero C-Mn. Se observó la presencia de contenidos de Cr según el análisis en un 4.02% valor que sobrepasa el porcentaje de Cr en este tipo de aceros ya que en comparación con el contenido de Cr de los cordones superiores del mismo electrodo tienen un valor para este elemento de 0.42%.

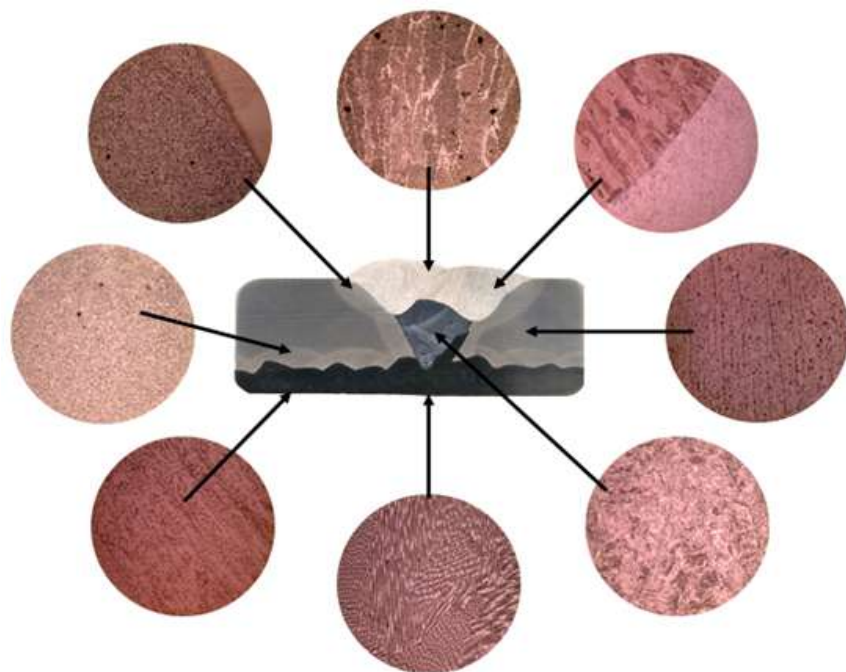


Figura 6. Caracterización metalográfica de la junta soldada de placas de acero al carbono API Spec 5L X60 con revestimiento de acero inoxidable 316 L.

La martensita tuvo presencia en toda el área correspondiente al segundo cordón de relleno y presentó su típica morfología acicular como se muestra en la Figura 7b). No se encontró la presencia de precipitados o carburos de cromo, sin embargo, esta fase es la razón de los valores altos medidos en la prueba de microdureza.

Perfiles de microdureza.

Los perfiles de microdureza se hicieron para evaluar y comparar los valores en cada una de las zonas de la junta soldada. Se realizando 3 líneas de mediciones en diferentes niveles de espesor de la junta cómo se presenta en la Figura 8. Se comenzó con un barrido de mediciones en los cordones superiores, Figura 9a), en donde los valores tuvieron un comportamiento poco variable, las mediciones más bajas estuvieron en el material base, hubo un incremento de 20 HV en la ZAT, y en el cordón se registraron valores de hasta 270 HV. Posteriormente se hicieron mediciones en la zona central de la probeta en donde el comportamiento de estos valores fue muy drástico de forma comparativa entre la zona del material base y la zona del cordón. En la gráfica de la Figura 9b) se puede apreciar que el material presenta una microdureza similar a la del MB, sin embargo, al empezar la medición en la zona de la interfaz los valores incrementan considerablemente al igual que toda el área del cordón con valores de hasta 420 HV, duplicando el valor de la microdureza del material base. Esto se debe a la presencia de la martensita formada en esa área causada por la composición química que se genera durante la realización de la soldadura y el enfriamiento rápido.

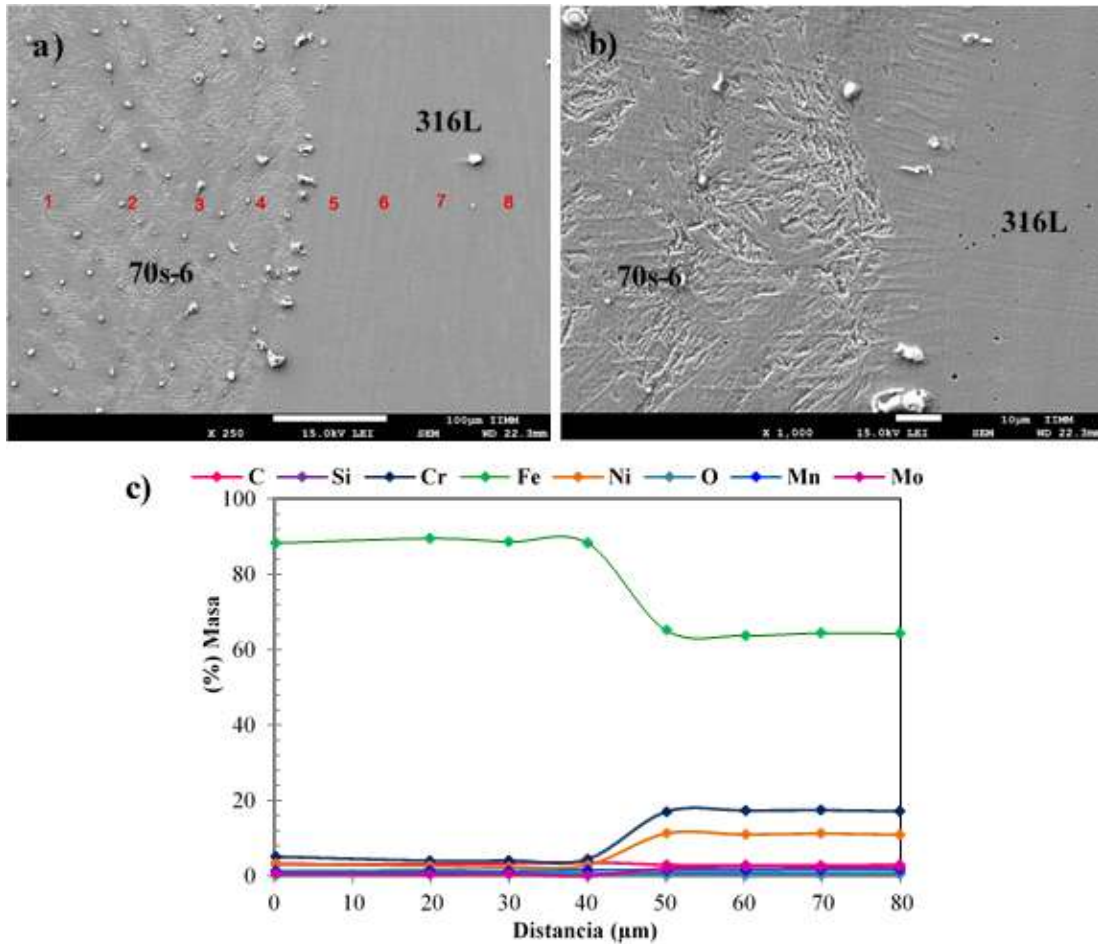


Figura 7. Detalles microestructurales por MEB en la interfase en la línea de fusión entre la pasada de raíz y el segundo cordón de 70s-6 a baja, a), y alta, b), magnificación. c) Barrido de composición química a través de la interfase con los números indicados en la imagen a).

En las mediciones del cordón de raíz y la zona donde se encuentra el revestimiento de acero inoxidable, Figura 9c), los valores fueron similares en todas sus mediciones en un rango de 200 HV a 250 HV, lo cual indica un comportamiento estable de esta zona y aceptable para aceros API.

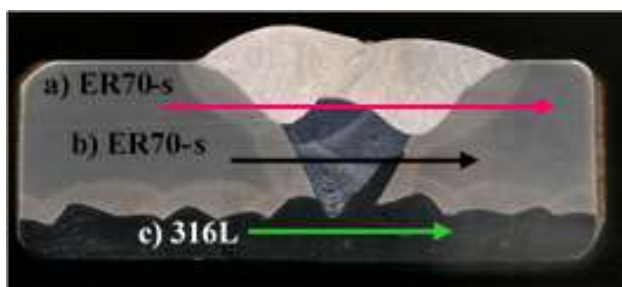


Figura 8. Niveles en que se realizaron los barrios de microdureza Vickers en la junta soldada.

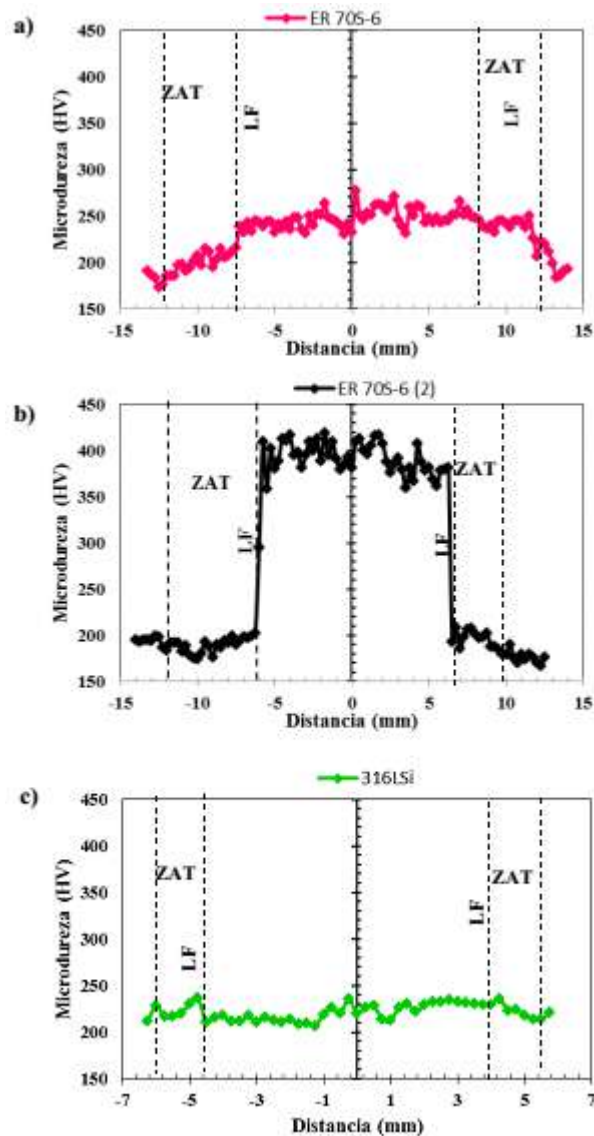


Figura 9. Perfiles de microdureza de la junta soldada; a) pasada de vista, b) pasada de relleno y c) pasada de raíz.

Resistencia mecánica de la junta soldada

En la Tabla 4 se presenta el promedio de la resistencia máxima, límite de fluencia y energía absorbida al impacto de la junta soldada. Estos ensayos se realizaron con la finalidad de tener una referencia y poder evaluar la eficiencia mecánica en la junta soldada para relacionar el efecto de la microestructura con la respuesta mecánica. Los valores se encuentran aproximados a los del material base y se determinan como aceptables.

No se tienen valores registrados de esta prueba en especímenes de materiales bicapa, para poder tener una comparación. Por lo cual se toma como referencia los valores del material base, el cual presenta un límite de fluencia mínimo de 417 MPa, un % de elongación trasversal de 48% y una resistencia ultima a la tensión de 517 MPa.

Se llevó a cabo un análisis de falla en donde se obtuvieron las fractografías mostradas en la Figura 10 en donde se aprecian claramente las características de la fractura. La primera imagen, Figura 10a), fue tomada en la zona del acero 70s-6 y la tercera, Figura 10c) en la zona del recubrimiento de acero inoxidable 316L. En estas imágenes se pueden

ver la formación de microhoyuelos ovalados, los cuales son característicos de una falla dúctil causada por una intensa deformación plástica que da lugar a una lenta propagación de la grieta. La fractura dúctil comienza con la formación de un cuello y de cavidades dentro de sección reducida de la probeta, donde posteriormente, los microhuecos resultantes experimentan un período de crecimiento y eventual coalescencia, produciendo una fisura en el interior de la muestra, la cual se propaga hacia la superficie con dirección perpendicular a la tensión aplicada. Cuando se acerca a la superficie, la grieta cambia su dirección a 45° con respecto al eje de tensión y resulta una fractura con una sección cóncava y una convexa (Hertberg, 1989). La fractografía de la Figura 10b) presenta las características de la fractura en la línea de fusión entre los 2 aceros en donde se aprecia una falla dúctil en ambos aceros. Sin embargo, se diferencian uno del otro por los diferentes tamaños en los micros hoyuelos, esto debido a la composición y características de cada acero. Esta imagen corresponde a una probeta de tensión que falló en el material base y se observan características de fractura frágil en la interfase API-X60/316L por la presencia de una banda de martensita en esta región del revestimiento.

Tabla 4. Resultados de las propiedades mecánicas de la junta soldada.

Espécimen	Resistencia máxima a la tensión (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Energía CVN Cara (J)	Energía CVN Raíz (J)
Junta soldada	512.7	430.25	86.3	95.6
API Spec. 5L X60	517 Min	417 Min	27 Min	27 Min

El valor promedio de energía absorbida de tres probetas deberá ser el mínimo solicitado en la norma con un valor de 27 J. Al acero API utilizado es este trabajo registró 70 J. Los valores obtenidos para la junta soldada quedaron por arriba de ambos valores, como se muestra en la Tabla 4, en donde se puede observar que las probetas de raíz sometidas a la prueba presentaron valores más elevados, esto debido a que el acero inoxidable presenta mayor oposición a la propagación de la grieta por impacto comparado con el acero al carbono. En las probetas de cara los valores fueron más bajos y en dos casos las probetas no se fracturaron por completo quedando unidas en el acero inoxidable.

La tenacidad es una medida de la cantidad de energía que un material puede absorber antes de fracturarse. Se evaluó la capacidad de la soldadura a soportar un impacto, las observaciones de las fracturas en el MEB revelaron falla de tipo dúctil para la región que corresponde al metal de soldadura del electrodo ER70s-6, Figura 10d), y al revestimiento de acero inoxidable 316L, Figura 10f). En correlación con el perfil de microdureza en la pasada de relleno, la falla en esta región es de carácter frágil como se puede observar en la fractografía de la Figura 10e). La fractura frágil se produce a lo largo de planos cristalográficos llamados planos de fractura y tiene una rápida propagación de la grieta, estos mecanismos de fractura son por clivaje, los cuales vistos en el MEB se manifiestan en formas continuas conocidas como patrones de río. Esta fractura ocurre transgranularmente, cortando los granos (Hertberg, 1989).

Conclusiones

En conclusión, este tipo de uniones requiere un alto cuidado en la limpieza durante todo el proceso de soldeo. Otro factor que resulta crucial es el mantener la estabilidad del arco durante la pasada de raíz principalmente. Para evitar el desvío del arco se usó la interacción de un campo electromagnético de 3.5 mT perpendicular al sentido del arco, evitando el desvío u oscilación causado por soplos magnéticos. Los parámetros evaluados para la unión de las placas bimetálicas variaron respectivamente, de modo que al haber una variación de electrodos para llevar a cabo la unión el potencial empleado fue de 22.5 V para la pasada de raíz y para las pasadas subsecuentes 21 V. Todas las pasadas con un campo magnético de 3.5 mT.

La martensita formada tanto en la pasada de relleno como en la línea de fusión de los depósitos de soldadura para el revestimiento, fue martensita de bajo carbono, debido al porcentaje de elementos aleantes en los aceros involucrados. El rápido enfriamiento fue uno de los factores que dieron lugar a la formación de esta fase de alta dureza en conjunto con la diferencia en la composición química. La dureza en la pasada de relleno dio valores muy elevados; en promedio de 420 HV, a pesar de que se volvió a aplicar calor con las pasadas subsecuentes este no fue suficiente para alcanzar la temperatura de austenización y estabilizar la fase dejado como fase predominante la martensita.

Con los ensayos mecánicos se definió como aceptable el comportamiento mecánico de la junta soldada, ya que el valor promedio en la resistencia máxima a la tensión fue de 512.7 MPa. La prueba de impacto solicita un valor mínimo de 27 J cuando la prueba se realiza a 0°C en aceros al C-Mn y los valores obtenidos en las probetas de la junta soldada fueron superiores. Considerando que los aceros al carbono presentan propiedades mecánicas óptimas para la industria del gas y petróleo, si este tipo de aceros revestidos conservan dichas propiedades, incluso cuando se le incorpora una capa de acero resistente a la corrosión, este tipo de recubrimientos resulta ser de gran beneficio para el transporte de gases y fluidos altamente corrosivos de la industria petrolera.

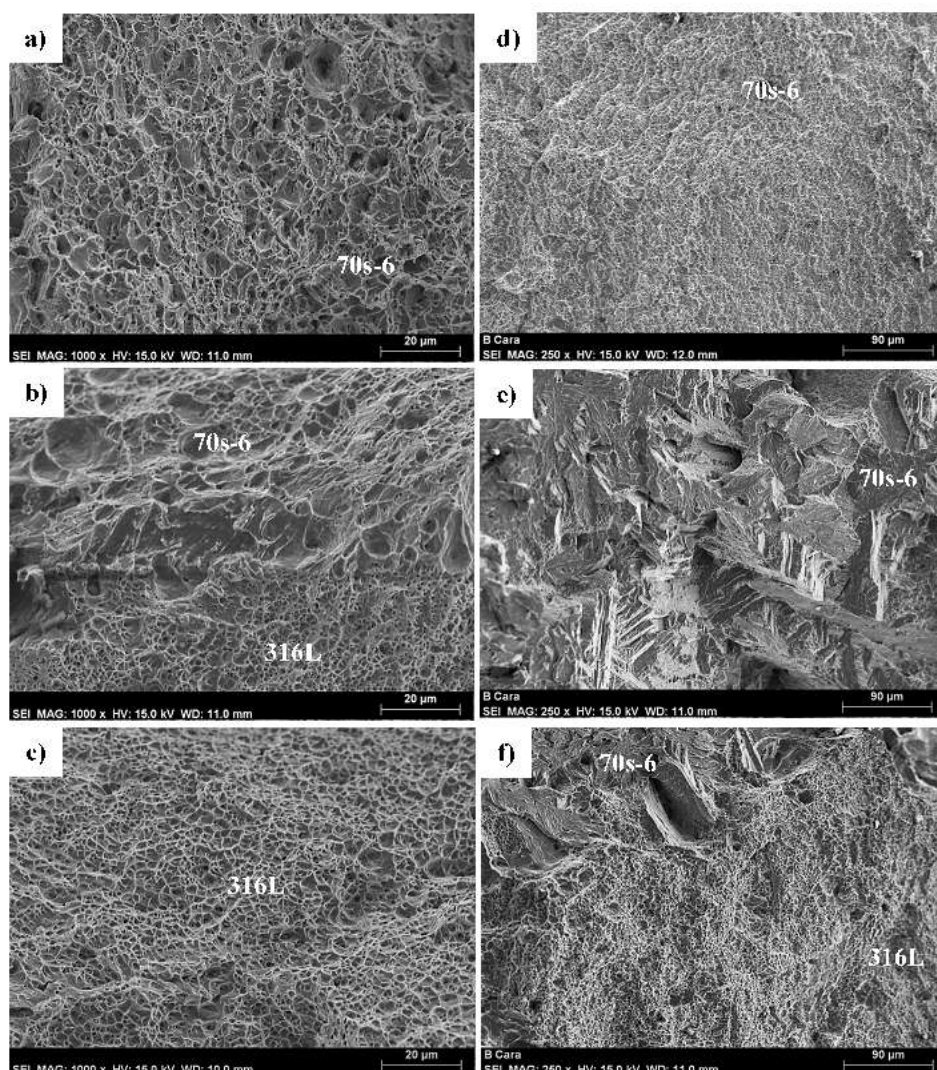


Figura 10. Imágenes de la falla del ensayo de tensión; a), b) y c), e impacto d), e) y f) en las diferentes zonas.

Agradecimientos: Los autores agradecen el apoyo de la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH por el apoyo para la realización de este estudio y a CONACyT por la beca otorgada a Blanca A. Pichardo A.

Bibliografía

- Xu L, Li M, Jing H, Han Y. Electrochemical Behavior of corrosion resistance of X65/Inconel 625 welded joints. International Journal of Electrochemical Science. 8, 2069-2079, 2013.
- ISO. Petroleum and natural gas industries Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production. 2, 54, 2009.
- Colmenares F. Petróleo y crecimiento económico en México 1938-2006. Economía unam. 5(15), 53-65, 2008.
- 5LD A S, PIPE L S. Specification for CRA Clad or Lined Steel Pipe. Third Edition. 2009. Aceros inoxidables 316 y 316L. 67, 2015.
- García R, López V H, Curiel F, Estrella S. Uso de la interacción electromagnética en la soldadura de aceros inoxidables austeníticos, para mejorar sus propiedades de resistencia a la corrosión y mecánicas en la zona afectada térmicamente.
- Martínez-Ortiz P, Espina-Hernández J, Hallen J, Linares R. Caracterización de aceros API-5L por medio de la medición de ruido magnético Barkhausen. Científica. 14(2), 81-87, 2010.
- Hertzberg R W. Deformation and fracture mechanics of engineering materials. 1989.

MIEMBROS DEL CONSEJO DE POSGRADO DE LA MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN

Julio César Cruz Argüello nació en Oxtutzcab, Yucatán, México el 29 de Noviembre de 1982. Recibió el título de Ingeniero en Sistema de Energía por la Universidad de Quintana Roo, en 2006 y los grados de Maestro y Doctor en Electroquímica del CIDETEQ, Querétaro en 2008 y 2012, respectivamente, durante el proceso de formación realizó estancia en el CNR-ITAE en Italia y en Tozzi Energy Renewable. Actualmente es profesor investigador titular C en la División de Estudios de Posgrado e Investigación en la Maestría en Construcción e Ingeniería Eléctrica en el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Chetumal y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I) desde el 2013 hasta la fecha. Es líder del cuerpo académico de Construcción Sustentable ante PRODEP, es perfil deseable PRODEP desde el 2013 hasta la fecha. Es líder de dos proyectos cátedras CONACYT asignándole 1 y 2 cátedras en el 2015 y 2018 respectivamente. Ha publicado más de 20 artículos de investigación a nivel nacional e internacional indizadas en CONACYT y en el JCR. Ha obtenido premios en diferentes concursos a nivel estatal, regional, nacional e internacional, obteniendo más de 15 premios por su distinción como asesor y como autor desde el 2013. Ha sido responsable técnico y colaborador de proyectos financiados por sectoriales SEP-CONACYT, TecNM, Cátedras CONACYT, Problemas Nacionales, PRODEP, la industria entre otros. Es representante en la mesa del Grupo Técnico de Fomento de la Investigación, Ciencia y Tecnología e Innovación Tecnología en la Comisión Estatal para la Planeación de la Educación Superior del Estado de Quintana Roo. Pertenecer al RECEA por parte del CONACYT y del COQCYT desde el 2013 hasta la fecha es evaluador del Sistema Estatal de Investigadores desde el 2012. Pertenecer a la Sociedad Mexicana de Hidrogeno, a la Sociedad Mexicana de Electroquímica y a la Sociedad Mexicana de Materiales, ha participado en redes temáticas del CONACYT. Colabora con Instituciones de Educación Superior y Centros CONACYT y a nivel Internacional. Sus áreas de interés son Materiales Innovadores de la construcción, tecnologías de los materiales, Construcción Sustentable y Energías Renovables así como celdas de combustible e hidrogeno.

Mayra Polett Gurrola nació en Fresnillo, Zacatecas el 10 de Julio de 1987. Cursó la carrera de Ingeniería Química en la Universidad Autónoma de Zacatecas, UAZ (2005-2009); la Maestría en Electroquímica (2011-2013) y Doctorado en Electroquímica (2013-2017) en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. Realizó diversas estancias durante sus estudios de posgrado en diferentes instituciones como: la Universidad Autónoma de Madrid (Madrid, España-2013); Texas A&M University (College Station, Texas, USA-2014); Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (San Luis Potosí, México-2014); Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (Delegación Iztapalapa, México-2015) y el Institute Di Technologie Avanzate Per L'Energia "Nicola Giordano" del CNR (Messina, Italia -2017 y 2018). Cuenta con una solicitud de patente. Dentro de su desarrollo profesional, la Dra. Gurrola ha contribuido de manera activa en la escritura y sometimiento de proyectos en diversas convocatorias CONACYT (PEI, Ciencia Básica, Fronteras de la Ciencia) y la Secretaria de Energía (Innovate-UK y Sustentabilidad Energética), entre otras. Actualmente, la Dra. Gurrola se encuentra como Cátedra-Conacyt comisionada al Tecnológico Nacional de México dentro del Instituto Tecnológico de Chetumal en la División de Estudios de Posgrado e Investigación, así como líder socio ITCHETUMAL-LABMYN. Forma parte del comité directivo de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Membranas. Ha impartido cursos y seminarios en diversas instituciones de educación superior como: el Instituto Tecnológico de Orizaba; la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, a través de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno; la Unidad Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato del Instituto Politécnico Nacional, entre otras. Ha dirigido tesis de alumnos de licenciatura, así como de maestría. A la fecha, tiene a su cargo un alumno de doctorado, dos de maestría y dos de licenciatura. Dentro de su desarrollo como investigadora, la Dra. Gurrola ha publicado 15 artículos científicos en revistas internacionales indizadas en el JCR con alto factor de impacto, dentro de las que destacan Journal of Power Sources, Renewable Energy y Journal Electroanalytical Chemistry

Eduardo González Bucio nació en la Ciudad de México, México. Recibió el título de Ingeniero Civil en el Instituto Tecnológico de Chetumal en 1990 y el grado de Maestro en el Instituto Tecnológico de Durango en 1996. Actualmente, es docente en el área de ciencias de la tierra del Instituto Tecnológico de Chetumal, integrante del consejo de posgrado de la maestría en Construcción Sustentable, miembro de la academia de ingeniería civil, miembro activo del colegio de ingenieros civiles, coordinador departamental de tutorías, jefe de proyectos de docencia, coordinador del módulo dual, jefe de vinculación departamental, integrante del comité de seguimiento de egresados.

FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS DE POLICAPROLACTONA-BIOVIDRIO

Ana Beatriz Martínez Valencia¹, Luis Ernesto Ceja Martínez²,
Gerorgina Carbajal De la Torre³, Marco Antonio Espinosa Medina⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 03/09/2019 Aceptado: 23/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- Actualmente, existe un gran interés en el desarrollo de materiales biodegradables y biocompatibles adecuados para una variedad de aplicaciones biomédicas. En este sentido, los biomateriales de polímero/cerámico han sido considerados como de potencial aplicación. Algunas de los cerámicos más prometedores son la hidroxiapatita, los fosfatos de calcio y los vidrios bioactivos de silicato. Los vidrios bioactivos son materiales a base de silicato amorfo, los cuales se unen al hueso y pueden estimular el crecimiento de nuevo hueso mientras se disuelven con el tiempo. En este trabajo, se prepararon nuevos compuestos Policaprolactona/biovidrio (PCL/G5). El biovidrio fue sintetizado por la técnica sol-gel y luego mezclado con policaprolactona. Se descubrió que el polímero solo soporta hasta 30% en peso de biovidrio. La morfología y las propiedades de los compuestos se investigaron mediante difracción de rayos X (DRX), espectroscopía de infrarrojo (FT-IR) y microscopía electrónica de barrido (SEM).

