

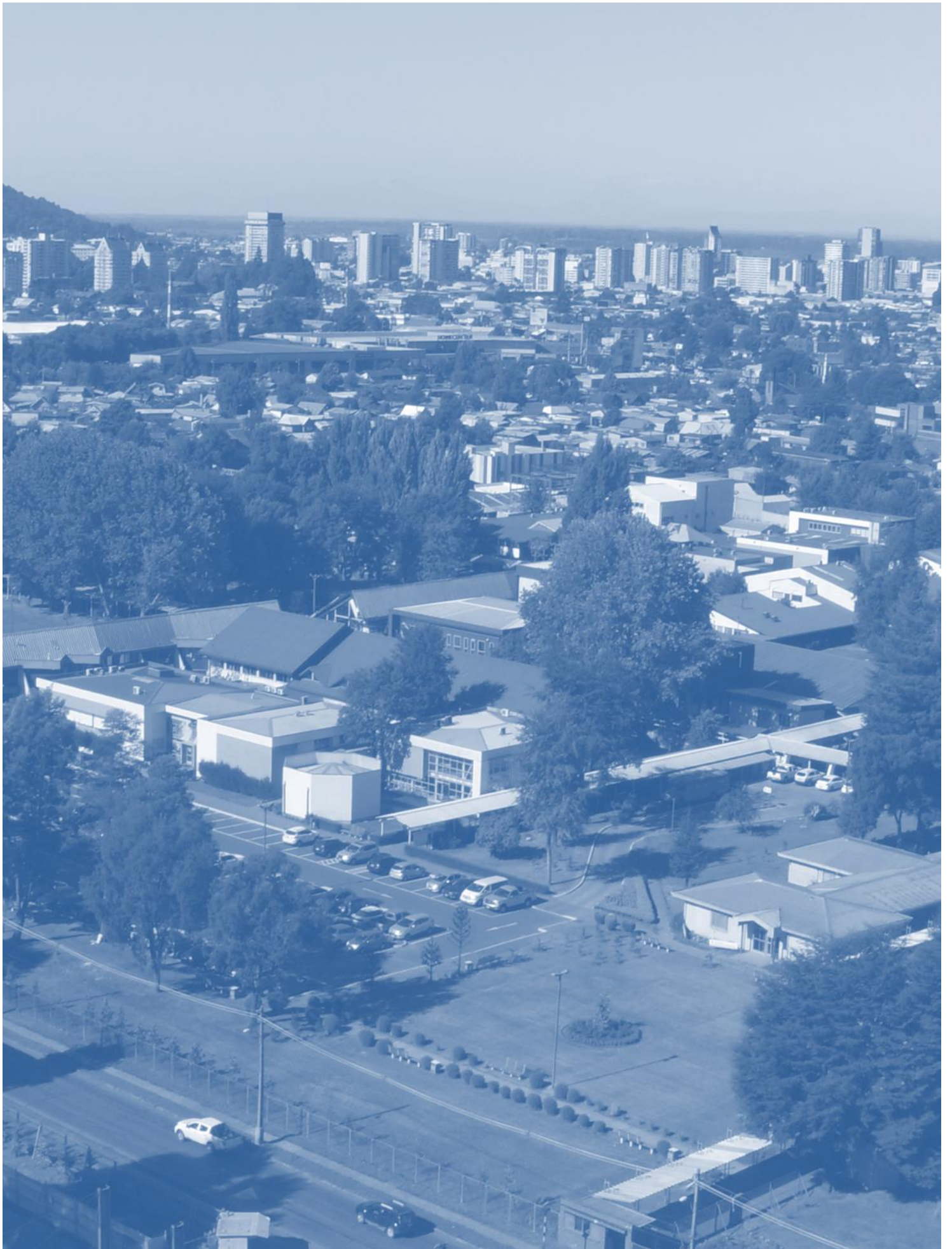
RIOC

REVISTA INGENIERÍA DE OBRAS CIVILES



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA

Facultad
de Ingeniería
& Ciencias





Desde el año 2012, el Departamento de Ingeniería de Obras Civiles de la Universidad de La Frontera, se ha comprometido a promover la divulgación de investigaciones científicas- tecnológicas que se realizan a nivel nacional como internacional. Esta tarea se realiza a través de la Revista Ingeniería de Obras Civiles, la cual mediante sus publicaciones regulares, se ha transformado en una fuente de divulgación continua para jóvenes y experimentados investigadores, representando un aporte a nivel regional, nacional e internacional.

El volumen N°10 de la revista RIOC presenta investigaciones que son altamente atingentes a las problemáticas mundiales actuales, desde la utilización de materiales reciclados en materiales constructivos, hasta la modelación de modelos hidrológicos de cuencas urbanas, reflejando el compromiso de la revista de promover el intercambio y actualización de conocimientos en ingeniería y gestión en la construcción.

Este volumen, al ser publicado virtualmente, permite ser un insumo valioso para profesionales, académicos y estudiantes que han decidido, en tiempos tan complejos como los actuales, seguir enriqueciendo sus conocimientos a través de investigaciones.

Dra. Viviana Letelier González
Directora del Departamento de Ingeniería de Obras Civiles
Universidad de La Frontera



RIOC es una revista de carácter científico - tecnológico que proporciona un foro nacional e internacional para la difusión de la investigación y desarrollo en todos los ámbitos relacionados con la construcción, entendiéndose áreas como materiales de construcción, ciencias de la ingeniería aplicada, arquitectura, edificación, obras civiles, gestión de proyectos, entre otras.

En un momento en que existe una gran necesidad en todos los profesionales del área de la construcción por estar continuamente actualizados, para optimizar el uso de recursos, utilizar nuevas tecnologías que sean sustentables y eficientes, y a su vez, emplear nuevos métodos de construcción y materiales, RIOC proporciona un espacio para compartir y divulgar conocimientos, de manera tal, de abrir la discusión en estas temáticas planteadas, entregando información esencial que ayudará a mejorar la eficiencia, la productividad y la competitividad en los profesionales del área de la construcción. Por lo tanto, es una lectura esencial para proporcionar a los profesionales del área, académicos y alumnos que trabajan e investigan en este campo, un material de discusión que renueve y actualice sus conocimientos.

En este contexto, RIOC hace extensiva la invitación a todos los interesados a publicar sus artículos con la finalidad de divulgar la producción científica - tecnológica de académicos, investigadores, profesionales y estudiantes en temas relacionados con el desarrollo del área de la construcción.

Comité Editorial Asociado
Revista Ingeniería de Obras Civiles
Universidad de La Frontera



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles
Facultad de Ingeniería
& Ciencias



Directora
Viviana Letelier

Editor Responsable
Aner Martinez

Editores de Producción
Camila Parodi
Daphne Bormann
Javier Vidal
Gonzalo Valdés

Revista Ingeniería de Obras Civiles

Avda. Francisco Salazar 01145,
Temuco,
Región de La Araucanía,
Chile.

Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles,
Universidad de La Frontera.

Fono:
+ 56 (45) 2325680

Fax:
+56 (45) 2325688

Correo Electrónico:
rioc@ufrontera.cl

Comité Editorial

Ph.D Pedro Muñoz
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chile, Talca, Chile.

Ph.D. Alejandra Calabi
Departamento Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La
Frontera, Temuco, Chile.

Ph.D. Amilkar Ilaya Ayza
Universidad Técnica de Oruro. Oruro. Bolivia.

Ph.D. Adriana Martínez
Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

MSc. Carlos Andrés Aguirre
Escuela de Construcción Civil, Universidad de Las Américas, Santiago,
Chile.

Ph.D. Oscar Link
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción,
Concepción, Chile.

Ph.D. Galo Valdebenito
Instituto de Obras Civiles, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Leonardo Sierra
Departamento Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La
Frontera, Temuco, Chile.

PhD. Kevin Luna Villarreal.
Departamento de Ingeniería Civil, Instituto Tecnológico y de Estudio
Superiores de Monterrey, Monterrey, Mexico.

Ph.D. Mario Salazar
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana, Morelia,
México.

Ph.D. Oscar Reyes
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada,
Bogotá, Colombia.

PhD. Ramón Botella
Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Ph.D. Virginia Vásquez
Departamento de Arquitectura, Universidad Austral, Valdivia, Chile.



Sumario

- 07.** Impacto en la Hidrología de cuencas de la Quinta Región, Chile.
Impact on basin hydrology from the Fifth Region, Chile.
J. P. Callejas.
- 15.** Atributos de liderazgo entre los Gerentes de Proyectos: Una Revisión desde el Desempeño y la Incertidumbre en los Proyectos de Remodelación de Edificios.
Leadership Attributes among Project Managers: A Review from Performance and Uncertainty in Building Remodeling Projects.
J. Garces.
- 32.** Resistencia a la compresión y resistividad eléctrica de hormigones elaborados con materiales cementicios suplementarios y agregados reciclados.
Compressive strength and electrical resistivity of concrete made with supplementary cementitious materials and recycled aggregates.
D. Juela, J. Bermeo & D. Alvarez.
- 45.** Caracterización experimental y teórica de paneles sometidos a fuerza lateral y ensamblados con unidades de mampostería hechas a base de papel reciclado y engrudo de almidón de Yuca.
Experimental and theoretical characterization of panels under lateral load and assembled with masonry units made of recycled paper and Yucca starch.
J. Chanchi, J. Gomez & C. Gonzalez.



Impacto en la Hidrología de cuencas de la Quinta Región, Chile. Impact on basin hydrology from the Fifth Region, Chile.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Juan Pablo Callejas¹

Historial del artículo:

¹Universidad Diego Portales, Santiago, Chile.
juan.callejas@mail.udp.cl. teléfono: +56 9 82089595

Recibido
05-06-2019
Aceptado
02-04-2020
Publicado
25-04-2020

Palabras Clave:
Crecimiento
poblacional
Urbanización
Modelos
numéricos
Cambios en usos y
coberturas de
suelo
DEM

Article history:

Received
05-06-2019
Accepted
02-04-2020
Available
25-04-2020

Keywords:
Grow population
Urbanization
numerical models
Changes in land
use/land cover
DEM.

Resumen

Las urbanizaciones con el tiempo desarrollan crecimiento poblacional y urbano, especialmente de sus límites territoriales. Al comenzar este fenómeno las coberturas de los suelos tienden presentar cambios de vegetación a urbano. Es conocido que al generar un cambio de cobertura de una que favorece la infiltración de las precipitaciones a una en la cual predomina el escurrimiento superficial se presentaran cambios en los hidrogramas de respuestas. Pero qué pasa con las ciudades que se encuentran frente a un proceso de expansión y no toman conciencia a tiempo estas alteraciones. El no tomar en cuenta estos cambios produce efectos adversos que pueden poner en riesgo la vida y salud de las personas que habitan estos sectores, como lo fue el caso del socavón ocurrido en la quebrada de Las Petras en agosto del 2017. El presente estudio cuenta con los objetivos de evaluar y actualizar el estudio de Sandoval (2009), el cual identifico a la urbanización como el principal motor de cambio en las coberturas de los suelos de la Quinta Región de Chile. Además de evaluar cuál es la base de datos topográfica, en formato de modelos de elevación digital (DEM), de acceso libre entre las mayormente utilizadas en entregar las mejores aproximaciones a la realidad. La finalidad de generar estudios de esta clase es desarrollar nueva información que permita la confección de modelos numéricos que logren evaluar cuantitativamente el efecto de los cambios en las coberturas y la selección de archivos DEMs.

Abstract

The urbanizations with time grow population and urban, especially of their territorial limits. At the beginning, this phenomenon is the trends of changes in urban vegetation. It is known that generating a change in coverage that favors the infiltration of precipitation to one in which surface runoff predominates occurs in the changes in the responses. But what about the cities that are facing a process of expansion and not the conscience over time these alterations. Failure to take into account these changes produce adverse effects that can put at risk the life and health of the people living in these sectors, as well as the case of the tunnel in the stream of Las Petras in August 2017. The present study has the objectives of evaluating and updating the Sandoval study (2009), the quality of urbanization as the main engine of change in the areas of the Fifth Region of Chile. The basis of topographic data, the format of digital media (DEM), free access between the main sources of information. The purpose of generating studies of this kind is to develop new information to allow the configuration of numerical models, as well as to evaluate in a quantitative way the effect of the changes in the coverage and the selection of DEM files.



1. Introducción

En el año 1914, la ciudad de Valparaíso presentaba la mayor tendencia de crecimiento poblacional en Chile y constituía el puerto más importante del país. La construcción y apertura del canal de Panamá, implicó un deterioro gradual de la economía local (Sepúlveda, 2004) y el estancamiento en su crecimiento urbano. A partir de ello, otros sectores de costa cercanos se transformaron en nuevos núcleos de asentamientos humanos. La ciudad de Concón nació como consecuencia de esa tendencia de crecimiento urbano. (Muga & Rivas, 2009). Concón se encuentra ubicada en la Quinta Región de Chile (Valparaíso) y es parte de la macrozona urbana de la región que se encuentra compuesta por Viña del mar, Valparaíso, Reñaca, Quilpué y Villa alemana. Dentro de este conjunto, Concón (ubicada en latitud 71,46° y longitud 32,95°) es una de las más recientes zonas urbanizadas. Concón es esencialmente una ciudad habitacional o “ciudad dormitorio”, con una tendencia de crecimiento poblacional mayor al de las ciudades circundantes y mayor a otras ciudades del territorio nacional (Muga & Rivas, 2009). Este crecimiento estimado está reflejado en el Plan Regulador de la Ciudad de Concón (Municipalidad de Concón, 2017) en el que se proyectan escenarios probables en base al Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (PREMVAL) (Sandoval, 2009) incluyendo la implementación de nuevos medios de transporte (De Grange, 2010). Los crecimientos poblacionales van de la mano con la expansión de los límites administrativos y los tipos de coberturas en estos. En este contexto, las cuencas hidrográficas de la Quinta Región presentan cambios en sus coberturas y usos de suelo con una marcada tendencia urbana en detrimento de las coberturas naturales (Sandoval, 2009). Existen estudios específicos con respecto al cambio de uso de suelo o cobertura del suelo, pero esos estudios no incluyen los efectos de esos cambios en el régimen hidrológico de las cuencas de la región. Por otra parte, es imperativo el realizar estudios que estimen los efectos del crecimiento urbano en cuencas hidrográficas clasificadas como áridas (tales como las cuencas costeras de la Quinta Región) ya que estas presentan mayor sensibilidad ante crecimientos urbanos rápidos (Álvarez-Garretón et al, 2018). Existen diferentes estrategias para evitar los efectos que la urbanización tiene en el paisaje y hábitats naturales. El paradigma medioambiental planteado por Álvarez (2016) plantea que el restaurar las cuencas hacia su estado natural disminuiría la incidencia de inundaciones en las cuencas. Es notorio mencionar que la ciudad de Concón no hace ninguna consideración respecto a este tema ya que anticipa urbanizar por completo dos cuencas costeras (Las Petras y Autopista, ver **Figura 1**) sin considerar el efecto que esto tendría sobre la hidrología de esas cuencas y la ciudad de Concón. Una tercera cuenca que en la actualidad está muy poco urbanizada (Puente Colmo, ver **Figura 1**) estaría siendo poblada sin seguir ningún

plan regulador. La zona en la que esta cuenca se emplaza presenta baja urbanización formal y algunos asentamientos informales. Dada la tendencia regional, esta cuenca podría llegar a ser rápidamente urbanizada en su totalidad tal como ocurre en Las Petras y Autopista. Es imperativo el realizar estudios cuantitativos que sean capaces de anticipar los efectos de una urbanización rápida en las tres cuencas arriba mencionadas. La estrategia que seguir debería incluir el desarrollo de modelos hidrológicos e hidrodinámicos que calculen, con niveles de certidumbre aceptables, los efectos de la urbanización de esas cuencas en su régimen hidrológico tanto a nivel de cuenca (non-point sources) como a nivel de río/canal (in-stream).

La recolección y análisis de datos fisiográficos espacialmente distribuidos en una cuenca son los pasos previos a cualquier estudio de los procesos hidrológicos que ocurren dentro del área de estudio. Asimismo, los datos de precipitación y de evapotranspiración son requisitos fundamentales para caracterizar la meteorología de la zona. En este contexto, este artículo presenta resultados del estudio de la topografía y de uso/cobertura de suelo para las tres cuencas mencionadas en párrafos precedentes. Asimismo, se propone una estrategia a seguir en futuros estudios de la hidrología de las cuencas y los cambios que podrían ocurrir en su régimen hidrológico como consecuencia del crecimiento urbano.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

La región de Valparaíso presenta una topografía dominada por pendientes y quebradas las cuales son un drenaje natural de aguas pluviales y subsuperficiales de la zona. La región cuenta con dos principales focos de urbanización: el primero compuesto por Viña del mar, Valparaíso y Concón, y el segundo por Villa alemana y Quilpué. Viña del mar, Valparaíso y Concón son el foco principal de las actividades económicas y turísticas de la zona. El presente estudio se realizará en la ciudad de Concón, la cual se ubica en el borde costero de la región de Valparaíso (ver **Figura 1**), limitada por la desembocadura del río Aconcagua en el norte, el océano pacífico por el oeste, y la ciudad de Viña del Mar por el sur. Al estar emplazada en el valle del río Aconcagua, el clima corresponde a uno templado mediterráneo cálido con una temperatura promedio de 15,5° y precipitaciones aproximadas de 300 mm (Inzunza, 2006). El crecimiento urbano es lineal y se extiende hacia el sur del territorio en torno a las vías principales de conexión entre las ciudades de Concón y Viña del mar. En su borde costero destacan grandes proyectos inmobiliarios (Llado, 2016). Hacia el interior se ubica la localidad de Puente Colmo, localizada alrededor de la carretera que enlaza esta urbanización con el actual centro urbano de la

ciudad. Dicha localidad se encuentra en vías de crecimiento.

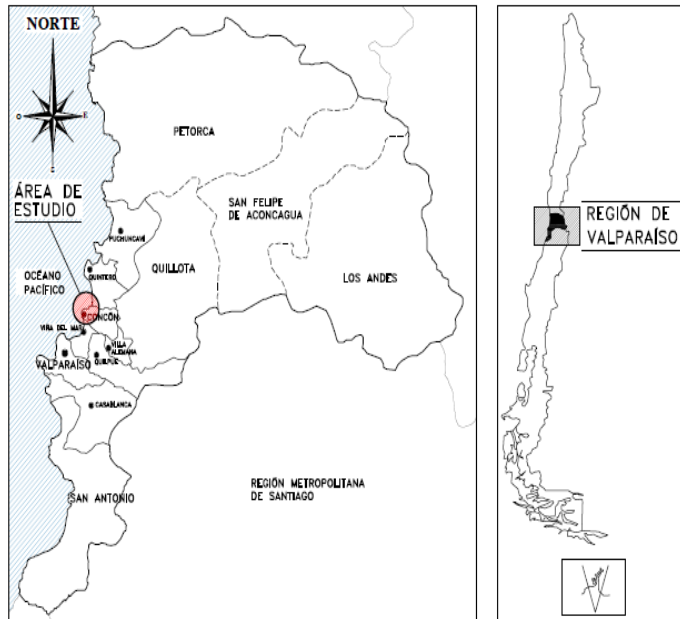


Figura 1. Study area, Las Petras, Autopista and Puente Colmo Basins located in central Chile.

2.2 Precipitación y evapotranspiración

Los estudios hidrológicos a escala de cuenca requieren información meteorológica en forma de series temporales de precipitación y evapotranspiración potencial (ETP). Estos datos fueron recolectados de estaciones pertenecientes a entidades públicas que proveen datos de acceso libre (Meteochile, Agromet, Dirección general de aguas), o bien estimados usando técnicas de desagregación temporal. En la zona de estudio no existen estaciones cercanas que permitan obtener series temporales a escala horaria de evapotranspiración potencial por lo que esta variable fue calculada. Existen diversas ecuaciones que permiten estimar la ETP diferenciándose entre ellas principalmente por la cantidad de variables climáticas que se involucran en la estimación. Uno de los métodos empíricos más completos es el propuesto por la Food and Agriculture Organization (FAO) basado en el algoritmo de Penman-Monteith (Wang et al. 2012). Tanto la precipitación como la ETP serán procesados en Watershed Data Management Tool (WDMUtil). Se recolectará información suficiente para generar dos archivos meteorológicos.

2.3 Topografía

En estudios de este tipo se priorizará el uso de información de acceso libre y en formato de modelos de elevación digital (DEM). Existen agencias de investigación aeroespacial, como NASA, que realizan muestreos de este tipo de datos y luego de procesarlos estos son liberados al público. La elección adecuada de la base de datos a utilizar será la que permita obtener delimitaciones de cuencas, subcuencas y redes de drenaje más aproximadas a la realidad. En este estudio se optó por probar cuatro fuentes diferentes que suelen ser las más utilizadas en estudios hidrológicos. Los archivos Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM), ALOS Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (ALOS PALSAR) y una base de datos provista por la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) serán utilizados para el análisis de datos topográficos para estudios posteriores.

2.4 Land Use & Land Cover

Por medio de imágenes satelitales de la misión Land Satellite (LANDSAT 8), operado por la NASA y el servicio geológico de estados unidos (USGS), es posible desarrollar archivos actualizados y confiables de usos de suelos. Estas imágenes son obtenidas de manera gratuita para la ciudad de Concón en el mes de febrero del 2018. La información obtenida es procesada en el software ENVI 5.3 en el módulo de ENVI classic (ENVI classic, 2014), donde pueden ser vistas en bandas del color real para compararlas con imágenes de Google Earth con el objetivo de que estas sean representativas. ENVI permite visualizar en infrarrojo cercano permitiendo ver en una gama de rojos todo lo relativo a vegetación inclusive dentro de las zonas urbanas, donde por lo general los otros tipos de archivos realizan consideraciones muy a groso modo donde dentro de lo definido como área urbana no se especifican los pequeños espacios verdes dentro de las cuencas. Usando el módulo de clasificación supervisada de ENVI se pueden identificar pixeles seleccionarlos y relacionarlos con un tipo de cobertura para que luego el programa compare las bandas espectrales de todos los pixeles que conforman el archivo y clasificándolos en los especificados por el usuario con la finalidad de obtener una imagen en formato TIFF de resolución espacial de 30x30 metros. Los usos y coberturas de suelos fueron identificados con ayuda de información digital preexistente (CIREN, 2014) y con inspección visual en visitas a terreno. Se identificaron 4 coberturas predominantes para las tres cuencas en estudio las cuales son resumidas en la tabla siguiente con sus respectivos valores de superficie en kilómetros cuadrados.