Palabras clave: Policaprolactona, biovidrio, compuesto.

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF POLYCAPROLACTONE/BIOGLASS COMPOSITES

Abstract.- Currently, there is a great interest on the development of biodegradable and biocompatible materials suitable for a variety of biomedical applications. In this sense, polymer/ceramic biomaterials have been considered as potential application as these. Some of the most promising ceramic are hydroxyapatite, calcium phosphates, and bioactive silicate glasses. Bioactive glasses are amorphous silicate-based materials which bond to bone and can stimulate new bone growth while dissolving over time. In this work, novel composite polycaprolactone/bioglass (PCL/G5) were prepared. Bioglass were synthesized by the sol-gel technique and then mixed with polycaprolactone. It was found that the polymer was possible to load up to 30 wt % bioglass. The morphology and compositional properties of the composites was investigated by X-Ray Diffraction (DRX), Fourier transformed infrared spectroscopy (FT-IR), and Scanning Electron Microscopy (SEM) characterization.

Keywords: Polycaprolactone, bioglass, composite.

Introducción

El área de la ingeniería de tejidos y de medicina regenerativa han ganado gran importancia en la última década y han avanzado considerablemente prometiendo regenerar la mayoría de los tejidos y órganos del cuerpo humano. El principal concepto de ingeniería de tejidos se refiere al desarrollo de dispositivos para regenerar tejidos dañados mediante la combinación de una matriz (andamio, células y agentes biológicos activos). Los andamios son usados en ingeniería de tejidos como un soporte físico y biológico de las células, es decir, para retener, proliferar y diferenciar, transportar las células y factores de crecimiento como nutrientes celulares y el oxígeno, y permiten el establecimiento de un apropiado medio ambiente para la regeneración de tejido de una manera organizada al ser trasplantados dentro de un organismo [1-3].

Los materiales desarrollados para ingeniería de tejidos han ido evolucionando. Durante los años 60's y 70's surge la primera generación de biomateriales cuyo objetivo era desarrollar materiales con propiedades físicas que se adaptaran lo mejor posible a los tejidos dañados evitando rechazo o infecciones en el paciente. Estos materiales se consideraron

¹ Ana B. Martínez Valencia. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. anitvalencia@gmail.com (Autor correspondiente).

² Luis E. Ceja Martínez. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

³ Georgina Carbajal De la Torre. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

⁴ Marco A. Espinosa Medina. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

“casi inertes”. Sin embargo, su principal desventaja era que después de ser implantados son encapsulados por tejido fibroso evitando la integración entre el material y el tejido dañado [2].

En los años 80's surge la segunda generación de biomateriales. Entre sus objetivos estaba obtener componentes bioactivos y bioabsorbibles para controlar la acción y reacción en el medio fisiológico. Durante esta generación se desarrolló una variedad de vidrios bioactivos, cerámicas y materiales compuestos para uso clínico. Entre los componentes bioactivos más comunes están la hidroxiapatita sintética y el biovidrio ampliamente utilizados en andamios, recubrimientos o polvos para aplicaciones médicas [2].

Actualmente nos encontramos en la tercera generación de biomateriales y el objetivo es desarrollar materiales que estimulen respuestas celulares específicas a nivel molecular mediante la combinación de la bioactividad y la bioabsorbibilidad de forma controlada. Los materiales mayormente utilizados en esta generación son polímeros biodegradables de origen natural o sintético como poli(α -hidroxiesteres), colágeno, ácido hialurónico, quitosano, soya, etc; cerámicos como vidrios de silicato, cerámicos-vidriosos, alúmina, zirconia, hidroxiapatita y otros fosfatos de calcio; metales como el titano, acero inoxidable y aleaciones como Cr-Co, etc., además de una gran variedad de composites, por ejemplo: ácido hialurónico/colágeno, biovidrio/hidroxiapatita, ácido poliláctico/ácido poliglicólico, zirconia/biovidrio, ácido poliláctico/policaprolactona, ácido poliláctico/hidroxiapatita, poliuretano/ácido poliláctico, hidroxiapatita/alúmina, entre otros [4-33]. Todos ellos con la finalidad de obtener materiales con morfologías diferentes con macro y nano estructuras buscando optimizar sus propiedades.

La policaprolactona (PCL) es extensamente usada para producir andamios para aplicaciones en ingeniería de tejidos debido a su biocompatibilidad, biodegradabilidad, estabilidad estructural y propiedades mecánicas. Sin embargo, esta presenta baja bioactividad y alta hidrofobicidad, reduciendo la afinidad celular y rangos bajos para la regeneración de tejido [8,16-33].

Por otro lado, los materiales cerámicos también pueden tener diversas aplicaciones en ingeniería de tejidos, en especial en la regeneración de tejido óseo debido a las propiedades estructurales que poseen las cuales son muy parecidas a la fase mineral que posee el hueso.

Los biovidrios se caracterizan por ser sólidos amorfos cuando poseen un desorden estructural muy elevado, o bien como líquidos cuando poseen una viscosidad muy elevada. El desarrollo y utilización de biovidrios en ingeniería de tejidos, en especial en aplicaciones para regeneración ósea, se han realizado durante los últimos 45 años a partir de que Hench y col., en 1971 desarrollaran el biovidrio 45S5. Los vidrios se dividen en dos grandes grupos los de base silicio y los de base fosfato. Los vidrios del primer grupo, como ya se mencionó anteriormente fueron desarrollados por Hench y sus col., quienes descubrieron que determinadas características de los vidrios eran biocompatibles, es decir, permitían generar una unión entre los huesos y los vidrios implantados. Por otro lado, los vidrios de fosfato de calcio se caracterizan porque la variación en su composición química permite modificar su velocidad de degradación, además de poseer propiedades osteoconductoras bajo determinadas condiciones, que en diversos estudios han permitido la adhesión, proliferación y diferenciación de células mesenquimales y osteoblastos [34].

Para mejorar las propiedades de estos tres materiales biocompatibles, en esta investigación se propuso combinar PCL, la cual permite controlar la velocidad de degradación del compuesto, mientras que el biovidrio le confiere mejores propiedades de bioactividad al compuesto, además de mejorar las propiedades mecánicas.

Metodología: materiales y métodos

-Síntesis de Biovidrio (G5).

Para la síntesis de biovidrio, los precursores utilizados fueron tetraetil ortosilicato (TEOS), nitrato de calcio y trietilfosfato (TEP), con la composición adecuada para obtener una composición teórica aproximada de 55% en peso de SiO₂, 36.5% de CaO y 8.5% de P₂O₅ (G5). Un gel se forma luego de reacciones de hidrólisis y condensación, el cual es calcinado a temperaturas entre 600 y 700 °C para estabilizar el biovidrio.

-Policaprolactona (PCL). Se utilizó la PCL comercial de Sigma Aldrich con peso molecular de 80,000.

-Preparación del Compuesto (PCL-G5).

El compuesto PCL-G5 fue preparado con 70% en peso de PCL y 30% en peso de G5, utilizando tetrahidrofurano (THF) como solvente. El procedimiento para la preparación de los compuestos fue el siguiente: en unos mililitros de tetrahidrofurano (THF) se dispersó primero el G5 mediante ultrasonido, posteriormente agitando mecánicamente se agregó la PCL, se dejó agitar durante dos horas y al final se dio agitación mediante ultrasonido por unos minutos más.

La mezcla anterior se vacía en moldes para obtener la morfología de probetas deseada. Se dejó secar a temperatura ambiente y posteriormente dentro de un horno a 35°C para eliminar totalmente el solvente. Cuando está completamente seco, se desmolda cuidadosamente (Figura 1).



Figura 1. Probetas de compuesto policaprolactona/biovidrio.

-Caracterización por Difracción de Rayos X (DRX)

El estado cristalino y la identificación de las fases de cada uno de los materiales puros y los compuestos fueron verificados por DRX mediante un difractómetro de polvos Bruker D8 Advance a un ángulo de 10 a 60° y una velocidad de 0.02 grados/s, usando radiación K α Cu.

-Espectroscopia de Infrarrojo (FT-IR)

El estudio por FT-IR fue realizado para identificar los grupos funcionales correspondientes en los compuestos. Este análisis fue realizado mediante un espectrómetro Bruker-Tensor 27 en un rango de 4000 a 400 cm⁻¹ a una resolución de 1cm⁻¹, preparando discos mezclando 0.3 g de KBr y 0.003 g de muestra y prensando con una carga de 4 toneladas durante un minuto.

-Microscopia electrónica de Barrido (MEB)

El estudio de la morfología superficial, homogeneidad del biovidrio y del compuesto fue realizado mediante un microscopio electrónico de barrido SEM-JEOL 6400. Las muestras fueron previamente metalizadas con Cu para su análisis, utilizando un detector de electrones secundarios y un voltaje de aceleración de 15 kV.

Resultados

Difracción de Rayos X (DRX)

Los patrones de Difracción de rayos X del G5 y PCL se presentan en la Figura 2. Los picos fueron indexados de acuerdo a la carta correspondiente, observándose los picos principales de los materiales.

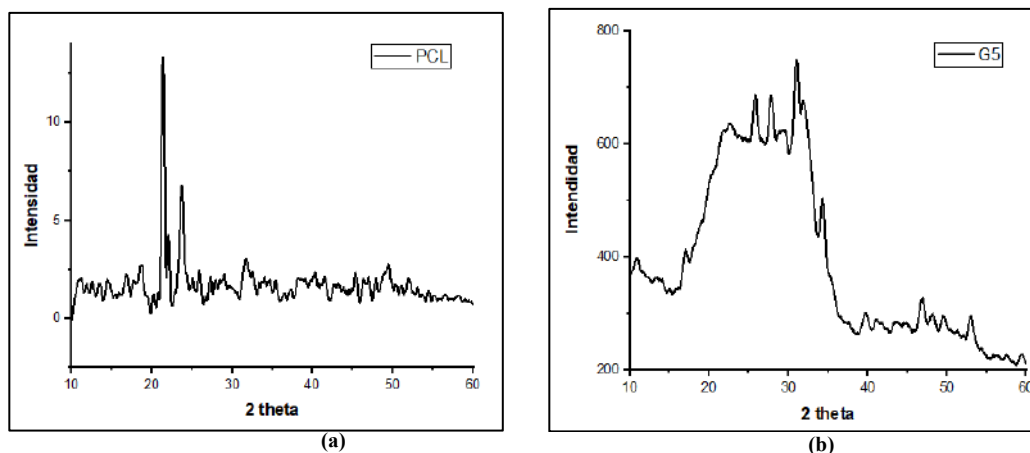


Figura 2. (a) Difractograma de Rayos X de policaprolactona (b) Difractograma de Rayos X de biovidrio.

Espectroscopia de Infrarrojo

Mediante espectroscopia de infrarrojo se determinaron las moléculas y tipos de enlaces formados por el G5 así como de los compositos. En la Figura 3 se muestran los espectros de infrarrojo de los polvos de G5.

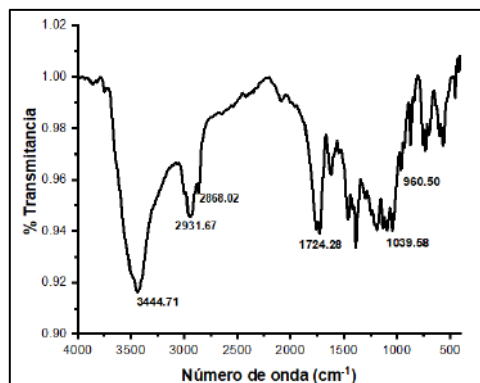


Figura 3. Espectros FT-IR del compuesto policaprolactona-biovidrio.

Microscopia electrónica de Barrido (MEB)

En la Figura 4 se presentan las micrográficas de los polvos de G5, antes de fabricar el compuesto, en ésta, se observaron aglomerados esféricos con tamaños menores a 500 nanómetros, los cuales conforman a su vez aglomerados de menores tamaños. Además, se presentan los resultados del microanálisis por EDS en los que se observa la presencia de Si, Ca y P del G5.

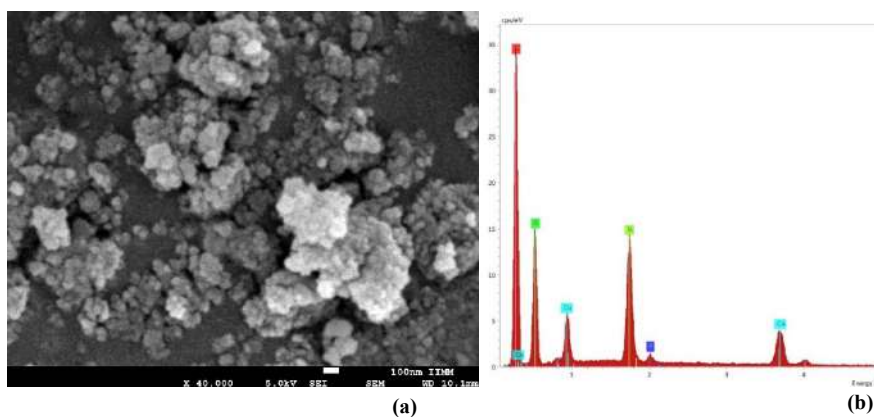


Figura 4. Micrografía y EDS de los polvos de G5.

La Figura 5 presenta la morfología de superficie del compuesto. En el compuesto G5 permite examinar la distribución del G5 en los compositos. Todas las muestras presentan buena homogeneidad de las partículas dentro de los compositos sin visibles áreas de aglomeración.

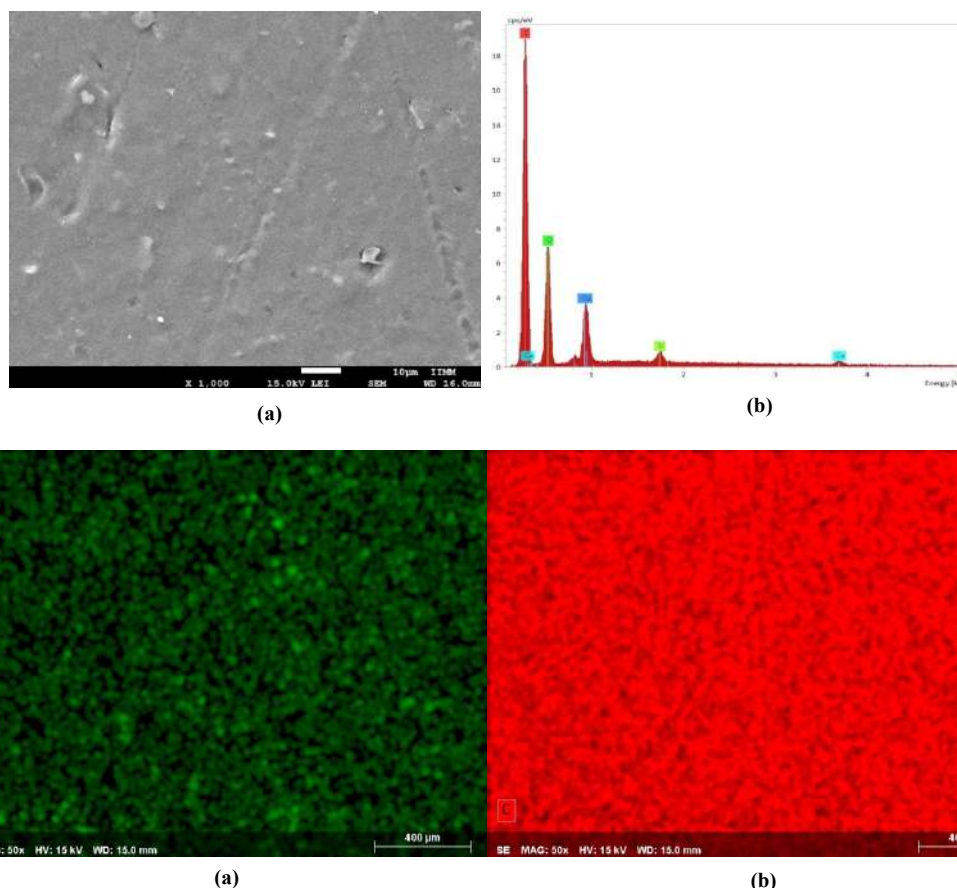


Figura 5. Fotomicrografías de la superficie del compuesto con un 30% de G5 (a); análisis EDS para el compuesto G5; mapeo correspondiente al elemento silicio en el compuesto G5 (c); mapeo correspondiente al elemento silicio en el compuesto G5 (d).

Discusión

Los resultados de DRX muestran picos bien definidos a 22° y 24° para la PCL y una estructura relativamente amorfa para el biovidrio, es decir, se observa una cristalización parcial de silicato de calcio (Ca_2SiO_4), misma que se puede observar en el pico a 32° . Lo anterior pudo llevarse a cabo durante el proceso de calcinación al elevarse la temperatura hasta 800°C .

En el caso del análisis por infrarrojo se puede observar las bandas características a 2931.67cm^{-1} y 2868.02cm^{-1} referentes a los grupos C-H presentes en la PCL y las bandas a 1039.58cm^{-1} y 960.50cm^{-1} asignada a los grupos P-O características del biovidrio. Además, una banda a 3444.71cm^{-1} atribuida al agua absorbida por el G5.

En las fotomicrografías se puede observar una superficie homogénea, lo que se corroboró mediante la realización de un mapeo de los elementos presentes en el compuesto, confirmando que los polvos de G5 fueron uniformemente dispersados en la matriz del polímero. Sin embargo, esto no sucedió para otras composiciones mayores al 30% de G5.

Conclusiones

Polvos de biovidrio fueron exitosamente fabricados mediante un método de sol-gel; los polvos nanocristalinos, se presentaron como aglomerados submicrométricos de composición homogénea. Los materiales compuestos PCL-G5 con incorporación de biovidrio con concentraciones de 70 y 30 % en peso, fueron exitosamente fabricados. El G5 en un porcentaje de 30% en peso, fue homogéneamente dispersado en la matriz polimérica debido a su alta área superficial y por lo tanto mayor interacción matriz-refuerzo. Otros compuestos con mayor porcentaje de G5 tuvieron mayor grado de aglomeración.

Agradecimientos: Se agradece al Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el Tipo Superior, PRODEP, por el apoyo recibido para la realización de este proyecto (UMSNH-PTC-398).

Bibliografía.

- [1] Boccaccini, R., Gough, J. E. (2007). Tissue engineering using ceramics and polymers, Woodhead Publishing Limited, 78-87.
- [2] Ramakrishna, S., Mayer, S., Wintermantel, E., Leong, K. W. (2001). Biomedical applications of polymer-composite materials: a review, Compos. Sci. Thech., 61,1189-1224.
- [3] Xie, H., Wang, J., Li, C., Gud, Z., Chena, Q., Li, L. (2013). Application of strontium doped calcium polyphosphate bioceramic as scaffolds for bone tissue engineering, Ceram. Inter., 39, 8945–8954.
- [4] Boissard, C.I.R., Bourban, P.E., Tami, A. E., Alini, M., Eglin, D. (2009). Nanohydroxyapatite/poly(ester urethane) scaffold for bone tissue engineering, Acta Biomater., 5, 3316–3327.
- [5] Laschke, M.W., Strohe, A., Menger, M.D., Alini, M., Eglin, D. (2010). In vitro and in vivo evaluation of a novel nanosize hydroxyapatite particles/poly(ester-urethane) composite scaffold for bone tissue engineering, Acta Biomater. 6, 2020–2027.
- [6] Liu, X., Smith, L.A., Hu, J., Ma, P.X. (2009). Biomimetic nanofibrous gelatin/apatite composite scaffolds for bone tissue engineering, Biomater. 30, 2252–2258.
- [7] Ren, J., Zhao, P., Ren, T., Gu, S., Pan, K. (2007). Poly (D,L-lactide)/nano-hydroxyapatite composite scaffolds for bone tissue engineering and biocompatibility evaluation, J. Mater. Sci: Mater. Med., 1-8.
- [8] Patricio, T., Domingos, M., Gloria, A., Bartolo, P. (2013). Characterisation of PCL and PCL/PLA scaffolds for tissue Engineering, Procedia CIRP., 5, 110–114.
- [9] Martínez-Valencia, A.B., Carbajal-De la Torre, G., Duarte-Moller, A., Espinosa-Medina, M.A., Esparza-Ponce, H.E. (2011). Study of bioactivity, biodegradability and mechanical properties of polyurethane/nano-hydroxyapatite hybrid composites. Inter. J. Phy. Sci., 6, 6681-6691.
- [10] Martínez-Valencia, A.B., Carbajal-De la Torre, G., Torres-Sánchez, R., Téllez-Jurado, T., Esparza-Ponce, H.E. Production of polyurethane/nano-hydroxyapatite hybrid materials and microstructural characterization. Inter. J. Phy. Sci., 6, 2731-2743.
- [11] Viswanath, B., Ravishankar, N. (2006). Interfacial reactions in hydroxyapatite/alumina nanocomposites, Scripta Materialia, 55, 863-866.
- [12] Jayabalan, M., Shalumon, K.T., Mitha, M.K., Ganesan, K., Epple, M. (2010). Effect of hydroxyapatite on the biodegradation and biomechanical stability of polyester nanocomposites for orthopedic applications. Acta Biomater. 6, 763–775.
- [13] Thein-Han, W.W., Shah, J., Misra, R. D. K. (2009), Superior in vitro biological response and mechanical properties of an implantable nanostructured biomaterial: nanohydroxyapatite/silicone rubber composite, Acta Biomater. 5, 2668–2679.
- [14] Fang, L., Leng, Y., Gao, P. (2005). Processing of HA reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene for biomedical applications, Biomater., 26, 3471-3478.
- [15] Doi, Y., Horiguchi, T., Moriwaki, Y., Kitago, H., Kajimoto, T., Iwayana, Y. (1996). Formation of apatite-collagen complexes. J. Biomed. Mater. Res., 31, 43-49.
- [16] Patrício, T., Bártolo, P. (2013). Thermal stability of PCL/PLA blends produced by physical blending process, Proced. Eng., 59, 292–297.
- [17] Liang, J.Z., Duan, D.R., Tang, C.Y., Tsui, C.P., Chen, D.Z. (2013). Tensile properties of PLLA/PCL composites filled with nanometer calcium carbonate. Polym. Testing., 32, 617–621.
- [18] Fukushima, K., Feijoo, J.L., Yang, M.C., (2013). Comparison of abiotic and biotic degradation of PDLLA, PCL and partially miscible PDLLA/PCL blend, Eur. Polym. J., 49, 706–717.
- [19] Takayama, T., Todo, M., Tsuji, H. (2011). Effect of annealing on the mechanical properties of PLA/PCL and PLA/PCL/LTI polymer blends. J. Mech. Biomed. Mater. 4, 255–260.
- [20] Gaona, L.A., Gómez-Ribelles, J.L., Perilla, J.E., Lebourg, M. (2012). Hydrolytic degradation of PLLA/PCL microporous membranes prepared by freeze Extraction. Polym. Degradation and Stability 97, 1621-1632.
- [21] Vieira, A.C., Vieira, J.C., Ferra, J.M., Magalhães, F.D., Guedes, R.M., Marques, A.T. (2011). Mechanical study of PLA–PCL fibers during in vitro Degradation. J. Mech. Biomed. Mater., 4, 451–460.
- [22] Fukushima, K., Tabuani, D., Camino, G. (2009). Nanocomposites of PLA and PCL based on montmorillonite and sepiolite. Mater. Sci. Eng. C., 29, 1433–1441.
- [23] Tanodekaew, S., Channasanon, S., Kaewkong, P., Uppanan, P. (2013). PLA-HA scaffolds: preparation and bioactivity, Procedia Eng., 59, 144–149.

- [24] Raquez, J.M., Habibi, Y., Murariu, M., Dubois, P. (2013). Polylactide (PLA)-based nanocomposites, *Prog. Poly. Sci.*, 38, 1504–1542.
- [25] Peponi, I., Navarro-Baena, I., Sonseca, A., Gimenez, E., Marcos-Fernandez, A., Kenny, J.M. (2013) Synthesis and characterization of PCL–PLLA polyurethane with shape memory behavior. *Eur. Polym. J.*, 49, 893–903.
- [26] Wang, Y., Liu, L., Guo, S., (2010). Characterization of biodegradable and cytocompatible nano-hydroxyapatite/polycaprolactone porous scaffolds in degradation in vitro. *Polym Degrad. Stab.*, 95, 207-213.
- [27] Panadero, J.A., Vikingsson, L., Gomez-Ribelles, J.L., Sencadas, V., Lanceros-Mendez, S. (2013). Fatigue prediction in fibrin poly- ϵ -caprolactone macroporous scaffolds. *J. Mech. of Biomedical Mater.*, 28, 55–61.
- [28] Wang, Y., Dai, J., Zhang, Q., Xiao, Y., Lang, M. (2010). Improved mechanical properties of hydroxyapatite/poly(ϵ -caprolactone) scaffolds by surface modification of hydroxyapatite. *Appl. Surf. Sci.*, 256, 6107–6112.
- [29] Rezaei, A. Mohammadi, M.R. (2013). In vitro study of hydroxyapatite/polycaprolactone (HA/PCL) nanocomposite synthesized by an in situ sol–gel process. *Mater. Sci. Eng. C.*, 33, 390–396.
- [30] Milovac, D., Ferrer, G.G., Ivankovic, M., Ivankovic, H. (2014). PCL-coated hydroxyapatite scaffold derived from cuttlefish bone: Morphology, mechanical properties and bioactivity. *Mater. Sci. and Eng. C.*, 34, 437–445.
- [31] Alexander, A., Ajazuddin, Khan, J., Saraf, S. (2013). Poly(ethylene glycol)–poly(lactic-co-glycolic acid) based thermosensitive injectable hydrogels for biomedical applications. *J. of Controlled Release* 172, 715–729.
- [32] Roohani-Esfahani, S.I., Nouri-Khorasani, S., Lu, Z., Appleyard, R., Zreiqat, H. (2010). The influence hydroxyapatite nanoparticle shape and size on the properties of biphasic calcium phosphate scaffolds coated with hydroxyapatite PCL composites. *Biomater.*, 31, 5498-5509.
- [33] Liao, G., Jiang, S., Xu, X., Ke, Y. (2012). Electrospun aligned PLLA/PCL/HA composite fibrous membranes and their in vitro degradation behaviors. *Mater. Lett.* 82, 159–162.
- [34] Blaker, J.J., Rezwan, K., Chen, Q.Z., Boccaccini, A.R. (2006). Biodegradable and bioactive porous polymer/inorganic composite scaffolds for bone tissue engineering. *Biomaterials*, 18, 3413–3431.

CONFERENCISTAS MAGISTRALES DEL II CONGRESO DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE



M.C. Miguel Ángel Guerra Cossío

Ingeniero Civil, Maestro en Ciencias con Orientación en Materiales de Construcción, actualmente cursando el Doctorado en Ingeniería con Orientación en Materiales de Construcción. Ha participado como ponente en distintos congresos internacionales (como el International Materials Research Congress en Cancún, México 2015 y el International Conference on Bio-Based Building Materials en Clermont-Ferrand, Francia 2017). Cuenta con publicaciones en revistas indexadas enfocadas en investigación de cementantes alternativos. Colabora activamente con el Cuerpo Académico de Materiales Alternativos en Ingeniería en el Instituto de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León.



Dr. Ing. Andrés Antonio Torres Acosta

Es Ingeniero Civil de profesión y arquitecto de corazón. Su preparación profesional la realizó en la Universidad Autónoma de Yucatán, y sus estudios de Postgrado en la Universidad del Sur de la Florida, en Tampa, Florida, USA. Actualmente trabaja en industria, es Gerente de Ingeniería y Consultoría en SATELSA SA de CV, Querétaro, donde trabaja en investigación, consultoría y desarrollo tecnológico. Sus líneas de investigación son nuevos materiales de construcción, como uso de adiciones naturales de mucílago de nopal, diseño de estructuras, durabilidad de materiales de construcción, métodos electroquímicos para la caracterización de materiales de construcción e inspección detallada de estructuras de concreto con problemas de corrosión, materiales de para la restauración de monumentos históricos, así como historia de las construcciones. En academia, es profesor/investigador en el área de Estructuras y Materiales de Construcción de la Universidad Marista de Querétaro, Universidad Autónoma de Querétaro y Universidad Anáhuac de Querétaro. Es Investigador Nacional, Nivel II, del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT. Es Académico Titular de la Academia de Ingeniería de México AC.



Dr. Tezozomoc Pérez López

El Dr. Pérez es Ingeniero Químico, Maestro en Metalurgia y Doctor en Ciencias Químicas por la Facultad de Química de la UNAM. Profesor de asignatura de la Facultad de Química de la UNAM de 1990 a 1995. Profesor-investigador Titular de Tiempo Completo del Centro de Investigación en Corrosión, de la Universidad Autónoma de Campeche desde 1995, siendo Director Científico desde junio de 2002 hasta marzo de 2011. Reconocido por el Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT como Candidato a Investigador de 2001 a 2005; Investigador Nacional Nivel I para los periodos 2006-2008 y 2009-2012 y Nivel II de 2013 a 2016 y 2017 a 2021. Director de 2 tesis de doctorado, 12 de maestría y 24 de licenciatura; en codirección 1 de maestría y 13 de licenciatura. Perfil PROMEP desde 1997. Dentro de sus actividades de investigación y desarrollo están el estudio del deterioro y protección de metales y concreto armado por técnicas electroquímicas, preservación de materiales de interés histórico así como amplia trayectoria en corrosión atmosférica. Ha impartido cursos especializados de corrosión y asesorías a la industria. Ha publicado trabajos científicos en el área de corrosión y protección. Participante en el Comité de Restauración de los murales de Biblioteca Central de la UNAM, Jefe de grupo de la inspección del Puente de la Unidad, Campeche. Asesor del IMT en proyectos de investigación aplicada en corrosión de estructuras de concreto. Participante en el proyecto de restauración de la Estatua Ecuestre de Carlos IV.

GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN OBRAS DE EDIFICACIÓN

Jonathan De Dios Frías¹, José Antonio Domínguez Lepe²,
Luis Felipe Jiménez Torrez³, Maritza Chan Juárez⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 23/09/2019

Aceptado: 30/09/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen.- El objetivo de este estudio es desarrollar un plan de gestión de residuos de construcción y demolición en obras de edificación en base a índices de generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en el estado de Quintana Roo, obtenidos a su vez mediante la revisión de literatura sobre este tema; la estructura del plan está conformada por 2 programas: el programa de generación de RCD, en el cual a través de índices de generación obtenidos de investigaciones de campo se estima la cantidad de RCD que se espera se genere a lo largo de la obra y el programa de traslado y almacenamiento temporal en el que se estima el espacio mínimo necesario para el almacenamiento temporal de los RCD y la frecuencia de traslado de los RCD fuera del sitio de obra; por último se propone una guía para la implementación del Plan de gestión de RCD.

Palabras clave: Gestión, residuos, construcción, demolición.

MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE IN BUILDING CONSTRUCTIONS

Abstract.- The goal of this study is to develop a construction and demolition waste (C&D waste) management plan applied in building works based on construction and demolition waste generation rates in the state of Quintana Roo, obtained through review of literature on this subject; The structure of the plan is based on 2 programs: the C&D waste generation program, in which the amount of that is expected to be generated throughout the construction is estimated through generation rates obtained from field investigations, and the temporary storage and transfer program in which the minimum space necessary for temporary storage and the frequency of transfer of C&D waste outside the construction site are estimated; Finally, a guide is proposed for the implementation of the C&D waste Management Plan.

Keywords: Construction, demolition, waste, management.

Introducción

La producción de residuos de construcción y demolición (RCD) a nivel mundial ha aumentado considerablemente durante las últimas décadas, lo que ha ocasionado un problema ambiental a consecuencia de su vertido incontrolado. La industria de la construcción genera aproximadamente el 35% de los residuos industriales en todo el mundo (Construction Materials Recycling Association, 2005; Hendriks & Pieterse, 2000); Mundialmente se produjeron 3 billones de toneladas de Residuos de Construcción y demolición anualmente hasta el 2012; cifra que continúa en aumento. (Akhtar & Sarmah, 2018)

La no gestión de los residuos de construcción y demolición puede tener consecuencias como:

- Impactos al medio ambiente, baja eficiencia en la construcción, sobrecostos de hasta el 30% producto de desperdicios de materiales en obra (Ameh y Daniel El, 2013)
- Costos extra en Disposición final (Lingard et al, 2000).

¹ Jonathan DeDios Frías. Maestro en Construcción egresado del Instituto Tecnológico de Chetumal, Quintana Roo, México.

Jonathan_df93@hotmail.com (Autor correspondiente)

² José A. Domínguez Lepe. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal

³ Luis Felipe Jiménez Torrez. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal

⁴ Maritza Chan Juárez. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal

- Agravación de Problemas de Escasez-Acortamiento de tiempo útil de vertederos (Ulsen & Kahn, 2012)

Uno de los avances en el tema de gestión de residuos en México es la publicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 que establece los criterios para clasificar a los residuos, en la cual los residuos de construcción y demolición son considerados residuos de manejo especial, los cuales deben de estar sujetos a un plan de gestión/manejo.

A nivel nacional y estatal se publicó la Ley para la Prevención y la Gestión Integral de Residuos. La cual, al igual que en la NOM-161-SEMARNAT-2011, clasifica los residuos de construcción y demolición como residuos de manejo especial.

En México durante el periodo 2006-2012, los residuos de construcción y demolición llegaron a ser 6.11 millones de toneladas, ocupando el tercer lugar en la clasificación de Residuos de Manejo Especial. (Semarnat. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2012. INECC, Semarnat. México. 2012)

Sin embargo, en el Diagnostico Básico para la Gestión Integral de los Residuos elaborado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en el 2012, señala que dicho diagnostico se vio limitado debido a que no se ha hecho efectivo el registro de los grandes generadores de residuos de manejo especial y a la necesidad de formular una estrategia efectiva para la identificación del número de fuentes generadoras, datos que servirían para inventariar tales residuos y determinar la necesidad de infraestructura.

Por otra parte de acuerdo con el estudio titulado: “Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generados por las actividades de construcción en México” (SEMARNAT 2009), la generación de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) representa, en peso promedio el 17.5% de los Residuos Sólidos Urbanos. La problemática que presentan estos residuos es principalmente su disposición final incorrecta y su falta de aprovechamiento en obras nuevas o remodelaciones.

La ley para la prevención y la gestión de residuos del Estado de Quintana Roo señala en su artículo 57, fracción 7 la clasificación de los Residuos de Construcción y Demolición como Residuos de Manejo Especial.

Artículo 57.- Los Residuos de Manejo Especial se clasifican como se indica a Continuación, salvo cuando se trate de Residuos considerados como peligrosos en esta Ley y en las normas oficiales mexicanas correspondientes:

VII.- Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general.

Y en el artículo 63, fracciones III y VII señala que los generadores de Residuos de Manejo Especial están obligados a elaborar un Plan de Manejo y almacenar temporalmente los residuos dentro de sus instalaciones.

Artículo 63.- En términos de la legislación federal y de esta Ley y su reglamento, los generadores o poseedores de Residuos de Manejo Especial están obligados a:

III.- Elaborar un Plan de Manejo de acuerdo a la naturaleza de los Residuos;

VII.- Previa aprobación, almacenar temporalmente los Residuos dentro de sus instalaciones, de acuerdo con las medidas de seguridad que correspondan, según sus características y los tiempos que establezcan los ordenamientos jurídicos correspondientes. En cualquier caso, deberá prevenirse la generación de lixiviados y su infiltración en los suelos, así como el arrastre por el agua de lluvia o por el viento de tales Residuos, y disponer de los medios para contener fugas, derrames o incendios.

Derivado a lo anterior Domínguez (2007) desarrolló un Sistema Estratégico para la Prevención y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición para el Estado de Quintana Roo (Ver Figura 1), con un enfoque basado en la Teoría General de Sistemas, construyó un modelo teórico compuesto por los subsistemas de: prevención (SSPV), de captación y manejo (SSCM), revalorización (SSRV), disposición final (SSDF), de información y educación (SSIE), legal y normativo (SSLN) y de Regulación (SSRG), en cual se toman en cuenta los factores sociales, económicos, políticos, culturales y tecnológicos del entorno.

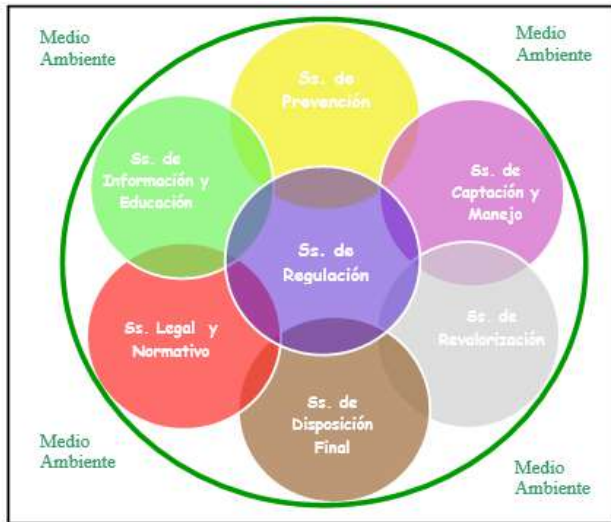


Figura 1 Modelo del Sistema para la Prevención y Gestión de los RCD.

Fuente: Domínguez J. (2007). Sistema estratégico para la prevención y gestión de los residuos de construcción y demolición. X Congreso Internacional de Reciclaje. Habana, Cuba.

De acuerdo a la Ley para la prevención y la gestión de residuos del estado de Quintana Roo en sus artículo 57, fracción VII y artículo 63 fracción VI y VII señalan que los programas de gestión de residuos serán responsabilidad del generador, entonces al no contar con un Plan de Gestión los generadores can en omisiones, prueba de ello es que de acuerdo a la Procuraduría de Protección al Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo en 2016 existieron 10 procedimientos en materia de residuos de construcción y se establecieron multas por un monto de \$139,044.00,y en 2017 existieron 2 procedimientos y se establecieron multas por un monto de \$100,330.00; la problemática planteada dio pie a la presente propuesta que busca subsanar la carencia señalada.

Justificación económica:

- Ahorro en costos de transporte de RCD a disposición final.
- Eficiencia: desde el punto de vista del consumo de materiales, si el material es malgastado en el sitio de trabajo, se paga dos veces por él, una para comprar el nuevo material y otra vez por el costo de disposición. Desde la óptica de la eficiencia del operario, la velocidad de trabajo se ve afectada por los residuos que entorpecen el movimiento propio de la persona.
- Calidad de obra: la presencia de materiales residuales impide la inspección visual de tareas ya realizadas, con la consecuencia de detectarse en etapas
- Posteriores con mayor costo de reparación.
- Seguridad y prevención de riesgos: el ordenamiento de los residuos dentro de la obra reducirá los accidentes por su causa y protegerá la salud de los operarios. Un ambiente ordenado facilitará la posibilidad de observar riesgos potenciales.
- Minimización de costos totales de demolición con la asignación de las técnicas de reutilización de ciertos elementos que pueden ser recuperados.

Justificación social:

- Prevención de la disposición inapropiada de los desechos, la cual puede ser causante de daños a la salud.
- Marketing: un buen manejo y control de los RCD dará crédito a la empresa
- Por ser una corporación aceptada por la comunidad y mostrar que se construye protegiendo el medio natural.

- Implementación de la cultura de la reducción, captación y manejo de residuos de construcción y demolición
- Responsabilidad: como generador de algunos residuos potencialmente peligrosos se debe resguardar la responsabilidad por un daño ocasionado al personal de obra o de la población por la disposición no autorizada de aquellos residuos.

Justificación ambiental:

- Prevención de la disposición inapropiada de los desechos, la cual puede ser causante del daño al medio ambiente.
- Aumento del tiempo de vida Sitios de Disposición Final.
- Reducción de explotación de recursos naturales.

Como resultado de la revisión de literatura obtenemos la premisa de que es necesario implementar un Plan de Gestión Interno en Obra, para lograr la revalorización los Residuos de Construcción y Demolición (RCD); y teniendo a su vez como objetivo general Proponer un Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en obras de edificación adaptado a los materiales y procesos constructivos de la región. Para lograr el objetivo general se tienen los siguientes objetivos particulares:

- Desarrollar la estructura del Programa de generación de Residuos de Construcción y Demolición, clasificándolos de manera cuantitativa y cualitativa en obra.
- Realizar la estructura del Programa de depósito, almacenamiento temporal, traslado de residuos en obra, y disposición final de los residuos.
- Formular una Guía de información para orientar a constructores, clientes, autoridades y demás involucrados.

Metodología

La metodología a seguir para el desarrollo del plan de gestión de RCD se compone de 2 etapas, la primera etapa cuyo objetivo es el desarrollo de los programas de generación de RCD con base en los índices de generación de RCD por sector de la construcción en el estado, clasificándolos de manera cuantitativa y cualitativa en obra, y el programa de almacenamiento temporal y traslado de los RCD, como se muestra en la Figura 2.

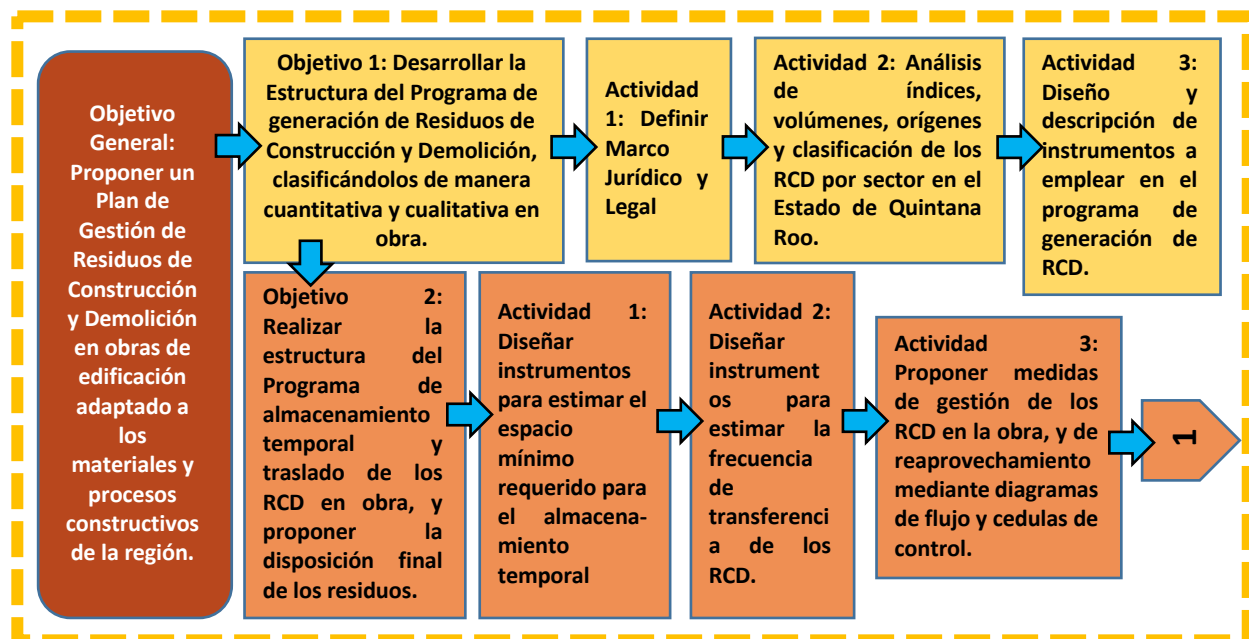


Figura 2 Etapa 1 de Metodología para el Desarrollo del Plan de Gestión de RCD

Fuente: Elaboración propia

La segunda etapa consiste en formular la guía de información para la implementación del Plan de Gestión de RCD en obra y orientar a constructores, clientes, autoridades y demás involucrados sobre los pasos, formulas y datos a seguir para su elaboración como se muestra en la Figura 3.

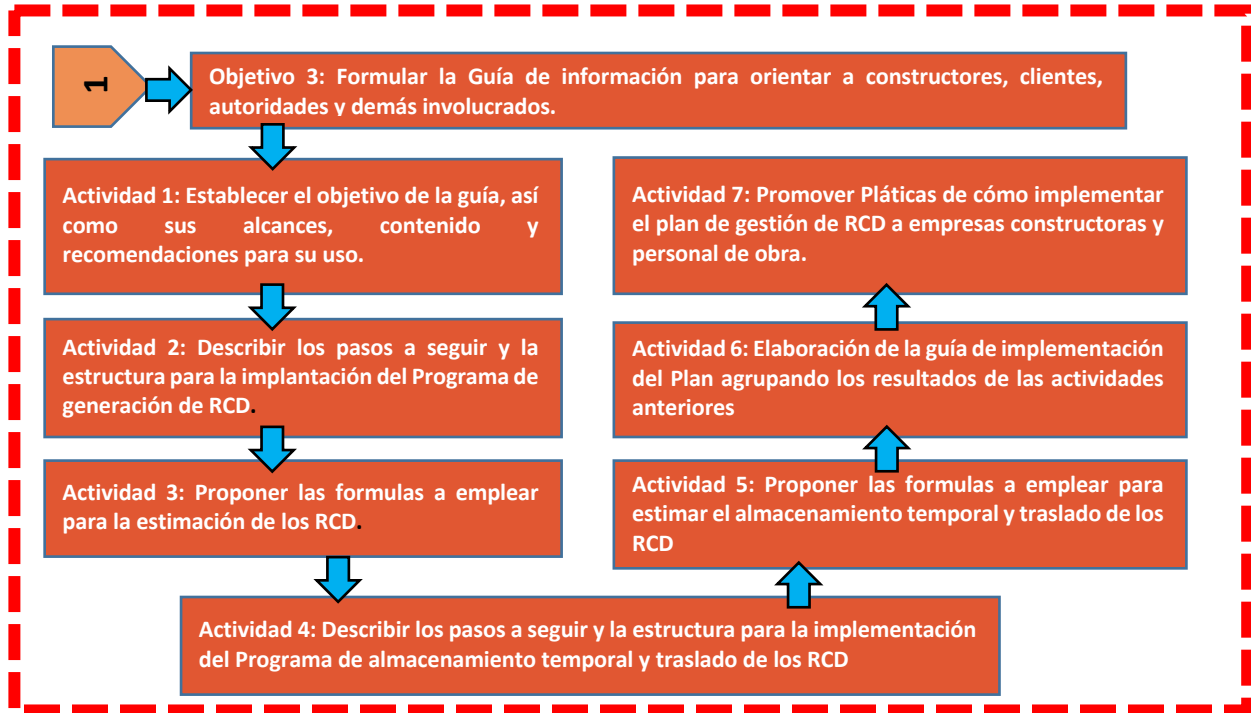


Figura 3 Etapa 2 de Metodología para el Desarrollo del Plan de Gestión de RCD

Fuente: Elaboración propia

Resultados

La estructura del Plan de gestión de Residuos de construcción y demolición está compuesta por el Programa de Generación de Residuos y el Programa almacenamiento temporal y traslado como se muestra en la Figura 4.



Figura 4 Estructura del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición

Fuente: Elaboración propia

Programa de Generación de Residuos

El Programa de Generación de Residuos se compone de las siguientes partes:

- Tabla de Datos iniciales de la obra
- Tabla de Estimación de volúmenes de generación por etapa de la construcción y tipo de residuo.

- Cronograma de la generación de los residuos.
- Tabla de Resumen de generación de residuos por tipo
- Graficas de generación de residuos

Tabla de Datos iniciales de la obra

Es la correspondiente a los datos iniciales de la obra y es en la que se indican datos generales relacionados a la empresa y la construcción del proyecto, es importante a su vez señalar al tipo de sector al que pertenece la obra, los m² de construcción de la misma, así como el índice de generación general de residuos de acuerdo al sector al que pertenece para poder obtener el total de residuos programados durante la duración de toda la obra expresado en Kg o Ton., para ilustrar mejor el funcionamiento del Plan se tomó como ejemplo el proyecto de un Hotel de 23,321.05 m², quedando la tabla de Datos iniciales de la obra como se muestra en la Tabla 1.

1.1 DATOS INICIALES DE LA OBRA						
1.2 Empresa:	Inmobiliaria Tres Torres S.A. de C.V.					
1.3 Tipo de obra:	Hotel de cinco estrellas			1.4 Sector	Turismo	
1.5 Localización:	Lote 4, KM 23, Blvd. Kukulcan, 3ra Etapa de la Zona Hotelera, Cancun, Quintana Roo					
1.6 Nombre del Proyecto:	Hotel Tres Torres					
1.7 Descripción General de la Obra	El proyecto que se pretende edificar se compone por tres torres de 13,14 y 17 niveles con un total de 338 cuartos. Estos edificios contarán con áreas de servicios, espacios verdes y alberca en un predio con una superficie 14,926.24 m2					
1.8 Gerente del Proyecto:						
1.9 Residente de Obra:						
1.10 M2 de Construcción:	23,321.05	1.11 Indice de generación por Sector		69.90	1.13 Fecha de Inicio	07/01/2018
1.12 Total de Residuos Programados	1,630,141.40	KG	1,630.14	TON	1.14 Fecha de Terminación	20/12/2018

Tabla 1 Ejemplo de Datos iniciales de la obra

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla de Estimación de volúmenes de generación por etapa de la construcción y tipo de residuo.

Es en la que se ordenan los datos de generación de residuos estimada de acuerdo a etapa de la construcción, tipo de RCD, m² de construcción y los índices de generación por etapa y tipo de RCD de acuerdo al sector al que pertenece la construcción, para dar como resultado el volumen aproximado de RCD que se estima se generaran en la obra expresado en Kg. o Ton. Una vez hecho lo anterior se prosigue con la estimación de volúmenes de generación; para obtener la cantidad de residuos generados en la etapa de la cimentación se emplea la siguiente formula:

$$CRG = \frac{(23,321.05 \text{ m}^2 \times 2.275 \text{ Kg/m}^2)}{1000*} \quad (1)$$

Donde:

CRG = Cantidad de residuos generados por etapa de la construcción en Ton

M2 = Metros cuadrados de construcción, en este caso: 23,321.05 m²

IGR = Índice de generación de residuos por etapa de la construcción (Ver tablas de 7-11 de índices de generación de residuos), en este caso: 2.275 Kg/m²

*Se toma como equivalencia para esta guía que 1M³ de RCD heterogéneo y sin compactar = 1 tonelada = 1000 kg

Dando como resultado de esta operación: 53.06 Ton de RCD en la etapa de cimentación como se muestra en la Tabla 2 de estimación de volúmenes de generación por etapa de la construcción y tipo de residuo.

2.1 ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES DE GENERACIÓN POR ETAPA DE LA CONSTRUCCIÓN Y TIPO DE RESIDUO.			
2.2 Etapa y Tipo de Residuo	2.3 Datos para la estimación		2.4 Cantidad de residuos generados en Ton
	2.3.1 M ²	2.3.2 Índice de generación de residuos	
Cimentación	23,321.05	2.275	53.06
Concreto,Mortero	23,321.05	0.792	18.47

Tabla 2 Ejemplo de Estimación de volúmenes de generación por etapa de la construcción y tipo de residuo

Fuente: Elaboración propia

Cronograma de la generación de los residuos.

Se compone de dos ejes, el eje vertical en el que se ordenan las etapas de la construcción y los tipos de RCD que son factibles que se generen y el eje horizontal, en el que se ordena la escala de tiempo a emplear de acuerdo a la duración de la obra, la fórmula para determinar la cantidad de residuo programado por escala de tiempo definido (en este caso Meses) se emplea la siguiente formula:

$$RGET = 53.06 \text{ Ton} / 3 \text{ Meses} \quad (2)$$

Donde:

RGET = Residuo generado por escala de tiempo, en este caso meses.

CRG = Cantidad de residuos generados por etapa en Ton, este caso 53.06 Ton en la etapa de cimentación.

ETD = Escala de Tiempo Definido, en este caso 3 meses que se estima que dure la etapa de cimentación.

Dando como resultado 17.69 Ton por mes para la etapa de cimentación como se muestra en la Tabla 3.

		3.1 CRONOGRAMA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS POR ETAPA DE LA CONSTRUCCIÓN Y TIPO DE RESIDUO.			
		3.2 MESES			
		1	2	3	4
3.3 Cimentación	Programado	17.69	17.69	17.69	
	Real				
Concreto,Mortero	Programado	6.16	6.16	6.16	
	Real				

Tabla 3 Ejemplo de Cronograma de generación de residuos por etapa de la construcción y tipo de residuo

Fuente: Elaboración propia

Tabla de Resumen de generación de residuos por tipo

Es la tabla en la que se ordenan en el eje vertical los datos de tipos de RCD generados en la obra (Concreto/Mortero, Residuo de Block, Vigüeta y Bovedilla, Pisos, Metales y Otros), y en el eje horizontal los volúmenes que se estima se generaran por escala de tiempo, en este caso Mes, y se anotaran los volúmenes reales en obra.

La fórmula para determinar la cantidad de residuo acumulado por escala de tiempo definido (semanas, meses, etc.) se emplea la siguiente formula:

$$RAe = \sum RGET \quad (3)$$

Donde:

RAe = Cantidad de residuo acumulado en una escala de tiempo definido por tipo de RCD (Concreto/Mortero, Residuo de Block/Vigueta y Bovedilla, Metales, Pisos, Otros) en Ton

$\sum RGET$ = Sumatoria de residuo generado por escala de tiempo (Semana, mes, etc.) en Ton.