3. Resultados

3.1 Precipitación y evapotranspiración

Empleando el método de los polígonos de Thiessen se determinó el área de influencia de las estaciones cercanas determinando que las estaciones xx y xx son las más representativas para las variables meteorológicas. El resto de las estaciones fueron usadas para el relleno de datos faltantes en las series temporales. Los resultados de las series generadas de precipitación y evapotranspiración potencial se ilustran en las Figuras 2 y 3.

Precipitación

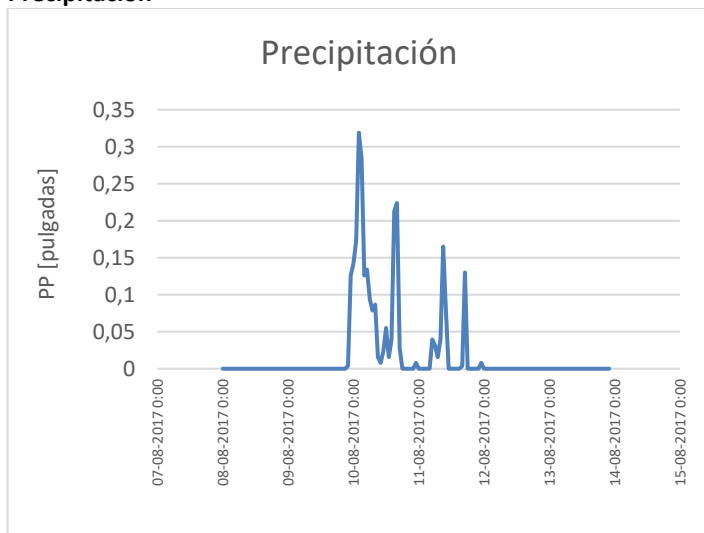


Figura 2. Precipitación horaria para zona de estudio.

Evapotranspiración potencial

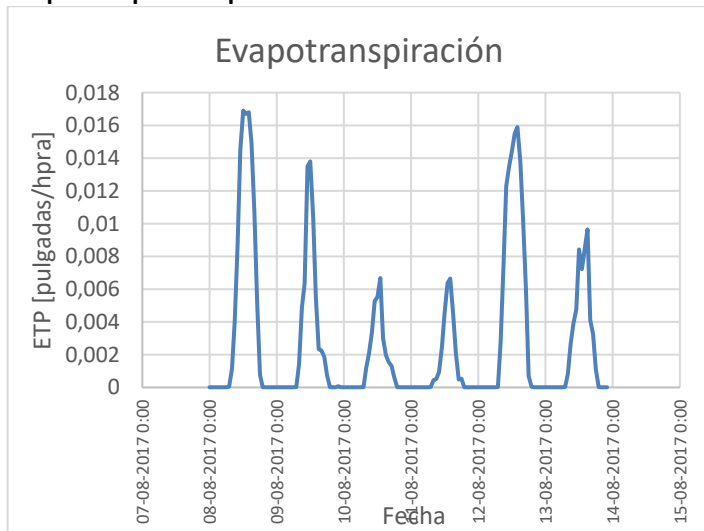


Figura 3. Evapotranspiración potencial estimada según FAO-Penman Monthet.

3.2 Topografía

Al procesar las bases de datos topográficas seleccionadas se obtuvieron delimitaciones muy diferentes para idénticos umbrales de definición e incluso para algunos casos (DEM ASTER) no se logra ninguna delimitación coherente (cuenca Puente Colmo) como se indica en la Figura 4.

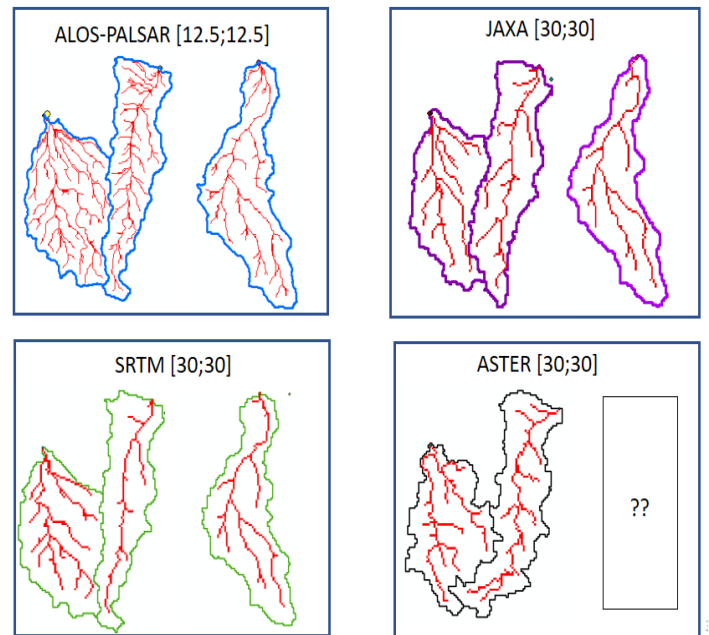


Figura 4. Modelo de elevación digital (DEM) en conjunto con los resultados obtenidos de las delimitaciones de las tres cuencas en estudio por cuatro fuentes de información diferentes.

3.3 Ajustes topográficos

La cuenca Autopista recibe este nombre debido a que ella es atravesada en forma casi diagonal por la autopista H-60. Este cruce de ruta altera el drenaje natural dentro de la cuenca por el bombeo con el que cuenta la calzada de la vía. Dicha alteración del área de la cuenca tendrá clara influencia en el hidrograma de respuesta frente a un evento de precipitación. Dicha modificación puede ser realizada en el software Basins 4.1 seleccionando la opción de delimitado automático por medio de una red de drenaje existente. Este último archivo debe ser tipo polilínea (shapefile) (**Figura 5**).

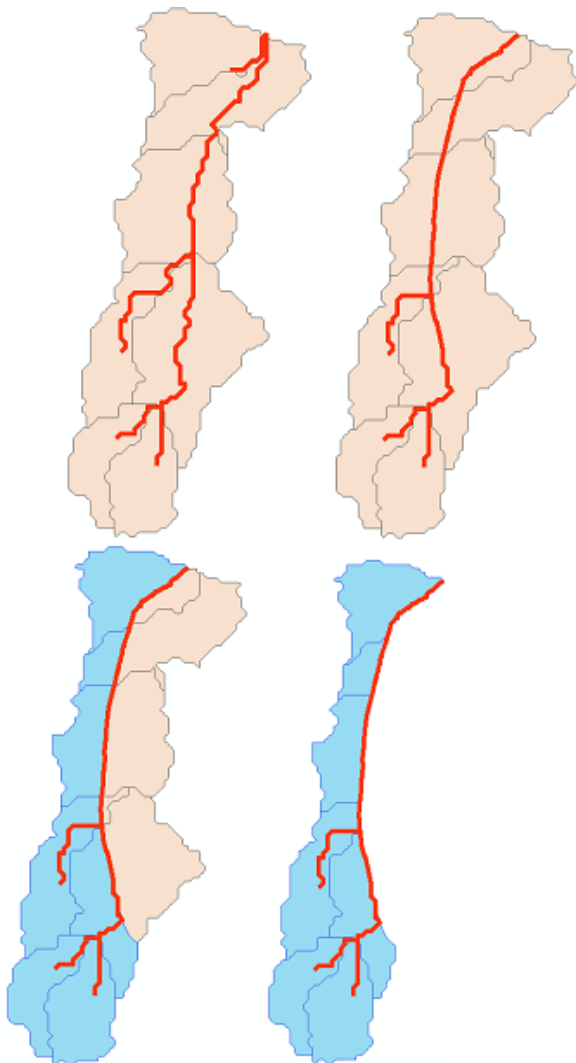


Figura 5. Modificación del área aportante cuenca Autopista

3.4 Uso y cobertura de suelos

En función de las clases de suelos predominantes identificadas para las cuencas y los resultados de análisis históricos de coberturas se determinó que el cambio de superficie vegetal a urbanizada entre los años 2007 y 2018. Es el indicado en las ilustraciones 4 y 5.

Las Petras y Autopista

Estas dos unidades al encontrarse emplazadas próximas al centro histórico de la ciudad de Concón se vieron mayormente influencia por la intervención humana llegando a un 50% para la cuenca Las Petras y un 25% para la cuenca Autopista al año 2018 (**Figura 6**).

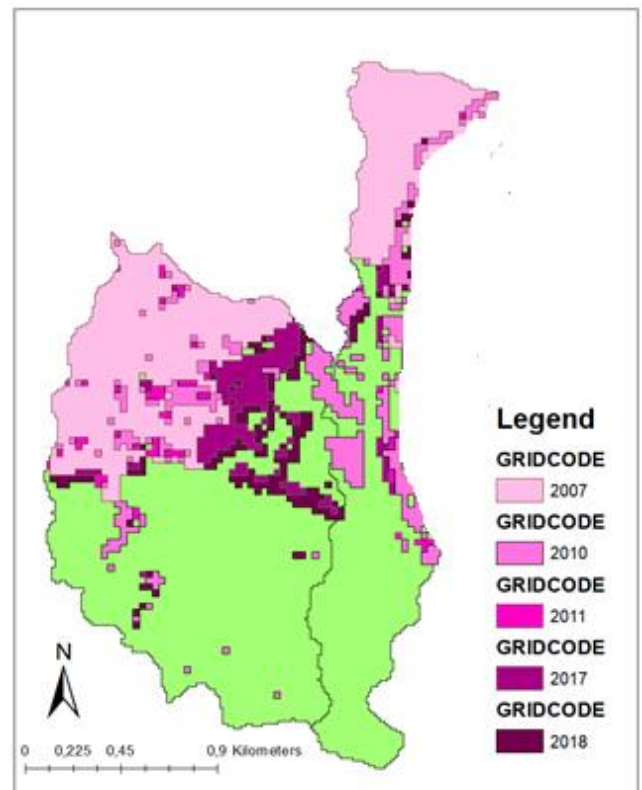


Figura 6. Cuencas Las Petras y Autopista con avance temporal del área urbanizada para el 2007, 2010, 2011, 2017 y 2018.

Puente Colmo

El avance poblacional en esta cuenca es bastante bajo en el tiempo entre el 2007 y el 2018, presentando una variación casi despreciable (**Figura 7**). Es por ello que la cuenca Puente Colmo se convertiría en la unidad hipótesis del futuro estudio hidrológico en la zona de estudio, para así con lo aprendido de su modelación y análisis de escenarios futuros elaborar comentarios de planificación territorial y gestión planificada del recurso hídrico. En la **Tabla 1** se resumen los valores obtenidos para las 4 clases dominantes dentro del área de estudio para el año 2018, información esencial para una correcta modelación hidrológica.

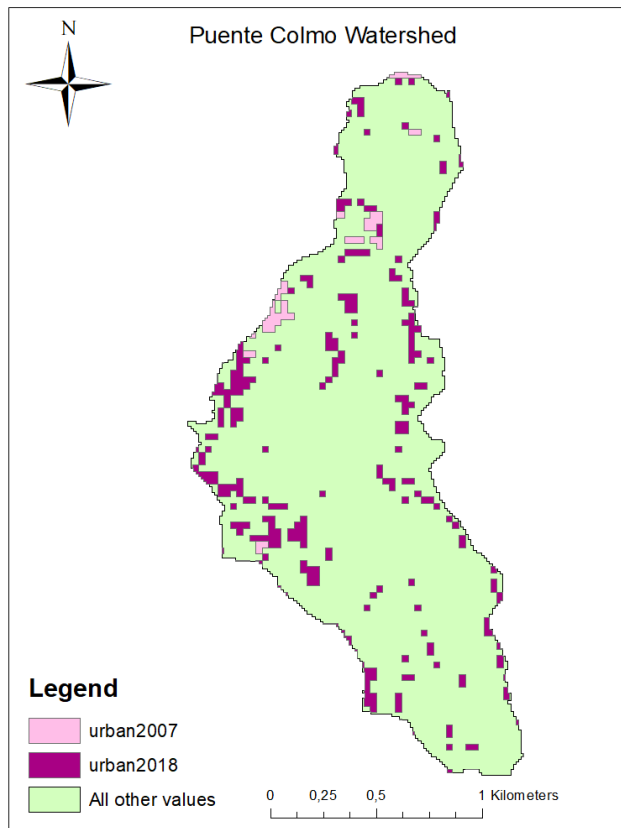


Figura 7. Avance área urbanizada cuenca Puente Colmo años 2007 y 2018.

Tabla 1. Usos y coberturas de suelo para las tres cuencas analizadas para el año 2018 según clases predominantes.

Class	Land use 2018		
	Las Petras [km2]	Autopista [km2]	Puente Colmo [km2]
Bare soil	0.06	0.06	0.87
Forest	0.81	0.61	0.98
Shrub	0.39	0.32	0.29
Urban	0.89	0.36	0.37
Total	2.14	1.35	2.51

3.5 Estrategia propuesta para futuros estudios hidrológicos

Previo a la confección del modelo hidrológico los datos de uso de suelos y topografía deben ser pre-procesados en ArcGIS 10.3 y luego llevados a escala de subcuencas usando Basins 4.1 para así ejecutar desde la interfaz de Basins the Hydrological Simulation Program Fortran (HSPF). HSPF es un programa versátil el cual es capaz de simular condiciones mixtas de uso de suelos, vegetación y urbano, con módulos para estudiar cantidades y calidades de aguas de flujos superficiales en cauces y canales (REF), tanto de fuentes puntuales como distribuidas.

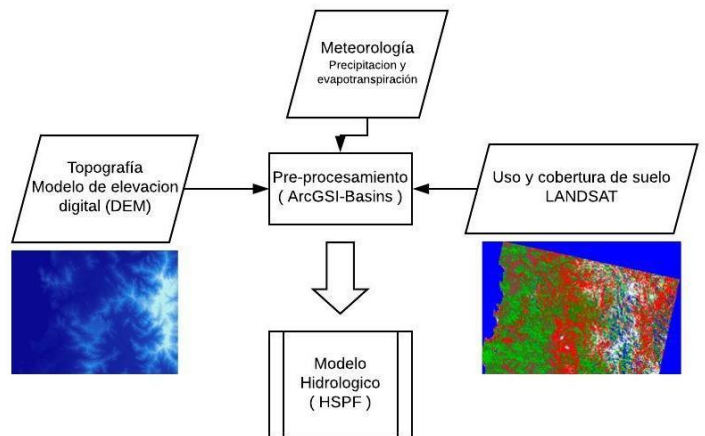


Figura 8. Diagrama de flujo para la generación de un modelo hidrológico.

3.6 Análisis de escenarios propuestos para estudios futuros

Cuando el modelo sea calibrado y validado se da paso a la etapa de análisis de escenarios. En esta parte los usos de suelos actuales serán modificados en HSPF para evaluar el comportamiento hidrológico en distintas condiciones de cobertura manteniendo constantes las demás variables relacionadas. En la **Figura 8** se presenta un esquema que resumen el procedimiento.

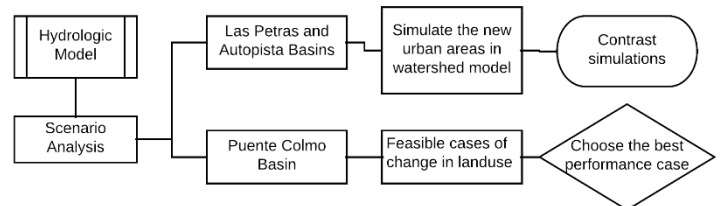


Figura 9. Diagrama de flujo que resume el procedimiento realizado para el análisis de escenarios futuros dentro de las cuencas de estudio.



Estos casos posibles fueron seleccionados según lo extraído de la literatura (plan regulador, 2017). El estado más desfavorable ocurrirá para la cuenca Las Petras y Autopista, donde su cobertura cambiará casi en su totalidad de vegetación a urbana según la proyección poblacional por generada el plan regulador de la ciudad de Concón para el año 2042. En el caso de la cuenca del Puente Colmo el escenario futuro es un poco menos claro por lo indicado en los documentos que regulan a la comuna, debido a que esta cuenca no está incluida en su totalidad dentro del área urbana definida por el plan regulador, esto nos indica que no se cuenta con una gestión adecuada para el manejo de las coberturas de suelos. Al no contar con información suficiente de cambios futuros en las coberturas se modelarán distintos casos que permitan evaluar el comportamiento hidrológicamente de la cuenca e identificar la combinación óptima.

Los casos de análisis consisten en:

- Caso 1: vegetación existe es reemplazada por 25% de áreas urbanas.
- Caso 2: vegetación existe es reemplazada por 50% de áreas urbanas.
- Caso 3: vegetación existe es reemplazada por 75% de áreas urbanas.
- Caso 4: vegetación existe es reemplazada por 100% de áreas urbanas.

4. Discusión

El acceso a información satelital de acceso libre y de buena calidad, en conjunto con el desarrollo de softwares, permiten a los investigadores procesar imágenes y así generar nueva, actualizada y confiable información espacial de usos de suelo reduciendo la incertidumbre en los resultados de las variables simuladas con respecto a este parámetro con una baja inversión de tiempo de investigación. Los resultados indican, al igual que lo señalado por Sandoval (2009,) que el principal motor de transformación en las coberturas de los suelos en la zona es la intervención humana.

Es necesario elaborar estudios hidrológicos en la zona de estudio que permitan determinar de forma cuantitativa la influencia de estos cambios en la hidrología de las cuencas en la zona.

5. Conclusiones

La información topográfica provista por entidades, públicas o privadas, presenta gran variabilidad espacial en los resultados entregados luego de ser procesada viéndose mayormente influenciada por la resolución de pixel que tengas estos archivos,

el año de muestreo y los procesamientos previos a la liberación de los datos. Bases de datos más gruesas y antiguas presentan menor definición en las delimitaciones y presentan drenajes muy diferentes a la realidad.

Los parámetros de entrada para la elaboración de un modelo hidrológico en Hydrological Simulation Program Fortran (HSPF)

6. Referencias

- [1] Sepúlveda Swatson, D. (2004). Chile: Momentos Urbanos y Demográficos del Siglo Veinte[Ebook] (1st ed.). Camilo Arriagada Luco. Jefe de Departamento de estudios DITEC. Extraído desde: http://www.minvu.cl/opensite_20070411164518.aspx
- [2] Ilustre Municipalidad de Concón. (2017). Ordenanza Publica Actualización Plan Regulador Concón. Recuperado de: <http://www.concon.cl/transparencia/varios-pladeco-cuenta-publica-1/plan-regulador-1.html?layout=table>
- [3] Lladó Javiel, M. (2016). *Crecimiento Inmobiliario en el Borde Costero de Valparaíso Análisis de los casos de Reñaca/ Concón y Algarrobo/ Mirasol*. Magister en Urbanismo. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- [4] DE GRANGE C, L. (2010). *El gran impacto del Metro*. EURE (Santiago), 36(107).
- [5] Muga W, E. and Rivas, M. (2009). *Chile: del país urbano al país metropolitano. Mutaciones y cambios en la estructura urbana del Área metropolitana de Santiago y Valparaíso*. 1st ed. [e-book] Santiago, Chile.: Rodrigo Hidalgo - Carlos A. de Mattos - Federico Arenas. Available at: http://geografia.uc.cl/images/serie_GEOlibros/del_pais_urbano/Eliana_Muga_Marcela_Rivas.pdf
- [6] Sandoval, G. (2009). *Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros*. (tesis para optar a título de geógrafo). universidad de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-sandoval_g/pdfAmont/aq-sandoval_g.pdf
- [7] United States Environmental Protection Agency (EPA). (2013). Basins (Version 4.1) [Windows]. <https://www.epa.gov/ceam/basins-download-and-installation> .
- [8] EXELIS visual information solutions. (2014). ENVI classic (Version 5.3) [Windows]. http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/ENVI_Classic_Intro.pdf



- [9] Álvarez. L. (2001). Cambios de paradigma *Valparaíso. Infiltración H30: Infiltración de las aguas. Serie: Territorio y paisaje. Magister territorio y paisaje (UDP)*. Instituto de Geografía (PUCV) 2016, paginas 12-15.
- [10] Insunza B, J. (2006). *Meteorología Descriptiva y Aplicaciones en Chile* [Ebook] (1st ed., p. Capítulo 15). Concepción. Extraído de:
http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap15_Inzunza_Climas%20de%20Chile.pdf14
- [11] Erazo Ch, A.M. (2010). *Impactos de cambios de uso de suelo en la escorrentía superficial en la cuenca del arenal Montserrat en la ciudad de san salvador en el periodo de 1992-2009 - El Salvador* (Investigadora Hidróloga). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN / Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET – El Salvador, El salvador. Recuperado de:
<http://www.snet.gob.sv/estudios/uploads/impactosCambioUsoSuelo.pdf>.

Atributos de liderazgo entre los Gerentes de Proyectos: Una Revisión desde el Desempeño y la Incertidumbre en los Proyectos de Remodelación de Edificios. Leadership Attributes among Project Managers: A Review from Performance and Uncertainty in Building Remodeling Projects.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Gonzalo Garces¹

¹Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Avda. Collao 1202 Casilla 5-C, Concepción, Región del Biobío
gegarces@ubiobio.cl. teléfono: +56 9 76560377

Historial del artículo:

Recibido
09-07-2019
Aceptado
16-04-2020
Disponible
25-04-2020

Palabras Clave:
Gerente de Proyecto
Liderazgo
Remodelación de
edificios
Desempeño
Incertidumbre.

Article history:

Received
09-07-2019
Accepted
16-04-2020
Available
25-04-2020

Keywords:
Project Manager
Leadership
Building remodeling
Performance
Uncertainty.

Resumen

Los gerentes de proyectos enfrentan desafíos y problemas constantes, especialmente en la industria construcción, por ejemplo, el estrés, la incertidumbre, la motivación, la comunicación efectiva, estilos de liderazgo, entre otros. Además, los líderes se encuentran bajo una presión constante para desarrollar más sus habilidades para manejar situaciones inciertas y mejorar el desempeño general del proyecto, en donde esto ha llevado a una alta rotación de los gerentes de proyecto en muchas organizaciones. Por otra parte, los proyectos de remodelación son muy diferente al de los proyectos de nuevos edificios, ya que las características claves asociadas con los proyectos de remodelación son únicos, arriesgados, altamente complejos y con alto nivel de incertidumbre a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Esta investigación tiene como objetivo identificar las cualidades potenciales de liderazgo entre los gerentes de proyectos de remodelación de edificios. Además, se determinarán las relaciones entre los factores de incertidumbre y el desempeño de los proyectos de remodelación según las cualidades de liderazgo. Para lograr este objetivo, se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva, proponiendo un modelo de investigación que sirve como base para una investigación más amplia sobre las cualidades de liderazgo entre los gerentes de proyectos, con el fin de manejar eficientemente las incertidumbres y mejorar el desempeño de los proyectos de remodelación de edificios.