Y la Formula para obtener la sumatoria total de residuos por escala de tiempo:

$$\sum TRne = \sum TRCne + \sum TRBne + \sum TRPne + \sum TRMne + \sum TROne \quad (4)$$

Donde:

$\sum TRne$ = Sumatoria total de residuos por escala de tiempo

$\sum TRCne$ = Sumatoria total de residuos de Concreto/Mortero por escala de tiempo, en este caso 6.64 Ton en el 1er mes.

$\sum TRBne$ = Sumatoria total de residuos de Block, Vigueta y Bovedilla por escala de tiempo, en este caso 1.15 Ton en el 1er mes.

$\sum TRPne$ = Sumatoria total de residuos de Pisos por escala de tiempo, en este caso 0 Ton en el 1er mes.

$\sum TRMne$ = Sumatoria total de residuos de Metales por escala de tiempo, en este caso 10.38 Ton en el 1er mes.

$\sum TROne$ = Sumatoria total de Otros residuos (No entran en ninguno de los tipos anteriores) por escala de tiempo, en este caso 0 ton en el 1er mes.

Dando como resultado de esta operación la Sumatoria total de residuos en el 1er mes 18.17 Ton. Como se muestra en la Tabla 4.

4.3 Origen de Residuo		4.2 Meses			
		1	2	3	4
Concreto/Mortero	4.3.n Programado	6.64	30.90	36.07	29.92
	4.4.n Real				
R. Block, Vig, Bov.	Programado	1.15	33.20	61.75	60.59
	Real				
Pisos	Programado	0.00	0.00	0.00	0.00
	Real				
Metales	Programado	10.38	30.38	32.15	21.77
	Real				
Otros	Programado	0.00	0.75	0.83	0.83
	Real				
4.5 Total en TON	4.5.n Programado	18.17	95.23	130.80	113.11
	4.6.n Real				
4.7 Promedio	4.7.n Programado	135.69	135.69	135.69	135.69
	4.8.n Real				

Tabla 4 Ejemplo de Tabla de Resumen de generación de residuos por tipo

Fuente: Elaboración propia

Gráfica de generación de residuos

Es en la que se grafican los datos obtenidos en la tabla de resumen de generación por tipo de RCD en el punto anterior, y se compone de los siguientes elementos como se muestran en la Figura 5

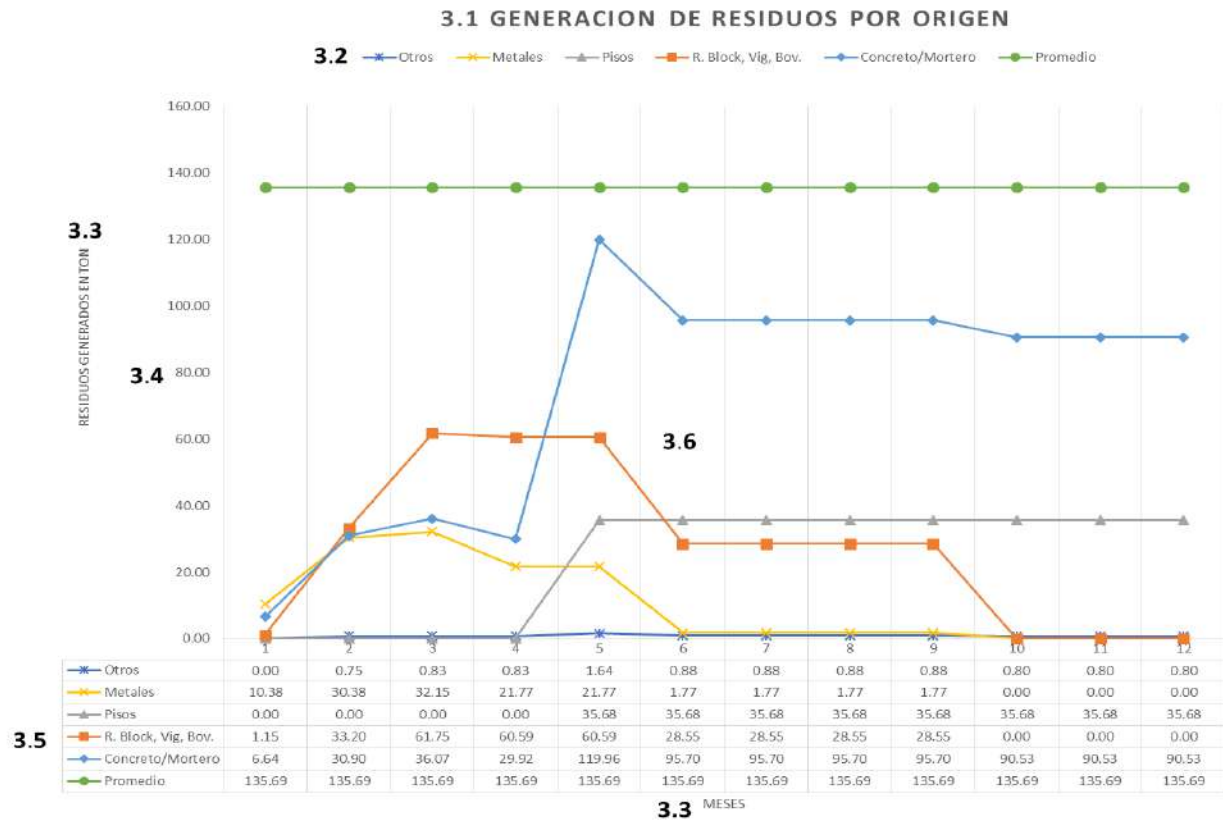


Figura 5 Gráfica de generación de residuos

Fuente: Elaboración propia

Donde:

3.1 Título de la gráfica “Generación de residuos por origen”

3.2 Simbología de la grafica

3.3 Título de ejes

3.4 Eje vertical para medir la escala de la generación de residuos en Ton.

3.5 Tabla de resumen de residuo generado en Kg o Ton. por tipo de RCD (Concreto/Mortero, Residuo de Block/Vigueta y Bovedilla, Metales, Pisos, Otros).

3.6 Serie de datos para graficar la cantidad de residuo generado en Ton. por semana/mes etc. En este caso en meses.

3.2 Programa de almacenamiento temporal

El programa de almacenamiento temporal tiene como objetivo estimar el espacio mínimo necesario para almacenar los RCD que se generen a lo largo de la obra, para lo cual se propone la estructura mostrada en la Tabla 5.

5.1 PROGRAMA DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL				
	5.3 Semanas/Meses			
	1	2	3	4
5.2 Concreto, Mortero	58.42	271.91	317.44	263.26
R. Block, Vig, Bov.	10.16	292.17	543.39	533.23
Pisos	0.00	0.00	0.00	0.00
Metales	91.34	267.36	282.90	191.56
Otros	0.00	6.61	7.33	7.33
5.4 Area minima requerida en M²	159.91	838.04	1,151.06	995.39

Tabla 5 Ejemplo de Programa de almacenamiento temporal

Fuente: Elaboración propia

En cada escala de tiempo se calcula el espacio mínimo en m2 requerido para el almacenamiento temporal por cada tipo de residuo a través de la siguiente formula:

$$M^2N = (RA / 1000*) (8.8**) \quad (5)$$

Donde:

M²N = Metros cuadrados necesarios para el almacenamiento temporal

RAe = Cantidad de residuo acumulado en una escala de tiempo definido por tipo de RCD (Concreto/Mortero, Residuo de Block/Vigueta y Bovedilla, Metales, Pisos, Otros).

*Se realiza la división de RA entre 1000 para realizar la conversión de Kg. a Ton.

**Se realiza la multiplicación por 8.8 (M2 ocupados por Tonelada de RCD)

Y se emplea la siguiente fórmula para obtener la sumatoria de área mínima requerida de los tipos de RCD por escala de tiempo:

$$\sum AMn = M^2NC + M^2NB + M^2NM + M^2NP + M^2NO \quad (6)$$

Donde:

$\sum ARne$ = Sumatoria de área mínima requerida de los tipos de RCD por escala de tiempo.

M²NC = Área mínima requerida para residuos de Concreto/Mortero

M²NB = Área mínima requerida para residuos de Block, Vigueta y Bovedilla

M²NM = Área mínima requerida para residuos de metales

M²NP = Área mínima requerida para residuos de pisos

M²NO = Área mínima requerida para Otros tipos de residuos (No entran en ninguna de las clasificaciones anteriores)

Conclusiones

El plan de gestión de RCD propuesto busca ser un instrumento que ayude a los constructores, contratistas, trabajadores de la construcción y autoridades a dar cumplimiento a la normativa establecida por la ley general de equilibrio ecológico y medio ambiente del estado de Quintana Roo, contribuyendo a su vez a guiar, educar y orientar a estos actores involucrados en diferentes etapas de la construcción sobre la naturaleza de los residuos, y su gestión.

Se obtuvieron como productos la “Guía para la implementación del plan de gestión de residuos de construcción y demolición.” Y una hoja de cálculo en Excel con la estructura propuesta para los programas que componen este plan, los cuales se encuentran como Apéndices en la Tesis Titulada “Plan de gestión de residuos de construcción y demolición en obras de edificación adaptado a los materiales y procesos constructivos de la región”.

Recomendaciones

- La implementación en obras de construcción en el estado para una posterior retroalimentación de los índices de generación.
- Extender la investigación de RCD a obras como carreteras, puentes, etc.
- Desarrollo de aplicaciones móviles y la creación de una base de datos de RCD en el estado.

Bibliografía

A. Bakshan, I. Srour, G. Chehab, M. El-Fadel, J. Karaziwan, (2017) “Factores determinantes del comportamiento para mejorar la gestión de los desechos de la construcción: un análisis de la red bayesiana” (Behavioral determinants towards enhancing construction wastemanagement: A Bayesian Network analysis), Resources, Conservation and Recycling Volume 117, Part B, February 2017, Pages 274-284

B. A. G. Bossink and H. J. H. Brouwersz, (1996) “Residuos de la construcción: cuantificación y evaluación de la fuente” (Construction waste: quantification and source evaluation), Journal of Construction Engineering and Management Vol. 122, Issue 1

B. Mcdonald, M. Smithers, (2010) “Implementando un plan de manejo de desechos durante la fase de construcción de un proyecto: Un caso de estudio.” (Implementing a waste management plan during the construction phase of a project: a case study), Construction Management and Economics Volume 16, - Issue 1, Pages 71-78, 2010.

Borjas Pelissier Leticia (2008) , Tesis de Maestria “Diagnóstico para determinar las características y disposición de los residuos de construcción y demolición en Quintana Roo” Instituto Tecnológico de Chetumal.

Cortes Arzola D., Tesis de Maestria (2008), ““Propuesta de plan específico para la gestión de residuos de construcción y demolición en el Estado de Quintana Roo.” Instituto Tecnológico de Chetumal.

C. S. Poon, T.W. Yu and L. H. Ng, (2001) “Una guía para gestionar y minimizar Residuos de construcción y demolición.” (A guide for managing and minimizing building and demolition waste) Editorial Research Centre for Urban Environmental Technology and Management Department of Civil and Structural Engineering The Hong Kong Polytechnic University ISBN:962-367-311-6

C. Ulsen, H.Kahn, G.Hawlitshchek. (2013) “Estudios de separabilidad de residuos de construcción y demolición de arena reciclada”. (Separability studies of construction and demolition waste recycled sand) Waste Management Volume 33, Issue 3, March 2013, Pages 656-662.

D. Fatta, A. Papadopoulos, E. Avramikos, E. Sgourou, (2003) “Generación y gestión de construcción y residuos de demolición en Grecia-un desafío existente” (Generation and management of construction and demolition waste in Greece—an existing challenge), Resources, Conservation and Recycling ,Volume 40, Issue 1, December 2003, Pages 81-91

Domínguez, J. A. (2005), Necesidad de Plan específico de Gestión de Residuos de construcción y demolición para el Estado de Quintana Roo, Revista Avacient No 37, pp 60-72.

Domínguez, J. A. (2006), Sistema estratégico para la prevención y gestión de los residuos de construcción y demolición. Tesis (Doctorado)- Instituto Tecnológico Superior Antonio Echevarría- La Habana, 2006.

Domínguez J.A. (2008). “Propuesta de Plan Específico para la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en el Estado de Quintana Roo”. Informe final. Instituto Tecnológico de Chetumal- Quintana Roo, México.

E. K. Lauritzen, (1998) “Gestión de residuos de construcción de emergencia” (Emergency construction waste management), *Safety Science* Volume 30, Issues 1–2, October–December 1998, Pages 45-53

Escudero Najera F.A. (2016) “Análisis costo-beneficio de los subsistemas de captación y revalorización de los residuos de construcción y demolición en Chetumal y su Área Metropolitana.” Instituto Tecnológico de Chetumal.

H. Yuan, L. Shen., (2011) “Trend of the research on construction and demolition waste management” *Waste Management* Volume 31, Issue 4, April 2011, Pages 670-679.

H.Yuan, (2012) “Un modelo para evaluar el desempeño social de la gestión de residuos de construcción.” (A model for evaluating the social performance of construction waste management) *Waste Management* Volume 32, Issue 6, June 2012, Pages 1218-1228.

H.Yuan (2013) “Un análisis FODA de la gestión exitosa de los desechos de la construcción.” (A SWOT analysis of successful construction waste management) *Journal of Cleaner Production* Volume 39, January 2013, Pages 1-8

J. Sheth, G. Devkar (2016) “Análisis de las Políticas sobre Residuos de Construcción y Demolición desde una perspectiva de Sustentabilidad” (Analysis of Construction and Demolition Waste Management Policies from Sustainability Perspective) *Habitat Conclave 2016 Paper presentation on “Smart & Sustainable City”*

J.Solís-Guzmán, M. Marrero, M. V. Montes-Delgado. (2009) “Un modelo español de cuantificación y gestión de residuos de construcción.” (A Spanish model for quantification and management of construction waste) *Waste Management* Volume 29, Issue 9, September 2009, Pages 2542-2548.

N. Kartam ,N. Al-Mutairi, I. Al-Ghusain, J. Al-Humoud, (2004) “Gestión ambiental de residuos de construcción y demolición en Kuwait” (Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait) *Waste Management* Volume 24, Issue 10, 2004, Pages 1049-1059

N. Udawattaa, J. Zuoa, K. Chiverallsa, G. Zillanteba (2015) “Mejorando la Gestión de Residuos en Proyectos de Construcción: Un estudio de Australia.” (Improving waste management in construction projects: An Australian study) *Resources, Conservation and Recycling* Volume 101, August 2015, Pages 73-83.

O. F. Kofoworola, S. H. Gheewala, (2009) “Estimación de la generación y gestión de residuos de construcción en Tailandia.”(Estimation of construction waste generation and management in Thailand) *Waste Management* Volume 29, Issue 2, February 2009, Pages 731-738.

Vivian W.Y. Tam, (2008) “Efectividad en la implementación de un plan de gestión de residuos en la construcción.” (On the effectiveness in implementing a waste-management-plan method in construction), *Waste Management* Volume 28, Issue 6, 2008, Pages 1072-1080.

Saheed O. Ajayi, Lukumon O. Oyedele, Muhammad Bilal, Olugbenga O. Akinade, Hafiz A. Alaka, Hakeem A. Owolabi (2017) “Prácticas de gestión críticas que influyen en la minimización de residuos en el sitio en proyectos de construcción.” (Critical management practices influencing on-site waste minimization in construction projects) *Waste Management* Volume 59, January 2017, Pages 330-339.

COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO DE LA CASA-MAYA MEDIANTE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

Víctor Antonio Chulin Tec¹, Cleotilde Herrarte²,
Dianelly Yazuri Chulim Tec³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 23/09/2019 Aceptado: 30/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- Para cuantificar los efectos del viento en una construcción cuya geometría es compleja, se realizan ensayos experimentales en túnel de viento con modelos a escala para determinar los valores de los coeficientes aerodinámicos. En este trabajo se presenta la metodología para determinar estos coeficientes en prototipos de Casa Maya (CM y CM2) y en otro de vivienda económica convencional (CEC) mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés). En este estudio se consideraron los mismos parámetros utilizados en un estudio experimental realizado previamente. Todos los modelos se sometieron a una velocidad de viento de 15 m/s y ángulos de incidencia de 0° y 90°. La comparación de resultados muestra que los coeficientes de presión registrados en túnel de viento para ambas direcciones y los estimados mediante la CFD tienen la misma tendencia general y con diferencias promedio del orden de 0.1. Los coeficientes de arrastre en los muros de las casas CEC, CM y CM2 presentan diferencias del orden de 0.07. La metodología aquí presentada es una herramienta alterna para determinar las presiones ejercidas por el viento sobre edificaciones con geometrías que estén fuera del alcance de los reglamentos y normas de diseño por viento.

Palabras clave: Casa maya, coeficientes aerodinámicos, CFD, coeficientes de arrastre.

AERODYNAMIC BEHAVIOR OF THE CASA MAYA THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Abstract.- To quantify the effects by wind in a construction whose geometry is complex, experimental trails made by wind tunnel with scale models to determine the values of aerodynamic coefficients. This paper presents the methodology to determine these coefficients in Casa Maya prototypes (CM and CM2) and in another one of conventional economic housing (CEC) through computational fluid dynamics (CFD, for its acronym in English). In this study, it was consider the same parameters used by experimental trails. All models submitted to a wind speed of 15 m / s and angles of incidence of 0° and 90°. The comparison of results shows that the pressure coefficients registered in wind tunnel for both directions and those estimated by the CFD have the same general tendency and with average differences of the order of 0.1. The drag coefficients in the walls of houses CEC, CM and CM2 present differences of the order of 0.07. The methodology presented here is an alternative tool for pressures exerted by the wind on buildings with geometries that are outside the regulations and norms by wind design.

Keywords: Casa Maya, aerodynamic coefficients, CFD, drag coefficients.

Introducción

Para determinar las cargas inducidas por el viento sobre las edificaciones, comúnmente se emplean códigos, éstos son fáciles de aplicar para construcciones con formas regulares. En las construcciones con formas irregulares o aquellas situadas en ambientes complejos, la determinación de las cargas inducidas por el viento resulta complicada y fuera del alcance de los códigos. Para estos casos, una solución, es emplear túneles de viento para determinar las presiones ejercidas por el viento en las partes de la estructura más sensibles. En el proceso de diseño, el uso de software por computadora es más conveniente (Gamboa-Marrufo et al., 2011). El objetivo del presente proyecto es cuantificar las presiones exteriores ejercidas por la acción del viento en muros característicos de las viviendas tipo CM, CEC y adicionalmente en muros de una propuesta de vivienda basada en la geometría de la Casa-Maya (CM2) mediante la dinámica de fluidos por computadora (CFD) y comparar los resultados con aquellos obtenidos por medio de pruebas en túnel de viento.

¹Víctor Antonio Chulin Tec. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal. vchulin@itchetumal.edu.mx. (Autor correspondiente).

²Cleotilde Herrarte. Egresada de la Carrera de Ingeniería Civil Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

³Dianelly Yazuri Chulim Tec. Estudiante de la Maestría en Construcción. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal, México.

La dinámica de fluidos computacionales (CFD, por sus siglas en inglés) consiste en el análisis del movimiento de los fluidos y, en ocasiones, de otros fenómenos asociados (transferencia de calor, reacciones químicas, arrastres de sólidos, etc.) empleando la computadora. Su objetivo es la búsqueda de una solución numérica de las ecuaciones diferenciales parciales que rigen el movimiento de los fluidos a través de la discretización y la resolución de dichas ecuaciones ya sea mediante técnicas como diferencias finitas, volumen finito o elemento finito, cuya interacción permita determinar la hidrodinámica de un fluido en el rango de estudio. Además de la información básica que se puede obtener análogamente de las pruebas experimentales en túnel de viento, estos programas proporcionan información complementaria del comportamiento de los fluidos que resultaría difícil de conocer experimentalmente, tales como las energías de turbulencia, las cuales no serían fáciles de determinar o requerirían de instrumentación altamente compleja y costosa para hacerlo. Las simulaciones numéricas, empleando la técnica CFD, siempre han venido acompañadas por una fase experimental que ha servido para darle certidumbre (validación) a los resultados obtenidos de la simulación; por ejemplo, los trabajos realizados por Verma et al., (2015) ofrecen una alternativa conveniente para predecir los fenómenos del viento en relación a los edificios y otros tipos de estructuras empleando la CFD. Su investigación consistió en hacer un análisis de los coeficientes de presión en un edificio de forma octagonal (en planta), y comparar los resultados con pruebas experimentales realizadas en un túnel de viento. Las simulaciones se realizaron con ángulos de embate de 0, 15 y 30 grados. Los resultados mostraron que cuando la dirección del viento era 0°, las presiones máximas ocurrían en la cara ‘A’ del edificio y estas incrementaban de abajo hacia arriba debido a la altura. Las diferencias de los coeficientes de presión resultaron del orden de 0.1. Este estudio también comprobó que las presiones máximas se dan en el centro del lado de barlovento del edificio y estas disminuyen al orillarse. Muchos investigadores han comprobado que los resultados de una simulación numérica son muy parecidos a las pruebas experimentales, (siempre y cuando se cumpla con los procedimientos correctos para la simulación numérica). Según Gamboa et al., (2013) los resultados de la simulación numérica de una tenso-estructura con los de una prueba experimental en un túnel de viento de la misma estructura fueron muy similares y las diferencias fueron del orden de 0.1 y 0.07 para las direcciones paralela y perpendicular respectivamente.

Metodología

El procedimiento general adoptado en la modelación mediante la CFD se resume en el siguiente diagrama de flujo y se describe en las siguientes secciones (Ver figura 1).

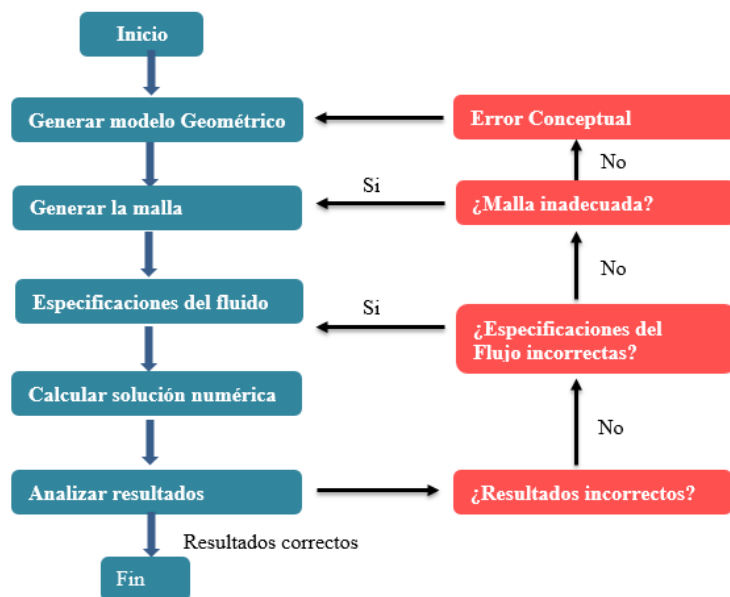


Figura 1. El Proceso del análisis mediante CFD (Shaw, 1992).

El dibujo de las viviendas se realizó en el programa *Autocad* (ver figura 2) y se exportó al programa *Ansys Fluent-Design modular*. Para verificar que este proceso no generó errores en la geometría, se recurrió a la herramienta “repair”

de *design modular*. Algunos errores que suelen aparecer son: defectos en bordes, agujeros pequeños en las superficies, dobles nodos y errores en la conectividad de los elementos, entre otros.

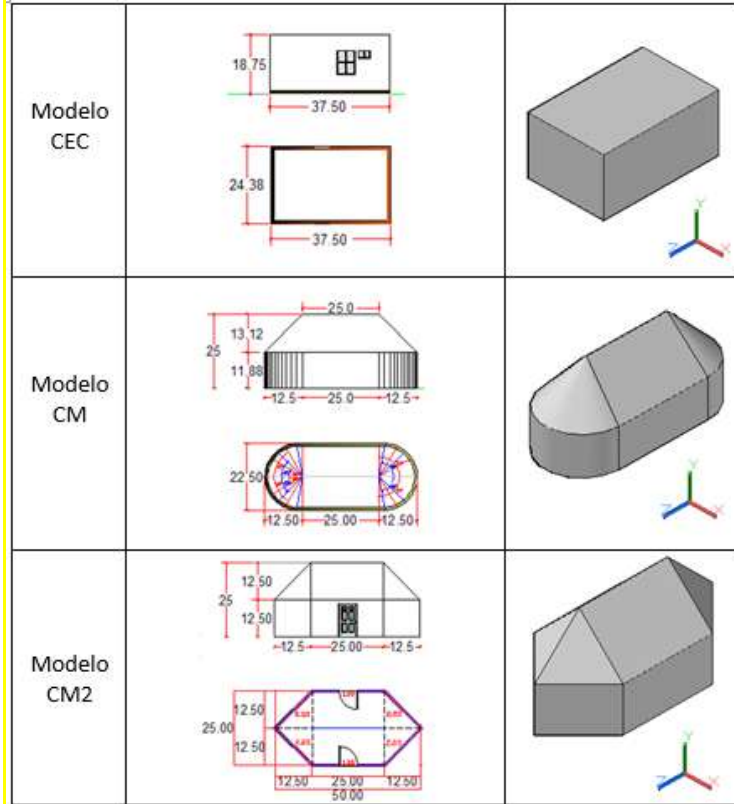


Figura 2. Geometría y dimensiones en centímetros de los modelos CEC, CM y CM2.

Dominio Computacional: Un dominio computacional es la región en el espacio en la cual las ecuaciones de movimiento se resuelven mediante la CFD, Cengel et al., (2006). Para evitar efectos de interferencia con las paredes del dominio computacional se utilizaron dimensiones similares a las usadas en el trabajo de Gallardo et al., (2014). Estas dimensiones se presentan en la figura 3, donde H es la altura del edificio en estudio. Las simulaciones se realizaron con dos direcciones de embate del viento sobre los modelos, paralela y perpendicular a las generatrices respectivamente. Para optimizar recursos computacionales y aprovechar la simetría de los modelos, se optó por utilizar un eje de simetría, en este caso el eje Z. (Ver la figura 3).

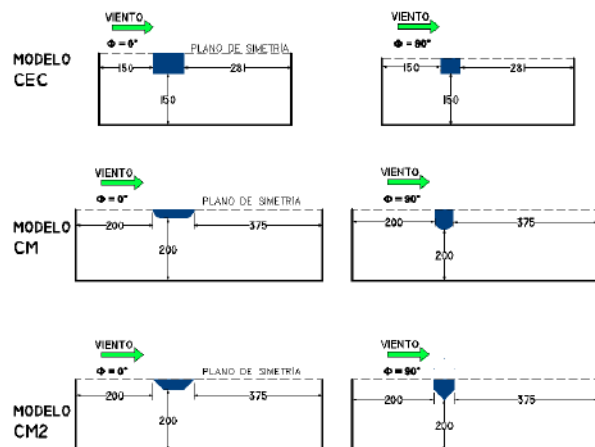
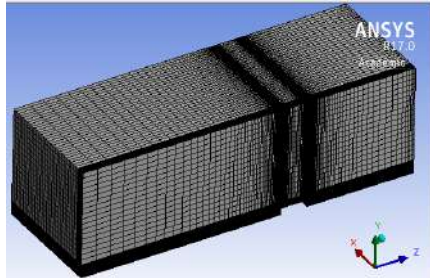


Figura 3: Posición de los modelos de CEC, CM y CM2 dentro del dominio computacional (elaboración propia).

Malla Numérica: Una malla define las celdas en las que se calculan las variables de flujo (velocidad y presión, entre otras) en todo el dominio computacional y se clasifican como estructuradas o no estructurada. En las figuras 4, 5 y 6 se presentan los tipos de malla que se utilizaron para el caso de CEC ($\Phi = 0^\circ$)

Malla refinada: Debido a la geometría de este modelo, es posible utilizar una malla estructurada, también se refino la malla aproximadamente un 20%. (Ver figuras 5 y 6).



Tipo de malla: estructurada

Método: Multizone

Elementos: 402,793

Calidad ortogonal: 0.98

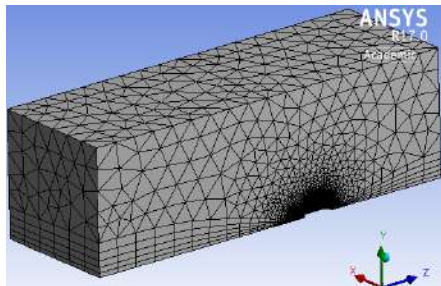
El Sesgo (Skewness)= 0.02

Figura 4. Malla refinada (elaboración propia).

En este caso (Malla refinada) se optó por trabajar con una malla estructurada debido a que el modelo CEC es rectangular y factible con elementos hexaedros. Los controles para el mallado que se utilizaron para refinar la malla son los siguientes: Multizone y apped face meshing.

CM ($\Phi = 0^\circ$) Malla refinada

De igual manera la malla para este modelo se refino aproximadamente un 20%, figura 5.



Tipo de malla: no estructurada

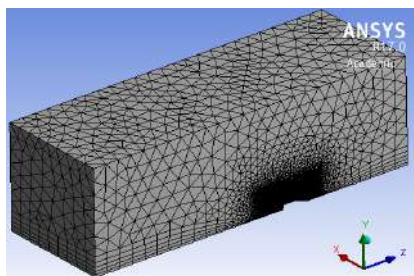
Método: tetraedros

Elementos: 401,751

El Sesgo (Skewness)= 0.74

Figura 5. Malla refinada (elaboración propia).

CM2 ($\Phi = 0^\circ$) Malla refinada



Tipo de malla: no estructurada

Método: tetraedros

Elementos: 492,483

El Sesgo (Skewness)= 0.75

Figura 6. Malla refinada (elaboración propia).

Configuración de la solución: La configuración consiste en establecer los parámetros que se usan durante la resolución de las ecuaciones tales como el modelo de turbulencia, los materiales y las propiedades del fluido (densidad y viscosidad). El fluido para realizar los estudios es el aire con una viscosidad de 1.7894×10^{-5} (kg/m-s) y densidad constante de 1.225 (kg/m³). La presión de operación elegida fue cero y la velocidad de entrada de 15 m/s.

Condiciones de frontera: Las condiciones de frontera utilizadas en este estudio se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de frontera

Nombre	Contorno	Propiedad
Casa	Wall	Velocidad cero en su superficie, de modo que el flujo no lo atraviesa
symmetry	symmetry	La condición de frontera de simetría se impone sobre una cara de tal modo que el flujo que cruza la cara es una imagen especular del flujo calculado.
cara lateral (symmetry_side)	symmetry	condición de frontera de simetría
Techo (symmetry_top)	symmetry	condición de frontera de simetría
Piso (Wall)	Wall	Velocidad cero en su superficie, de modo que el flujo no lo atraviesa
Inlet	VelocityInlet	Contorno de entrada de flujo a una velocidad definida
Outlet	PressureOutlet	Contorno de salida de flujo

Solucionador: En este estudio se seleccionó el método numérico de solución basada en la presión (*Pressure-Based Solver*) y el algoritmo de acoplado.

Estudio de Independencia de Malla: El método estándar para probar la independencia de la malla es incrementar la resolución (en un factor de 2 en todas las direcciones si es posible) y repetir la simulación (Cengel *et al.*, 2006). Si los resultados no cambian de manera considerable, es probable que la malla original sea adecuada. Si surgen diferencias importantes entre las dos soluciones, entonces debe probarse una malla más fina hasta que se resuelva de manera satisfactoria.

En la figura 7 se muestran los puntos de medición de “presiones locales” en los tres modelos sometidos a una prueba experimental, realizado por Chulin y Gamboa (2007). La semejanza dinámica se consideró por medio de coeficientes de presión (C_p) y de arrastre (C_d) definidos en las ecuaciones 1 y 2 respectivamente:

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \quad (\text{ec.1})$$

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A'} \quad (\text{ec.2})$$

Donde D es la fuerza de empuje y succión paralela a la dirección del viento. U_∞ es la velocidad de la corriente uniforme, A' es el área frontal proyectada del objeto visto desde una dirección paralela a la velocidad corriente arriba y ρ es la densidad del fluido.

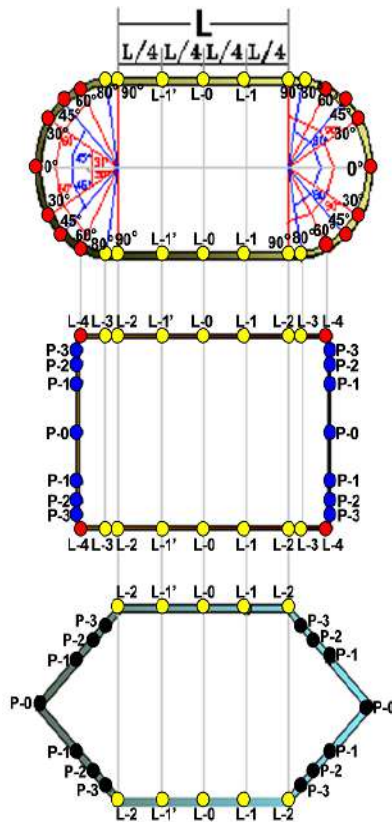


Figura 7. Puntos de medición de presión (Chulin y Gamboa, 2007).

Resultados

En la figura 8 se hace una comparación de los coeficientes de presión obtenidos en pruebas experimentales y mediante CFD para el modelo de CM cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 0^\circ$). En general se obtienen valores semejantes en los muros laterales y en barlovento. Debido a la curvatura del muro en sotavento, el flujo mantiene una velocidad constante, es decir no se presenta separaciones bruscas del viento, dando como resultado succiones comprendidas entre -0.14 y -0.20 en el área de sotavento.

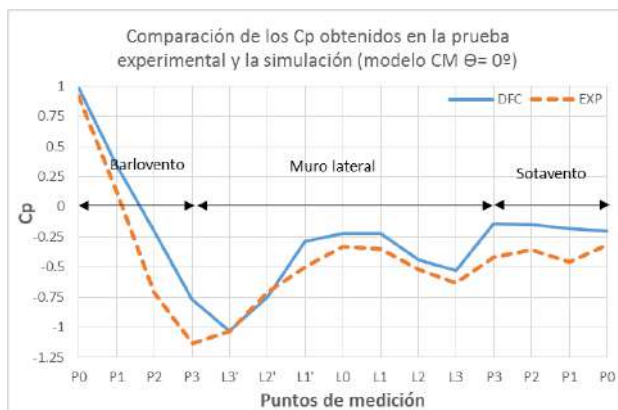


Figura 8. Comparación de C_p obtenidos de ensayos experimentales y mediante CFD (elaboración propia)

La Figura 9 presenta una vista en planta del modelo de CM cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 0^\circ$). Se muestran los contornos de presión (C_p) en los muros y la cubierta. Los resultados de la simulación numérica revelan que en la zona central del muro en barlovento existe un C_p 0.98 y a las orillas de dicho muro, del punto 'P2' al 'L3' ocurren succiones con magnitudes desde -0.1 a -1.03, esto se debe a que, al fluir el aire hacia las aristas del cuerpo, las líneas de corriente se juntan, lo que ocasiona un aumento de la velocidad que genera vórtices en esas zonas que ejercen presiones negativas.

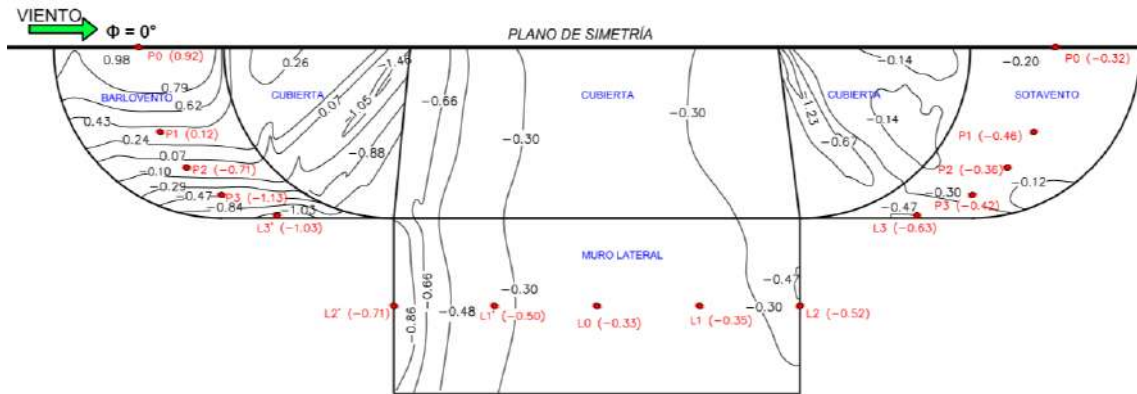


Figura 9: Contornos de presión en los muros y cubierta del modelo de CM (elaboración propia)

Modelo CM (embate del viento a 90°)

En la figura 10 se hace una comparación de los coeficientes de presión obtenidos en pruebas experimentales y mediante CFD para el modelo de CM cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 90^\circ$). Los valores que presentan mayor discrepancia son los que se obtienen en sotavento, pero se observa que los resultados de la simulación concuerdan con la teoría del autor Holmes, 2007; la cual establece que en construcciones de baja altura con cubiertas que tengan un ángulo de inclinación de más de 20° , ocurre una separación del flujo y no se logra la readherencia de la capa límite sobre la cubierta en dirección del viento. Esto por lo general causa presiones negativas relativamente uniformes.

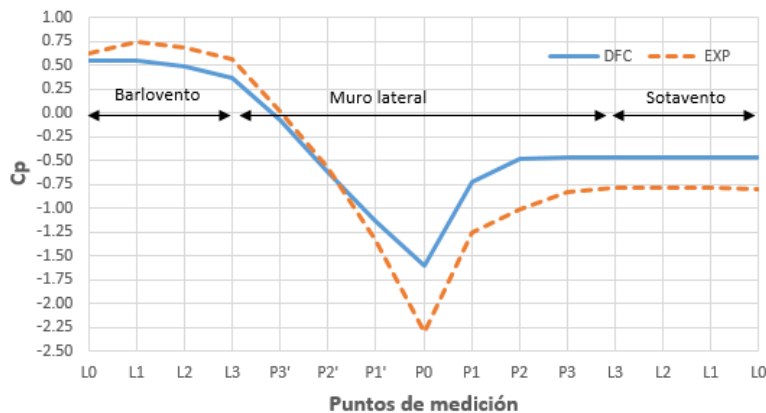


Figura 10: Comparación de C_p obtenidos de ensayos experimentales y mediante CFD ($\Phi = 90^\circ$)

La Figura 11 presenta una vista en planta del modelo CM cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 90^\circ$), donde se muestran los contornos de presión (C_p) en los muros y la cubierta. En contraste con la prueba anterior (cuando $\Phi = 90^\circ$) en la zona de barlovento las presiones mayores ocurren en la parte inferior y superior del muro y no en la parte central. En cuanto al muro lateral, existe un incremento considerable de succiones, presentándose la presión negativa más crítica en el centro de dicho muro; esto se debe a que la velocidad del fluido aumenta dando como resultado succiones intensas.

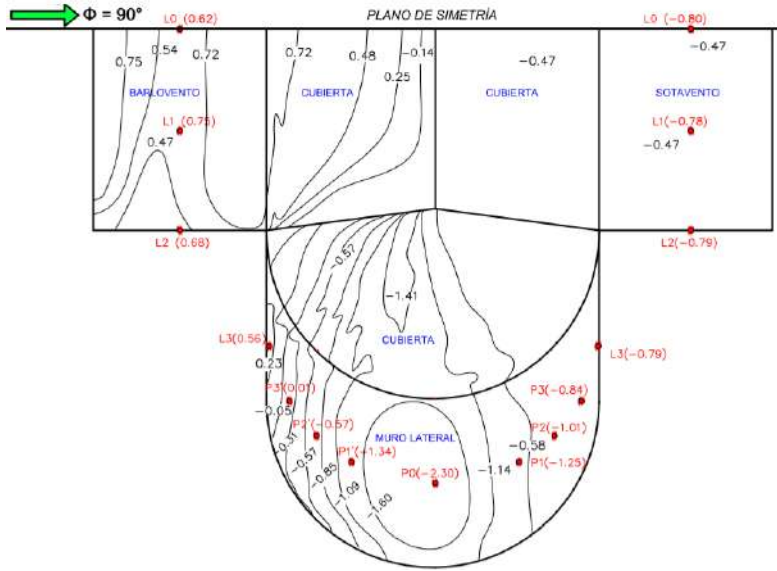


Figura 11: Contornos de presión en los muros y en la cubierta del modelo de CM ($\Phi = 90^\circ$)

Modelo CM2 (embate del viento a 0°)

En la Figura 12 se hace una comparación de los coeficientes de presión obtenidos en pruebas experimentales y mediante CFD para el modelo de CM2 cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 0^\circ$). En la zona de barlovento la diferencia máxima fue de 0.19, en sotavento -0.12 y en el muro lateral se puede considerar que hay semejanzas en los resultados, con la excepción de un punto de medición L1'.

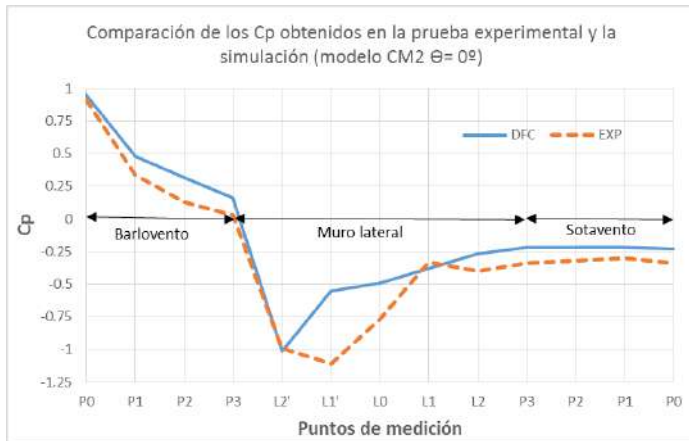


Figura 12: Comparación de C_p obtenidos de ensayos experimentales y mediante CFD (elaboración propia).

La Figura 13 presenta una vista en planta del modelo de CM2 cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 0^\circ$), donde se muestran los contornos de presión (C_p) en los muros y la cubierta. Los resultados de la simulación numérica muestran una semejanza con los valores obtenidos en la prueba en el túnel de viento. Si se hace una comparación de este modelo con el modelo CM, se nota un comportamiento similar en barlovento con la diferencia que en el modelo CM2 las succiones a los bordes del muro son menos intensas.

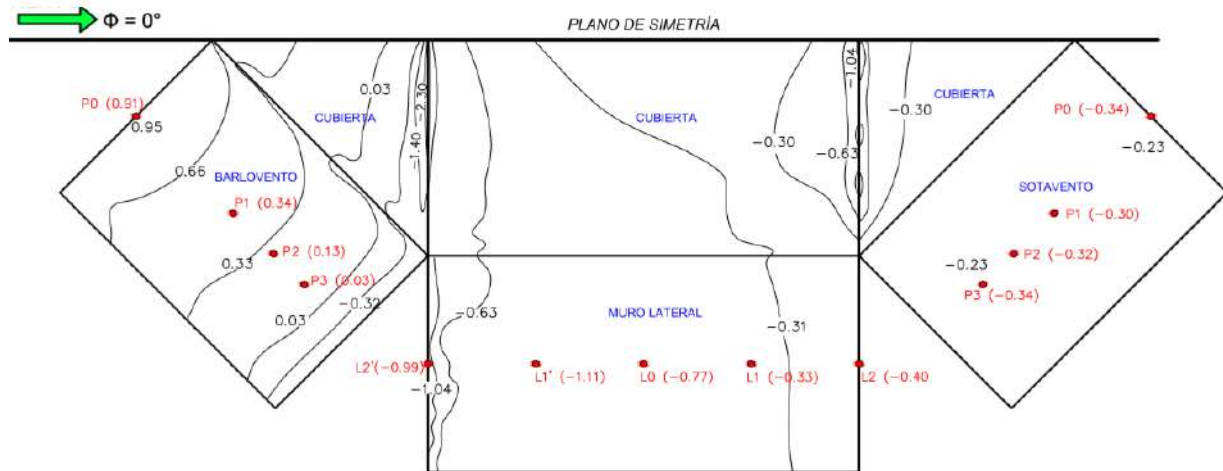


Figura 13: Contornos de presión en los muros y en la cubierta del modelo CM2 ($\Phi = 0^\circ$), elaboración propia.

Modelo CM2 (embate del viento a 90°)

En la figura 14 se hace una comparación de los coeficientes de presión obtenidos en pruebas experimentales y mediante CFD para el modelo de CM2 cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 90^\circ$). En los muros de la zona de barlovento se pueden observar valores semejantes en los coeficientes de presión, mientras que en la zona de sotavento los resultados de CFD presentan mayor discrepancia. Las succiones en esta zona no son tan intensas, probablemente se deban a la separación del flujo causada por la cubierta del modelo.

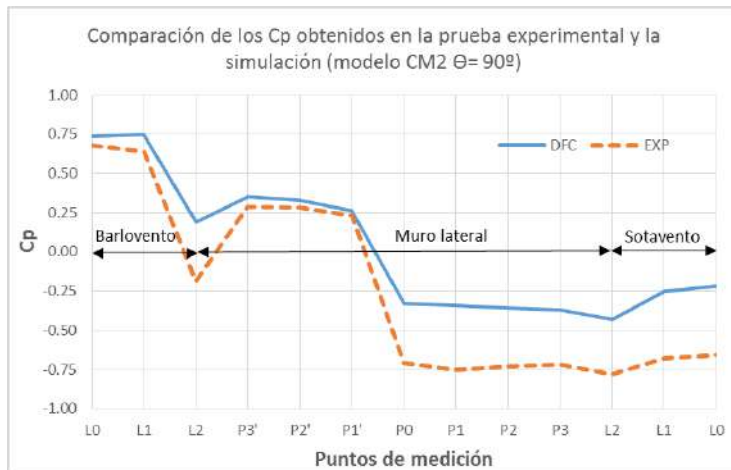


Figura 14: Comparación de C_p obtenidos de ensayos experimentales y mediante CFD (elaboración propia).

La Figura 15 presenta una vista en planta del modelo CM2 cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 90^\circ$), donde se muestran los contornos de presión (C_p) en los muros y la cubierta. Se observa que existe gran semejanza de C_p en la primera mitad del muro lateral, pero en la segunda mitad los valores presentan algunas discrepancias; sin embargo, las magnitudes de las succiones son menores al hacer una comparación con el modelo de CM ($\Phi = 90^\circ$).

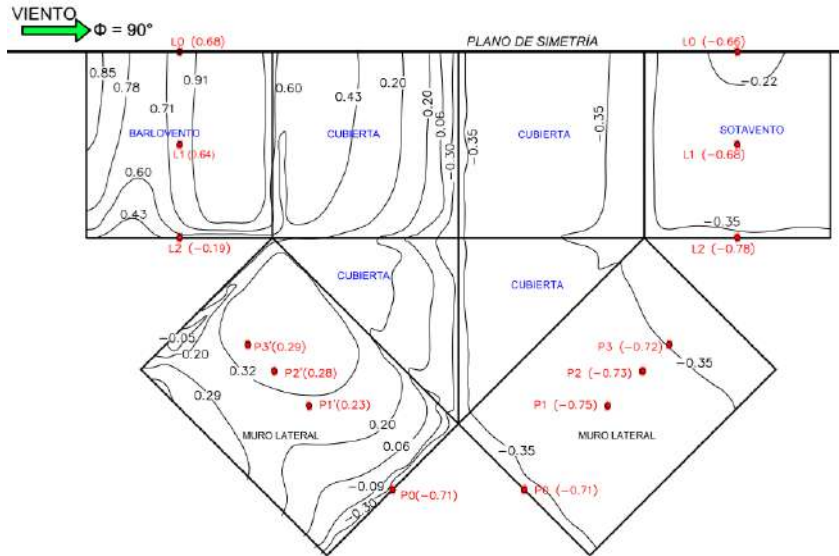


Figura 15: Contornos de presión en los muros y en la cubierta del modelo de CM2 ($\Phi = 90^\circ$), elaboración propia.

Modelo CEC (embate del viento a 0°)

En la figura 16 se comparan los coeficientes de presión obtenidos en pruebas experimentales y mediante CFD para el modelo de CEC cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 0^\circ$). Los resultados demuestran que los C_p en la zona de sotavento son muy semejantes a los obtenidos en la prueba experimental; mientras que la diferencia máxima en barlovento es de 0.19. Por otra parte, en el muro lateral las succiones críticas ocurren cerca del punto de medición L4' y son similares con una diferencia mínima de -0.09.

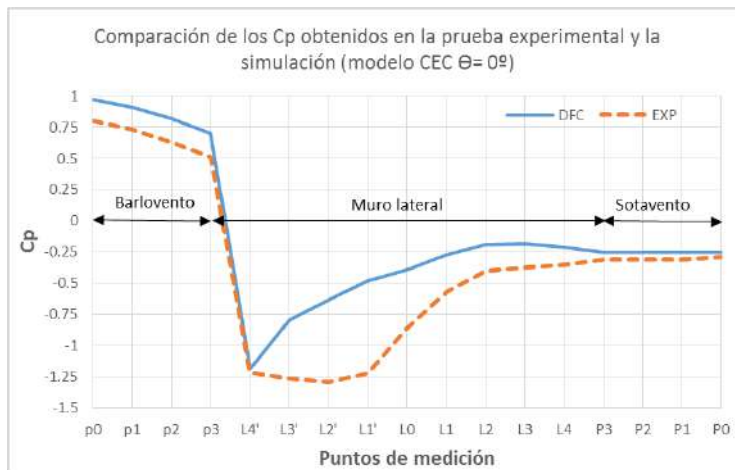


Figura 16: Comparación de C_p obtenidos de ensayos experimentales y mediante CFD (elaboración propia).

La Figura 17 presenta una vista en planta del modelo de CEC cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 0^\circ$), donde se muestran los contornos de presión (C_p) en los muros y la cubierta. Los resultados muestran que gran parte del muro en barlovento se encuentra sometido a presiones intensas. Los valores de C_p críticos en el muro lateral son similares a los resultados de la prueba experimental, siendo estos -1.20 y -1.29 respectivamente. En la zona de sotavento también se observa que existe semejanza, la diferencia entre los valores obtenidos de C_p con los dos métodos de estudio es de 0.06.

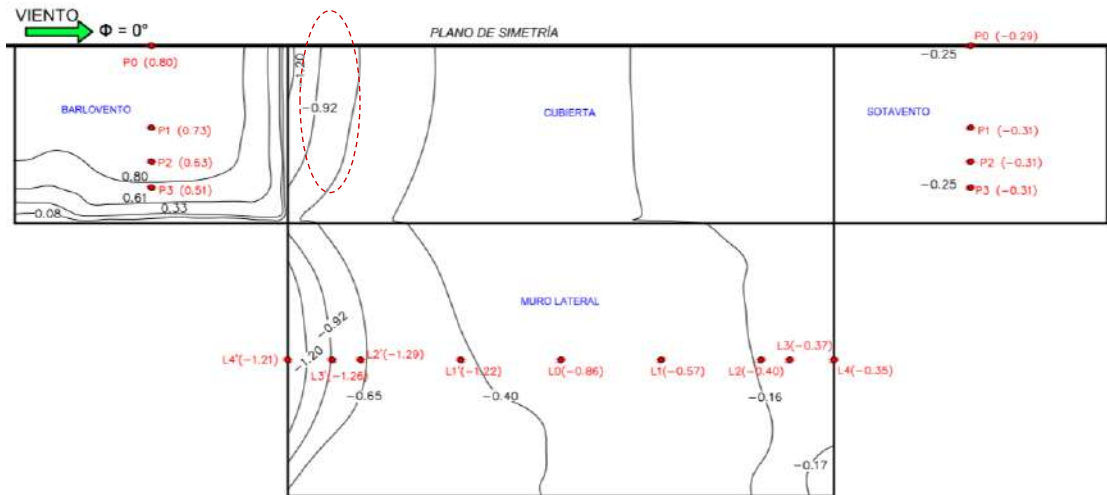


Figura 17: Contornos de presión en los muros y en la cubierta del modelo de CEC ($\Phi = 0^\circ$), elaboración propia.

Modelo CEC (embate del viento a 90°)

En la Figura 18 se comparan los coeficientes de presión obtenidos en pruebas experimentales y mediante CFD para el modelo de CEC cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 90^\circ$). Se observa que en la zona de barlovento al igual que en el muro lateral existe semejanza con los valores obtenidos de C_p obtenidos experimentalmente en el túnel de viento. En el muro de sotavento se observa una diferencia máxima de -0.21.

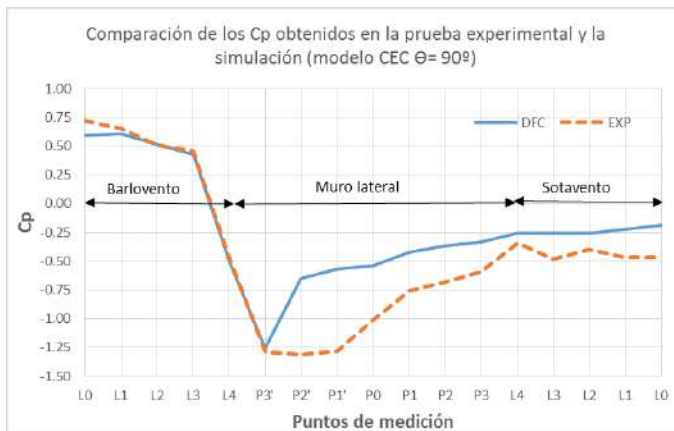


Figura 18: Comparación de C_p obtenidos de ensayos experimentales y mediante CFD (elaboración propia).