Abstract

Project managers face constant challenges and problems, especially in the construction industry, for example, stress, uncertainty, motivation, effective communication, leadership styles, among others. Furthermore, leaders are under constant pressure to further develop their skills to handle uncertain situations and improve overall project performance, where this has led to a high turnover of project managers in many organizations. On the other hand, remodeling projects are very different from new building projects, since the key characteristics associated with remodeling projects are unique, risky, highly complex and with a high level of uncertainty throughout the project life cycle. This research aims to identify potential leadership qualities among managers of building remodeling projects. In addition, the relationships between uncertainty factors and the performance of remodeling projects will be determined based on leadership qualities. To achieve this objective, an exhaustive bibliographic search was carried out, proposing a research model that serves as the basis for a broader investigation of leadership qualities among project managers, in order to efficiently manage uncertainties and improve the performance of building remodeling projects.



1. Introducción

Numerosos sectores de la industria, como la tecnología de la información, la consultoría de gestión y la construcción, se basan cada vez más en proyectos, entre los cuales la construcción es probablemente la más grande y compleja (Sydow et al., 2004; Cheng et al., 2005; Whitley, 2006). La importancia de los gerentes de proyectos ha sido ampliamente reconocida en los sectores de la industria basados en proyectos, especialmente en la construcción (Cheng et al., 2005; Turner & Müller, 2005; Papke-Shields et al., 2010). Como resultado, se ha realizado una gran cantidad de esfuerzos de investigación para investigar a los gerentes de proyectos. Los estudios existentes sobre gerentes de proyecto se dividen en cinco categorías: (1) estudios sobre la competencia/habilidades de los gerentes de proyecto, como Crawford (2000) y Cheng et al. (2005); (2) estudios sobre la selección de gerentes de proyectos, como Ahsan et al. (2013) y Mohammadi et al. (2014); (3) estudios sobre el liderazgo de los gerentes de proyecto, como Turner & Müller (2005), Bossink (2004) y Yacob et al. (2017); (4) estudios sobre la personalidad y la inteligencia emocional (IE) de gerentes de proyectos, como Dolfi & Andrews (2007) y Zhang & Fan (2013); y (5) estudios sobre el papel de los gerentes de proyectos, como Ammeter & Dukerich (2002) y Sommerville et al. (2010). Estas investigaciones en su conjunto aportan a una comprensión actualizada de los conocimientos existentes de los gerentes de proyectos, así como a una gestión de proyectos más amplia.

Por otra parte, los trabajos de remodelación de edificios emplean elementos valiosos y funcionales para ampliar el uso de un stock de edificios antiguos y fuera de uso. Dichas obras pueden clasificarse como reparación, remodelación, restauración, modernización y ampliación (Ali & Rahmat, 2009; Yacob et al., 2018). Las obras de remodelación se inician por diversos motivos, como el deterioro físico, las diferencias en la funcionalidad a lo largo del tiempo, la dinámica de las actividades económicas, la innovación, los cambios tecnológicos, los problemas legales, la estética, las limitaciones del uso de suelo en zonas urbanas, entre otros (Ali et al., 2008; Rahmat et al., 2012). En países como el Reino Unido y Alemania, el trabajo de remodelación de edificios es uno de los sectores más importantes en la industria de la construcción, que contribuye a aproximadamente la mitad de la producción total de construcción (Ali et al., 2008). Además, Villa et al. (2013) mencionaron que los trabajos de remodelación existentes se han convertido en la prioridad de la Unión Europea para alcanzar su ambicioso objetivo de descarbonizar la industria para el año 2050, con el fin de disminuir la demanda de combustibles fósiles, del petróleo y otros hidrocarburos, como consecuencia, el calentamiento global se vería reducido.

La gestión de las obras de remodelación de edificios es altamente compleja, exigente, arriesgada, inherentemente, llena de incertidumbres, e involucra muchos imprevistos (Ali, 2014; Yacob et al., 2017). Además, las incertidumbres en los proyectos de remodelación son constantes a lo largo del ciclo de vida del proyecto y, con frecuencia, se enumeran como una razón para el bajo desempeño y rendimiento (Ali & Rahmat, 2009), siendo una de las causales del aumento de los costos y el tiempo estimado, debido a las incertidumbres en el proceso de diseño, la recuperación de información de diseño y los cambios de diseño son impredecibles durante la etapa de construcción.

Se han realizado gran número de investigaciones sobre proyectos de remodelación de edificios para gestionar los factores que contribuyen a las incertidumbres, sin embargo, estos hallazgos resultan complejos adoptarlos a la práctica, debido a las barreras técnicas y no técnicas (resultados cualitativos) que existen (Sunikka-Blank et al., 2012; Yacob et al., 2017). No es de sorprender, que la mayoría de los estudios se concentraran en las cuestiones técnicas, en comparación con los temas relacionadas con las cualidades de liderazgo de los gerentes de proyectos (Duit & Galaz, 2008; Yacob et al., 2017; González et al., 2018). Berg & Karlsen (2013) observaron que los gerentes de proyecto enfrentaban muchos desafíos y problemas de liderazgo, por ejemplo, en temas relacionadas con el estilo de liderazgo, el estrés, la incertidumbre, la motivación, el aprendizaje y el espíritu de trabajo en equipo. Además, los líderes se encuentran bajo una presión constante para desarrollar más sus habilidades para manejar situaciones inciertas, y mejorar el desempeño general del proyecto, en donde esto ha dado lugar a una alta rotación de los gerentes de proyecto en muchas organizaciones, especialmente en la industria de la construcción (Powell, 1995; Harrison et al., 1997; Harzing, 2001).

2. Competencias profesionales en Ingeniería

La evolución del concepto de competencias profesionales se ha desarrollado en varias etapas, teniendo en cuenta diversas contribuciones históricas del concepto, así como una perspectiva abierta, flexible y transdisciplinaria. La competencia es una amplificación del concepto de habilidad y calificación resultante de la rápida evolución tecnológica en la organización del trabajo y las actividades de planificación (Guerrero & De los Ríos-Carmenado, 2013). La competencia profesional es, por lo tanto, la suma de las competencias esenciales para llevar a cabo bien una tarea profesional. Hay ciertas cualidades, creencias, características y habilidades que le dan al individuo el potencial de desarrollar los comportamientos que le permiten completar con éxito su papel en una organización en particular (Figueroa-Rodríguez & De los Ríos, 2012). La competencia profesional es un paquete de conocimiento, actitud, habilidades y experiencia



relevante, que se requiere para tener éxito en un trabajo en particular (IPMA, 2009).

Entre todos los enfoques de competencia profesional, el enfoque holístico define la competencia profesional como el resultado de una mezcla de problemas personales subyacentes, como comunicación, autodesarrollo, creatividad, resolución de problemas y análisis; todos ellos se establecen como competencias objetivo, ya que permiten la existencia de competencias cognitivas, funcionales, conductuales y de valor ético que en general determinan la competencia profesional (Guerrero & De los Ríos-Carmenado, 2013). Sin lugar a dudas, se puede decir que en la sociedad basada en el conocimiento del nuevo milenio, el perfil de un buen ingeniero debe basarse en: capacidad y voluntad de aprender, conocimiento sólido de las ciencias naturales básicas y el profundo conocimiento de alguna tecnología, además de los valores humanos generales. Además, el ingeniero debe estar preparado para el aprendizaje permanente, así como ser capaz de comunicarse y trabajar en equipo, es por ello, que las competencias técnicas no son suficientes para el mundo actual (Maffioli & Augusti, 2003; Forcael et al., 2019). El ingeniero debe aprovechar las nuevas oportunidades y la educación técnica del futuro debe ser más integradora.

3. El rol de los Gerentes de Proyectos

La práctica contemporánea de gestión de proyectos exige que los profesionales de ingeniería no solo dominen la ingeniería, sino que también deben conocer los conceptos técnicos y tener una sólida formación en métodos de gestión de proyectos. La gestión de proyectos es ahora un gran negocio. Las tendencias internacionales muestran que las habilidades profesionales de gestión de proyectos se consideran un elemento clave e incluyen conceptos tales como: evaluación comparativa, madurez, certificación, aprendizaje y conocimiento (Winter et al., 2006; Kelly, 2007). En la actualidad, los graduados y posgraduados de Project Management encuentran un amplio abanico de oportunidades de empleo en todas las industrias y el sector público, especialmente en empresas de consultoría de ingeniería, construcción y energía, así como en el sector público (Pant & Baroudi, 2008).

Los capacitadores de gestión de proyectos y las investigaciones han puesto más énfasis en los modelos racionales, centrados en la dimensión técnica del proyecto, especialmente en la planificación y el control (Morris et al., 2006). Otras investigaciones demuestran la importancia de las ciencias sociales en los modelos de gestión de proyectos, integrando las competencias conductuales de la organización (Patton, 1997; Hodgson, 2002, De los Ríos, 2008; Nieminen & Lehtonen, 2008). Además, otros formadores e investigadores reconocen la

importancia de los modelos de gestión de proyectos para integrar las competencias contextuales que consideran los factores exógenos que influyen en los proyectos (Pellegrinelli, 1997; Morris et al., 2006; De los Ríos-Carmenado et al, 2011).

Dicho lo anterior, el rol de los gerentes de proyecto ha sido estudiado por varios investigadores y profesionales con diferentes puntos de vista. Por ejemplo, Ireland (1992) examinó el papel de los gerentes de proyecto para garantizar la satisfacción del cliente. Ammeter & Dukerich (2002) abordaron el papel de los gerentes de proyecto en la formación del equipo del proyecto. Liebowitz & Megbolugbe (2003) analizaron el rol de los gerentes de proyecto en la implementación de la gestión del conocimiento. Por otra parte, Blindenbach-Driessen & Ende (2006) afirman que los gerentes de proyecto sobresalen en la gestión de la innovación en empresas basadas en proyectos. Crawford & Nahmias (2010) enfatizaron el rol de los gerentes de proyecto en la gestión de cambios. Aunque Davis & Pharro (2003) identifican la gestión de relaciones como la próxima generación de gestión de proyectos, en donde pocos estudios hasta la fecha, han investigado sistemáticamente el papel de los gerentes de proyectos en la gestión de relaciones basada en proyectos. Bourne & Walker (2008) y Veal (2011) describieron la gestión de relaciones basada en proyectos, como la forma en que un gerente de proyecto y su equipo aportan y mantienen relaciones con las partes interesadas (stakeholders) correctas en el momento oportuno.

En los últimos años, ha habido una creciente evidencia de investigación sobre las cualidades de un gerente de proyectos y cómo influye en sus relaciones con el equipo de trabajo. Por ejemplo, Walker & Hampson (2003) y Davis & Walker (2009) ilustraron estrategias de adquisición basadas en relaciones para proyectos de construcción. Pryke & Smyth (2006) proporcionaron un enfoque de relación para la gestión de proyectos de construcción complejos, entregando un proyecto de construcción a través del desarrollo del capital de las relaciones sociales. Yeung et al. (2009) creó un índice de rendimiento para la gestión de proyectos de construcción basados en relaciones. Davis & Love (2011) presentaron una forma estructurada de desarrollo de relaciones para agregar valor a los proyectos de construcción. Meng (2012) demostró el efecto significativo de la gestión de relaciones en el desempeño del proyecto en la construcción. Jelodar et al. (2016) propuso un marco de calidad de relación en la gestión de proyectos de construcción. Todos estos estudios hacen un esfuerzo conjunto para describir la importancia de la gestión de relaciones que debe tener el gerente de proyecto, en un proyecto de construcción.



Una gran cantidad de problemas inquietan constantemente a la industria de la construcción al momento de gestionar los proyectos de remodelación de edificios (Mohammadi et al., 2014; Gotsis & Grimani, 2016; Yacob et al., 2017). Por esta razón, el establecimiento de criterios apropiados y sistemáticos es crucial para la selección exitosa del gerente del proyecto, que debe reflejar las necesidades y expectativas del cliente del proyecto. Por esta razón, que esta investigación pretende aportar hacia una visión más integral, a través de una revisión bibliográfica enfocada en las características de liderazgo entre los gerentes de proyectos de remodelación de edificios, como un elemento de impacto humano para la gestión de las incertidumbres y del desempeño en los proyectos de remodelación de edificios.

4. Estudios sobre las competencias requeridas entre los gerentes de proyectos

Entre los estudios sobre los gerentes de proyectos, las competencias y habilidades han atraído la mayor atención de la investigación. Por ejemplo, Crawford (2000) creó un perfil de gerentes de proyecto competentes. Clarke (2010) agrupó 24 elementos de competencia seleccionados del Marco de Desarrollo de Competencias del Project Manager del Project Management Institute en cuatro medidas de competencia: comunicación, trabajo en equipo, atención y gestión de conflictos. Bredillet et al. (2015) proporcionaron enfoques de definición y evaluación para ver “¿qué es un gerente de proyecto competente?” Desde la perspectiva aristotélica, y creyeron que el gerente de proyecto debería ser “sabio” y actuar “correctamente” o realizar una acción “buena” para llegar a ser competente. Por otro lado, Cheng et al. (2005) presentó un modelo en el Reino Unido, basado en competencias para el desempeño de los gerentes de proyectos para responder “¿qué hace un buen gerente de proyectos?”, en el que doce competencias son la orientación al logro, la iniciativa, la búsqueda de información, el enfoque en las necesidades del cliente, impacto e influencia, habilidad de administración y dirección, trabajo en equipo y cooperación, liderazgo de equipo, pensamiento analítico, pensamiento conceptual, autocontrol y flexibilidad. Ahadzie et al. (2008) en construcción desarrollaron medidas basadas en competencias para el desempeño de los gerentes de proyectos de construcción en países en desarrollo, que abarcan cuatro competencias de tareas (capacidad cognitiva, conocimiento del trabajo, dominio de la tarea y experiencia) y dos competencias contextuales (dedicación del trabajo y facilitación interpersonal).

Por lo tanto, escoger al gerente de proyecto apropiado es un desafío para cualquier organización basada en proyectos (Ahsan et al., 2013). Debido a ello, se puede usar un marco de desarrollo de competencias para evaluar el desempeño pasado y predecir el desempeño futuro de los gerentes de proyecto. Por ejemplo, Hadad et al. (2013) y Zavadskas et al. (2008) tuvo en cuenta la competencia y el desempeño al seleccionar los gerentes de proyecto. Ahsan et al. (2013) identificaron la comunicación, las habilidades técnicas, la gestión de las partes interesadas, la gestión de costos, la gestión del tiempo, los antecedentes educativos, la planificación, el liderazgo, la formación de equipos y la certificación profesional como los diez criterios principales para la selección del gerente de proyecto. Según Mohammadi et al. (2014) y Gotsis & Grimani (2016) la toma de decisiones para la selección del gerente de proyecto siempre implica complejidad e incertidumbre. Por esta razón, el establecimiento de criterios apropiados y sistemáticos es crucial para la selección exitosa del gerente del proyecto, que debe reflejar las expectativas y necesidades del cliente del proyecto.

Cabe mencionar que, el ambiente laboral, ejerce una presión constante sobre el gerente de Proyectos para que desarrolle aún más sus habilidades y sea capaz de manejar situaciones inciertas y riesgosas. El conocimiento, la madurez y las habilidades que se requieren del gerente de proyectos influyen considerablemente tanto en el éxito como en el fracaso del proyecto (Nilsson, 2001, p. 14; Das, 2019). En un entorno tan cambiante como el que vivimos hoy, dentro de la empresa es un factor importante que decide cómo se puede y se debe llevarse a cabo el liderazgo, por ende, la capacidad individual de aceptar el cambio que viene del exterior, así como la capacidad dentro de la empresa recae sobre el líder, que decide el posible resultado de sus acciones (Nilsson, 2001, p. 15), es decir, sin la libertad de acción dentro de una empresa, la capacidad del líder para aceptar el cambio no importará. Inevitablemente, pasar de un entorno estable a uno complejo y en constante cambio requiere nuevas habilidades y cualidades de liderazgo (Powell, 1995), en donde la presencia de diversas incertidumbres requiere cualidades de liderazgo específicas entre los gerentes de proyecto para gestionarlas (Gregersen et al., 1998; Hodgson & White, 2003). Además, la mejora de la moral de los miembros del equipo y su desempeño comienza con el líder, como lo demuestra el jefe de departamento o gerente (Mitchell et al., 2015). De manera similar, Jaeger & Adair (2010) descubrieron que la gestión exitosa de los proyectos de construcción depende principalmente del nivel de compromiso entre los gerentes de proyecto.



Además, en una economía cada vez más global, la competitividad del mercado económico requiere que un gerente que confíe en herramientas que le permitan alcanzar la máxima rentabilidad de su empresa, utilizando herramientas de gestión e innovación para mantenerse actualizado en el mercado, en este sentido, los profesionales de ingeniería de proyectos necesitan orientación para ayudarlos a comprender los principios básicos de la gestión de proyectos (Kerzner, 2019, Peña et al., 2020). Las normas internacionales pueden ayudar a quienes participan en proyectos a mejorar el éxito de una amplia variedad de tipos de proyectos. ISO 21500 es el primero de una familia planificada de estándares profesionales de gestión de proyectos, también es una guía básica, dirigida al lector informado sin un conocimiento profundo de la gestión de proyectos (ISO, 2013). Por otro lado, una de las herramientas más usadas a nivel mundial es la guía del PMBOK®, del inglés “A Guide to the Project Management Body of Knowledge” (Project Management Institute, 2017). De acuerdo con la guía PMBOK®, se espera que un director de proyecto gestione a lo más 49 procesos según los requisitos del caso incluyendo las siguientes diez áreas de conocimiento: Integración, Alcance, Cronograma, Costo, Calidad, Recursos, Comunicaciones, Riesgo, Adquisiciones e Interesados (Stakeholders). También, la Asociación Internacional de Gestión de Proyectos (en inglés, International Project Management Association – IPMA) ha definido un grupo de elementos de competencia para la gestión de proyectos, con un enfoque holístico y detallado, que lo hace adecuado para servir como base para determinar la codificación de competencia requerida por un graduado de educación superior (De los Ríos-Carmenado, 2015).

Dicho lo anterior, en esta investigación, se propondrán nuevas orientaciones para la investigación futura, que consiste en considerar las cualidades de liderazgo entre los gerentes de proyectos de remodelación de edificios como un elemento de impacto humano para la gestión de incertidumbres en los proyectos de remodelación de edificios. El resto de este documento está organizado de la siguiente manera: (a) Metodología; (b) Discusiones, proponiendo un modelo de investigación; y (c) Conclusiones, con sugerencias para futuras investigaciones.

5. Metodología

Esta investigación comienza con una revisión exhaustiva de la literatura relevante de los últimos 25 años, según la base de datos de Web of Science y Scopus. La revisión bibliográfica proporcionó una comprensión actualizada de los conocimientos existentes sobre los gerentes de proyectos. Toor & Ofori (2008) reconocieron que los métodos de investigación cualitativa se caracterizan por el supuesto de que el comportamiento humano puede explicarse por hechos sociales. Por lo tanto, se aplicó como evidencia para la metodología de investigación adoptada en esta investigación. La metodología general de esta investigación se muestra en la **Figura 1** y se detalla secuencialmente en las siguientes subsecciones.

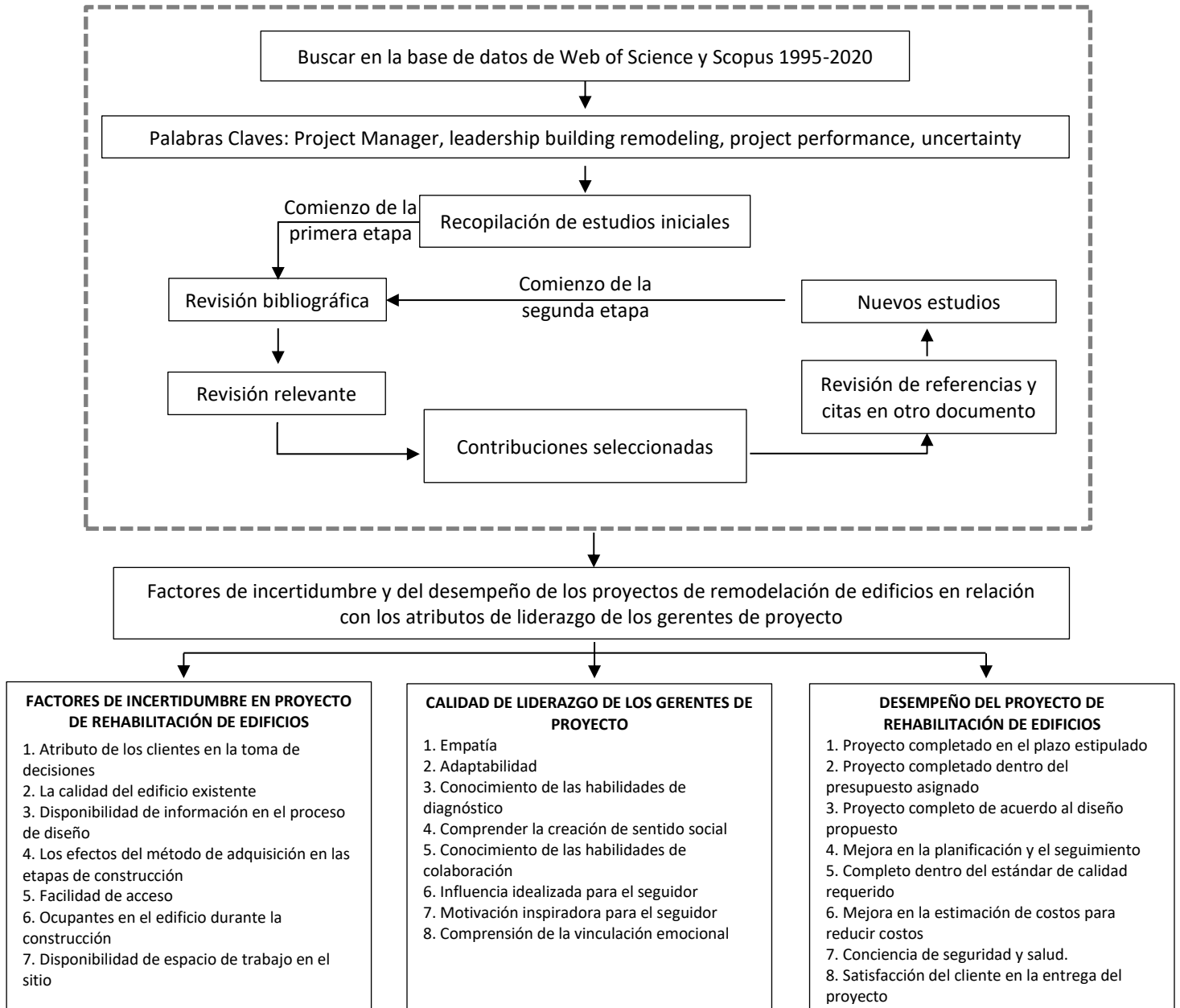


Figura 1 Proceso General de la investigación. Fuente: Adaptado de MacKinnon, 2012; Cooper, 2015; Sierra et al., 2018.