La Figura 19 presenta una vista en planta del modelo de CEC cuando el viento embate en la dirección ($\Phi = 90^\circ$), donde se muestran los contornos de presión (C_p) en los muros y la cubierta. Los resultados muestran que la parte inferior y superior del muro en barlovento se encuentran sometidas a presiones intensas mientras que en sus bordes se presentan succiones debido a que la velocidad del fluido aumenta en esta área. En la zona de sotavento se puede observar una succión uniforme de -0.19

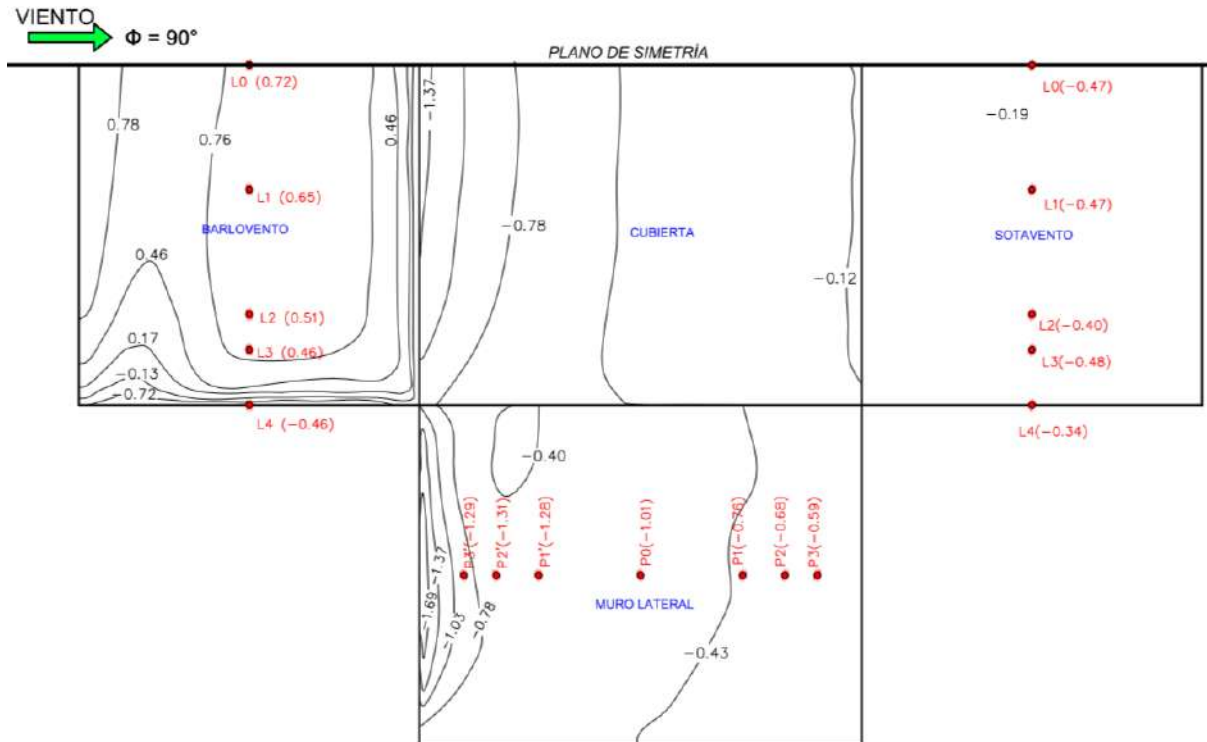


Figura 19: Contornos de presión en los muros y en la cubierta del modelo de CEC ($\Phi = 90^\circ$), elaboración propia.

Coefficiente de arrastre en los muros de la casa CM (embate del viento a 0°)

La Tabla 2 muestra una comparación de los de coeficientes de arrastre obtenidos de la prueba experimental con los de la simulación mediante CFD. Se observa que existe semejanza con excepción de los modelos CM Y CM2 cuando ($\Phi = 90^\circ$). Esta discrepancia se debe a que el techo ocasiona una separación del flujo ejerciendo succiones intensas en sotavento; de acuerdo con la prueba en el túnel de viento. Las succiones incrementan la fuerza de arrastre dando como resultado un aumento de los coeficientes de arrastre.

Tabla 2: Comparación de coeficientes de arrastre obtenidos con DFC y prueba experimental (elaboración propia)

Modelo CM (embate del viento a 0°)		Modelo CM2 (embate del viento a 90°)	
Prueba Experimental	$C_D = 0.35$	Prueba Experimental	$C_D = 1.20$
Simulación (DFC)	$C_D = 0.36$	Simulación (DFC)	$C_D = 0.86$
Modelo CM (embate del viento a 90°)		Modelo CEC (embate del viento a 0°)	
Prueba Experimental	$C_D = 1.10$	Prueba Experimental	$C_D = 0.97$
Simulación (DFC)	$C_D = 0.77$	Simulación (DFC)	$C_D = 0.97$
Modelo CM2 (embate del viento a 0°)		Modelo CEC (embate del viento a 90°)	
Prueba Experimental	$C_D = 0.62$	Prueba Experimental	$C_D = 0.88$
Simulación (DFC)	$C_D = 0.58$	Simulación (DFC)	$C_D = 0.89$

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante CFD, cuando el viento incide con $\Phi = 0^\circ$, los coeficientes de arrastre en los muros de los modelos de CEC, CM y CM2 muestran gran similitud con los resultados experimentales obtenidos en el túnel de viento, la diferencia es menor al 7%. Por otra parte, cuando el viento incide con $\Phi = 90^\circ$, las diferencias son mayores en los modelos de CM y CM2. Se observa que las diferencias mayores entre los coeficientes de presión ocurren en el muro de sotavento. Esto es debido a que la cubierta de los modelos de CM y CM2 causan una separación del flujo y no se logra la readherencia de la capa límite sobre la cubierta y los muros en sotavento, dando como resultado presiones negativas relativamente uniformes. Con relación a la cuantificación de los coeficientes de arrastre ejercidas en los modelos de CEC, CM y CM2 en la dirección dominante del viento, cuando este incide con $\Phi = 0^\circ$, se puede concluir que la CM presenta el mejor comportamiento aerodinámico, siendo 63% más eficiente que la CEC y 38% más eficiente que la CM2.

Bibliografía

- ANSYS® Academic, Release 17.0, Help System, Fluent Using the Solver/ 29.22.1., ANSYS, Inc.
- Cengel A. Y Cimbala M. (2006). *Mecánica de Fluidos: fundamentos y Aplicaciones* (1ª ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Chulin T. V., Gamboa M.M. (2007). *Comportamiento Aerodinámico de los Muros de la Casa Maya*.
- Gallardo, E.A. (2015). *Estudio de los Efectos del Viento en Naves Industriales con Cubierta de dos Aguas con Mecánica de Fluidos Computacional*. Tesis de Maestría no publicada, UNAM, México, D.F.
- Gamboa, M.M., Rosado, H.N., Pacheco, P.A. (2013). Validación mediante CFD de los coeficientes de presión de una tenso estructura obtenidos en un túnel de viento. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 17-3, 215-222. 2015, octubre 08, ISSN 1665-529-X.
- Holmes, John. D. (2007). *Wind Loading of Structures* (2ª ed.). Inglaterra: Taylor & Francis.
- Rodríguez Pérez Isis E. (2005). *Estudio del Comportamiento Estructural de la Vivienda Maya*, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Shaw C.T. (1992). *Using Computational Fluid Dynamics* (1ª Ed). Inglaterra: Prentice Hall.
- Verma, S.K., Roy A.K., Lather, S., Sood, M. (2015). CFD Simulation for Wind Load on Octagonal Tall Buildings. *SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE)*, EFES, 129-134. 2015, octubre 08, De ISSN: 2348 – 8352.

CONFERENCISTAS MAGISTRALES DEL II CONGRESO DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

Dra. Jennifer Alexis Bañuelos Díaz



La Dra. Bañuelos Díaz es Ingeniera Química con especialidad en Ambiental por el Instituto Tecnológico de Tepic en el año 2009. En el año 2011 obtuvo el grado como Maestro en Ciencia y Tecnología en la especialidad de Ingeniería Ambiental y finalmente en el año 2015 consiguió su Doctorado en Electroquímica. Ambos grados fueron otorgados por el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ, S.C.). Durante su doctorado estuvo trabajando en el desarrollo, optimización y escalamiento de procesos electroquímicos de oxidación avanzada como Electro-Fenton, Electrofoto-Fenton y Regeneración electroquímica in-situ de carbón activado, orientados al tratamiento de aguas residuales, principalmente de la industria textil. Cuenta con una solicitud de patente por el desarrollo tecnológico de un reactor electroquímico regenerador de carbon activado saturado y es miembro activo de la Sociedad Mexicana de Electroquímica, Tesorera de la Sociedad de Exalumnos de CIDETEQ S.C y Tesorera de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Membranas. Estuvo laborando como investigadora en Ambiental en CIATEC en León, Guanajuato durante tres años. Ha dirigido 10 tesis de licenciatura y 2 tesis de técnico superior (terminadas), además de 1 tesis de maestría y 2 tesis de doctorado (en curso). Desde Enero del 2017 es miembro vigente del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 1, cuenta con 16 artículos científicos arbitrados e indizados, 3 artículos de divulgación científica y dos capítulos de libro. Ha participado en diversos congresos con plenarias y conferencias magistrales, así como con trabajos orales y cartels. Desde junio del año 2018 se desempeña laboralmente como subcoordinadora de potabilizacion en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, donde tiene a su cargo 9 tecnólogos del agua, quiénes desarrollan en conjunto proyectos de investigación e innovación tecnológica para atender la problemática hídrica en México.

M.C. Jose A. Soto Goico.



Nacido en Santo Domingo, República Dominicana, país de la bachata y el merengue, el 16 de marzo de 1987. Cursó la carrera de Ingeniería Civil el Instituto Tecnológico de Santo Domingo (Santo Domingo, República Dominicana-2011) y la Maestría en Administración de la Construcción en la Universidad de Texas A&M (College Station, Texas, USA-2015). Dentro de su desarrollo profesional y laboral, el Señor Soto tiene experiencia en la construcción de edificios comerciales y de obras civiles pesadas como puentes y carreteras. Cabe destacar dos grandes obras: el reemplazo del histórico puente movable del canal de Tamiami (valor del proyecto-\$35 millones; Miami, Florida, USA-2018), ganador del premio al mejor proyecto LAP en construcción de 2019 del estado de la Florida y el Miami SR-836/I-395 Signature Bridge (valor del proyecto-\$800 millones; Miami, Florida, USA-2019), proyecto en curso de gran impacto a la comunidad de Miami ofreciendo beneficios como mejor movilidad de transeúntes, mayor seguridad vial y construcción de un sendero patrimonial. Actualmente, el Señor Soto se desempeña como gerente de proyectos asistente de la empresa Archer Western en la división de proyectos de transporte. Dentro de su desarrollo científico, el Señor Soto tiene 2 artículos publicados en revistas internacionales, dentro de lo que se destaca el International Journal of Construction Education and Research.

SISTEMA EIFS EN MUROS DE BLOCK Y MORTEROS ELABORADOS CON PET PULVERIZADO

Elves Cabrera Contreras¹, Claudia Beatriz Rodríguez Poot²,
Jesús Armando Gómez Pinzón³, José Ramón Ortiz Gómez⁴

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Recibido: 23/09/2019 Aceptado: 18/10/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen. - El presente trabajo se encuentra actualmente en desarrollo, por lo que a continuación se documenta las intenciones y actividades de investigación: El desarrollo de un muro de sistema tradicional aplicado a edificaciones de la ciudad de Chetumal que propician el diseño de espacios energéticamente eficiente mediante materiales de construcción que ayudan al medio ambiente utilizando PET pulverizado como parte de las mezclas de mortero y bloques, cumpliendo con estándares técnicos de resistencia a la compresión simple y adherencia entre los bloques y mortero, complementando con estándares de calidad ante abrasiones del medio ambiente y finalmente la evaluación física del sistema de muro mediante el ensayo de compresión diagonal de muretes para el módulo de cortante y compresión de pilas para módulo de elasticidad de mampostería.

Palabras clave: PET, mortero estructural, block estructural, sistema EIFS, muro exterior.

EIFS IN BLOCK AND MORTAR ELABORATED WITH POWDERY PET

Abstract. - The present project is actually on development, so below the research intentions and activities are documented: The development of a traditional system wall applied to the buildings of Chetumal city that favor the design of energy efficient spaces through construction materials that help the environment using powdered PET as part of the mortar and block mixtures, fulfilling technical standards as compressive strength and adherence between blocks and mortar mixtures, complementing with quality standards for environmental abrasions and finally the evaluation of the wall system by means of the diagonal compression test of walls for the shear module and compression of batteries for the masonry elasticity module.

Keywords: PET, structural mortar, structural block, EIFS, outer wall.

Introducción

Exterior Insulation and Finish Systems (EIFS) es un aislante, un sistema de acabado decorativo y protector para muros de exterior que puede ser instalado en cualquier tipo de construcciones. Se aplica solamente en el muro exterior que aísla y provee protección al clima en una selección de formas, colores y texturas que pueden replicar en su mayoría cualquier estilo arquitectónico o material de acabado, o ser aplicado por sí mismo como un acabado arquitectónico (Pencille, 2009).

Sistema EIFS

Un EIFS da como resultado una solución constructiva con un aislamiento térmico como un sistema integral de fachadas, deben estar concebidos y ensayados de forma conjunta para el uso que se le va a dar en el sistema. Una solución de fachadas tipo EIFS es apta para cualquier construcción o rehabilitación. El aislamiento es el motor del ahorro energético en una edificación, que debe estar ligado al uso de materiales (Figura 1) de bajo impacto ambiental y que aporten los máximos beneficios posibles (Beatriz, 2016).

¹ Elves Cabrera Contreras. Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil. Tecnológico Nacional de México/ I.T.Chetumal. elvescabrera@gmail.com
(Autor correspondiente)

² Claudia Beatriz Rodríguez Poot. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

³ Jesús Armando Gómez Pinzón. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

⁴ José Ramón Ortiz Gómez. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

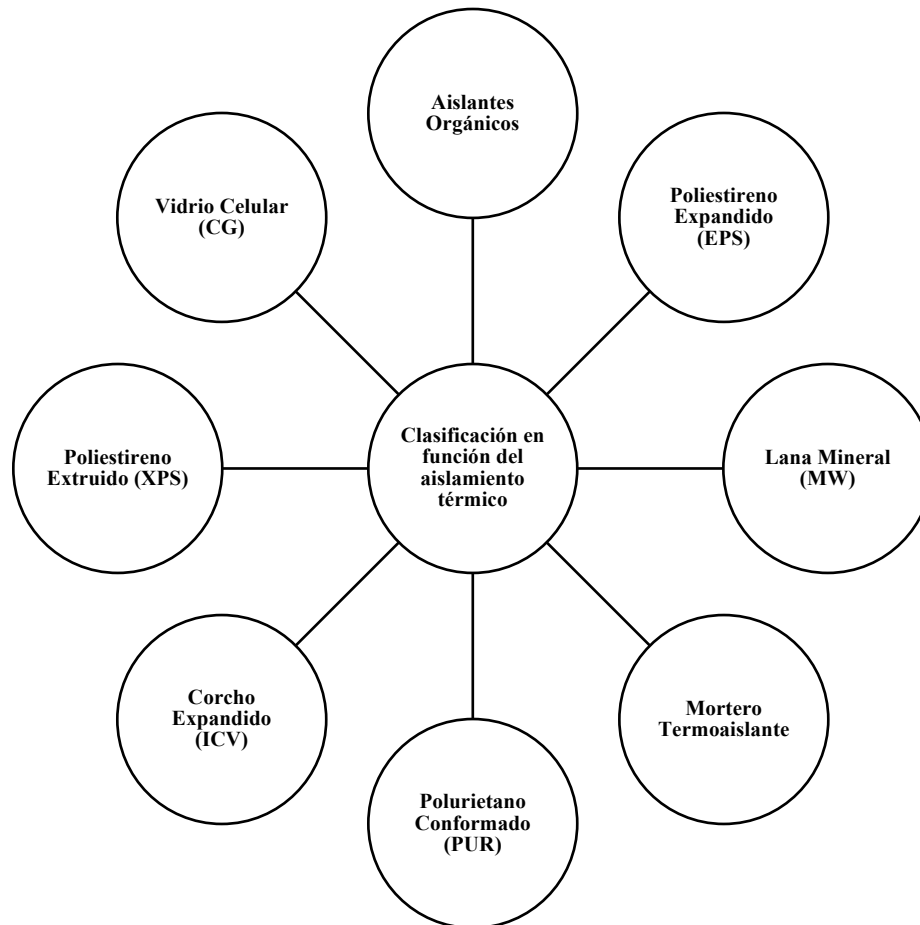


Figura 1. Clasificación en función del aislamiento térmico en un sistema EIFS (Fuente: Elaboración propia)

Los materiales utilizados son un factor importante en el diseño de fachadas ya que proporcionan características físicas de color y textura que son agradables a la vista, también, los materiales ofrecen cierta resistencia térmica a la edificación, por lo cual, es importante conocer los materiales a emplear como recubrimientos en fachadas.

Como sistema indirecto (o sistema pasivo) la arquitectura bioclimática sustenta el diseño de edificaciones tomando como factores de diseño el clima, para poder reducir el uso energético en la aclimatación del interior de las construcciones.

La arquitectura bioclimática en regiones cálidas implica el diseño de elementos arquitectónicos como el diseño del edificio, su orientación; el número, tamaño, locación y detalles de ventanas; los elementos de sombra que la rodean, y la resistencia térmica y la capacidad calorífica de la envolvente (Baruch, 1994).

El clima como variable de diseño

El clima es uno de los factores más importantes en el diseño. De las condiciones atmosféricas de un lugar depende que la arquitectura sea de muros pesados o ligeros, de cubiertas inclinadas o planas, de color oscuro o claro, con grandes vanos o pequeñas ventanas, etcétera, donde la edificación será un elemento protector y regulador que rechace o transforme la acción de los elementos ambientales naturales del lugar. (Rodríguez Viqueira, 2006)

La poca importancia que se le da al recubrimiento en exteriores hace que las viviendas no presenten un confort higrotérmico mínimo necesario para el desarrollo de las actividades humanas. Esta falta de atención no solamente es de la parte funcional, sino que también, de la parte estética. Los muros exteriores son los que presentan mayores abrasiones por parte del medio ambiente, soportando las lluvias, olas de calor, ráfagas de aire y organismos vivos que se adhieren a los muros.

Las variables de temperatura del aire y humedad relativa, mejor definidas como variables higrotérmico, tienen una influencia significativa en la percepción térmica del usuario en espacios interiores; así como en la repercusión de otros aspectos como son el consumo de energía eléctrica elevado, la salud, entre otros. (Morales Méndez, 2018)

Descripción de propuesta constructiva

Se plantea un muro de block de 15x20x40 cm, hueco y con sustitución del 5% de material pétreo (polvo de piedra triturado) por pulverizado de Tereftalato de Polietileno (PET). Como revestimiento térmico lo incorpora una capa, por ambos lados del muro, de mortero estructural de espesor de 2 cm con sustitución de 10% de material pétreo por PET, el cual también servirá para el mamposteo de los bloques. Adicionalmente se completa un acabado final con una capa de pintura o pasta texturizada o lisa de color incorporado.

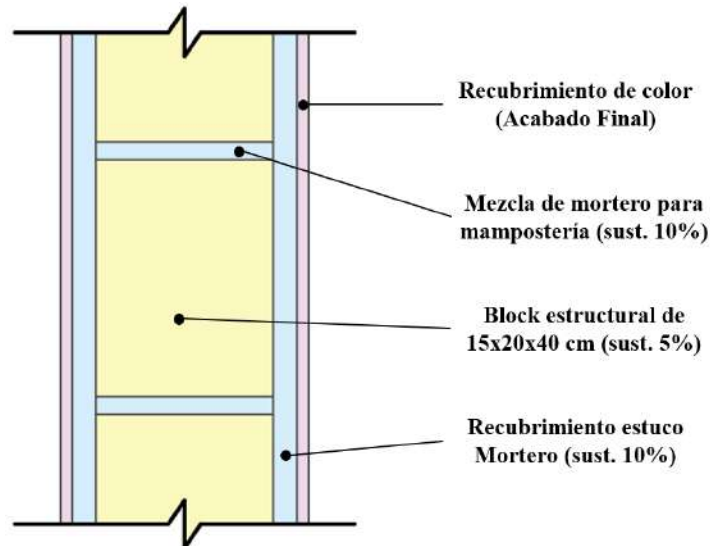


Figura 2. Propuesta constructiva (Fuente: Elaboración propia)

Materiales y métodos

Para el siguiente proyecto se plantea realizar las pruebas señaladas en la tabla 1 para los bloques, morteros y el sistema en conjunto de muro.

Tabla 1. Normativa de ensayos a realizar

ENSAYO	BLOCK	MORTERO
Caracterización del material	Obtención de la curva granulométrica, peso volumétrico saturado, peso volumétrico compacto, peso volumétrico saturado superficialmente seco y absorción de agua	
Diseño de mezcla	1:5	Diseño de mezcla de mortero simple
Resistencia a la compresión	NMX-C-036-ONNCCE-2013	NMX-C-061-ONNCCE-2015
Adherencia	NMX-C-082-ONNCCE-2013	
Intemperismo acelerado	Con relación al comportamiento horario del clima local enfocado al índice de radiación UV, temperatura y humedad	
Absorción de agua	NMX-C-037-ONNCCE-2013	NMX-C-228-ONNCCE-2013
Resistencia térmica	NMX-C-189-ONNCCE-2010	
Compresión diagonal en muretes y compresión en pilas de mampostería	NMX-C-464-ONNCCE-2013	

Todo parte de un material a utilizar. Se empleará para ambos el mismo material pétreo para la elaboración de las muestras denominadas mortero testigo (MT), mortero con sustitución PET de 10% (MP), block testigo (BT) y block con sustitución PET de 5% (BP).

El material a emplear para los testigos es de CPR 30 R, polvo de piedra y agua; y para los elementos con sustitución serán de PET pulverizado.

Caracterización del material

La caracterización del material consta con determinar la granulometría del polvo de piedra a través de tamices ASTM de No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 y No. 200, donde los tamices retienen las partículas más grandes y dejan pasar por las aberturas las más pequeñas.

El peso volumétrico suelto (PVS) consta en llenar un recipiente de volumen conocido sin compactar o mover el recipiente para que el material no se compacte para que al final en una báscula se conozca el peso total y el peso del recipiente, siendo: $PVS = (Peso\ total - Peso\ recipiente) / Volumen\ conocido$. El peso volumétrico compacto (PVC) presenta la misma fórmula, la diferencia consta en el momento de llenado del recipiente, en este se llena a capas a cada tercio del recipiente y con una varilla de punta de bala se compacta sumergiendo la varilla 25 veces cada capa y finalmente se enraza la superficie.

El peso volumétrico saturado superficialmente seco (PVSSS) es necesario la saturación del material por un lapso de 24 horas, pasado ese tiempo se necesita eliminar el agua sobrante y la humedad superficial del material, dejando el material en condición saturada superficialmente seca. En ese momento se pesa una cantidad de 500 g y con una probeta de 250 ml se llena hasta 150 ml. Mediante el principio de Arquímedes, el volumen del material desplaza el agua dentro de la probeta, donde: $PVSSS = Peso\ del\ material / Volumen\ desplazado$

Parte del material saturado y sin humedad superficial, se pesa 500 g y se mete en un horno a 100 °C por 24 horas. La absorción es igual a la pérdida de peso porcentual de la muestra secada al horno.

Diseño de mezcla

Para los BT y BP se presenta la dosificación de 1:5 con un 9% de contenido de agua. Para MT y MP se diseñó la mezcla de mortero por medio de un volumen de lechada y una relación agua-cemento de 0.60 con una fluidez normada en $110 \pm 5\%$.

Resistencia a la compresión

Las muestras MT y MP se elaboraron cubos de 5cm por lado y BT y BP .Con periodo de ensayo de 7 días, 14 días y 28 días y mediante las normas NMX-C-036 para determinar la resistencia a la compresión de bloques y la NMX-C-061 para la determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.

Adherencia

La adherencia es un punto importante en el comportamiento de un muro ya que es la forma en que el mortero mantiene adheridos los bloques en el muro mediante la norma NMX-C-082 la determinación de la adherencia por esfuerzo cortante entre el mortero y las piezas de mampostería se elaboran piezas de block adherido con mortero (M-BT) y block PET adherido con mortero PET (M-BP).

Intemperismo acelerado

El intemperismo se encuentra relacionado directamente con el medio ambiente, por el cual, el análisis de la Figura 3 describe el índice promedio de radiación UV horario de la ciudad de Chetumal, a su vez cuenta con una temperatura promedio de 29 °C y una humedad promedio del 81%. Estos datos se programan en la cámara de intemperismo acelerado a cubos de 5 cm BT, BP, MT y MP para ver el deterioro al medio ambiente de las mezclas. (AccuWeather Inc., 2019)

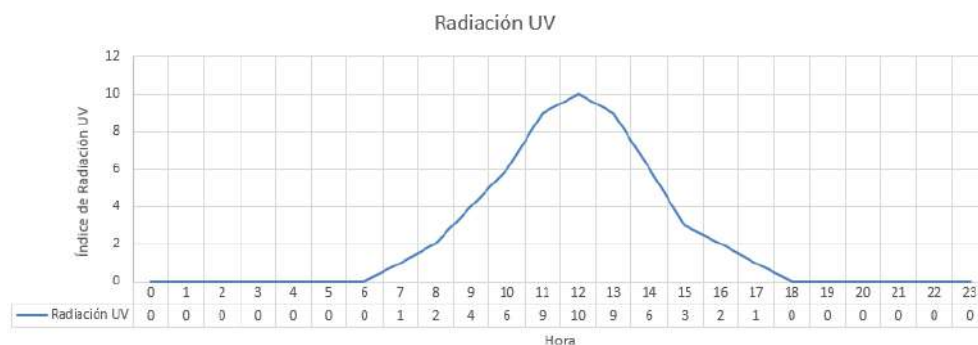


Figura 3. Comportamiento horario de la radiación UV (AccuWeather Inc., 2019)

Absorción

Como estándar de calidad se debe revisar la absorción total y la absorción inicial de agua a los BT y BP con base a la norma NMX-C-037. Como el mortero se empleará como material termoaislante, los MT y MP se ensayan solamente la absorción de agua con la NMX-C. 228.

Resistencia térmica

La resistencia térmica se desarrollará de manera experimental aplacas de BT, BP, MT y MP de 15x15x2.5 cm expuestos a una fuente de calor (foco incandescente) por una cara en un periodo de tiempo de 1 hora y con un termómetro laser se mide la temperatura de la cara interior expuesta y la exterior no expuesta. Con esos datos se llega a registrar la conductividad térmica, la transmisión térmica y la resistencia térmica de cada uno de los materiales.