En este estudio, la etapa inicial fue revisar las cualidades de liderazgo de los gerentes de proyectos de remodelación de edificios. Se revisaron artículos científicos para identificar las relaciones entre los factores de incertidumbre en la construcción de proyectos de remodelación y el desempeño del proyecto. Además, se identificaron los principales motivos de la incertidumbre de los proyectos de remodelación (Tabla 1), y los principales motivos del desempeño de los proyectos de remodelación de edificios (Tabla 2), en donde se identificaron

también las principales referencias bibliográficas sobre las cualidades de liderazgo que se esperan de los gerentes de proyectos de restauración de edificios (Tabla 3). Los artículos restantes proporcionaron información de apoyo para el presente estudio. Por lo tanto, después de un análisis basado en la revisión de la literatura, las relaciones identificadas permitieron proponer un modelo de investigación que respalde las cualidades de liderazgo deseables entre los gerentes de proyectos de remodelación de edificios.

5.1 Incertidumbres en proyectos de remodelación

Muchos investigadores concordaron en que, en comparación con los nuevos proyectos, el alcance del trabajo para los proyectos de remodelación de edificios es muy diferente. Esto incluye características claves como la singularidad, el alto riesgo, las incertidumbres y el difícil manejo (Quah, 1992; Egbu, 1999; Rahmat & Ali, 2010; Saurin et al., 2013). En este contexto, las incertidumbres pueden significar diferencias en la cantidad de información disponible para implementar una tarea específica (Rahmat & Ali, 2010). Además, la incertidumbre también se define como algo relacionado con la “falta de certeza” y la “ambigüedad” que apunta a una deficiencia en los datos, elementos, recursos de trabajo y suposiciones (Saurin et al., 2013). Por otro lado, Egbu et al. (1998) informaron que la gestión de proyectos de remodelación incluye el manejo de los riesgos del proyecto y los factores de incertidumbre en los que la condición puede cambiar drásticamente. Por lo tanto, esto requiere mucho conocimiento e información para mejorar el desempeño general de un proyecto. Además, la evaluación del riesgo implica investigar la probabilidad conocida, mientras que la incertidumbre se refiere a eventos en los que no es posible cuantificar la probabilidad o la posibilidad de que ocurra (Ekung & Onwusonye, 2015). En consecuencia, la ligera modificación del proceso de gestión para llevar a cabo trabajos de rehabilitación exitosos no es suficiente. Además, se observa que las incertidumbres en los proyectos de remodelación son persistentes a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Ali & Rahmat,

2009). Estos pueden volverse más complejos e inciertos cuando las obras de remodelación incluyen modificaciones estructurales, que son más peligrosas e implican operaciones difíciles, y deben ejecutarse con precaución (Ali, 2010).

Por otro lado, los factores de incertidumbre podrían controlarse y minimizarse a través de las buenas relaciones entre todos los participantes del proyecto, especialmente con las autoridades locales (Reyers & Mansfield, 2001; Miller & Hobbs, 2007). Otras cuestiones relacionadas con los proyectos de remodelación incluyen la falta de información sobre las instalaciones operativas, la limitación de espacio para los proyectos de reconstrucción, el mantenimiento de la seguridad y la salud, y la participación de muchas partes interesadas, como los propietarios de edificios (McKim et al., 2000). Además, la planificación de las obras de remodelación puede ser exigente y requiere más flexibilidad. Esto ocurre cuando las solicitudes frecuentes de cambio de diseño por parte de los clientes y los diseños sin terminar (debido a problemas que solo se revelan durante la etapa de construcción), han contribuido a las variaciones en el alcance del trabajo y el tiempo excedido. Yacob et al. (2017) estableció que los atributos humanos y las cualidades de liderazgo de los gerentes de proyectos tienen una relación significativa con las incertidumbres en los proyectos de remodelación (**Tabla 1**). Sin embargo, la literatura existente contiene información limitada sobre este tema. En consecuencia, es oportuno e importante desarrollar una solución alternativa para gestionar las incertidumbres en los proyectos de restauración a través de las cualidades de liderazgo específicas entre los gerentes de proyectos.

Tabla 1. Incertidumbres en proyectos de remodelación de edificios.

Dimensiones	Autores
1. Proceso de planificación y control Integración de todas las partes, secuencia y coordinación del trabajo, gran número de subcontratistas y problemas de fragmentación	Den; Laufer et al., 1996; Hartog et al., 2007; Rahmat & Ali, 2010; Christiansen, 2012; Shah, 2012; Strachan, 2013; Yacob et al., 2017.
2. Proceso de diseño Experiencia, conocimiento, satisfacer requisitos multidisciplinarios, e involucrar a muchos participantes.	Stone, 1976; Baldwin et al., 1999; Ali et al., 2009.
3. Trabajos de reacondicionamiento en edificios ocupados Se interfiere el uso normal de los residentes, la interrupción del flujo del proceso de trabajo, la dificultad para determinar las necesidades de los residentes y las situaciones impredecibles	Daoud, 1997; Egbu et al., 1998; Quah, 1998; Mitropoulos & Howell, 2002; Noori et al., 2016; Yacob et al., 2017.
4. Requisitos legales Afectados por la complejidad de la ley, los cambios y las actualizaciones afectan la aprobación, las inconsistencias en los requisitos de diseño y las experiencias requeridas	Keeping & Shiers, 1996; Holm, 2000; Hardie et al., 2007.
5. Métodos de adquisición El tipo de adquisición influye en el nivel de incertidumbre, la gestión del contrato de contratistas especializados y la insuficiencia de las especificaciones	Abdul Rashid et al., 2006; Ali & Au-Yong, 2013; Yacob et al., 2017.

5.2 Desempeño de proyectos de remodelación

La incertidumbre de los proyectos de remodelación, ha sido una de las razones del bajo desempeño. Esto se debe a que la remodelación implica un nuevo diseño, modificaciones estructurales, altos contenidos de las obras de servicio, así como problemas de eficiencia energética y sostenibilidad. Estos pueden ser sensibles, peligrosos y requieren la implementación de precauciones de seguridad adicionales (Egbu et al., 1998; Yacob et al., 2017). Específicamente, los trabajos de remodelación requieren una mayor participación de todos los interesados en el proceso de toma de decisiones para reducir la fragmentación en las etapas de diseño y construcción. Sin embargo, esto no se ha puesto en práctica ya que más de la mitad de los proyectos han superado los objetivos de presupuesto y tiempo (Rahmat & Ali,

2010; Yacob et al., 2017). Además, Thomas et al. (2002) y Josephson & Lindstrom (2007), acordaron que el desempeño de un proyecto podría medirse utilizando numerosos parámetros relacionados con los aspectos de costo, tiempo y calidad. Específicamente, los parámetros que afectan el desempeño de los proyectos de remodelación incluyen variaciones en el tiempo, variaciones en el costo, porcentaje de variaciones en el trabajo, promedio de quejas recibidas y promedio de incumplimiento reportado (Egbu, 1999; Tang & Ng, 2014; Mokhtar, 2015). Una contribución importante de este estudio actual se relaciona con la recopilación de las dimensiones de desempeño bien establecidas identificadas en investigaciones anteriores (**Tabla 2**), así como verificar las relaciones entre el desempeño de los proyectos de remodelación y los factores de incertidumbre utilizando las cualidades de liderazgo de los gerentes de proyecto como la variable mediadora.

Tabla 2. Desempeño en proyectos de remodelación de edificios.

Dimensiones	Autores
<p>1. Trabajo de variación Toma de decisiones por parte de clientes y consultores. La ausencia de las facturas de cantidades durante la licitación puede dar lugar a grandes variaciones en las obras.</p>	Ballard & Howell 1994; Thomas et al., 2002; Josephsonm & Lindstrom, 2007; Thylin & Andersson, 2009.
<p>2. Variaciones de tiempo Problemas de pago y comunicación con clientes y consultores. El pago no realizado por las variaciones en el trabajo por parte del cliente, es resultado en una gestión poco saludable del flujo de efectivo por parte de los contratistas, causando una variación en el tiempo, y el contratista sufrirá una pérdida de ingresos mensual</p>	Dissanayaka & Kumaraswamy, 1999; Thomas et al., 2002; Chan & Chan, 2004; Josephsonm & Lindstrom, 2007; Thylin & Andersson, 2009.
<p>3. Las variaciones de costos Flujo de efectivo, cambio de orden y elementos ausentes en las Facturas de cantidades. El costo es a menudo más alto que el especificado en el contrato original debido a la falta de detalles de diseño y especificación, y la ausencia de las facturas de cantidades durante la licitación</p>	Thomas et al., 2002; Josephsonm & Lindstrom, 2007; Thylin & Andersson, 2009.
<p>4. Número de informes de no conformidad Calidad del trabajo, habilidades comunicativas y satisfacción del cliente. La mala planificación y el control retrasarán los proyectos de remodelación. Específicamente, una secuencia de trabajo incorrecta hace que el contratista incurra en costos más altos, calidad de trabajo deficiente, aumentos en los porcentajes de trabajo y costos adicionales, así como en informes de incumplimiento.</p>	Thomas et al., 2002; Tam et al., 2006; Josephsonm & Lindstrom, 2007; Thylin & Andersson, 2009; Maciel et al., 2016
<p>5. Número de quejas por satisfacción de clientes y ocupantes La efectividad del proceso de remodelación depende en gran medida de la calidad de las comunicaciones entre las partes involucradas que pueden reducir el fracaso. La mala calidad del trabajo ejecutado puede llevar a quejas por parte del cliente. La atención debe centrarse en la satisfacción de los ocupantes y los problemas socioculturales que puedan surgir durante la remodelación o restauración del edificio.</p>	Thomas et al., 2002; Dainty et al., 2003; Josephsonm & Lindstrom, 2007; Thylin & Andersson, 2009; Tang & Ng, 2014; Noori et al., 2016.



5.3 Cualidades de liderazgo esperadas de los gerentes de proyecto para dirigir el desempeño del proyecto de remodelación de edificios

Según Bassioni et al. (2014), el liderazgo es la combinación de las características sólidas de una persona, alineado con la visión y misión de una organización para lograr los objetivos específicos. Por otro lado, el papel de los gerentes de proyectos de remodelación se refiere a la aplicación de habilidades y conocimientos a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Egbu et al., 1998). Además, hay algunas superposiciones en los niveles de gestión que están asociadas con la planificación, el manejo de conflictos y crisis, el bienestar de los habitantes, la capacidad de integrar equipos multidisciplinarios, y el proceso de toma de decisiones (Noori et al., 2016). Sin embargo, estas tareas son totalmente diferentes, lo que refleja la naturaleza incierta y altos niveles de complejidad, en comparación con la gestión de la construcción de nuevos edificios (Yacob et al., 2017).

Basado en estudios anteriores, como los de Cohen & March (1974), el liderazgo es el arte de influir en otros para que alcancen su máximo nivel de desempeño y rendimiento, para realizar cualquier tarea. Murphy (1997) había enfatizado la importancia de seleccionar a las personas adecuadas para lograr el éxito organizacional. Además, en el mercado de ritmo acelerado y competitivo a nivel mundial, los líderes deben adoptar una nueva mentalidad global. Investigadores como Yang et al. (2011) acordaron que la implementación de los proyectos requiere líderes de construcción que puedan desempeñar un papel clave para garantizar que el proceso comience sin problemas de modo que contribuya positivamente al desempeño del proyecto. Por otra parte, Yacob et al. (2017) concluyó que para gestionar las diversas incertidumbres, se necesitan cualidades de liderazgo específicas entre los gerentes de proyecto. Aparte de eso, Montequin et al. (2015) declaró que las situaciones inciertas podrían exponer gravemente la calidad del liderazgo.

Hanna et al. (2016) recomendó que los gerentes de proyecto deberían enfocarse en desarrollar sus habilidades cognitivas, habilidades gerenciales, experiencia y comprensión de todas las fases del proyecto. Además, Udhayakumar & Karthikeyan (2014) afirman que durante la ejecución del proyecto, la calidad del liderazgo afectaría el desempeño del proyecto. La gestión exitosa de los proyectos de construcción se basa principalmente en el nivel de compromiso mostrado por el gerente del proyecto (Jaeger & Adair, 2010). Por otra parte, cuando se mejora la visión y el comportamiento de los miembros del equipo, los gerentes de proyectos se sienten más comprometidos con su equipo y serían más cooperativos (Den Hartog, 2007; Martinuzzi, 2009). Además, el poder de influencia es un criterio importante, necesario para

alcanzar objetivos específicos y extraer el máximo desempeño de los miembros del equipo (Cohen & March, 1974). Por lo tanto, un gerente de proyecto desempeña un papel vital en la entrega exitosa del proyecto. Montequin et al. (2015) enfatizaron que los gerentes de proyectos más eficientes compartían rasgos comunes como la extroversión, el juicio racional y el comportamiento estructurado. Por otra parte, Hanna et al. (2016) afirmó que las cuestiones relacionadas con los elementos humanos, en particular las relacionadas con los directores de proyectos, eran la clave para resolver los problemas de productividad. Debido a ello, ser un líder exitoso significa ser adaptable, flexible y capaz de liderar cambios, además de obtener lo mejor de los demás participantes del proyecto.

El cambio constante requiere mejoras en las cualidades de liderazgo, como la construcción de redes técnicas y políticas extensas, la colaboración y el compromiso con los miembros del personal y las partes interesadas, y la adquisición de la inteligencia social y las habilidades conceptuales para lograr resultados (Hodge & Greve, 2012; Muldoon, 2018). Las cualidades de liderazgo de los gerentes de proyecto pueden ayudar a formar una cultura de alto desempeño y elevar la barra de rendimiento de los miembros del equipo (Yacob et al., 2018). La investigación de Egbu (1999) sobre habilidades, conocimientos y competencias para la gestión de obras de remodelación de edificios se basó en los comentarios proporcionados por los directores de proyectos. Las organizaciones identificaron desafíos y oportunidades en las que la supervivencia del proyecto dependía de las habilidades, conocimientos y competencias necesarios de sus empleados, así como los procesos, productos, servicios, tecnologías y mercados innovadores.

Del mismo modo, Udhayakumar & Karthikeyan (2014) identificaron que un gerente de proyecto debe cumplir con cualidades específicas para ser un individuo capaz que pueda manejar un equipo. Se propusieron cualidades de liderazgo necesarias para gestionar un equipo de manera efectiva; conocimiento, puntualidad, personalidad, perfeccionista al mostrar ejemplos, aptitud física, dedicación, y participación plena en el trabajo, capaz de enfrentar valientemente los desafíos. Además, no existe una única forma de liderazgo que sea adecuada para todas las circunstancias del proyecto. Sin embargo, para enfrentar problemas, se requieren sólidas cualidades de liderazgo, como habilidades de comunicación, formación de equipos, toma de decisiones, sentido de responsabilidad, visión, planificación y estrategia, habilidades de gestión de relaciones, empoderamiento, ética, influencia e integridad (Yang et al., 2011). Así, a través de la búsqueda bibliográfica, en la **Tabla 3** se identificaron 14 cualidades de liderazgo deseables para los gerentes de proyectos de remodelación de edificios asociados con factores de incertidumbre y desempeño del proyecto.

Tabla 3. Cualidades de liderazgo deseables para gerentes de proyectos de remodelación de edificios.

Dimensiones	Autores
<p>1. Inteligencia emocional Ante las incertidumbres, los humanos reaccionan de forma exagerada. No obstante, las personas exitosas pueden anular este mecanismo y cambiar su pensamiento hacia una dirección racional. Esto requiere inteligencia emocional.</p>	<p>Bradberry & Greaves, 2006; Yacob et al., 2017</p>
<p>2. Enfoque Las personas que son mejores para tomar decisiones, cuando enfrentan incertidumbres no pierden el tiempo.</p>	<p>Hodgson & White 2003; Bradberry & Greaves 2006; Yacob et al., 2017</p>
<p>3. Perseverancia y flexibilidad En un mundo incierto con recursos limitados, la perseverancia y la flexibilidad se han convertido en habilidades críticas. Perseverar es creer en la dirección elegida y superar dificultades y tropiezos mientras se avanza hacia objetivos y metas establecidas.</p>	<p>Hodgson & White, 2003; Schwegler, 2006; Udhayakumar & Karthikeyan, 2014; Yacob et al., 2017</p>
<p>4. Comunicación efectiva Ninguna de las dimensiones anteriores se puede lograr sin una comunicación efectiva y habilidades para escuchar a los demás. La comunicación efectiva implica la capacidad de participar en un diálogo transparente, abierto y frecuente con los miembros del personal y las partes interesadas.</p>	<p>Mazur & Pisarski, 2015; Sun et al., 2015; Nasaruddin & Rahman, 2016; Yacob et al., 2017</p>
<p>5. Integridad Demostrar honestidad y otros valores morales tanto en la vida personal como profesional, que las partes interesadas ven como un modelo a seguir.</p>	<p>Hind et al., 2009; Montequin et al., 2015; Yacob et al., 2017</p>
<p>6. Inspirador Tener una adecuada visión, proporciona una plataforma para empoderar a otros, dando la estructura social necesaria para lograr la visión.</p>	<p>Levine et al., 2010; Yang et al., 2011; Udhayakumar & Karthikeyan, 2014; Yacob et al., 2017</p>
<p>7. Optimismo Permite a los gerentes de proyecto superar los impedimentos asociados con el ambiente de trabajo</p>	<p>Davis & Cable, 2006; Dolfi & Andrews, 2007; Meng & Boyd, 2017</p>
<p>8. Intelectual La estimulación intelectual es la capacidad de un líder para al equipo a descubrir nuevas formas de realizar tareas.</p>	<p>Levine et al., 2010; Shadraconis, 2013; Udhayakumar & Karthikeyan, 2014; Yacob et al., 2017</p>
<p>9. Motivacional Motivar e inspirar al equipo de trabajo, estableciendo expectativas realistas y demostrando compromiso con una visión compartida</p>	<p>Oke et al., 2009; Yacob et al., 2017</p>
<p>10. No buscar solo los intereses propios Valorar los intereses de las partes interesadas, en lugar de utilizar a las personas para obtener ganancias individuales</p>	<p>Crane & Matten, 2004</p>
<p>11. Empatía El poder de proyectar la personalidad, incluidas las habilidades sociales y verbales, y el lenguaje corporal</p>	<p>Thylin & Andersson, 2009; Yacob et al., 2017</p>
<p>12. Orientación a largo plazo Enfocado en objetivos a largo plazo, y no presionado con objetivos diferentes y competitivos</p>	<p>Hind et al., 2009; Yacob et al., 2017</p>

13. Transparencia

Mantenerse al tanto de la incertidumbre se trata tanto de planear para el fracaso como esperar lo mejor. Los expertos en el manejo de las incertidumbres no dudan en admitir que podrían estar equivocados, y eso los libera para hacer planes de contingencia detallados, racionales y transparentes antes de actuar. Esto también implica revelar malas noticias y ofrecer comentarios positivos y críticos para reforzar los mejores comportamientos.

Bradberry & Greaves, 2006; D’Amato & Roome, 2009; Yacob et al., 2017

14. Confianza y humildad

Crear en la capacidad propia y en un liderazgo efectivo están directamente relacionados. Los líderes confiados son seguros de sí mismos en sus propios juicios y habilidades

Smith & Imbrie, 2004; Meng & Boyd, 2017; Yacob et al., 2017;

6. Discusiones

Durante los últimos años, la academia y la industria de la construcción en general, han revelado que los factores principales para el éxito profesional no provienen exclusivamente del conocimiento técnico; el éxito proviene de una dimensión de competencia, y más específicamente de las competencias conductuales y contextuales. También han surgido procesos de certificación que sirven a un grupo de profesiones para garantizar que se satisfaga la necesidad de la sociedad de garantizar que las personas tengan las habilidades adecuadas para un perfil profesional particular. Por lo tanto, es lógico conocer e integrar estos estándares internacionales como un paso necesario para la capacitación adecuada de los gerentes de proyectos. Los hallazgos de la revisión bibliográfica, muestra que una combinación de cualidades específicas permitiría a los gerentes de proyecto ser líderes más efectivos, permitiendo atraer a otros, a través de un compromiso enfocado, unir a su equipo para lograr

el desempeño del proyecto e inspirar a los miembros del equipo al hacer que se sientan valorados. Además, la mayoría de los líderes influyentes podrían motivar a su equipo a través de la identificación conjunta con el objetivo colectivo y la visión. Las cualidades de liderazgo esperadas de los gerentes de proyectos de remodelación de edificios se identificaron según la naturaleza de los proyectos de remodelación, que incluye la relación entre el desempeño del proyecto y las incertidumbres. Por lo tanto, las cualidades de liderazgo se consideran dimensiones cruciales que afectan el proceso de gestión de incertidumbres en los proyectos de remodelación. Por otro lado, se observó que las cualidades de liderazgo de los gerentes de proyectos de remodelación, como elemento de impacto humano, rara vez fueron examinados en investigaciones anteriores por otros. En consecuencia, se identificó una brecha de conocimiento. Finalmente, en la **Figura 2** se propone un modelo de investigación sobre la base de los hallazgos de la literatura.

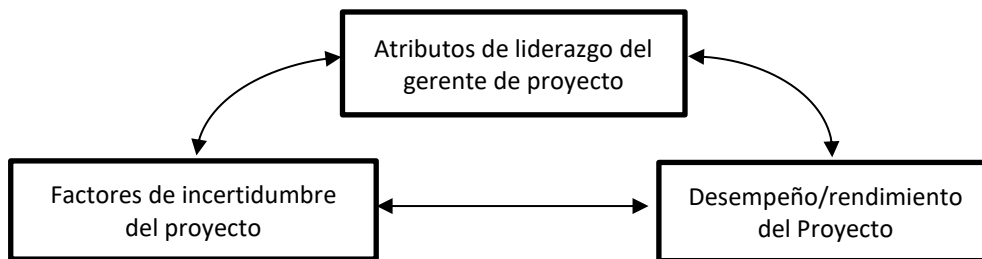


Figura 2. Propuesta de Modelo de investigación (adaptado de Bradberry & Greaves, 2006; Yacob et al., 2018).

Por lo tanto, este estudio actual amplía el alcance de la literatura existente sobre la relación entre el desempeño del proyecto y las incertidumbres, abarcando aspectos de tiempo, costo y calidad con cualidades de liderazgo entre los gerentes de proyectos de remodelación de edificios como una variable mediadora. Por último, se pueden realizar estudios futuros para replicar y probar el modelo de investigación propuesto, considerando el factor empírico para relacionar las características de liderazgo entre gerentes de proyecto, el desempeño y la incertidumbre en los proyectos de remodelación del edificio.

7. Conclusiones

Las competencias implican una amplia gama de conocimientos, procedimientos y actitudes que se combinan e integran y que deben conocerse individualmente para convertirse en profesionales. También incorpora la ética, los valores y la práctica como elementos en el dominio, lo que permitirá al gerente de proyectos actuar de manera efectiva en situaciones profesionales. En este sentido, esta investigación ha proporcionado una descripción general centrada en las relaciones entre los factores de incertidumbre y el desempeño del proyecto, con cualidades de liderazgo entre los gerentes de proyectos de remodelación de edificios como una hoja de ruta. Además, se reveló una brecha en el conocimiento, observándose que se han realizado pocos estudios sobre las cualidades de liderazgo entre los gerentes de proyectos de remodelación de edificios, específicamente sobre la gestión de los factores de incertidumbre.

La primera área de contribución es conceptual, con el concepto de factores de incertidumbre en la construcción de proyectos de remodelación. La segunda área es metodológica, que consiste en verificar y validar la escala para medir las dimensiones de la relación entre los factores de incertidumbre y el desempeño del proyecto. Además, la metodología puede extenderse mediante pruebas estadísticas de los efectos mediadores de las cualidades de liderazgo entre los gerentes de proyectos de restauración de edificios. Y podría extenderse a una tercera área que se relacionaría con las contribuciones empíricas, en las que se puede realizar un análisis de investigación para extender y verificar el efecto integrado de las incertidumbres en el desempeño del proyecto con cualidades de liderazgo de los gerentes de proyecto. La capacidad de gestionar los factores de incertidumbre mejorará el desempeño del proyecto y ayudará a controlar las variaciones de costos, las variaciones de tiempo y la calidad. Dicho lo anterior, en una economía cada vez más global, los gerentes de proyectos deben tener las competencias y habilidades necesarias para enfrentar situaciones complejas, además de una orientación para poder comprender los principios básicos para mejorar el rendimiento en proyectos de remodelación de edificios sin dejar

de lado la constante incertidumbre que puede existir. Finalmente, se espera que este estudio contribuya con nueva información al cuerpo de conocimiento existente, y se recomienda una investigación empírica adicional para justificar y validar los hallazgos anteriores.

8. Referencias

- [1] Abdul Rashid, R., Mat Taib, I., Ahmad, W., Basiron, W., Nasid, M., Wan Ali, W. N., & Mohd Zainordin, Z. (2006). Effect of procurement systems on the performance of construction projects. Department of Quantity Surveying, Universiti Teknologi Malaysia.
- [2] Ahadzie, D. K., Proverbs, D. G., & Olomolaiye, P. (2008). Towards developing competency-based measures for construction project managers: Should contextual behaviours be distinguished from task behaviours?. *International Journal of Project Management*, 26(6), 631-645.
- [3] Ahsan, K., Ho, M., & Khan, S. (2013). Recruiting project managers: A comparative analysis of competencies and recruitment signals from job advertisements. *Project Management Journal*, 44(5), 36-54.
- [4] Ahsan, K., Ho, M., & Khan, S. (2013). Recruiting project managers: A comparative analysis of competencies and recruitment signals from job advertisements. *Project Management Journal*, 44(5), 36-54.
- [5] Ali, A. S. (2010). Design information in managing refurbishment projects in Malaysia. *International Journal of Physical Sciences*, 5(6), 768-773.
- [6] Ali, A. S. (2014). Complexity in Managing Refurbishment Design Process: Malaysian Experience. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 15, p. 01030). EDP Sciences.
- [7] Ali, A. S., & Au-Yong, C. P. (2013). The designer in refurbishment projects: implications to the compatibility of design. *Structural Survey*, 31(3), 202-213.
- [8] Ali, A. S., & Rahmat, I. (2009). Methods of coordination in managing the design process of refurbishment projects. *Journal of Building Appraisal*, 5(1), 87-98.
- [9] Ali, A. S., Rahmat, I., & Noordin, N. (2009). Uncertainty in the design process of refurbishment projects. *Built Environment*, 6(1), 35-43.
- [10] Ali, A., Rahmat, I., & Hassan, H. (2008). Involvement of key design participants in refurbishment design process. *Facilities*, 26(9/10), 389-400.
- [11] Ammeter, A. P., & Dukerich, J. M. (2002). Leadership, team building, and team member characteristics in high performance project teams. *Engineering Management Journal*, 14(4), 3-10.



- [12] Baldwin, A. N., Austin, S. A., Hassan, T. M., & Thorpe, A. (1999). Modelling information flow during the conceptual and schematic stages of building design. *Construction Management & Economics*, 17(2), 155-167.
- [13] Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing lean construction: stabilizing work flow. *Lean Construction*, 101-110.
- [14] Bassioni, H. A., Price, A. D., & Hassan, T. M. (2004). Performance measurement in construction. *Journal of Management in Engineering*, 20(2), 42-50.
- [15] Berg, M. E., & Karlsen, J. T. (2013). Managing stress in projects using coaching leadership tools. *Engineering Management Journal*, 25(4), 52-61.
- [16] Blindenbach-Driessen, F., & Van Den Ende, J. (2006). Innovation in project-based firms: The context dependency of success factors. *Research Policy*, 35(4), 545-561.
- [17] Bossink, B. A. (2004). Effectiveness of innovation leadership styles: a manager's influence on ecological innovation in construction projects. *Construction Innovation*, 4(4), 211-228.
- [18] Bourne, L., & Walker, D. H. (2008). Project relationship management and the Stakeholder Circle™. *International Journal of Managing Projects in Business*, 1(1), 125-130.
- [19] Bradberry, T., & Greaves, J. (2006). *The emotional intelligence quick book: Everything you need to know to put your EQ to work*. New York, USA: Simon and Schuster.
- [20] Bredillet, C., Tywoniak, S., & Dwivedula, R. (2015). What is a good project manager? An Aristotelian perspective. *International Journal of Project Management*, 33(2), 254-266.
- [21] Chan, A. P., & Chan, A. P. (2004). Key performance indicators for measuring construction success. *Benchmarking: An International Journal*, 11(2), 203-221.
- [22] Cheng, M. I., Dainty, A. R., & Moore, D. R. (2005). What makes a good project manager?. *Human Resource Management Journal*, 15(1), 25-37.
- [23] Christiansen, F. (2012). *The planning process at a construction site* (Doctoral dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology).
- [24] Clarke, N. (2010). Emotional intelligence and its relationship to transformational leadership and key project manager competences. *Project Management Journal*, 41(2), 5-20. Doi: 10.1002/pmj.20162
- [25] Cohen, M. D., & March, J. G. (1974). *Leadership and ambiguity: The American college president*. Hightstown, New Jersey: McGraw-Hill Book Company.
- [26] Cooper, B. (2015). *An Introduction to Moderated Mediation*. Department of Management, Monash University, Melbourne, Australia. Retrieved from: https://www.deakin.edu.au/__data/assets/pdf_file/0003/681024/Moderated-mediation.pdf
- [27] Crane, A., & Matten, D. (2004). *Business ethics: A European perspective: Managing corporate citizenship and sustainability in the age of globalization*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- [28] Crawford, L. (2000, June). Profiling the competent project manager. In *Proceedings of PMI Research Conference* (pp. 3-15). Newton Square, PA: Project Management Institute.
- [29] Crawford, L., & Nahmias, A. H. (2010). Competencies for managing change. *International Journal of Project Management*, 28(4), 405-412.
- [30] D'Amato, A., & Roome, N. (2009). Toward an integrated model of leadership for corporate responsibility and sustainable development: a process model of corporate responsibility beyond management innovation. *Corporate Governance: The International Journal of Business in Society*, 9(4), 421-434.
- [31] Dainty, A. R., Cheng, M. I., & Moore, D. R. (2003). Redefining performance measures for construction project managers: an empirical evaluation. *Construction Management & Economics*, 21(2), 209-218.
- [32] Daoud, O. E. (1997). The architect/engineer's role in rehabilitation work. *Journal of Construction Engineering and Management*, 123(1), 1-5.
- [33] Das, A. (2019). Diversity Intelligence for Inclusive Leadership: A Conceptual Framework. *Global Journal of Management and Business Research*.
- [34] Davis, J. S., & Cable, J. H. (2006). Positive workplace: Enhancing individual and team productivity. In *Seattle, Washington: PMI Global Congress Proceedings*.
- [35] Davis, P. R., & Walker, D. H. T. (2009). Building capability in construction projects: a relationship-based approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 16(5), 475-489.
- [36] Davis, P., & Love, P. (2011). Alliance contracting: adding value through relationship development. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 18(5), 444-461.
- [37] Davis, T., & Pharro, R. (2003). *The relationship manager: the next generation of project management*. Aldershot, UK: Gower Publishing, Ltd.
- [38] De los Ríos-Carmenado, I., Díaz-Puente, J. M., & Blanco, J. L. Y. (2011). The integration of project competences within the post-graduate programme: a case study of the International Masters in Rural Development Agris Mundus. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 96-110.



- [39] De los Ríos-Carmenado, I., López, F. R., & García, C. P. (2015). Promoting professional project management skills in engineering higher education: Project-based learning (PBL) strategy. *International Journal of Engineering Education*, 31(1), 184-198.
- [40] De los Ríos, I., Ortiz Marcos, I., & Díaz-Puente, J. M. (2008). Project management teaching in engineering higher education: A new perspective for developing competencies. In *Proceedings 12th International Congress on Project Engineering*. Zaragoza, Spain: AEIPRO.
- [41] Den Hartog, D. N., De Hoogh, A. H., & Keegan, A. E. (2007). The interactive effects of belongingness and charisma on helping and compliance. *Journal of Applied Psychology*, 92(4), 1131.
- [42] Dissanayaka, S. M., & Kumaraswamy, M. M. (1999). Evaluation of factors affecting time and cost performance in Hong Kong building projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 6(3), 287-298.
- [43] Dolfi, J., & Andrews, E. J. (2007). The subliminal characteristics of project managers: An exploratory study of optimism overcoming challenge in the project management work environment. *International Journal of Project Management*, 25(7), 674-682.
- [44] Duit, A., & Galaz, V. (2008). Governance and complexity—emerging issues for governance theory. *Governance*, 21(3), 311-335.
- [45] Egbu, C. O. (1999). Skills, knowledge and competencies for managing construction refurbishment works. *Construction Management & Economics*, 17(1), 29-43.
- [46] Egbu, C. O., Young, B. A., & Torrance, V. B. (1998). Planning and control processes and techniques for refurbishment management. *Construction Management & Economics*, 16(3), 315-325.
- [47] Ekung, S., & Onwusonye, S. (2015). Investigating the use of uncertainty management tools and techniques within the construction sector in Nigeria. *Civil Engineering and Urban Planning: An International Journal*, 2(1), 13-27.
- [48] Figueroa-Rodríguez, B., & De los Ríos, I. (2012). Approaches for the Competences Assessment in Higher Education. In *Proceedings ICEEM International Conference on Economic, Education and Management (Vol. 1, pp. 337-342)*. International Association of Education Science and Engineering, USA.
- [49] Forcael, E., Garcés, G., Bastías, E., & Friz, M. (2019). Theory of teaching techniques used in civil engineering programs. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 145(2), 1-7. Doi: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000401
- [50] González, A., Sandoval, A., & Heredia, B. (2018). Elaboración de planes de entrenamiento cruzado a personal clave en proyectos: el caso de una empresa de ingeniería. *Revista ingeniería de construcción*, 33(3), 205-218.
- [51] Gotsis, G., & Grimani, K. (2016). The role of servant leadership in fostering inclusive organizations. *Journal of Management Development*, 35(8), 985-1010.
- [52] Gregersen, H. B., Morrison, A. J., & Black, J. S. (1998). Developing leaders for the global frontier. *Sloan management Review*, 40(1), 21-33.
- [53] Guerrero, D., & De los Ríos-Carmenado, I. (2013). International models of professional competence. *DYNA Ingeniería e Industria*, 88-3, 266-270.
- [54] Hadad, Y., Keren, B., & Laslo, Z. (2013). A decision-making support system module for project manager selection according to past performance. *International Journal of Project Management*, 31(4), 532-541.
- [55] Hanna, A. S., Ibrahim, M. W., Lotfallah, W., Iskandar, K. A., & Russell, J. S. (2016). Modeling project manager competency: an integrated mathematical approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(8), 04016029.
- [56] Hardie, M., Khan, S., O'Donnell, A., & Miller, G. (2007). The efficacy of waste management plans in Australian commercial construction refurbishment projects. *Australian Journal of Construction Economics and Building*, 7, 26-36.
- [57] Harrison, D. A., Mykytyn Jr, P. P., & Riemenschneider, C. K. (1997). Executive decisions about adoption of information technology in small business: Theory and empirical tests. *Information Systems Research*, 8(2), 171-195.
- [58] Harzing, A. W. (2001). Who's in charge? An empirical study of executive staffing practices in foreign subsidiaries. *Human Resource Management: Published in Cooperation with the School of Business Administration, The University of Michigan and in alliance with the Society of Human Resources Management*, 40(2), 139-158.
- [59] Hind, P., Wilson, A., & Lenssen, G. (2009). Developing leaders for sustainable business. *Corporate Governance: The International Journal of Business in Society*, 9(1), 7-20.
- [60] Hodge, G. A., & Greve, C. (2007). Public-private partnerships: an international performance review. *Public Administration Review*, 67(3), 545-558.
- [61] Hodgson, D. (2002). Disciplining the professional: the case of project management. *Journal of Management Studies*, 39(6), 803-821.
- [62] Hodgson, P., & White, R. (2003). Facing the unknown: What are leaders for if not to manage uncertainty?. *Ivey Business Journal Online*, 67(2).



- [63] Holm, M. G. (2000). Service management in housing refurbishment: a theoretical approach. *Construction Management and Economics*, 18(5), 525-533.
- [64] International Organization for Standardization (ISO) (2013). ISO/IEC:17024 - Conformity assessment: General requirements for bodies operating certification of persons. Switzerland: International Organization for Standardization.
- [65] International Project Management Association (IPMA) (2009). National Competence Baseline Version 3.0. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. Valencia, España: AEIPRO.
- [66] Ireland, L. R. (1992). Customer satisfaction: the project manager's role. *International Journal of Project Management*, 10(2), 123-127.
- [67] Jaeger, M., & Adair, D. (2010). Human factors simulation in construction management education. *European Journal of Engineering Education*, 35(3), 299-309.
- [68] Jelodar, M. B., Yiu, T. W., & Wilkinson, S. (2016). A conceptualisation of relationship quality in construction procurement. *International Journal of Project Management*, 34(6), 997-1011.
- [69] Josephson, P. E., & Lindstrom, J. (2007, May). Measuring performance in construction projects. In *Proceeding of the CIB World Building Conference on Construction for Development*, Cape Town, South Africa (pp. 14-18).
- [70] Keeping, M., & Shiers, D. (1996). The "green" refurbishment of commercial property. *Facilities*, 14(3/4), 15-19.
- [71] Kelly, W. E. (2007). Certification and accreditation in civil engineering. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 133(3), 181-187.
- [72] Kerzner, H. (2019). Using the project management maturity model: strategic planning for project management. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- [73] Laufer, A., Denker, G. R., & Shenhar, A. J. (1996). Simultaneous management: the key to excellence in capital projects. *International Journal of Project Management*, 14(4), 189-199.
- [74] Levine, K. J., Muenchen, R. A., & Brooks, A. M. (2010). Measuring transformational and charismatic leadership: Why isn't charisma measured?. *Communication Monographs*, 77(4), 576-591.
- [75] Liebowitz, J., & Megbolugbe, I. (2003). A set of frameworks to aid the project manager in conceptualizing and implementing knowledge management initiatives. *International Journal of Project Management*, 21(3), 189-198.
- [76] Maciel, T., Stumpf, M., & Kern, A. (2016). Management system proposal for planning and controlling construction waste. *Revista Ingeniería de Construcción*, 31(2), 116.
- [77] MacKinnon, D. (2012). *Introduction to statistical mediation analysis*. New York, NY: Lawrence Erlbaum Associates. Doi: 10.4324/9780203809556
- [78] Maffioli, F., & Augusti, G. (2003). Tuning engineering education into the European higher education orchestra. *European Journal of Engineering Education*, 28(3), 251-273.
- [79] Martinuzzi, B. (2009). *The leader as a mensch: Become the kind of person others want to follow*. USA: Six Seconds Emotional Intelligence Press.
- [80] Mazur, A. K., & Pisarski, A. (2015). Major project managers' internal and external stakeholder relationships: The development and validation of measurement scales. *International Journal of Project Management*, 33(8), 1680-1691.
- [81] McKim, R., Hegazy, T., & Attalla, M. (2000). Project performance control in reconstruction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(2), 137-141.
- [82] Meng, X. (2012). The effect of relationship management on project performance in construction. *International Journal of Project Management*, 30(2), 188-198.
- [83] Meng, X., & Boyd, P. (2017). The role of the project manager in relationship management. *International Journal of Project Management*, 35(5), 717-728.
- [84] Miller, J. R., & Hobbs, R. J. (2007). Habitat restoration—Do we know what we're doing?. *Restoration Ecology*, 15(3), 382-390.
- [85] Mitchell, R., Boyle, B., Parker, V., Giles, M., Chiang, V., & Joyce, P. (2015). Managing inclusiveness and diversity in teams: How leader inclusiveness affects performance through status and team identity. *Human Resource Management*, 54(2), 217-239.
- [86] Mitropoulos, P., & Howell, G. A. (2002). Renovation projects: Design process problems and improvement mechanisms. *Journal of Management in Engineering*, 18(4), 179-185.
- [87] Mohammadi, F., Sadi, M. K., Nateghi, F., Abdullah, A., & Skitmore, M. (2014). A hybrid quality function deployment and cybernetic analytic network process model for project manager selection. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(6), 795-809.
- [88] Mokhtar, S. N. (2015, April). Identifying Activities That Contribute to The Generation of Refurbishment Waste At.
- [89] Montequin, V. R., Nieto, A. G., Ortega, F., & Villanueva, J. (2015). Managerial style profiles of successful project managers: a survey. *Procedia Computer Science*, 64, 55-62.



- [90] Morris, P. W., Crawford, L., Hodgson, D., Shepherd, M. M., & Thomas, J. (2006). Exploring the role of formal bodies of knowledge in defining a profession—The case of project management. *International Journal of Project Management*, 24(8), 710-721.
- [91] Muldoon Jr, J. P. (2018). *The architecture of global governance: an introduction to the study of international organizations*. New York, USA: Routledge.
- [92] Murphy, E. C. (1997). *Leadership IQ: A personal development process based on a scientific study of a new generation of leaders*. New Jersey, USA: Wiley.
- [93] Nasaruddin, N. A. N., & Rahman, I. A. (2016). Leadership quality for Malaysia Construction leader to steer a success construction project. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 47, p. 04006). EDP Sciences.
- [94] Nieminen, A., & Lehtonen, M. (2008). Organisational control in programme teams: An empirical study in change programme context. *International Journal of Project Management*, 26(1), 63-72.
- [95] Nilsson, I., L. (2001). *Ledarskap i kris, kaos och omställning*. Uppsala, Sweden: Acta Universitatis Upsaliensis
- [96] Noori, A., Saruwono, M., Adnan, H., & Rahmat, I. (2016). Conflict, complexity, and uncertainty in building refurbishment projects. In *InCIEC 2015* (pp. 251-258). Springer, Singapore.
- [97] Oke, A., Munshi, N., & Walumbwa, F. O. (2009). The influence of leadership on innovation processes and activities. *Organizational Dynamics*, 38(1), 64-72.
- [98] Okoroh, M. I. (1992). *Knowledge based decision support system for the selection and appointment of sub-contractors for building refurbishment contracts* (Doctoral dissertation). Loughborough University, Loughborough, UK.
- [99] Pant, I., & Baroudi, B. (2008). Project management education: The human skills imperative. *International Journal of Project Management*, 26(2), 124-128.
- [100] Papke-Shields, K. E., Beise, C., & Quan, J. (2010). Do project managers practice what they preach, and does it matter to project success?. *International Journal of Project Management*, 28(7), 650-662.
- [101] Patton, M. Q. (1997). *Utilization-focused evaluation: The New Century Text*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- [102] Pellegrinelli, S. (1997). Programme management: organising project-based change. *International Journal of Project Management*, 15(3), 141-149.
- [103] Peña, C., Vidal, M., Garcés, G., & Silva S. (2020). Circular Business Model: The Case of the Tire Recycling Plant in the Bío-Bío Chilean Region. In V. Ratten, M. Ramirez-Pasillas, H. Lundberg (Eds.), *Managing Sustainable Innovation* (pp. 104-120). London, UK: Routledge. Retrieved from <https://www.routledge.com/Managing-Sustainable-Innovation/Ratten-Ramirez-Pasillas-Lundberg/p/book/9780367210311>
- [104] Powell, T. C. (1995). Total quality management as competitive advantage: a review and empirical study. *Strategic Management Journal*, 16(1), 15-37.
- [105] Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide.)* (6th Ed). Project Management Institute, Pennsylvania, USA.
- [106] Pryke, S., Smyth, H., 2006. *The Management of Complex Projects: A Relationship Approach*. Oxford, UK: Blackwell Science.
- [107] Quah, L. K. (1988). *An evaluation of the risks in estimating and tendering for refurbishment work* (Doctoral dissertation). Heriot-Watt University, Edinburgh, UK.
- [108] Quah, L. K. (1992). Comparative variability in tender bids for refurbishment and new build work. *Construction management and Economics*, 10(3), 263-269.
- [109] Rahmat, I. Bin, & Adnan, H. (2012). Planning for Refurbishment Projects: the Effects of Organizational Complexity and Integration, 7(5), 554-560.
- [110] Rahmat, I., & Ali, A. S. (2010). The involvement of the key participants in the production of project plans and the planning performance of refurbishment projects. *Journal of Building Appraisal*, 5(3), 273-288.
- [111] Reyers, J., & Mansfield, J. (2001). The assessment of risk in conservation refurbishment projects. *Structural Survey*, 19(5), 238-244.
- [112] Saurin, T. A., Rooke, J., Koskela, L., & Kemmer, S. (2013). Guidelines for the management of complex socio-technical systems: an exploratory study of a refurbishment project. *21st Annual Summit of the International Group for Lean Construction*, 1, 13-22.
- [113] Schwegler, B. (2006). Entrepreneurial governance and the urban restructuring of a Slovakian town. In *The Urban Mosaic of Post-Socialist Europe* (pp. 295-318). Physica-Verlag HD.
- [114] Shadraonis, S. (2013). *Organizational Leadership in Times of Uncertainty: Is Transformational Leadership the Answer?*. LUX: A Journal of Transdisciplinary Writing and Research from Claremont Graduate University, 2(1), 28.
- [115] Shah, S. (2012). *Sustainable refurbishment*. Sussex, UK: Wiley-Blackwell.
- [116] Sierra, L. A., Yepes, V., & Pellicer, E. (2018). A review of multi-criteria assessment of the social sustainability of infrastructures. *Journal of Cleaner Production*, 187, 496-513. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.022
- [117] Smith, K. A., & Imbrie, P. K. (2004). *Teamwork and project management*. New York, USA: McGraw-Hill's BEST Series.