Compresión diagonal de muretes y compresión en pilas de mampostería

Ya que se pretende utilizar para uso estructural el sistema de muro se requiere ensayar a compresión diagonal, donde se elaborarán muretes de 60x60 cm (3 filas de block y medio) con denominación M-BT y M-BP. Los bloques huecos a utilizar son de dimensiones de 15x20x40 cm mamposteados con mortero que se ensayarán para conocer el módulo de cortante. En el caso de compresión en pilas de 60x40 (3 filas de un block) para el módulo de elasticidad de la mampostería.

Resultados

En el proceso de caracterización del material, en la Figura 4 se muestra el comportamiento granulométrico del agregado fino, el cual, presenta una concentración de finos que superan los límites máximos, y del PET pulverizado con comportamiento aceptable dentro de los límites.

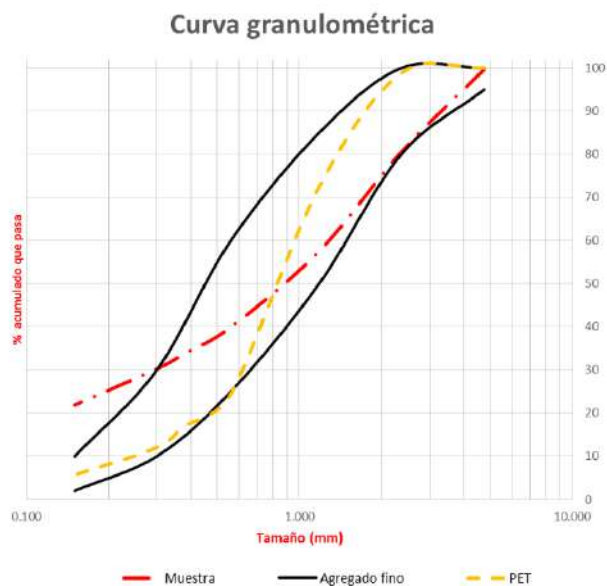


Figura 4. Curva granulométrica (Fuente: Elaboración propia)

El desarrollo de las características físicas del material es utilizado en el cálculo del diseño de mezclas de morteros y bloques.

Tabla 2. Características físicas del material pétreo

Características físicas	
Humedad	1.75 %
Masa Volumétrica Suelta	1303.67 kg/m ³
Masa Volumétrica Compacta	1535.14 kg/m ³
Absorción	5.26 %
Masa Específica Saturada y Superficialmente Seca	2.67 g/cm ³

Mediante pruebas pasadas desarrolladas por Peraza McLiberty (2015) se tiene registro de que, como muestra la Tabla 3, el tipo de sustitución de mejor comportamiento a resistencia a compresión es del 10% con PET pulverizado, presentando una mayor resistencia a la compresión que bloques sin sustitución.

Tabla 3. Comportamiento mecánico de los bloques

ENSAYO	BT	BP5%	BP10%	BP15%
Resistencia a la compresión a 28 días kg/cm^2	40.00	50.00	51.00	43.66
Absorción de agua %	15.61	14.57	11.32	12.51

Los morteros desarrollados por Gonzales (2014) se muestra en la tabla 4, la utilización de PET en las mezclas de mortero disminuyen la resistencia a la compresión y la adherencia entre el mortero y los elementos constructivos, siendo así el mortero MP10% el de mejor comportamiento mecánico entre las muestras MP.

Tabla 4. Comportamiento mecánico de los morteros

ENSAYO	MT	MP10%	MP15%	MP30%
Resistencia a la compresión a 28 días kg/cm^2	144.94	131.87	121.18	89.10
Resistencia a la adherencia por esfuerzo cortante kg/cm^2	9.99	8.39	6.79	3.06

Seleccionado la sustitución de PET eficiente documentada anteriormente, se determinó el diseño de mezcla óptimo para la réplica de los elementos denominado BT, BP, MT y MP. Demostrado en la figura 5, la dosificación utilizada en $1m^3$ de mortero, calculado a partir de las características físicas del polvo de piedra, con un diseño inicial de $R^A/c = 0.5$, llegando a una fluidez de MT 116.30% y MP 113.5%.

Tabla 5. Dosificación y ajuste de agua de morteros MT y MP

M ³ de mortero	MT			MP10%		
	Dosificación	Ajuste HA	Ajuste Fluidez	Dosificación	Ajuste HA	Ajuste Fluidez
Cemento kg	598.50			598.50		
Polvo kg	1303.02			1172.72		
Agua kg	297.00	45.74	14.85	297.00	41.17	103.95
PET kg				130.30		
R^A/c	0.52			0.66		

Discusión

Con el desarrollo de las pruebas se pretende demostrar si es efectivo, o en su defecto que no lo es, el sistema de muro y mortero con sustitución parcial de PET pulverizado para ser utilizado en muros de exterior y generar una mayor eficiencia energética de las edificaciones.

Se pretende desarrollar una mejora de calidad en el desarrollo de las muestras, dado que, se cuenta con equipo mecánico para la realización de la mezcla de mortero generando así una mejor homogenización de los materiales. A su vez, se elaboran los bloques con una máquina para hacer bloques semi automática, garantizando una mejor compactación y elaboración en masa de muestras.

En el transcurso de la realización del proyecto se obtienen los valores y registros necesarios para la generación de matrices de resultados de cada sistema de muro M-BT y M-BP para poder realizar un aval de la estimación y desempeño del mortero, block y sistema mortero-block.

Bibliografía

- AccuWeather Inc. (3 de Abril de 2019). *AccuWeather*. Obtenido de <https://www.accuweather.com/es/mx/chetumal/235048/hourly-weather-forecast/235048>
- Baruch, G. (1994). *Passive and low energy cooling of buildings*. United States of America: John Wiley & Sons.
- Beatriz, G. M. (7 de Julio de 2016). FACHADAS EFICIENTES: SISTEMAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL EXTERIOR (SATE). Valencia, Madrid. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/71809>
- Gonzales, J. (2014). Determinación de las propiedades fisicomecánicas de un mortero para albañilería con sustitución parcial de agregado pétreo con pet pulverizado. *Tesis de Licenciatura*. Chetumal, Quintana Roo, México.
- Morales Méndez, D. M. (Junio de 2018). Evaluación del confort higrotérmico en edificio educativo en clima cálido sub-humedo. *Tesis de Maestría*. Chetumal, Quintana Roo, México.
- Pencille, D. (22 de Octubre de 2009). EIFS Facts. Rochester, Minnesota, EE. UU. Obtenido de <https://www.csstucco.com/pdfs/EIFS%20Facts.pdf>
- Peraza McLiberty, E. F. (Marzo de 2015). Evaluación de la resistencia a compresión y absorción de los bloques con la sustitución parcial de agregado grueso por pet. *Tesis de Licenciatura*. Chetumal, Quintana Roo, México.
- Rodríguez Viquiera, M. (2006). *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México: Editorial Limusa.

Estudio de la durabilidad de un concreto con propiedades de auto-reparación a base de silicato de sodio y alcohol de polivinilo.

Autores: Arq. Mario D. Sánchez Ruíz, MC. Susana M. Hernández Ramos, Dr. Luis F. Jiménez Torrez, Dr. Julio César Cruz Argüello y Dra. Danna L. Trejo Arroyo.

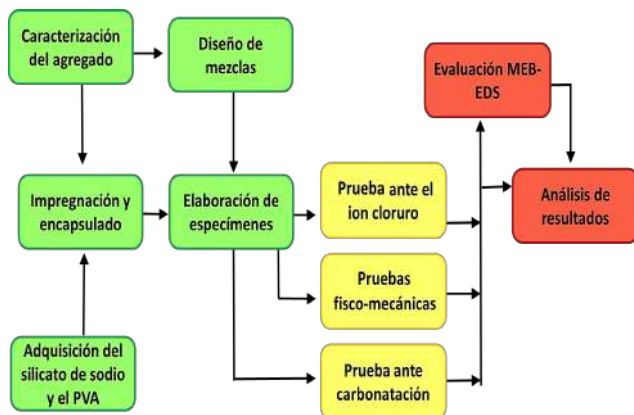
¿Se puede incrementar el tiempo de vida útil de una edificación con el método propuesto?

¿El concreto puede prolongar su **resistencia ante el ataque de ambientes agresivos**?

¿El proceso de auto-reparación en el concreto se sigue desarrollando a lo largo del tiempo?

INTRODUCCIÓN: El concreto es el material más empleado en la industria de la construcción, su uso tiene una fuerte **relevancia económica, ambiental y social**. Lamentablemente el concreto es susceptible a deterioro prematuro ya sea por agrietamientos o por agentes externos propios del medio ambiente. El desarrollo de un concreto inteligente que sea capaz de auto-reparar sus agrietas y resistir el ataque de ambientes agresivos incrementará la vida útil de las edificaciones y brindará una **mayor sostenibilidad** en la industria de la construcción. En la presente investigación se empleó un método de impregnación del agregado grueso calizo con silicato de sodio y alcohol polivinilo para promover la auto-reparación del concreto y mejorar su durabilidad.

METODOLOGÍA:

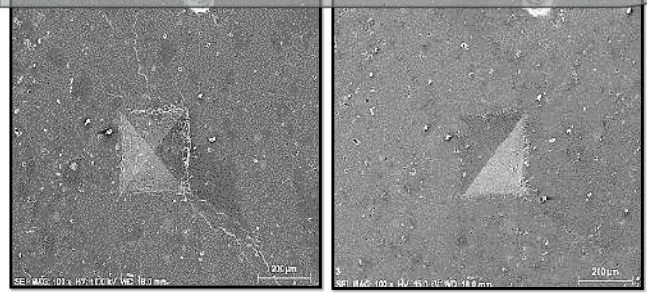


HIPÓTESIS: El concreto con agregado calizo grueso impregnado con silicato de sodio Na_2SiO_3 y alcohol de polivinilo tendrá una mayor durabilidad en comparación con un concreto convencional.

OBJETIVO: Evaluar el desempeño de un concreto con propiedades de auto-reparación ante el deterioro causado por las cargas ambientales, como la carbonatación y penetración ion cloruro.

DESARROLLO:

• **Auto-reparación:** Se ha observado la disminución de la longitud y abertura promedio de grietas en las huellas generadas, debido a la formación hidrato de silicato de calcio (gel C-S-H) que permite la recuperación de la fuerza.



Micrografías para el monitoreo del proceso de auto-reparación en concreto experimental, el día del agrietamiento y 90 días después.

• **Carbonatación:** Proceso causado por el CO_2 presente en el ambiente, el cual se difunde desde el exterior y ocasiona la reducción de alcalinidad del concreto, mermando la protección que este brinda al acero de refuerzo.



Especímenes de concreto, experimental (arriba) y testigo (abajo). La escala derecha muestra la coloración según el rango de pH.

• **iones cloruro:** Penetran desde el exterior cuando las estructuras de concreto se encuentra en ambientes marinos, provocando una disolución que da lugar a ataques puntuales que corren el acero.

• (Prueba en desarrollo)

RESULTADOS:

EVALUACIÓN	CONCRETO TESTIGO	CONCRETO EXPERIMENTAL	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
Resistencia a la compresión	398.97 kg/cm ²	438.09 kg/cm ²	El concreto experimental adquirió mayor resistencia a la compresión en un 10%.
Porosidad total %	14.6980	11.0964	El concreto experimental resultó con 25% menos porosidad total.
Densidad total	1.9970	1.7768	El concreto experimental logro obtener 11% mayor densidad total.
Absorción %	6.0981	4.7741	El concreto experimental disminuyo el porcentaje de absorción en un 22%.
Carbonatación. En KCO_2	4.29 mm/año ^{0.5}	2.21 mm/año ^{0.5}	El concreto experimental desarrollo 49% mayor resistencia al proceso de carbonatación.

Referencias Bibliográficas:

- R. Alghamri, A. Kanellopoulos, A. Al-Tabbaa, "Impregnation and encapsulation of lightweight aggregates, for self-healing concrete. "Elsevier (2016)
- Van Tittelboom, K., & De Belie, N. Self-healing in cementitious materials-a review. Materials. (2013).
- Huang, H., & Ye, G. " Application of sodium silicate solution as self-healing agent in cementitious materials. International", International RILEM (2011)



DIAGNÓSTICO DEL DÉFICIT DE INFRAESTRUCTURA URBANA Y VIABILIDAD ECONÓMICA PARA RESARCIR LA DEMANDA EN BACALAR

Angel Gabriel Puc Aguilar¹, Ninive Margely Navarrete Canto²,
Ricardo Enrique Vega Azamar³, Roberto Mena Rivero.⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.

Recibido: 18/09/2019

Aceptado: 11/10/2019

Publicado: 03/12/2019

Resumen.- La investigación se desarrolla en la ciudad de Bacalar, Quintana Roo, ya que derivado del constante crecimiento urbano por la inversión turística, está presentando requerimientos importantes de infraestructura urbana: drenaje, agua potable, electrificación, pavimentación y andadores peatonales para la movilidad. Lo cual representa un gran reto para la inversión pública, para satisfacer la necesidad de los miles de personas que lo habitan y visitan. Por lo que es necesario conocer el déficit actual de infraestructura urbana de la ciudad y evaluar la viabilidad económica financiera para resarcir la demanda actual y futura del polígono urbano de acuerdo con sus tendencias de crecimiento, para lograr un instrumento que sirva de apoyo para la planeación estratégica a largo plazo, que permitirá que se prevea la inversión requerida para la dotación de infraestructura urbana en las mil hectáreas consideradas como zona de crecimiento de la ciudad de Bacalar, considerando el margen de acción hacendaria del gobierno municipal, analizando sus registros de inversión pública en la atención de infraestructura urbana del año 2011 al 2019. Para poder desarrollar lo propuesto en la investigación primero se elaboró un diagnóstico de la infraestructura urbana existente del centro de población para identificar el déficit de la cobertura, para el cual se realizó levantamientos de campo y análisis de la información oficial publicada en las dependencias, y se procesó la información actualizada en planos de la ciudad, para contrastar con las áreas de crecimiento. Se modelará los requerimientos de infraestructura de las áreas de crecimiento, para establecer unidades de medición de los diferentes tipos de infraestructura, y finalmente realizar las proyecciones financieras requeridas para la dotación del requerimiento con costos paramétricos, a través de las formulas de valor presente y valores futuro, con ello clarificar el tiempo y los recursos requeridos para lograr el objetivo de los instrumentos de ordenamiento territorial.

Palabras clave: Infraestructura urbana, viabilidad económica, financiamiento.

DIAGNOSIS OF THE DEFICIT OF URBAN INFRASTRUCTURE AND ECONOMIC VIABILITY TO FULFILL THE DEMAND IN BACALAR.

Abstract.- The research is being carried out in the city of Bacalar, Quintana Roo, since derived from the constant urban growth due to tourism investment, it is presenting important urban infrastructure requirements: drainage, drinking water, electrification, paving and pedestrian walkways for mobility. Which represents a great challenge for public investment, to meet the need of the kilometers of people who inhabit and visit it. Therefore, it is necessary to know the current urban infrastructure deficit of the city and evaluate the financial economic viability to investigate the current and future demand of the urban estate according to its growth trends, to achieve an instrument that serves as a support for planning strategic long-term, which allows the investment required for the provision of urban infrastructure in the thousand hectares considered as a growth area of the city of Bacalar to be avoided, the margin of action is standardized by the municipal government, analyzing its public investment records in the attention of urban infrastructure from 2011 to 2019. In order to develop what was proposed in the investigation, a diagnosis of the existing urban infrastructure of the population center was first developed to identify the coverage deficit, for which field surveys were carried out and analysis of the official information published in the units, and updated information was processed on city plans, to contrast with the growth areas. The infrastructure requirements of the growth areas will be modeled, to establish units of measurement of the different types of infrastructure, and finally the financial projections required for the provision of the requirement with parametric costs will be carried out, through the present value formulas and future values, thereby clarifying the time and resources required to achieve the objective of territorial planning instruments.

Keywords: Urban infrastructure, economic viability, financing.

¹ Angel Gabriel Puc. Estudiante de la Maestría en Urbanismo. Tecnológico Nacional de México/I.T.Chetumal. Aguilar.arq.angelpuc@outlook.com (Autor correspondiente)

² Ninive Margely Navarrete Canto. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

³ Ricardo Enrique Vega Azamar. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

⁴ Roberto Mena Rivero. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

Introducción

La presente investigación aborda el estudio financiero y económico para la distribución de la infraestructura urbana requerida en el polígono de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) con el identificador Ah-1 del Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región de Laguna De Bacalar, Quintana Roo, publicado en el periodico oficial el 15 de marzo de 2005. El identificador Ah-1 cuenta con 1, 145 hectáreas, las cuales tienen un uso de suelo predominante como centro de población, con una política de aprovechamiento, en el cual se encuentra la ciudad de Bacalar. (Gobierno de Quintana Roo,2005). Para lograr el objetivo de la investigación se realizarán proyecciones financieras de los recursos requeridos a corto y mediano plazo, para la construcción de la infraestructura urbana, delimitándose a los rubros de: a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, b) Alumbrado público, c) Calles y andadores peatonales, con el objetivo de poder identificar el margen del gobierno municipal para cumplir con los requisitos mínimos para el bienestar social de la población como lo marca la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 115. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2019).

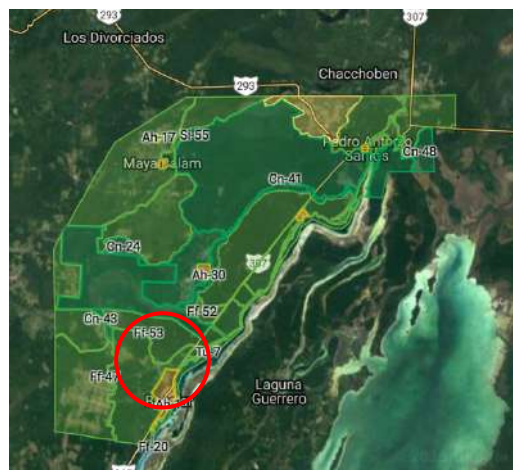


Figura 1. Polígono del Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región de Laguna De Bacalar, Quintana Roo, publicado en el periodico oficial el 15 de marzo de 2005. Fuente: cartografía Secretaría de Ecología y Medio Ambiente.



Figura 2. Polígono de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) con el identificador Ah-1. Fuente: cartografía Secretaría de Ecología y Medio Ambiente.

La ciudad de Bacalar en 2006 fue nombrada “Pueblo Mágico” por la Secretaría de Turismo del gobierno federal debido a sus atributos simbólicos, leyendas, historia, hechos trascendentes, cotidianidad y manifestaciones socioculturales, y en febrero de 2011 Bacalar se convirtió en el municipio número 10 del estado de Quintana Roo, lo cual dió autonomía en la administración del presupuesto público para atender necesidades de la población, aprobando un presupuesto de egresos para el ejercicio fiscal 2011 un total de 67 millones de pesos, de los cuales se destinaron para el capítulo 6000 inversión en obra pública, un total de 8.5 millones de pesos, los cuales correspondían al Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social Municipal, el cual tiene como objetivo atender la infraestructura urbana, como pavimentación de vialidades, electrificación de zonas urbanas y rurales, drenaje, alcantarillado y agua potable. Dicho recurso es asignado a los Estados y Municipios del país de acuerdo al Presupuesto de Egresos de la Federación, en función a su número de población total y nivel de rezago social, por lo que la atención del rezago de la infraestructura en ese momento se volvió un reto para el gobierno municipal de Bacalar, ya que tenía el presupuesto más bajo del estado de Quintana Roo.

El desarrollo de Bacalar ha sido a pasos acelerados, derivado de la inversión turística, lo cual se puede palpar con el crecimiento de la ciudad, estableciéndose nuevas zonas habitacionales en la periferia Oeste de la ciudad en su mayoría de tipo vivienda popular y hacia el Norte, en la zona costera de la laguna viviendas tipo residenciales de lujo, en su mayoría sin la infraestructura para la dotación de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, alumbrado público, red de electricidad, tratamiento y disposición final de residuos, calles, parques, jardines y su equipamiento.

De la misma forma se establecieron nuevas zonas comerciales y turísticas en diferentes partes de la ciudad; con ello surgieron mayores requerimientos de infraestructura urbana y de servicios, ya que los existentes se ven rebasados, se registra del año 2011 al 2017 un déficit de 10 % en la cobertura de agua potable en el centro de población, y en el mismo periodo un déficit del 62 % en la cobertura de la infraestructura del sistema de drenaje y saneamiento, por lo que el riesgo de impactos al medio ambiente es mayor, existe un déficit en pavimentación de calles y avenidas del 11%, electrificación y alumbrado público con un déficit de 10%.

Actualmente se cuenta con el estudio del Programa de Desarrollo Urbano de la ciudad el cual se encuentra en su fase de validación por el consejo municipal de desarrollo urbano, en el cual se plantea los límites del centro de población con un total de 4,000.47 hectáreas, de las cuales 666 hectáreas ya se encuentran urbanizadas que prácticamente es el actual centro de población y 3,334.47 hectáreas no urbanizadas, establecidas como zona de crecimiento, las cuales tendrán un requerimiento de infraestructura urbana importante, representando un reto eminente para la administración pública municipal, pero no establece un análisis profundo de lo que representa en montos de financiamiento y la capacidad hacendaría del Ayuntamiento para su realización, y con ello lograr los objetivos establecidos en el PDU, por lo que se considera de suma importancia la realización del estudio en el caso de la ciudad de Bacalar, para no solo tener el instrumento de ordenamiento territorial y sus usos de suelo, si no tener a la par la visión realista de lo que representa y el tiempo que tomaría dotar de toda la infraestructura requerida para lograr el bienestar social de la mano con el desarrollo urbano de la ciudad.

La Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Quintana Roo, publicado en el 2018, establece nuevas estrategias para la gestión y manejo urbano, contemplando como criterio el impacto a la hacienda municipal de los nuevos desarrollos, en su inserción a las redes existentes de servicios públicos: espacios públicos, equipamiento y a la infraestructura, con el fin de prever impactos negativos del desarrollo urbano. (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2018)

En la misma dirección, la ONU en su declaración de Estambul para los asentamientos Humanos y Programa Habitat (O.N.U.;1996) señala que los gobiernos deben promover el fortalecimiento de los mecanismos de administración y gestión urbana con miras a elevar la calidad de vida de la población, prestando especial atención a los aspectos relacionados con la descentralización y fortalecimiento de las capacidades locales para la conducción dichos asentamientos. (Feres, H. G. G. 2003).

La gran mayoría de las ciudades de América Latina y del resto del mundo enfrentan desafíos importantes en planificación y desarrollo. El financiamiento de grandes necesidades en infraestructura urbana figura a la cabeza de esos desafíos. (Blanco et al, 2016). Para poder entender mejor el tema en el ámbito local, nacional e internacional, se analizaron estudios y publicaciones relacionadas con el crecimiento de las ciudades, sus requerimientos e impactos derivados del desarrollo urbano, desde un enfoque de investigación, en el cual se detectaron importantes aportaciones, como los impactos económicos, sociales, culturales, políticos y los desafíos de la planeación de diferentes ciudades de latino américa, como por ejemplo un desfase de 10 años en los instrumentos de planeación urbana desde la realización del estudio, la validación y su implementación, lo que representa un obstáculo para el desarrollo de los centros de población. (Romero Aravena, H., & Vásquez Fuentes, A. 2009)

Metodología.

En el desarrollo de la presente investigación se establecieron los siguientes procesos para poder obtener los resultados preliminares para determinar el déficit y la viabilidad económica financiera para resarcir la demanda actual y futura de la infraestructura urbana de la ciudad de Bacalar.

Se considera los elementos de dotación de infraestructura y al mismo tiempo los beneficios de los particulares derivado de la intervención del estado en la dotación de infraestructura urbana para el desarrollo de las zonas contenidas en los instrumentos de planeación urbana. En el análisis y modelación de la información preliminar obtenida y validada en campo para la obtención de mapas y planos se implementó el uso de la tecnología de Sistema de Información Geográfica. SIG, como una herramienta de integración de los componentes.

El análisis Económico Financiero el cual contiene en primer lugar el análisis de la capacidad hacendística del Ayuntamiento de Bacalar, contemplando a continuación la evaluación de todas las inversiones necesarias para el desarrollo de las determinaciones propuestas en los instrumentos de planeación. La evaluación se realiza de una forma detallada, distinguiendo las inversiones previstas para completar los sistemas y dotaciones de carácter general y las actuaciones propuestas, así como las inversiones para completar la urbanización de los distintos núcleos de población y la ejecución de las unidades de actuación. Se distingue de estas inversiones, las que corresponden a las distintas administraciones del gobierno municipal y del gobierno del estado.

Una vez realizado el estudio económico de las obras a realizar y la financiación de las mismas, se observa el periodo de las administraciones municipales que podrán hacer frente a las necesidades previstas en cifras. De igual modo se puede intuir con suficiente certeza que los recursos destinados serán o no suficientes para lograr el objetivo general del programa de ordenamiento.

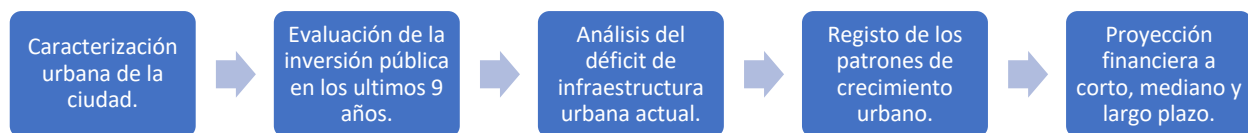


Figura 3. Diagrama proceso de la investigación.

El Estudio Económico y Financiero contendrá:

1. La evaluación económica de la ejecución de las obras de urbanización correspondientes a la estructura general y orgánica del territorio y a la implantación de los servicios correspondientes al suelo urbanizable programado.
2. La determinación del carácter público de las inversiones a realizar para la ejecución de las previsiones del PDU, expresadas en los apartados anteriores, con suficiente especificación de las obras y servicios que se atribuyen al sector público y privado e indicación, en el primer caso, de los Organismos o Entidades públicas que asumen el importe de la inversión.

El cual tiene la misma importancia que el mismo PDU, ya que para lograr el objetivo de dicho programa de desarrollo urbano hay que realizar el estudio de como financieramente se logrará.

El estudio de factibilidad económica-financiera, el cual considera los siguientes puntos:

1. Gastos de Urbanización.
2. Costo de las obras de urbanización e implantación de servicios.
3. Gastos de Gestión.
4. Ponderación relativa de los usos pormenorizados.
5. Justificación de la Viabilidad Económica.

Se establece una relación de infraestructura y un costo estimado, y se realiza un análisis de la capacidad financiera del ayuntamiento para saber con certeza si se podrá lograr el objetivo planteado.

Resultados.