- [118] Sommerville, J., Craig, N., & Hendry, J. (2010). The role of the project manager: all things to all people?. *Structural Survey*, 28(2), 132-141.
- [119] Stone, P. A. (1976). *Building economy*. Oxford, UK: Pergamon Press.
- [120] Strachan, M. E. (2013). *Energy-led, non-domestic building refurbishment: Decision support for a whole-building approach to improvement of operational performance (Doctoral dissertation)*. Heriot-Watt University, Edinburgh, UK.
- [121] Sun, W., Mollaoglu, S., Miller, V., & Manata, B. (2015). Communication behaviors to implement innovations: How do AEC teams communicate in IPD projects?. *Project Management Journal*, 46(1), 84-96.
- [122] Sunikka-Blank, M., Chen, J., Britnell, J., & Dantsiou, D. (2012). Improving energy efficiency of social housing areas: A case study of a retrofit achieving an "A" energy performance rating in the UK. *European Planning Studies*, 20(1), 131-145.
- [123] Sydow, J., Lindkvist, L., & DeFillippi, R. (2004). Project-based organizations, embeddedness and repositories of knowledge: Editorial. *Organization Studies*, 25(9), 1475-1489.
- [124] Tam, V. W., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Chan, K. K. (2006). Environmental performance measurement indicators in construction. *Building and Environment*, 41(2), 164-173.
- [125] Tang, Z., & Ng, S. T. (2014). Sustainable building development in China—A system thinking study. *Procedia Engineering*, 85, 493-500.
- [126] Thomas, S. R., Macken, C. L., Chung, T. H., & Kim, I. (2002). *Measuring the impact of the delivery system on project performance: design-build and design-bid-build (NIST GCR 02-840)*. Austin: Construction Industry Institute.
- [127] Thylin, K., & Andersson, M. (2009). *Leadership in situations of uncertainty: a guideline for the leader*. Uppsala universitet, Department of Business Studies, Sweden.
- [128] Toor, S., & Ofori, G. (2008). Grounded theory as an appropriate methodology for leadership research in construction. In *CIB International Conference on Building Education and Research*, pp. 1816-1831. Sri Lanka. Retrieved from <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/9822/>
- [129] Turner, J. R., & Müller, R. (2005). The project manager's leadership style as a success factor on projects: A literature review. *Project Management Journal*, 36(2), 49-61.
- [130] Udhayakumar, R., & Karthikeyan, P. (2014). Expected leadership qualities for a project manager to manage construction projects. *International Journal of Innovative Research and Development*, 3, 57-61.
- [131] Veal, R. (2011). *Project Relationship Management*. Project Management Institute, Newton Square, USA.
- [132] Villa, N., Bonacina, C. F., Grecchi, M., Iannaccone, G., Malighetti, L., Pizzi, E., & Ruta, M. (2013). Innovative design tools for sustainable refurbishment of large building complexes. *Central Europe towards Sustainable Building Prague 2013 (CESB13) Proceedings*.
- [133] Walker, D., Hampson, K., 2003. *Procurement Strategies: A Relationship-based Approach*. Oxford, UK: Blackwell Science.
- [134] Whitley, R. (2006). Project-based firms: new organizational form or variations on a theme?. *Industrial and Corporate Change*, 15(1), 77-99.
- [135] Winter, M., Smith, C., Morris, P., & Cicmil, S. (2006). Directions for future research in project management: The main findings of a UK government-funded research network. *International Journal of Project Management*, 24(8), 638-649.
- [136] Yacob, R., Rahmat, I., Saruwono, M., & Ismail, Z. (2017). Effects of uncertainty factors and refurbishment projects performance in relation to leadership quality of project managers. *Journal of Building Performance*, 8(1), 69-79.
- [137] Yacob, R., Saruwono, M., & Ismail, Z. (2018). A Review of Leadership Qualities among Building Refurbishment Project Managers. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.22), 126-131.
- [138] Yang, L. R., Huang, C. F., & Wu, K. S. (2011). The association among project manager's leadership style, teamwork and project success. *International journal of Project Management*, 29(3), 258-267.
- [139] Yeung, J. F., Chan, A. P., & Chan, D. W. (2009). Developing a performance index for relationship-based construction projects in Australia: Delphi study. *Journal of Management in Engineering*, 25(2), 59-68.
- [140] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Tamošaitienė, J., & Marina, V. (2008). Multicriteria selection of project managers by applying grey criteria. *Technological and Economic Development of Economy*, 14(4), 462-477.
- [141] Zhang, L., & Fan, W. (2013). Improving performance of construction projects: A project manager's emotional intelligence approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 20(2), 195-207.

Resistencia a la compresión y resistividad eléctrica de hormigones elaborados con materiales cementicios suplementarios y agregados reciclados.

Compressive strength and electrical resistivity of concrete made with supplementary cementitious materials and recycled aggregates.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Diego Juela¹, Jessica Bermeo¹, Daniela Alvarez²

Historial del artículo:

¹Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Campus Central, Av. 12 de Abril, 01.01.168, Cuenca, Ecuador
²Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Campus Central, Av. 12 de Abril, 01.01.168, Cuenca, Ecuador.
diego.juela@ucuenca.edu.ec, teléfono: +59 3 984789005

Recibido
11-09-2019
Aceptado
09-04-2020
Publicado
25-04-2020

Resumen

La utilización de residuos industriales dentro de la industria del concreto constituye una alternativa eficaz hacia el desarrollo sostenible. Este estudio tiene como objetivo analizar el efecto que produce la sustitución de cemento portland por ceniza de bagazo de caña (CBC), arcilla caolín (AC) y yeso dihidratado (YD), así como la sustitución de árido grueso y fino natural por residuos de hormigón reciclado (HR) y residuos de caucho pulverizado (RCP) respectivamente, en la resistencia a la compresión y resistividad eléctrica de una mezcla de concreto. Las mezclas de concreto se prepararon según el método ACI 211.1 con una relación de agua/materiales cementicios de 0.43. Por cada material se ensayaron tres porcentajes de reemplazo: CBC y AC al 5, 10 y 20%; YD al 5, 7.5 y 10%; HR al 10, 20 y 40%, y RCP al 3, 5 y 8%. A las muestras cilíndricas se probaron la resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días, la resistividad eléctrica (RE) a los 28 días, y se compararon frente a un concreto convencional. Se observó que la adición de CBC al 10% incrementó la resistencia en 2.14%, mientras que cada 1% de reemplazo adicional de CBC aumenta RE en 0.45 unidades. AC y RCP disminuyen la resistencia en todos los reemplazos, pero mejoran la RE en 32.4% con 20% de AC, mientras que el 8% de RCP duplica la RE. Todos los reemplazos de YD reducen en gran medida la resistencia, pero ligeramente la RE, así un 10% de YD reduce 56.78% la resistencia, pero solo un 5% la RE. Por último, el porcentaje óptimo de HR se encontró en 20%, disminuyendo en apenas un 0.88% la resistencia y 10.9% de RE. Los hallazgos establecen que CBC, HR y RCP mejoran resistencia y resistividad eléctrica, por lo que serían adecuados para la aplicación en la industria de la construcción.

Palabras Clave:
Resistividad eléctrica
Ceniza de bagazo de caña
Hormigón reciclado
Caucho pulverizado.

Article history:

Received
11-09-2019
Accepted
09-04-2020
Available
25-04-2020

Abstract

The use of industrial waste within the concrete industry constitutes an effective alternative towards sustainable development. The objective of this study is to analyze the effect produced by the substitution of portland cement for sugarcane bagasse ash (SCBA), kaolin clay (KC) and gypsum dihydrate (GD), as well as the substitution of coarse and fine aggregate is analyzed by recycled concrete aggregates (RCA) and powdered rubber waste (PRW) respectively, in the compressive strength and electrical resistivity of a concrete mix. Concrete mixes were prepared according to ACI method 211.1 with a water/cementitious materials ratio of 0.43. Three replacement percentages were tested for each material: SCBA and KC at 5, 10 and 20%; GD at 5, 7.5 and 10%; RCA at 10, 20 and 40%, and PRW at 3, 5 and 8%. The cylindrical samples were tested for compressive strength at 3, 7 and 28 days, electrical resistivity (ER) at 28 days, and compared with a conventional concrete. It

Keywords:
Electrical resistivity
Sugar cane bagasse ash
Recycled concrete
Powdered rubber.

was observed that the addition of 10% SCBA was observed to increase strength by 2.14%, while each 1% of additional SCBA replacement increased ER by 0.45 units. KC and PRW decrease strength in all replacements, but improve ER by 32.4% with 20% KC, while 8% of PRW doubles ER. All GD replacements greatly reduce compressive strength, but slightly ER, thus 10% GD reduces strength 56.78%, but only 5% ER. Finally, the optimal percentage of RCA was found in 20%, decreasing strength by just 0.88% and ER 10.9%. The findings establish that SCBA, RCA and PRW improve compressive strength and electrical resistivity, so they would be suitable for application in the construction industry..

1. Introducción.

Luego del agua, el hormigón es el producto más consumido a nivel mundial, creando una huella de carbono elevada (Crow, 2008). De acuerdo con el informe de Chatham House del 2018, cada año se produce cerca de 4.4 billones de toneladas de concreto, y se espera que para el 2050 aumente a más de 5.5 mil millones toneladas debido a la rápida urbanización de los países pobres (Lehne & Preston, 2018). El impacto ambiental que causa el hormigón se analiza en base a la materia prima usada y al consumo energético para su producción. El hormigón básicamente posee un 12% en peso de material aglomerante o cementante, 8% en peso de agua y 80% en peso de agregados finos y gruesos (Brunatti & Souza, 2011). El cemento portland se produce por la calcinación de la caliza y arcillas en un proceso conocido como clinkerización. Un horno cementero, por cada tonelada de clínker que produce emite de 900 a 1000 kg de CO₂ (Hasanbeigi, Price, & Lin, 2012), y de 1.5 a 9.5 kg de NO_x (Bremmer & Eng, 2001). Además, se debe sumar los gases de combustión que emiten los motores que hacen girar al horno y equipos asociados dentro de la planta cementera, todo estos constituyen cerca del 40% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero dentro de la planta cementera (Saez, 2013). La totalidad de estas emisiones representan alrededor del 8% de las emisiones globales de CO₂ (Lehne & Preston, 2018). En cuanto al consumo de energía, el proceso de clinkerización, y la molienda del clínker para producir el cemento consumen 65 kWh y 2.72 GJ de energía por cada tonelada de material, respectivamente (Madlool, Saidur, Hossain, & Rahim, 2011). Por otro lado, con respecto a los áridos finos y gruesos constituidos por arena y grava, se estima que el consumo global de este material natural dentro de la industria del concreto es de 10 mil millones de toneladas anualmente (Reyes-sánchez, Tenza-abril, Verdu, & Reyes Perales, 2017). La extracción de este material virgen produce polución en ecosistemas acuáticos y terrestres, afectando su flora, fauna y paisaje (Hernández-Jatib et al., 2013). En las industrias concreteras, producir 1m³ hormigón con una relación agua/cemento de 0.5 causa la emisión de entre 347 y 351 kg de CO₂ (Jiménez, Domínguez, & Vega-Azamar, 2018), y se reportado que solo en el año 2012 se empleó más de 2 Gt de agua dulce (Miller, Horvath, & Monteiro, 2018), adicionalmente a esto se debe sumar aproximadamente 0.1 m³ de agua destinados para el lavado de los camiones hormigoneros y que

son vertidos en cursos de agua locales (Kumar, 2001). En base a esta problemática, investigadores de todo el mundo están en la búsqueda de nuevos materiales que reemplacen parcial o totalmente a las materias primas usadas en la elaboración del hormigón convencional, para lograr un desarrollo sostenible en la industria del concreto.

Varios estudios han comprobado que el cemento puede ser sustituido por materiales alternativos como puzolanas naturales, cenizas volantes, escoria de alto horno, humo de sílice, entre otros, manteniendo sus propiedades mecánicas, e incluso en varias de ellas, mejorándolas (Meyer, 2002). Investigaciones han demostrado que es posible reemplazar el 100% del cemento portland con cenizas volantes autoactivadas químicamente, mejorando propiedades de trabajabilidad, impermeabilidad y durabilidad (Samadi, 1996). La ceniza proveniente de la quema de residuos agrícolas constituye otra alternativa potencial dentro de la industria de construcción, debido a sus propiedades puzolánicas (Chandra et al., 2019). Dentro de estos, las cenizas de cascarilla de arroz (CCA) y de bagazo de caña (CBC) son las más relevantes, a causa de las cantidades considerables de desechos de los cuales provienen. Por ejemplo en Ecuador, las centrales eléctricas de las industrias del azúcar y el alcohol produjeron aproximadamente 140 mil toneladas de CBC en 2008 (CINCAE, 2008), las cuales nos son aprovechadas en su totalidad, pudiéndose emplear dentro de la industria de la construcción. Se ha verificado que reemplazando el cemento portland por 5 y 20% de CBC, se logra incrementar en 11% y 12% la resistencia a la compresión, respectivamente (Bahurudeen et al., 2015; Mangi et al., 2017). Se han reportado también efectos positivos en la durabilidad del concreto con la adición de CBC, de manera que disminuye al ataque de sulfatos, ácidos, y cloruros en el hormigón (Bahurudeen et al., 2015; Modani & Vyawahare, 2013).

Por otro lado, también se está investigando la forma de reemplazar los agregados naturales por agregados reciclados, tales como el residuos de construcción y demolición, vidrio, residuo de caucho pulverizado, material dragado, y en los últimos años se ha probado hasta biomasa como aserrín y fibra de coco (Paricaguan et al., 2013), de manera general, se busca aprovechar la gran cantidad de residuos generados por otras industrias. En 2016, la generación de residuos de construcción y



llantas de caucho usadas, alcanzó valores de alrededor 236 mil toneladas y 3 millones, respectivamente, solo en Ecuador (INEC, 2016). De ahí que el reemplazo de agregado natural grueso y fino por hormigón reciclado (HR) y residuo de caucho pulverizado (RCP) resulta una opción con un alto valor agregado y una alternativa ecológica, al convertir estos residuos en materia prima para ser usado en la industria del concreto. Desventajosamente, la mayoría de estudios han demostrado que las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, tracción, flexión y el módulo de elasticidad del concreto disminuyen, a medida que aumenta el porcentaje de HR y RCP (Silva et al., 2015; Ismail et al., 2017; Li et al., 2019; Mohammed & Adamu, 2018; Safiuddin et al., 2013; Silva et al., 2015a, 2015b; Thomas et al., 2018). No obstante, se ha encontrado que HR y RCP mejoran notablemente la durabilidad del hormigón (Bisht & Ramana, 2017; Gheni et al., 2019; Li et al., 2019; Pham et al., 2019; Souche et al., 2017; Thomas et al., 2016; Thomas et al., 2018), es por ello necesario encontrar un punto en el cual tanto la resistencia a la compresión y la durabilidad sean favorables.

En la mayoría de estudios, la durabilidad del hormigón es cuantificada a través de propiedades como resistencia al congelamiento-descongelamiento, absorción de agua, permeabilidad, contracción por secado, resistencia a la abrasión, penetración de iones cloruro, resistencia a ácidos y sulfatos, y resistencia a la carbonatación (Li et al., 2019). La resistividad eléctrica (RE) es otro indicador que en la última década ha sido satisfactoriamente empleada como parámetro para identificar las características de la edad temprana de un hormigón fresco, así como, un apoyo para predecir la durabilidad a largo plazo del concreto, tiene la ventaja de ser una técnica no destructiva, simple, rápida y de bajo costo (Azarsa & Gupta, 2017). Varios investigadores han pretendido establecer una relación entre la RE y las otras propiedades de durabilidad, sin embargo, aún existen controversias entre los resultados, por lo que es necesario realizar más investigación en esa área.

Sin duda que lograr la producción de hormigones con elevadas propiedades mecánicas y al mismo tiempo con buenas propiedades de durabilidad usando materiales cementicios suplementarios (SCM), rellenos, agregados reciclados y alternativos, y otros materiales respetuosos con el medio ambiente, es el reto que se plantean los investigadores. Por lo tanto, el principal objetivo de este estudio es evaluar el efecto que se produce en las propiedades de resistencia a la compresión y resistividad eléctrica, cuando el cemento portland, áridos gruesos y áridos finos naturales son sustituidos parcialmente por materiales alternativos dentro una mezcla de concreto. Se plantean por lo tanto el diseño de cinco tipos de mezclas de concreto alternativas, con 3 porcentajes de reemplazo cada una: 1) bagazo de caña, 2) arcilla caolín, y 3)

yeso dihidratado que reemplazan al cemento portland, mientras que 4) residuos de hormigón reciclado, y 5) caucho pulverizado reemplazan a los áridos gruesos y áridos finos naturales, respectivamente.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1 Mezcla de concreto convencional

Inicialmente se elaboró una mezcla de concreto convencional que consiste en cemento portland tipo GU con una gravedad específica de 1.14 (ASTM C188-17, 2017), módulo de finura de 74.5% (ASTM C204-16, 2016), y cuya composición química se detalla en la **Tabla 1**. Dentro de los agregados los siguientes materiales con densidad y % de absorción de agua indicados respectivamente: el árido fino (AFN) compuesto por arena de río, con 2.5 g/cm³ y 2.5% (ASTM C128-15, 2015), y el árido grueso (AGN) consta de piedra triturada o ripio con 2.4 g/cm³ y 1.65% (ASTM C127-15, 2015). Ambas granulometrías están dentro de los límites exigidos en la norma ASTM C33 (ASTM C33/C33M-18, 2018). Finalmente, agua de grifo fue utilizada para la mezcla del concreto convencional.

Tabla 1. Composición química del Cemento Portland, CBC, AC y YD.

Compuesto	Cemento Portland	CBC	AC	YD
SiO ₂	21.5	72.9	53.79	--
Al ₂ O ₃	4.4	5.6	29.75	--
Fe ₂ O ₃	0.21	3.8	2.66	--
TiO ₂	--	0.4	1.86	--
CaO	65.3	8.2	0.08	32.4
MgO	0.62	2.6	0.13	--
Na ₂ O	0.03	0.8	0.08	--
K ₂ O	0.12	3.2	1.38	--
SO ₃	4.18	0.1	--	46.6
P ₂ O ₅	--	1.5	--	--
H ₂ O	--	--	--	20.5
PF	3.07	0.7	10.2	0.5

2.2 Mezcla de concreto alternativo

Para estudiar el efecto en las propiedades de resistencia a la compresión y resistividad eléctrica, se prepararon cinco mezclas de concreto alternativo, tres de ellas reemplazando el cemento portland por: 1) ceniza de bagazo de caña (CBC), 2) arcilla caolín pretratada (AC), y 3) yeso dihidratado (YD). Estos dos últimos se agregarán en tamaño de partículas microfinas (<7µm) y ultrafinas (<5µm). Las otras dos mezclas de concreto alternativo fueron preparadas sustituyendo el árido fino y el árido grueso natural por residuos de caucho pulverizado (RCP) y hormigón reciclado (HR), respectivamente.

Tabla 2. Descripción de los tipos de muestra de hormigón elaboradas.

Muestra	Descripción
CC	Muestra de concreto convencional
CBC 5%	5 % de reemplazo de cemento por CBC
CBC 10%	10 % de reemplazo de cemento por CBC.
CBC 20%	20 % de reemplazo de cemento por CBC
AC 5%	5% de reemplazo de cemento por AC.
AC 10%	10 % de reemplazo de cemento por AC.
AC 20%	20 % de reemplazo por AC.
YD 5%	5 % de reemplazo de cemento por YD.
YD 7.5%	7.5% de reemplazo de cemento por YD.
YD 10%	10% de reemplazo de cemento por YD.
RCP 3%	3% de reemplazo de arena por RCP
RCP 5%	5 % de reemplazo de arena por RCP.
RCP 8%	8 % de reemplazo de arena por RCP.
HR 10%	10 % de reemplazo de árido grueso por HR
HR 20%	20 % de reemplazo de árido grueso por HR.
HR 40%	40% de reemplazo de árido grueso por HR.

Para cada una de estas mezclas alternativas se ensayaron tres porcentajes de reemplazo en peso: CBC y AC al 5, 10 y 20%; YD al 5, 7.5 y 10%; HR al 10, 20 y 40%, y RCP al 3, 5 y 8%, obteniéndose un total de 15 mezclas alternativas, cada una fue identificada tal como se ilustra en la **Tabla 2**, donde CC representa la mezcla de concreto convencional preparada según el apartado 2.1. Así, por ejemplo, la mezcla CBC 5%, implica que por cada 100 kg de cemento portland usado en CC, se reemplaza únicamente 5 kg de CBC, y los 95 kg restantes son de cemento portland.

La CBC fue obtenida como residuo de la planta de energía del Ingenio Azucarero La Troncal, Cañar, Ecuador. La AC se obtuvo de la mina San Marcos, Cañar, Ecuador, esta fue pretratada con agua oxigenada al 10% para eliminar la materia orgánica, secada a 110°C por 2 horas y posterior molienda. Mientras que YD se obtuvo de la trituración de residuos de estuco, con un posterior tamizado, secado a 110°C hasta obtener una humedad equiparable al cemento y seguido de una molienda para obtener partículas microfinas y ultrafinas. El residuo de caucho pulverizado se adquirió de los residuos dejados por los neumáticos de las aeronaves en zonas de aterrizaje del Aeropuerto Mariscal Lamar, Cuenca, Ecuador; estos son retirados con agua a alta presión, lavados y secados a temperatura ambiente, para luego desmenuzarse y reducir su tamaño. Finalmente, el hormigón reciclado proviene de la trituración de muestras cilíndricas de hormigón existentes que

poseen una resistencia a la compresión entre 40 y 45 MPa. Las propiedades físicas de estos materiales se muestran en la **Tabla 3** y fueron determinadas usando las normas ASTM C128 (ASTM C128-15, 2015), ASTM C127 (ASTM C127-15, 2015) y ASTM C188 (ASTM C188-17, 2017). La composición química de CBC, AC y YD fue determinada por el método de fluoroscopia de rayos X (XRF) y se proporciona en la **Tabla 1**.

Tabla 3. Propiedades físicas de los materiales usados en la mezcla de concreto alternativo.

Mat.	Gravedad específica	Densidad Aparente (g/cm ³)	% Absorción de Agua	Distribución de tamaño
CBC	2.45	0.68	--	0.60-0.08 mm
AC	1.9	2.17	--	0.09-0.04 mm
YD	1.89	2.34	--	0.09-0.04 mm
HR	1.28	1.14	3.6	19.05 - 4.75 mm
RCP	1.39	0.87	0.75	1.18 - 0.075 mm

Además, en las muestras de concreto alternativo con CBC, AC y YD se utilizó un aditivo superplastificante Basf Master Glenium 3030 (ASTM C494/C494M-17, 2017) con el fin de mejorar la trabajabilidad medida con la prueba de asentamiento. En las mezclas concreto alternativo con RCP y HR no se usó el aditivo.

2.3 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla se realizó en base al método ACI 211.1, el cual se basa en una relación agua/cemento fijada de acuerdo a la resistencia mecánica que se desea alcanzar a los 28 días. Estos datos se especifican en tablas de acuerdo a ensayos previos realizados en laboratorios. En este estudio se trabajó con una relación agua/cemento de 0,43 para una resistencia a la compresión aproximadamente de 45 MPa a los 28 días. Para cada tipo de muestra de hormigón de la **Tabla 2**, se determinaron las cantidades exactas requeridas del material cementante, agregados gruesos, y agregados finos en función del volumen total requerido para 3 cilindros de 100 mm x 200 mm. Todo esto basándose en la dosificación especificada para 1 m³ de concreto que se detalla en **Tabla 4** y **Tabla 5** para cada tipo de mezcla.

Tabla 4. Dosificación en kg de las mezclas alternativas con reemplazo de material cementante.

Designación de la mezcla	Cemento	AGN	AFN	Agua	CBC	AC	YD	Aditivo
CC	400.0	997.1	697.1	148.2	0	0	0	0.8
CBC 5%	380.0	997.1	697.1	148.2	20.0	0	0	2.1
CBC 10%	360.0	997.1	697.1	148.2	40.0	0	0	2.1
CBC 20%	320.0	997.1	697.1	148.2	80.0	0	0	2.1
AC 5%	380.0	997.1	697.1	148.2	0	20.0	0	2.1
AC 10%	360.0	997.1	697.1	148.2	0	40.0	0	2.1
AC 20%	320.0	997.1	697.1	148.2	0	80.0	0	2.1
YD 5%	380.0	997.1	697.1	148.2	0	0	20.0	2.1
YD 7.5%	370.0	997.1	697.1	148.2	0	0	30.0	2.1
YD 10%	360.0	997.1	697.1	148.2	0	0	40.0	2.1

Tabla 5. Dosificación en kg de las mezclas alternativas con reemplazo de agregado fino y grueso.

Designación de la mezcla	Cemento	AGN	AFN	Agua	RCP	HR
RCP 3%	400.0	997.1	676.2	148.2	20.9	0
RCP 5%	400.0	997.1	662.3	148.2	34.8	0
RCP 8%	400.0	997.1	641.4	148.2	55.7	0
HR 10%	400.0	897.4	697.1	148.2	0	99.7
HR 20%	400.0	797.7	697.1	148.2	0	199.4
HR 40%	400.0	598.3	697.1	148.2	0	398.8

2.4 Método de fundición y curado

La preparación y curado de los especímenes cilíndricos de concreto se elaboraron siguiendo la norma ASTM C192 (ASTM C192/C192M-18, 2018), bajo las siguientes consideraciones: para aquellas mezclas alternativas que contienen materiales que reemplazan al cemento portland, inicialmente se mezcló dicho material con el cemento portland durante 3 minutos, antes de agregarse a la mezcla. Se procedió de igual manera para aquellas mezclas que contenían agregados reciclados, mezclando con el agregado respectivo. La cantidad de aditivo superplastificante se mezcló con el agua. A la mezcla de hormigón fresca se determinó el asentamiento mediante el cono de Abrahms para que se mantenga entre 7.5 y 12.5 cm (ASTM C143/C143M - 15a, 2015) para una consistencia de concreto media, y se colocó en moldes cilíndricos de 100 mm x 200 mm. Luego de 24 h las muestras fueron desencofradas y curadas en agua a temperatura 23°C +2.

2.5 Evaluación de resistencia a la compresión y resistividad eléctrica

Las pruebas de resistencia a la compresión fueron llevadas a cabo según la norma técnica ASTM C-39 (ASTM C39/C39M-18, 2018). Las muestras cilíndricas de 100 mm x 200 mm fueron medidas, pesadas y ensayadas a los 3, 7 y 28 días de curado en húmedo. Los experimentos se realizaron en una máquina de prueba Marca Controls Modelo A32C02 con una capacidad de carga de 2000 kN y una velocidad de carga de 0.20 MPa/s (**Figura 1**).



Figura 1. Ensayo de resistencia a la compresión en una de las muestras cilíndricas de la mezcla de concreto alternativa

Los ensayos de resistividad eléctrica en masa (RE) se llevaron a cabo mediante el método uniaxial de dos puntos. Dicho método se basa en colocar dos electrodos en la superficie del concreto (generalmente dos placas metálicas paralelas). Al pasar la electricidad, se mide la diferencia de potencial entre los dos electrodos. Adicionalmente se coloca una esponja húmeda en la interfaz del electrodo y la muestra para asegurar una conexión eléctrica adecuada (Azarsa & Gupta, 2017). La **Figura 2** muestra el esquema de la prueba de resistividad eléctrica por el método uniaxial de dos puntos.

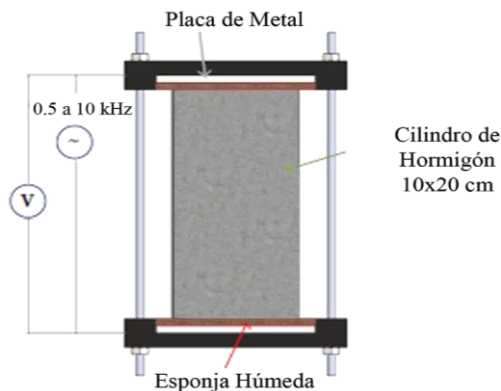


Figura 2. Esquema de la prueba de resistividad eléctrica por el método uniaxial de dos puntos en cilindros de concreto de 4 x 8 pulg (Alizadeh et al., 2015).

Para este estudio específicamente, las muestras cilíndricas usadas fueron ensayadas a los 28 días de curado en condición de superficie saturada seca (SSD) y el equipo usado fue Giatec Scientific RCON. Se aplicó una corriente eléctrica alterna de 1 kHz, luego la resistividad eléctrica en masa (RE) fue determinada por la corriente registrada, la caída de voltaje y la geometría de los cilindros, y se obtuvo mediante la aplicación de la ecuación 1 (Alizadeh et al., 2015).

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} \quad (1)$$

Donde ρ es la resistividad eléctrica en masa ($\Omega \cdot m$), R es la resistencia eléctrica registrada (Ω), A es el área de la sección transversal del cilindro (m^2) y L es la altura de la probeta cilíndrica (m).

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Resistencia a la Compresión

Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión para todas las mezclas se dan en la **Tabla 6**. Mientras que la **Figura 3** muestra los resultados de resistencia a la compresión para las 3 mezclas que poseen CBC, AC y YD en diferentes proporciones, y la **Figura 4** para las 2 mezclas que poseen HR y RCP en diferentes proporciones.

Tabla 6. Resistencia a la Compresión del cilindro convencional y alternativos en MPa.

Muestra	Tiempo		
	3 días	7 días	28 días
CC	16.75	27.28	46.35
CBC 5%	15.81	26.01	46.86
CBC 10%	15.25	25.05	47.34
CBC 20%	13.88	23.84	45.81
AC 5%	16.51	24.00	43.44
AC 10%	14.48	22.05	39.31
AC 20%	13.54	21.34	37.23
YD 5%	12.67	15.45	22.28
YD 7.5%	12.5	15.28	21.15
YD 10%	12.44	14.33	20.03
RCP 3%	13.59	22.49	36.97
RCP 5%	13.17	19.31	34.22
RCP 8%	14.29	21.06	32.15
HR 10%	17.08	27.11	46.12
HR 20%	16.67	26.92	45.94
HR 40%	16.56	26.14	44.37

De la **Tabla 6** se observa que la muestra de concreto convencional CC registró una resistencia a la compresión de 46.35 MPa a los 28 días, la cual es ligeramente superior al valor objetivo planteado en la dosificación, demostrando una correcta dosificación.

Cuando se adiciona CBC a la mezcla de concreto se observa que la resistencia de las muestras a los 28 días aumenta a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de CBC, este comportamiento se observa hasta un 10% de reemplazo, pues, un aumento adicional de CBC resulta en una disminución de la

resistencia, tal como sucede con la muestra CBC 20%. Resultados similares lo obtuvieron Fairbairn et al. (2010), en cambio, Setayesh et al. (2017), indican que con un reemplazo de 15% de CBC la resistencia se nivela con la mezcla de referencia, pero un aumento adicional conduce a una disminución. Mientras que Jagadesh et al. (2018) obtuvieron altas resistencias con un 20% de reemplazo máximo de CBC procesado vía molienda y posterior quema a 400°C. En base a estos estudios, se puede establecer que el valor óptimo se encuentra entre 10-15 % de CBC sin procesar y hasta un 20% cuando es procesado. Una cantidad posterior a estos valores actuará únicamente como material de relleno y no como puzolánico. El aumento de la resistencia que experimenta el concreto al adicionar CBC puede deberse por un lado al contenido de sílice amorfa (**Tabla 1**), el cual tiene una propiedad puzolánica al reaccionar con el hidróxido de calcio (subproducto de la reacción de hidratación del cemento) y producir más silicato de calcio hidratado (CSH) que es el responsable de las propiedades mecánicas del concreto (Akram et al., 2009; Chindaprasirt et al., 2008; Ganesan et al., 2007). Por otro lado, el tamaño fino de la CBC llena los vacíos en la estructura del concreto, así como facilita la reactividad debido a su alta superficie específica, de esta manera favoreciendo la resistencia a la compresión (Akram et al., 2009). También es importante destacar que la tasa de aumento de la resistencia de las mezclas con CBC es mayor en los últimos días que a edades tempranas, por lo que a edades mucho más tardías puede mejorar aún más la resistencia, y esto puede deberse netamente a las propiedades puzolánicas del CBC.

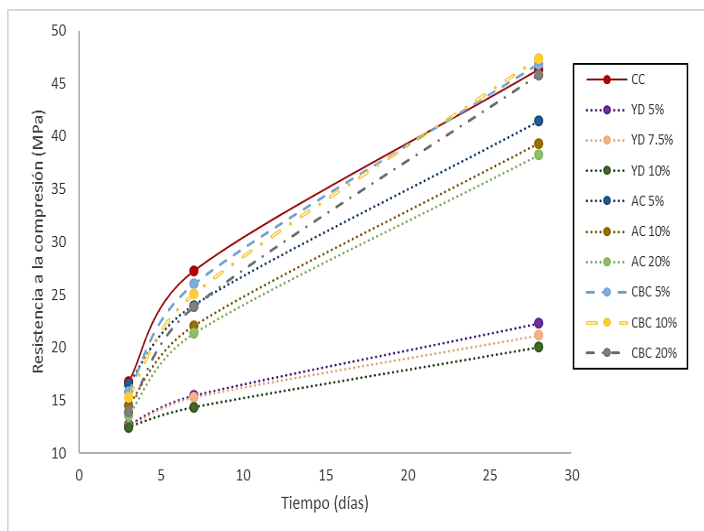


Figura 3 Resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días de las mezclas concreto alternativo con CBC, YD y AC.

Por otro lado, el tamaño de las partículas de AC y YD se encuentran en el rango de las partículas microfinas y ultrafinas según la norma ASTM C33 (ASTM C33/C33M - 18, 2018). Es sabido que estas partículas han sido consideradas dañinas para el concreto y mortero pues comprometen las propiedades mecánicas y de durabilidad (Buth et al., 1964). Sin embargo, varios investigadores han encontrado efectos beneficiosos en el mortero al estudiar las partículas en tamaño microfino y ultrafino presentes como impurezas y arcillas en proporciones de hasta 15% (Quiroga et al., 2006), y 30% (Katz & Baum, 2006) en los agregados finos. En este estudio, se puede observar que el reemplazo de cemento por AC y YD con partículas microfinas y ultrafinas disminuye la resistencia del concreto, siendo esto más pronunciado cuando se usa YD. Principalmente, esto se debe a la reducción de la capacidad de trabajo debido a su alta área de superficie, lo que requiere un aumento en la cantidad de agua, que a su vez reduce la resistencia. Además, como AC y YD no son materiales cementantes a esas condiciones, la relación agua/materiales cementicios aumenta, aunque este aumento puede ser compensado con el superplastificante añadido, no es suficiente como para evitar la disminución a la resistencia. La razón por la que AC no se ve tan afectado como YD, puede deberse a su diferente comportamiento dentro de la mezcla. El mineral de la AC es la caolinita, un mineral como muy poca capacidad de absorber agua entre sus capas. Dentro de la matriz alcalina del concreto (debido al Ca(OH)_2), la caolinita se encuentra en forma inactiva y no interactúa con ninguno de los elementos de la matriz, únicamente siendo capaz de modificar sus cargas superficiales y de producir un estado de floculación entre las partículas de arcilla. El hecho de que la resistencia disminuya con el aumento de reemplazo de AC, se debe únicamente al incremento de la relación agua/cemento. Khelifi et al. (2013) manifiestan que, si la relación agua/cemento se mantiene constante, sin importar la cantidad de AC que se agregue, la resistencia es la misma.

Para el caso de YD, se sabe que el aluminato tricálcico (C3A) al combinarse con yeso y agua produce etringita, sin embargo, si YD está en cantidad excesiva, puede reaccionar con el Ca(OH)_2 de la hidratación del cemento y dar lugar a la formación de sulfoaluminatos cálcicos hidratados que producen procesos de expansión y ruptura, pérdida de cohesión de la pasta de cemento y las partículas de los agregados, y por consiguiente menor resistencia. Además, las mezclas con YD sufren una reducción de trabajabilidad mucho mayor que la mezclas AC, esto indica una mayor absorción de agua por parte de YD. En ambos casos YD y AC, actúan como agregados de alta demanda de agua.

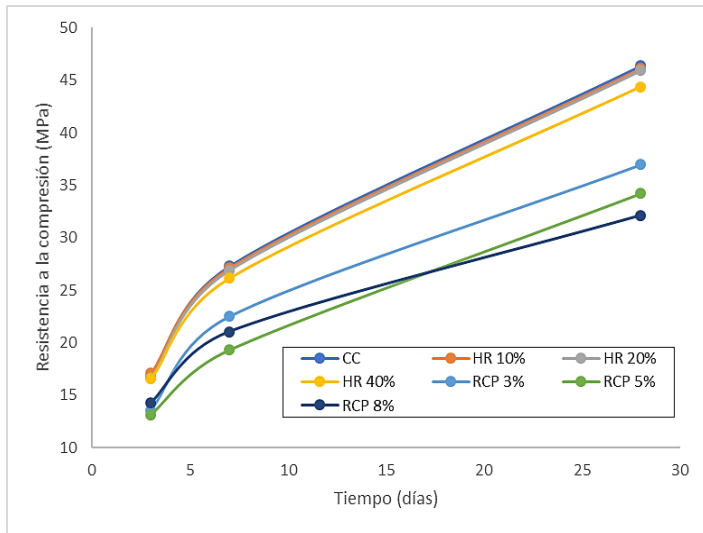


Figura 4 Resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días de las mezclas concreto alternativo con HR y RCP.

En cuanto a los agregados reciclados, los resultados de los ensayos mecánicos evidencian que la resistencia a la compresión es fuertemente afectada y se ve reducida a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo del RCP. Siendo el 26.17% el porcentaje de reducción máxima con un 8% de RCP. Estos resultados difieren en pequeña medida a los resultados encontrados por Oviedo et al. (2008), en donde la sustitución del agregado grueso por 5%, 10% y 15% de caucho produce pérdidas en la resistencia a la compresión de 11.2%, 17.3% y 38% respectivamente. Se ha podido observar que para un mismo % de reemplazo, el % de reducción de la resistencia depende del tamaño de partícula del caucho usado. Siendo mayor cuanto más alto es el tamaño de partícula del caucho. Estos resultados confirman los hallazgos de otros investigadores (Bonnet, 2003; Segre & Joekes, 2000; Turatsinze & Garros, 2008). La razón principal de la disminución de la resistencia se ha atribuido a la baja adherencia entre las partículas de RCP y la matriz de cemento.

Para el caso del HR, la sustitución de 10, 20% y 40% disminuye la resistencia en 0.49%, 0.88% y 4.27% con respecto al cilindro convencional, estableciéndose que el 20% es el máximo a usar como reemplazo, ya que su disminución es insignificante. Este % máximo depende de las propiedades mecánicas del hormigón del cual se recicla, el tamaño y % de absorción de agua de HR y las proporciones de diseño de la nueva mezcla, como la relación agua/cemento. Así el % óptimo obtenido en otros estudios es 30% (Limbachiya et al., 2000) con hormigón reciclado de 50 MPa, 25% (Thomas et al., 2018) con un hormigón de 25 MPa, pero con una relación agua/cemento de 0.4. Muchos investigadores concuerdan que la razón principal de la

disminución de resistencia es atribuida al hecho de que la superficie de HR posee una capa de cemento residual que afecta las propiedades mecánicas (Musiket et al., 2016). Otro efecto que es importante destacar es el hecho de que el % de absorción de agua en HR es mayor que el árido grueso natural, indicando una mayor porosidad y menor densidad aparente, lo que lleva a obtener hormigones menos densos y menos resistentes.

El efecto que tiene el % de reemplazo de cada material estudiado con respecto a la resistencia a la compresión se observa en la **Figura 5**. De esta imagen se deduce que los únicos materiales que incrementan la resistencia o la mantienen en un rango aceptable son la CBC como material cementicio suplementario y el HR como reemplazo del agregado grueso. Especial interés tiene la CBC que alcanza un punto de inflexión al 10%.

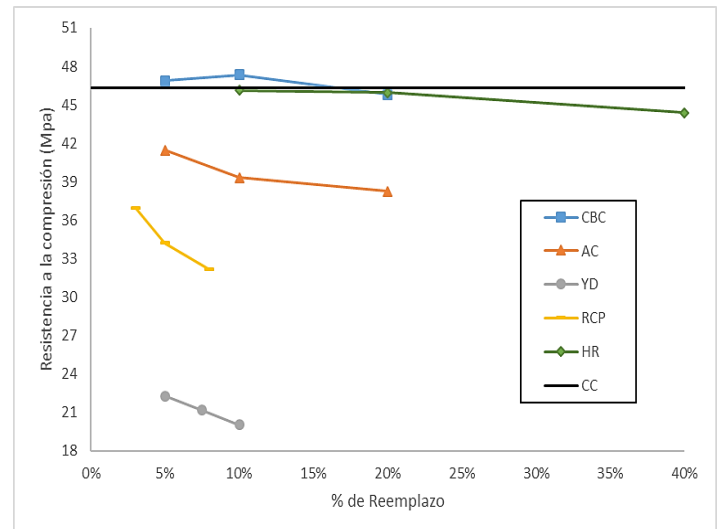


Figura 5 Influencia del % de reemplazo en la resistencia a la compresión a los 28 días.

3.2 Resistividad Eléctrica

El material que más beneficia a la resistividad eléctrica es el RCP, observándose que reemplazos de 3%, 5% y 8% incrementa la RE en un 11.9%, 76.75% y 99.9% respectivamente (**Figura 6**). Estos resultados pueden deberse a las propiedades poliméricas del RCP, que dentro del cilindro actúa como aislante eléctrico debido a su baja conductividad eléctrica. Además, su reducido tamaño se distribuye uniformemente en la mezcla evitando el paso de los iones a través del concreto. Resultados análogos han sido reportados por otros investigadores pero usando otros métodos para cuantificar la durabilidad del concreto, así Al-Akhras & Smadi (2004) reportaron una mayor resistencia a la penetración de los iones de cloruro para el mortero que contiene 5% y 10% de partículas de caucho

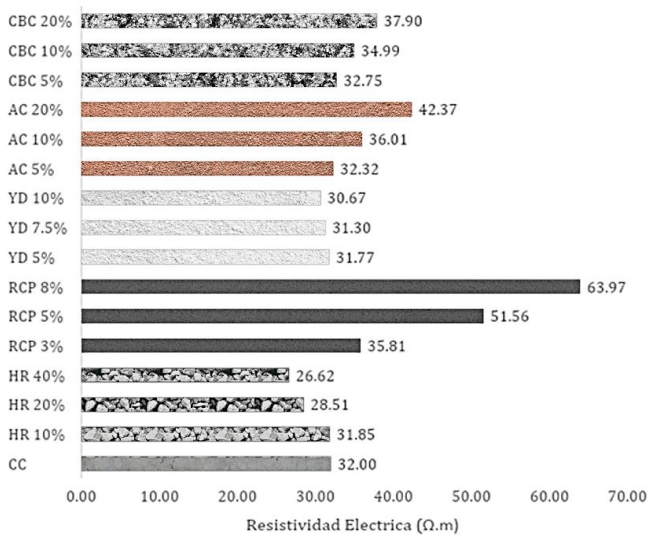


Figura 6. Resistividad eléctrica (RE) de los distintos cilindros alternativos y el cilindro convencional a los 28 días de curado.