El crecimiento de la ciudad de Bacalar en los últimos 7 años ha generado impactos en el territorio y el medio ambiente los cuales no han sido analizados para poder cuantificar su magnitud y poder proponer acciones para mitigarlos a través de la estrategia de gestión urbana, el marco normativo es nulo, por lo tanto, la administración del crecimiento de la ciudad se va dando de acuerdo a los requerimientos del día a día, aunado a esta situación la dotación de infraestructura urbana no ha sido de manera equitativa con el crecimiento de la ciudad que ha sido de manera dispersa, y los recursos para la dotación de infraestructura urbana son limitados, debido a diferentes factores como a la baja recaudación de

impuestos municipales y los bajos presupuestos de los fondos federales transferidos al municipio que tienen como objetivo principal la dotación de infraestructura urbana, como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Inversión pública en Bacalar, fuente: Presupuesto de Egresos del Municipio de Bacalar 2011-2019.

Registro de la inversión pública en Bacalar.		
Ejercicio fiscal	Presupuesto anual aprobado (MDP)	Porcentaje destinado a infraestructura urbana.
2011	67.2	12.71%
2012	120.6	16.97%
2013	136.7	26.3%
2014	150.7	20.82%
2015	177.6	23.9%
2016	167.04	21.16%
2017	181.6	22.89%
2018	262.5	32.23%
2019	248.7	23.97%

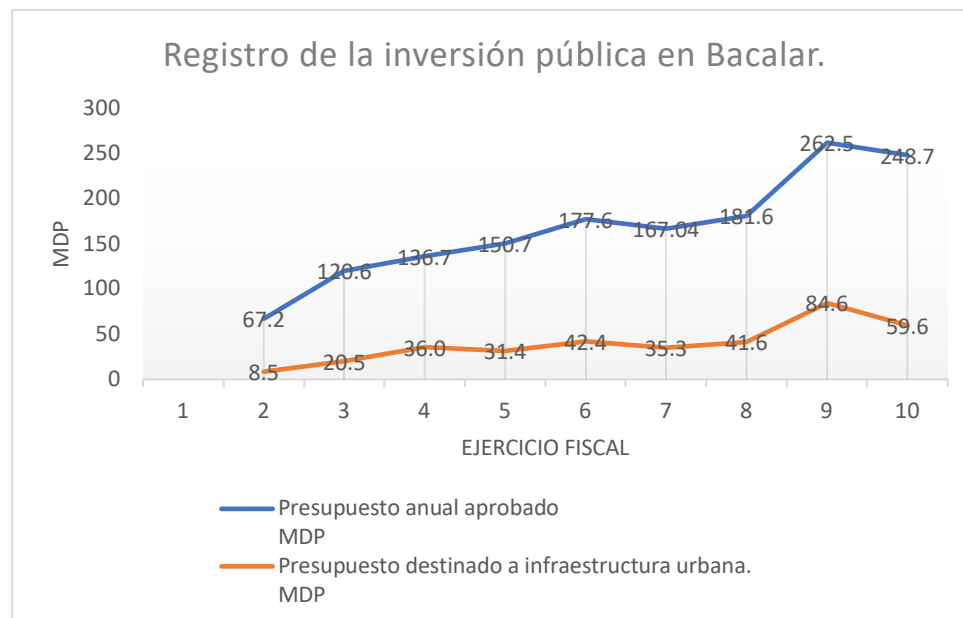


Figura 4 . Gráfico de inversión pública en Bacalar, fuente: Presupuesto de Egresos del Municipio de Bacalar 2011-2019.

En la Tabla 1 se puede analizar el comportamiento de los recursos disponibles comparados con los recursos destinados a la atención de infraestructura urbana. Se registra un incremento en el presupuesto de cada ejercicio fiscal, derivado de los procedimientos de distribución del gobierno federal a través del Presupuesto de Egresos de la Federación específicamente de los recursos transferidos a los municipios, sin embargo no necesariamente están aprobados para la dotación de infraestructura, por lo que el porcentaje destinado para la dotación de infraestructura urbana en el presupuesto de egresos municipal no ha tenido un incremento significativo, a esto le sumamos que el porcentaje registrado es para todo el territorio municipal y no exclusivamente para la ciudad de Bacalar, que es donde se tiene la mayor demanda por el desarrollo urbano y en el que se registra déficit en las coberturas de infraestructura urbana. Con ello se podría estimar coberturas totales a corto plazo: año 2020, mediano plazo: año 2030 y largo plazo: año 2040 para dotar de infraestructura urbana las 1,145 hectáreas consideradas como zona de crecimiento en el polígono Ah-1, así como el impacto a la hacienda municipal que representaría esta inversión, para prever los impactos negativos del desarrollo urbano de la ciudad de Bacalar y lograr el bienestar social.

El estudio económico financiero y su programa de actuación servirá como modelo de planeación estratégica a largo plazo, permitirá que se prevea la inversión requerida para la dotación de infraestructura urbana en las mil hectáreas consideradas como zona de crecimiento de la ciudad de Bacalar.

Tabla 2. Inversión pública por sector, fuente: presupuesto de egresos 2011-2019.

INVERSIÓN POR SECTOR (MILLONES DE PESOS POR AÑO DE INVERSIÓN)									
RUBRO O SECTOR		INVERSIÓN AÑO 2012 \$	INVERSIÓN AÑO 2013 \$	INVERSIÓN AÑO 2014 \$	INVERSIÓN AÑO 2015 \$	INVERSIÓN AÑO 2016 \$	INVERSIÓN AÑO 2017 \$	INVERSIÓN AÑO 2018 \$	INVERSIÓN AÑO 2019 \$
PAVIMENTACIÓN DE VIALIDADES		19.98	20.25	4.32	6.69	3.06	6.03	26.28	14.10
ANDADOR PEATONAL			0.31	4.00	0.73		10.38	1.30	
ELECTRIFICACIÓN				1.95	1.41	2.65	3.95	10.07	8.63
ALUMBRADO PÚBLICO		0.86	1.62		1.53	1.74	2.00	2.50	2.50
SISTEMA DE DRAHAJE SANITARIO**	C.		6.49	28.09	27.87		30.50	24.78	
	A.								
SISTEMA DE AGUA POTABLE**	C.	53.95	33.68	27.98	48.93	2.52	6.96		13.21
	A.							0.04	0.8
INVERSIÓN TOTAL		74.79	62.35	66.34	87.16	9.97	59.82	64.97	39.24

En la Tabla 2 se realizó el análisis y registro de la inversión pública del Ayuntamiento de Bacalar correspondiente a los años del 2011 al 2019, con base en su programa anual de obra pública, con el objetivo de sectorizar la inversión y analizar la capacidad hacendaria para atender la demanda de infraestructura urbana, del cual resalta el que no todos los ejercicios fiscales fueron atendidos los seis sectores analizados, los totales invertidos por año presentan diferencias significativas lo cual no muestra un tendencia definida. El sector que más inversión a registrado es el de pavimentación de vialidades, el sector que registra menor inversión es el del sistema de agua potable y es nulo el registro de la inversión en el sistema de agua potable del presupuesto municipal (A), esto derivado que el sector es atendido por la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo (C).

Diagnóstico de la infraestructura existente del centro de población para identificar el déficit de la cobertura, para el cual se realizaron levantamientos de campo y análisis de la información oficial publicada en las dependencias, y se procesó la información actualizada en planos de la ciudad.

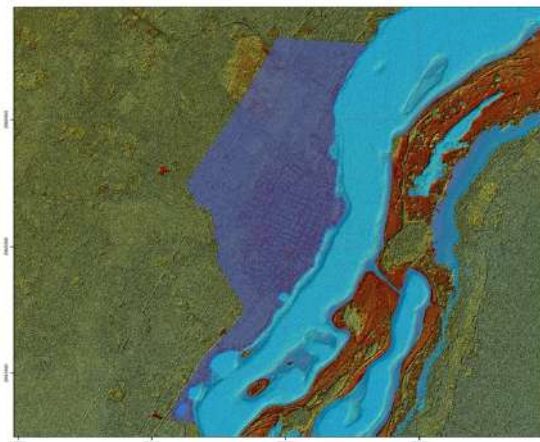


Figura 5. Plano Base. Polígono de la UGA Ah-1 con 1, 145 hectáreas, las cuales tienen un uso de suelo predominante como centro de población, con una política de aprovechamiento (Fuente: POET Bacalar, 2005)



Figura 6. Plano Área urbana actual. La zona urbana ocupa una superficie de 666 ha y tiene una densidad bruta de 16.6 hab/ha, que se puede considerar muy baja. Se observa un patrón de crecimiento paralelo a la zona costera. (Fuente: Elaboración propia con base en la cartografía de la dirección de catastro municipal)

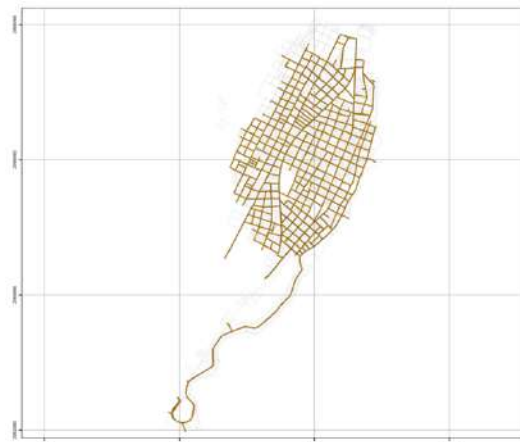


Figura 7. Plano Sistema de vialidades pavimentadas. El 89.75% de la ciudad cuenta con vialidades pavimentadas, sin embargo, el 40% de las vialidades existentes han superado su tiempo de vida útil. (Fuente: Elaboración propia con base en levantamiento físico)



Figura 8. Plano Sistema de andadores peatonales. El 6.2% de la ciudad cuenta con cobertura del sistema de andadores peatonales. (Fuente: Elaboración propia con base en levantamiento físico)

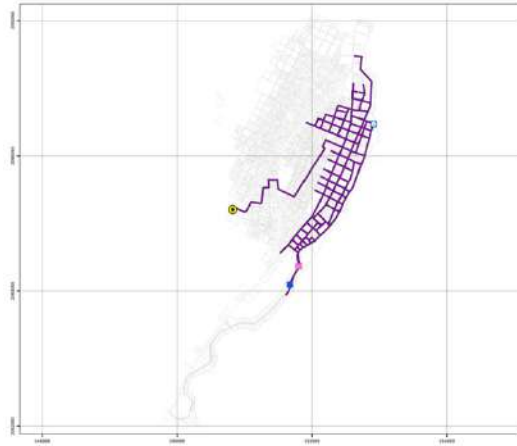


Figura 9. Plano Sistema de drenaje sanitario. El 37.8% de la ciudad tiene cobertura del sistema de drenaje, lo que representa 1,062 usuarios de los cuales solo 358 usuarios están conectados a red. (Fuente: Elaboración propia con base en el proyecto de la Comisión de Agua Potable y Alcantarilla de Quintana Roo.)

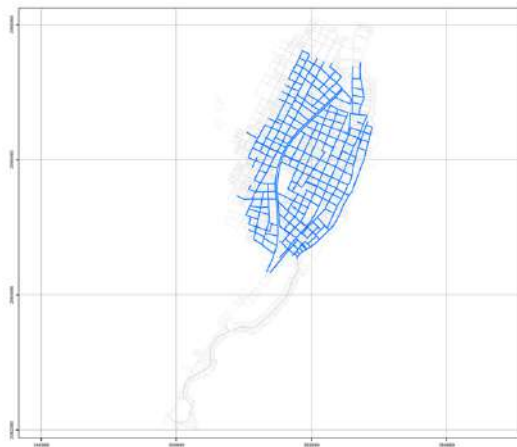


Figura 10. Plano Sistema agua potable. El 91.8 % de la ciudad cuenta con acceso de agua potable. Se abastece con 72 litros de agua por segundo a 2,972 usuarios domésticos, 64 hoteleros, 405 comerciales y 103 de servicios generales. (Fuente: Elaboración propia con base en el proyecto de la Comisión de Agua Potable y Alcantarilla de Quintana Roo.)

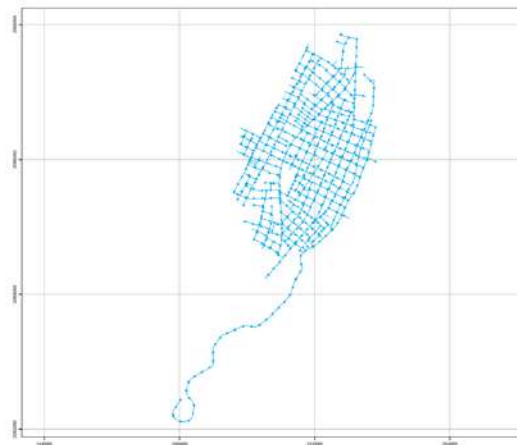


Figura 11. Plano Sistema eléctrico. El 90% de la ciudad cuenta con acceso a la red de electrificación, sin embargo, la infraestructura presenta deficiencias por saturación. (Fuente: Elaboración propia con base en el proyecto de la Comisión Federal de Electricidad)

Conclusión.

Es claro el panorama de desarrollo de la ciudad de Bacalar, su tipología de crecimiento es dispersa, por lo que es urgente la implementación de instrumentos de ordenación territorial, pero el análisis de la capacidad hacendaria para poder atender los requerimientos de infraestructura urbana, es un medio por el cual se puede determinar la viabilidad de todos los ordenamientos y con ello proyectar objetivos de planeación urbana aterrizables a corto, mediano y largo plazo. La siguiente etapa de la presente investigación, consistirá en desarrollar los análisis financieros por sector y sus fuentes de financiamiento, de acuerdo a las etapas de crecimiento de la ciudad, para poder estimar la atención de los requerimientos de infraestructura urbana y el margen de atención del gobierno local.

Es importante que se impulsen fuentes alternativas de ingresos como es la asociación público- privado y una mayor participación de los inversionistas privados en la dotación de satisfactores urbanos.

Se requiere la evaluación de los esquemas de participación, donde los sectores público y privado participen de manera coordinada y con aportaciones al desarrollo de la infraestructura urbana. El gobierno estatal y el Ayuntamiento realizarían las obras de infraestructura básica y el sector privado desarrollaría, construiría y financiaría los proyectos urbanos integrales.

Bibliografía.

- Almeida, E. M., Prat, J., Vargas-Moreno, J. C., Acevedo, M. C., Del Carmen, G., Mejía, A., ... & Sabatini, J. L. (2019). Honduras: Un enfoque territorial para el desarrollo (Vol. 691). Inter-American Development Bank.
- Andrés, P. (2008). Capítulo 16: La planificación del territorio: conceptos y herramientas básicas. Capítulo 16, 1000-1024.
- Ayuntamiento de Bacalar(2011-2019).Presupuesto de Egresos del Ayuntamiento de Bacalar.
- Ayuntamiento de Cartagena. (1987). Plan General Municipal de Actuación, Estudio económico financiero..
- Municipio de Cartagena, Colombia.: Ayuntamiento de Cartagena.
- Ayuntamiento de Llaneras, España (2008). Estudio económico financiero y programa de actuación . Municipio de Llaneras: Ayuntamiento de Llaneras.
- Ayuntamiento de Othón P. Blanco. (2018). Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal-Calderitas-Subteniente López- Huay-Pix y Xul-Há. Municipio de Othón P. Blanco, Estado de Quintana Roo. Municipio de Othón P. Blanco: Ayuntamiento de Othón P. Blanco.
- Blanco Blanco, A., Carrión, D., Fretes Cibils, V., Hurtado Tarazona, A., Mendive, C., Muñoz Miranda, A., ... & Sandroni, P. (2016). Expandiendo el uso de la valorización del suelo: La captura de plusvalías en América Latina y el Caribe.
- Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión. (1994). Ley General de Asentamientos Humanos. Diario Oficial de la Federación, 21-07-1993.
- Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión. (2019). Constitución Política De Los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación , 314.
- Congreso del estado de Quintana Roo(2018).Ley de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Quintana Roo.(Ley publicada POE 16-08-2018)
- Copello, M. M. M., Pineda, J. F. P., Vitta, J. F. R., & Dávila, N. V. (2006). Planes parciales, gestión asociada y mecanismos de distribución equitativa de cargas y beneficios en el sistema urbanístico colombiano: Marco jurídico, conceptos básicos y alternativas de aplicación. Lincoln Inst. of Land Policy.
- Correa, G., & Rozas, P. (2006). Desarrollo urbano e inversiones en infraestructura: elementos para la toma de decisiones. CEPAL.
- Eduardo Ruiz de la Riva, Eduardo Cabanas Moreno, Pedro Fernandez Lastra. (2008). Estudio Económico Financiero Y Programa De Actuación. Municipio de Comillas: Ayuntamiento de Comillas.
- Feres, H. G. G. (2003). Gestión del urbanismo y administración urbana: Los pies de barro en el despliegue territorial del neoliberalismo en Chile. Revista de Urbanismo, (7).
- GARCÍA, E., & Erika, J. (2011). El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez, Chihuahua. Tijuana, BC, México: Colegio de la Frontera Norte (COLEF).
- Gobierno de Quintana Roo. (2004). Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región de Laguna De Bacalar. Periódico Oficial de Quintana Roo, 124.

- Henríquez, C., Azócar, G., & BELTRÃO, M. (2007). Patrones de crecimiento en ciudades intermedias chilenas y su impacto en la sustentabilidad urbana. *Cidades médias: espaços em transição*. São Paulo: Editora Expressão Popular, 283-312.
- Jaimes, P., Noel, B., & Plata, R. F. (2008). Propuesta metodológica para la elaboración de un diagnóstico integral en el ordenamiento territorial municipal. *El ordenamiento territorial: experiencias internacionales*, 145-172.
- Rodríguez, J. S. (2010). Financiamiento de infraestructura de transporte. *Revista de ingeniería*, (32), 108-116.
- Romero Aravena, H., & Vásquez Fuentes, A. (2009). El crecimiento espacial de las ciudades intermedias chilenas de Chillán y Los Ángeles y sus impactos sobre la ecología de paisajes urbanos.
- Rozas, P. (2010). América Latina: problemas y desafíos del financiamiento de la infraestructura. *Revista Cepal*.
- Salas, J. (1980). Beneficios y cargos derivados de la ordenación urbanística: recuperación de plusvalías, compensaciones y técnicas de distribución equitativa. *Revista de administración pública*, (92), 45-152.
- Smolka, M. (2014). Implementación de la recuperación de plusvalías en América Latina. *Políticas e instrumentos para el desarrollo urbano*, Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA.
- Smolka, M., & Furtado, F. (2014). Instrumentos notables de políticas de suelo en América Latina. *Lincoln Institute of Land Policy*.

Guía para autores

AvaCient

Revista

La Revista AvaCient editada por el Tecnológico Nacional de México, tiene por interés, proporcionar a los investigadores, docentes, alumnos y público interesado, un medio para publicar los resultados de investigaciones científicas, tecnológicas y documentales, afines a la arquitectura, ingeniería eléctrica y electrónica, ingeniería en química y biología, ingeniería en sistemas computacionales e informáticas, ingeniería en ciencias de la tierra, a las ciencias económico-administrativas, docencia y a las ciencias naturales.

Periodicidad de publicación **Semestral**, Ene-Jun (1) y Jul-Dic (2).

El contenido deberá ser estrictamente original e inédito.

Todos los artículos se proceden a evaluar con la herramienta de similitud *CopyLeaks*, realizado por Editor al momento de su recepción.

El proceso de evaluación en su primera etapa lo realiza el Consejo Editorial (CE) quien seleccionará los manuscritos que cumplan con los criterios metodológicos y de contenido temático de la revista, si el material recibido cumple con la guía, será sometido al arbitraje por parte de dos pares lectores conocedores en el área temática respectiva. A su informe, el CE enviará el dictamen a través del correo electrónico. Podrá tener tres probables resultados: 1) Aceptado, 2) Condicionado con adecuaciones, y 3) Rechazado; cuando este se conceptúa como Condicionado con adecuaciones, se le informa al autor(es), quien(es) decide(n) si se compromete hacer los cambios dentro de los cinco días posteriores a su recepción y enviarlo nuevamente al CE.

El proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato, utilizando el sistema doble ciego. Los autores de los manuscritos aceptados se comprometen a ceder sus derechos al Tecnológico Nacional de México / I.T. de Chetumal.

Los autores de los artículos publicados tienen derecho a recibir un ejemplar impreso del número de edición correspondiente y la versión digital de la revista.

Se aceptan autorías múltiples, las cuales deben ser indicadas como máximo cuatro coautores.

Temática:

AvaCient incluye temáticas multidisciplinarias, relacionadas con la ingeniería: bioquímica, civil, eléctrica, sistemas computacionales, tecnologías de la información y comunicaciones, docencia, así como los temas relacionados con la arquitectura, las ciencias económico administrativas y biología.

Tipos de manuscritos a considerar su publicación:

Artículo de investigación científica y/o tecnológica. Es un documento en donde su objetivo principal es dar a conocer de manera evidente y concreta los resultados originales de una investigación efectuada sobre un tema específico. Es la culminación de la presentación de un documento elaborado con un pensamiento crítico y analítico, considerando una extensión hasta de 20 cuartillas.

Artículo de investigación documental. La investigación documental es un proceso científico, sistemático y de búsqueda, recopilación, organización, análisis y compresión de información en torno a un tema específico. Como toda investigación debe de estar orientada a la generación del conocimiento, que implica la descripción y cuantificación de un problema específico, con una extensión máxima de 20 cuartillas.

Artículo de divulgación. El objetivo primordial de este tipo de documento es hacer llegar información fidedigna sobre cualquier tema en general para el público en general. Esta temática deberá dirigir sus esfuerzos en adaptar el lenguaje especializado a la comunicación coloquial, máximo 10 cuartillas.

Resumen de tesis. Este documento deberá contener título de trabajo o proyecto, el lugar donde se realizó, el nombre del autor, periodo y el año en que se realizó, así como la institución en donde se desarrolló. Máximo dos cuartillas, con una antigüedad de hasta dos años a la fecha de sometimiento.

Elementos de identificación del manuscrito:

Todas las publicaciones deberán contener los siguientes elementos de identificación, las cuales son:

Título del artículo español e inglés

Nombre completo del(los) autor(es)

Filiación del(los) autor(es)

Dirección electrónica del(los) autor(es)

Elementos del manuscrito	Artículo de investigación científica y/o tecnológica	Artículo de investigación documental	Artículo de divulgación	Resumen de Tesis
Resumen	✓	✓	✓	✓
Palabras claves	✓	✓	✓	No aplica
Abstract	✓	✓	✓	No aplica
Key words	✓	✓	✓	No aplica
Introducción	✓	✓	✓	Extracto
Material y métodos	✓	✓	No aplica	Extracto
Resultados y discusión	✓	✓	No aplica	Extracto
Conclusiones	✓	✓	✓	Extracto
Referencias bibliográficas	✓	✓	✓	No aplica
Cuartillas máximas	20	20	10	2

Los artículos se publican en español o en inglés, todos los manuscritos propuestos deberán estar escritos a espacio sencillo, utilizando la tipografía *Times New Roman* 10 en todo el cuerpo, en formato Microsoft Word.

Los márgenes en los cuatro costados serán de 2.5 cm. Cada párrafo deberá estar justificado, no utilizar sangría al inicio del párrafo y colocar una interlínea después de cada párrafo.

Título, debe ser breve e informativo, no debe contener abreviaturas y la longitud no debe superar 12 palabras. Deberá ser en idioma español e inglés.

Resumen, ser un solo párrafo que no exceda de 150 palabras. Debe describir los aspectos más importantes de la investigación y las conclusiones más relevantes. El artículo en idioma inglés es necesario hacer resumen en español.

Hasta cuatro palabras clave, debajo del resumen.

Abstract, es el resumen traducido en el idioma inglés. Las palabras clave deberán ser traducidas y colocar una sección *Keywords*.

Introducción, debe ser breve y sin subtítulos, debe indicarse claramente la importancia del tema, la justificación de la investigación, la hipótesis y los objetivos planteados.

Materiales y métodos, proporcionar detalles suficientes para que el trabajo se pueda repetir. Necesario aportar la información suficiente de cada variable, proporcionar el análisis estadístico en su caso.

Resultados, describe la solución a la problemática planteada. Utilizar figuras y tablas como complemento.

Discusión, el propósito es relacionar sus hallazgos con los resultados anteriores, identificando cómo y por qué hay diferencias y donde no hay acuerdo. Las controversias también deberían presentarse de forma clara y justa.

Conclusiones, indicar de forma categórica, breve y precisa las aportaciones concretas al conocimiento, apoyadas por los resultados demostrables y comprobables de la propia investigación. Ninguna conclusión debe argumentarse ni basarse en suposiciones. No numerar las conclusiones ni emplear abreviaturas sino términos completos, de manera que el lector no tenga que recurrir a otras partes del texto para entenderlas.

Agradecimientos (opcional), se incluirán cuando se desee reconocer a instituciones o personas, que financiaron, asesoraron o auxiliaron la investigación.

Referencias citadas, debido a que AvaCient es multidisciplinaria, las citas bibliográficas podrán utilizar diferentes formatos tales como el estilo APA, IEEE, Harvard, Chicago, entre otras.

La lista de referencias debe agregar la información completa sobre la fuente respectiva, incluyendo el DOI (Digital Object Identifier) y debe insertar al final del artículo, antes de cualquier apéndice. Algunas referencias tienen DOI, otras no y otras un enlace web (Links).

Los autores deben asegurarse que haya una correspondencia estricta entre los nombres y años reconocidos en el texto y

aquellos listados en la bibliografía. Las referencias deben incluirse en orden alfabético de acuerdo con el apellido del autor (o el nombre de cualquier organización si se trata de alguna fuente que no identifica a algún autor).

Forma de envío:

Nombre del archivo: en mayúsculas, apellido del primer autor – palabra clave.

Ejemplo: PEREZ-INVESTIGACIÓN

Enviar al email:

avacient@itchetumal.edu.mx

Es importante señalar, como postula su manuscrito:

*ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA/TECNOLÓGICA,*

o

*ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
DOCUMENTAL,*

o

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN,

o

RESUMEN DE TESIS

AvaCient



III CONGRESO NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE OCTUBRE 2021



AvaCient

Se terminó de imprimir el 3 de diciembre de 2019,
por el Departamento de Comunicación y Difusión
del Instituto Tecnológico de Chetumal,
Tecnológico Nacional de México.

Tiraje impreso de 250 ejemplares.

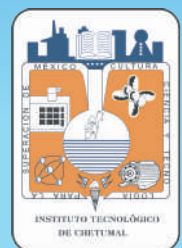
Disponible en Internet:

<http://itchetumal.edu.mx/avacient/index.php/revista/index>

Ciudad Chetumal, Quintana Roo, México.



II CONGRESO NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE DEL 2 AL 4 DE OCTUBRE DE 2019



email: avacient@itchetumal.edu.mx

Av. Insurgentes No. 330 esquina Andrés Quintana Roo, Col. David Gustavo Gutiérrez Ruiz, Apdo. postal 267,
C.P. 7013, Chetumal Quintana Roo. Tel. (01-983) 2-23-30 y 2-10-19
www.itchetumal.edu.mx
#OrgulloTecNM