Para el caso de CBC, un 20% de reemplazo incrementa la RE en 18.43 %. Se observa que por cada 1 unidad de % de reemplazo adicional, la RE aumenta en 0.45 unidades. Al igual que los resultados obtenidos en este estudio los resultados de Shafiq et al. (2014) muestran la eficacia del uso de CBA en la durabilidad de concreto realizado a través de la prueba de penetración de iones cloruro, establecieron que con solo un 5% de CBC, redujo la profundidad de penetración en un 50%. Rukzon & Chindaprasirt (2012), y Subramaniyan & Sivaraja (2016) también encontraron que la adición de CBC aumenta la resistencia a la penetración de cloruro y la permeabilidad. La razón del aumento de RE, se debe a la generación de CSH, la cual crea un hormigón mucho más compacto, con una cantidad mínima de poros, que obstaculizan la difusión de iones en el hormigón.

Un resultado particular es el obtenido con el AC, el cual mejora notablemente la RE en todas las proporciones usadas. Varias pueden ser las causas de este notable incremento: a) su tamaño microfino y ultrafino actúa como un material de relleno, disminuyendo la porosidad y aumentando RE, b) la superficie de las partículas de caolinita en la AC disminuye la concentración de álcalis e iones por procesos de adsorción e intercambio iónico, y c) La AC cuando es pura es bastante resistente a la acción química de los reactivos. Alguna o más de una de estas causas podrían actuar sinérgicamente beneficiando la RE. Por otro lado, el HR y la YD son los materiales en los cuales disminuye la RE. En HR la disminución es más pronunciada, la justificación a este resultado es la gran cantidad de poros que posee este material, en los cuales se aloja agua e iones, y debido a la que las pruebas de RE se llevan en condición SSD, el agua en los poros incrementa la conductividad eléctrica y disminuye la RE. En la

literatura existen resultados similares, el incremento en el porcentaje de reemplazo de HR disminuye la resistencia a la penetración de los iones y la permeabilidad (Guo et al., 2018; Kisku et al., 2017; Wang et al., 2016). Los resultados con YD tienen cierta singularidad, debido al hecho de que un 10% de reemplazo de YD provoca una disminución de más del 50% de la resistencia a la compresión, pero reduce en apenas un 5% la RE. Los cilindros con YD, poseen por un lado menor relación agua/cemento, pero por otro lado las partículas microfinas y ultrafinas rellenan los poros afectando las soluciones del poro y contrarrestando el contenido de humedad superior, lo que lleva a una disminución ligera de RE, pero a una excesiva de resistencia a la compresión debido a la falta de CSH.

De la bibliografía consultada se puede evidenciar que los resultados obtenidos de la resistividad eléctrica poseen una correlación directa con las propiedades de resistencia a la penetración de los iones y la permeabilidad, por lo que la RE podría ser usada como parámetro de la durabilidad. Aunque dicha correlación depende de la composición del hormigón, la relación agua/cemento, el uso de aditivos, entre otros (Guo et al., 2018). Por eso es necesario profundizar la investigación en ese campo.

4. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en las diferentes mezclas con los reemplazos estipulados, se concluye que:

- La ceniza de bagazo de caña (CBC) debido a sus propiedades puzolánicas mejora la resistencia a la compresión y la resistividad eléctrica, siendo el 10% el porcentaje óptimo de reemplazo.
- Las partículas microfinas y ultrafinas de la arcilla caolín (AC) y yeso dihidratado (YD) al reemplazar el cemento portland reducen notablemente la resistencia a la compresión debido a que no poseen propiedades puzolánicas, pero incrementan (para el caso de AC) y disminuyen ligeramente (para el caso de YD) la resistividad eléctrica a causa de su diminuto tamaño de partícula y las propiedades exclusivas de cada material.
- El máximo porcentaje de reemplazo de residuo de caucho pulverizado (RCP), reduce hasta un tercio de la resistencia de un cilindro convencional, no obstante, duplica la resistividad eléctrica, lo que podría favorecer la durabilidad de un hormigón.
- Todos los reemplazos de hormigón reciclado como sustituto del árido grueso no producen un descenso significativo en la resistencia a la compresión, sin embargo, en la resistividad eléctrica si disminuye hasta un 17% con respecto a un concreto convencional.

- Los resultados de la presente investigación mostraron que los mejores materiales de reemplazo para mejorar propiedades mecánicas y la resistividad eléctrica fueron: CBC como material cementicio suplementario, HR y RCP como agregados reciclado grueso y fino respectivamente. Por lo tanto, una mezcla de concreto sustentable a base de 10% CBC, 40% HR y 8% RCP podría ser factible con las propiedades deseadas y aplicable en diversos sectores de la construcción.
- La resistividad eléctrica en masa es una técnica efectiva que puede servir de apoyo para predecir la durabilidad de un hormigón a largo plazo. En este estudio se demuestra una correlación directa entre RE y la resistencia a la penetración de los iones cloruro así como con la permeabilidad, aunque esta relación podría estar influenciada por otros factores.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la compañía Hormicroto, así como al Laboratorio de Suelos de la Universidad de Cuenca que han ofrecido la posibilidad de realizar este trabajo.

6. Bibliografía

- [1] Akram, T., Memon, S. A., & Obaid, H. (2009). Production of low cost self compacting concrete using bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 23(2), 703–712. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2008.02.012>
- [2] Al-Akhras, N. M., & Smadi, M. M. (2004). Properties of tire rubber ash mortar. *Cement and Concrete Composites*, 26(7), 821–826. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2004.01.004>
- [3] Alizadeh, A., Layssi, H., Ghods, P., & Salehi, M. (2015). Electrical Resistivity of Concrete: Concepts, applications, and measurement techniques. *Concrete International*, 2–3. Retrieved from www.concreteinternational.com/7CCi%7CMAY201541
- [4] ASTM C127 - 15. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/C127>
- [5] ASTM C128 - 15. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/C128>
- [6] ASTM C143 / C143M - 15a. (2015). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/C143>
- [7] ASTM C188 - 17. (2017). Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/C188>
- [8] ASTM C192 / C192M - 18. (2018). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/C192>
- [9] ASTM C204-16. (2016). Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus. Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/C204.htm>
- [10] ASTM C33 / C33M - 18. (2018). Standard Specification for Concrete Aggregates. Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/C33>
- [11] ASTM C39 / C39M - 18. (2018). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/C39>
- [12] ASTM C494 / C494M - 17. (2017). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/C494>
- [13] Azarsa, P., & Gupta, R. (2017). Electrical Resistivity of Concrete for Durability Evaluation: A Review. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 1–30. <https://doi.org/10.1155/2017/8453095>
- [14] Bahurudeen, A., Kanraj, D., Gokul Dev, V., & Santhanam, M. (2015). Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete. *Cement and Concrete Composites*, 59, 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.03.004>
- [15] Bisht, K., & Ramana, P. V. (2017). Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 155, 811–817. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.131>
- [16] Bonnet, S. (2003). Effet de l'Incorporation des Granulats Caoutchouc sur la Résistance à la Fissuration des Mortiers'. *XXIEMES Rencontres Universitaires de Génie Civil*, 59–70.
- [17] Bremmer, T. W., & Eng, P. (2001). Environmental aspect of concrete: Problems and solutions. Plenary Session of the 1st All-Russian Conference on Concrete And Reinforced Concrete, 14. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228806986_Environmental_aspect_of_concrete_Problems_and_solutions
- [18] Brunatti, C., & Souza, E. (2011). El hormigón y el ambiente. *Revista Hormigonar*, (25), 03–12. Retrieved from <https://docplayer.es/18146380-El-hormigon-y-el-ambiente-ing-carlos-brunatti-arq-edgardo-souza.html>
- [19] Buth, E., Don, L., & Hirsch, T. J. (1964). CORRELATION OF CONCRETE PROPERTIES . WITH TESTS FOR CLAY CONTENT OF Deleterious Materials in Concrete Research Project Number, (32). Retrieved from <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/71-1.pdf>



- [20] Chandra, S., Mbewe, P., Kong, S., & Šavija, B. (2019). Agricultural Solid Waste as Source of Supplementary Cementitious Materials in Developing Countries. *Materials*, 12(7), 1112. <https://doi.org/10.3390/ma12071112>
- [21] Chindaprasirt, P., Rukzon, S., & Sirivatnanon, V. (2008). Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash. *Construction and Building Materials*, 22(5), 932–938. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2006.12.001>
- [22] CINCAE. (2008). Utilización de subproductos de la caña de azúcar y de la industria alcoholera ecuatoriana para uso en la fertilización en los cultivos de caña . Retrieved from <http://cincae.org/utilizacion-de-subproductos-de-la-cana-de-azucar-y-de-la-industria-alcoholera-ecuatoriana-para-uso-en-la-fertilizacion-en-los-cultivos-de-cana/?format=pdf>
- [23] Crow, J. M. (2008). The concrete conundrum. In *Chemistry World* (Vol. 5). Retrieved from https://www.rsc.org/images/construction_tcm18-114530.pdf
- [24] Fairbairn, E. M. R., Americano, B. B., Cordeiro, G. C., Paula, T. P., Toledo Filho, R. D., & Silvano, M. M. (2010). Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO₂ emissions reduction and potential for carbon credits. *Journal of Environmental Management*, 91(9), 1864–1871. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2010.04.008>
- [25] Ganesan, K., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2007). Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites*, 29(6), 515–524. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2007.03.001>
- [26] Ghani, A. A., Alghazali, H. H., ElGawady, M. A., Myers, J. J., & Feys, D. (2019). Durability properties of cleaner cement mortar with by-products of tire recycling. *Journal of Cleaner Production*, 213, 1135–1146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.260>
- [27] Guo, H., Shi, C., Guan, X., Zhu, J., Ding, Y., Ling, T.-C., ... Wang, Y. (2018). Durability of recycled aggregate concrete – A review. *Cement and Concrete Composites*, 89, 251–259. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2018.03.008>
- [28] Hasanbeigi, A., Price, L., & Lin, E. (2012). Emerging energy-efficiency and CO₂ emission-reduction technologies for cement and concrete production: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6220–6238. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.07.019>
- [29] Hernández-Jatib, N., Ulloa-Carcasés, M., Almaguer-Carmenate, Y., & Ferrer, Y. R. (2013). EVALUACIÓN AMBIENTAL ASOCIADA A LA EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN LA INAGUA, GUANTÁNAMO, CUBA. *Luna Azul*, 13. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n38/n38a09.pdf>
- [30] INEC. (2016). Módulo de Información Ambiental Económica en Empresas 2016. Retrieved from https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas_2016/P_RIN_RESUL_MOD_AMB_EMP_2016.pdf
- [31] Ismail, M. D., Alam, S. S., & Abdul Hamid, R. B. (2017). Trust, Commitment and Competitive Advantage in SMEs Export Performance. *Gadjah Mada International Journal of Business*, 19(1), 1. <https://doi.org/10.22146/gamaijb.22680>
- [32] Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A., & Murugesan, R. (2018). Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. *Construction and Building Materials*, 176, 608–617. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.05.037>
- [33] Jiménez, L. F., Domínguez, J. A., & Vega-Azamar, R. E. (2018). Carbon Footprint of Recycled Aggregate Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2018/7949741>
- [34] Katz, A., & Baum, H. (2006). Effect of High Levels of Fines Content on Concrete Properties. *ACI Materials Journal*, 103(6), 474–482. <https://doi.org/10.14359/18226>
- [35] Khelifi, H., Perrot, A., Lecompte, T., & Ausias, G. (2013). Design of clay/cement mixtures for extruded building products. *Materials and Structures*, 46(6), 999–1010. <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9949-4>
- [36] Kisku, N., Joshi, H., Ansari, M., Panda, S. K., Nayak, S., & Dutta, S. C. (2017). A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. *Construction and Building Materials*, 131, 721–740. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029>
- [37] Kumar, P. (2001). Reducing the Environmental impact of concrete. *Concrete International*, 13, 61–66. Retrieved from http://maquinamole.net/EcoSmartconcrete.com/docs/trm_ehta01.pdf
- [38] Lehne, J., & Preston, F. (2018). Chatham House Report Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. In Chatham House Report. Retrieved from <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston.pdf>
- [39] Li, Y., Zhang, S., Wang, R., & Dang, F. (2019). Potential use of waste tire rubber as aggregate in cement concrete – A comprehensive review. *Construction and Building Materials*, 225, 1183–1201. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.198>
- [40] Limbachiya, M. C., Leelawat, T., & Dhir, R. K. (2000). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. *Materials and Structures*, 33(9), 574–580. <https://doi.org/10.1007/BF02480538>



- [41] Madlool, N. A., Saidur, R., Hossain, M. S., & Rahim, N. A. (2011). A critical review on energy use and savings in the cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2042–2060. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.005>
- [42] Mangi, S. A., Jamaluddin, N., Wan Ibrahim, M. H., Abdullah, A. H., Abdul Awal, A. S. M., Sohu, S., & Ali, N. (2017). Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012001>
- [43] Meyer, C. (2002). *Concrete and Sustainable Development*. ACI Symposium Publication, 206, 501–512. <https://doi.org/10.14359/12272>
- [44] Miller, S. A., Horvath, A., & Monteiro, P. J. M. (2018). Impacts of booming concrete production on water resources worldwide. *Nature Sustainability*, 1(1), 69–76. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0009-5>
- [45] Modani, P. O., & Vyawahare, M. R. (2013). Utilization of Bagasse Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete. *Procedia Engineering*, 51, 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.007>
- [46] Mohammed, B. S., & Adamu, M. (2018). Mechanical performance of roller compacted concrete pavement containing crumb rubber and nano silica. *Construction and Building Materials*, 159, 234–251. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.098>
- [47] Musiket, K., Rosendahl, M., & Xi, Y. (2016). Fracture of Recycled Aggregate Concrete under High Loading Rates. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(6), 04016018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001513](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001513)
- [48] Oviedo et al. (2008). Estudio del concreto hidráulico con adición de tiras de caucho de desecho de llanta. *Revista de La Escuela Colombiana de Ingeniería*, 18(17), 7–17.
- [49] Paricaguan, B., Albano, C., Vladimir, R., Camacho, N., Infante, J., & Muñoz, J. (2013). Efecto de las fibras de coco sobre la resistencia a la flexión de mezclas de hormigón. *Revista DYNA*, 88(4), 424–432. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6036/5646>
- [50] Pham, N.-P., Toumi, A., & Turatsinze, A. (2019). Effect of an enhanced rubber-cement matrix interface on freeze-thaw resistance of the cement-based composite. *Construction and Building Materials*, 207, 528–534. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.147>
- [51] Quiroga, P., Ahn, N., & Fowler, D. W. (2006). Concrete mixtures with high microfines. In *ACI Materials Journal* (Vol. 103). Retrieved from <https://researchers.dellmed.utexas.edu/en/publications/concrete-mixtures-with-high-microfines-2>
- [52] Reyes-sánchez, J. A., Tenza-abril, A. J., Verdu, F., & Reyes Perales, J. A. (2017). Predicting modulus of elasticity of recycled aggregate concrete using nonlinear mathematical models. *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*, 6(4), 703–715. <https://doi.org/10.2495/CMEM-V6-N4-703-715>
- [53] Rukzon, S., & Chindapasirt, P. (2012). Utilization of bagasse ash in high-strength concrete. *Materials & Design*, 34, 45–50. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2011.07.045>
- [54] Saez, E. (2013). Un cemento hidráulico ecológico - Construcción Pan-Americana. Retrieved September 8, 2019, from <https://www.construccion-pa.com/reportajes/un-cemento-hidraulico-ecologico/>
- [55] Safiuddin, M., Alengaram, U. J., Rahman, M. M., Salam, M. A., & Jumaat, M. Z. (2013). USE OF RECYCLED CONCRETE AGGREGATE IN CONCRETE: A REVIEW. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(6), 796–810. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.799093>
- [56] Samadi, A. (1996). *Treatment of Fly Ash to Increase its Cementitious Characteristics*. PhD Dissertation, Drexel University, Philadelphia, PA.
- [57] Segre, N., & Joekes, I. (2000). Use of tire rubber particles as addition to cement paste. *Cement and Concrete Research*, 30(9), 1421–1425. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00373-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00373-2)
- [58] Setayesh, P., 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. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.07.107>
- [59] Shafiq, N., Elhsameed, A. A., & Nuruddin, M. F. (2014). Durability of Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) Concrete towards Chloride Ion Penetration. *Applied Mechanics and Materials*, 567, 369–374. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.567.369>
- [60] Silva, F. M., Gachet Barbosa, L. A., Lintz, R. C. C., & Jacintho, A. E. P. G. A. (2015). Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber. *Construction and Building Materials*, 91, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.027>
- [61] Silva, R. V., Brito, J., & Dhir, R. K. (2015a). Tensile strength behaviour of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 83, 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.034>
- [62] Silva, R. V., Brito, J., & Dhir, R. K. (2015b). The influence of the use of recycled aggregates on the compressive strength of concrete: a review. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 19(7), 825–849. <https://doi.org/10.1080/19648189.2014.974831>



- [63] Souche, J.-C., Devillers, P., Salgues, M., & Garcia Diaz, E. (2017). Influence of recycled coarse aggregates on permeability of fresh concrete. *Cement and Concrete Composites*, 83, 394–404. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.08.002>
- [64] Subramaniyan, K. S., & Sivaraja, M. (2016). Assessment of Sugarcane Bagasse Ash Concrete on Mechanical and Durability Properties. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24(S1), 257–262. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.S1.52>
- [65] Thomas, B. S., Kumar, S., Mehra, P., Gupta, R. C., Joseph, M., & Csetenyi, L. J. (2016). Abrasion resistance of sustainable green concrete containing waste tire rubber particles. *Construction and Building Materials*, 124, 906–909. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.110>
- [66] Thomas, J., Thaickavil, N. N., & Wilson, P. M. (2018). Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates. *Journal of Building Engineering*, 19, 349–365. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2018.05.007>
- [67] Turatsinze, A., & Garros, M. (2008). On the modulus of elasticity and strain capacity of Self-Compacting Concrete incorporating rubber aggregates. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(10), 1209–1215. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2008.06.012>
- [68] Wang, H., Sun, X., Wang, J., & Monteiro, P. J. M. (2016). Permeability of concrete with recycled concrete aggregate and pozzolanic materials under stress. *Materials*, 9(4), 252. <https://doi.org/10.3390/ma9040252>



Caracterización experimental y teórica de paneles sometidos a fuerza lateral y ensamblados con unidades de mampostería hechas a base de papel reciclado y engrudo de almidón de Yuca.

Experimental and theoretical characterization of panels under lateral load and assembled with masonry units made of recycled paper and Yucca starch.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Jose Chanchi Golondrino¹, Juan Gomez Diaz¹, Cristhian González Lozano¹

Historial del artículo:

¹Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia
jchanchigo@unal.edu.co, teléfono: +57 6 8879300

Recibido
25-10-2019
Aceptado
17-04-2020
Publicado
25-04-2020

Resumen

Este artículo describe el comportamiento a fuerza lateral y propone un modelo teórico para estimar la rigidez lateral de paneles en escala 1:1 ensamblados con unidades de mampostería hechas a base de papel reciclado, cubetas de cartón para el almacenamiento de huevos y almidón de Yuca. Tres paneles de 1.56m de alto, 0.47m de ancho y 0.090m de espesor fueron ensamblados utilizando las unidades de mampostería, refuerzo longitudinal y elementos de confinamiento metálicos. Los resultados muestran que el comportamiento de los paneles a fuerza lateral es dúctil dado que son capaces de asumir derivas hasta del 15% con daños bajos en las unidades de mampostería y en los elementos de confinamiento. Un modelo que predice la rigidez lateral del panel fue propuesto considerando la rigidez a corte del conjunto de unidades de mampostería. Los resultados también muestran que el modelo de rigidez sobreestima los desplazamientos laterales de los paneles hasta el 13%. Los paneles son propuestos como paneles divisorios – no estructurales para edificios debido a que son livianos, fáciles y rápidos de ensamblar, desmontables, podrían ser protegidos contra humedad o fuego y más importante, después de un evento sísmico significativo su daño es bajo, requiriendo el re-tensionamiento del refuerzo o el cambio de refuerzo, proceso que es rápido y limpio.

Palabras Clave:
Eco-material
Papel reciclado
Panel en papel reciclado
Paneles de bajo daño sísmico

Article history:

Abstract

Received
25-10-2019
Accepted
17-04-2020
Available
25-04-2020

This paper describes the behaviour under lateral load and propose a model to assess the lateral stiffness of panels in scale 1:1 assembled with masonry units made of recycled paper, cardboard buckets for eggs storage, and Yucca starch. Three panels of 1.56m in height, 0.47 in width, and 0,090m in thickness were assembled using the recycled paper masonry units, longitudinal reinforcement and metallic confinement elements. Results show that the panel behaviour under lateral load is ductile given that the panel can undergo drifts up to 15% with low damage on the masonry units or on the confinement elements. A model for predicting the lateral stiffness of the panel was proposed based on the shear stiffness of the set of the masonry units. Results also show that the stiffness model over estimates the panel lateral displacements up to 13%. The panels are proposed as non-structural partitions for buildings because they are light, easy and fast assembly, dismountable, they can be protected against humidity and fire; and more importantly, after a significant seismic event they undergo low damage, thus requiring reinforcement re-tensioning or reinforcement replacement, which is fast and clean.

Keywords:
Eco-material
Recycled paper
Recycled paper panel
Low seismic damage panels.

1. INTRODUCCION

La tendencia actual en desarrollo sostenible está basada en el uso eficiente de los recursos naturales y en la reutilización de los residuos valorizados entendidos como aquellos residuos que pueden ser reciclados (Cervantes et al., 2010). Una de las aplicaciones de esta tendencia se encuentra en la industria constructora, en donde el desarrollo de materiales alternativos hechos a base de materias primas recicladas ha venido tomando auge (Aperador et al., 2011). El desarrollo de materiales alternativos a base de residuos valorizados es importante debido a que disminuye el impacto ambiental reduciendo la cantidad de residuos con destino a los rellenos sanitarios y a la vez incentiva el desarrollo de sistemas constructivos más económicos que los sistemas tradicionales (Reyes & Cornejo, 2014; Caballero et al., 2013). Entre las aplicaciones más atractivas de materiales alternativos en la industria constructora está el desarrollo de paneles divisorios livianos y dúctiles, condiciones que favorecen el desempeño sísmico de los sistemas estructurales con este tipo de paneles en zonas activas sísmicamente (Aperador et al., 2011; Reyes & Cornejo, 2014; Chanchi et al., 2008a, 2008b).

Entre los residuos valorizados usados en el desarrollo de materiales alternativos para paneles divisorios por diferentes investigadores se encuentra el papel y el cartón (Cervantes et al., 2010; Aperador et al., 2011; Caballero et al., 2013; Cañola et al., 2012; Chanchi et al., 2008a, 2008b). Dos tipos de técnicas constructivas de paneles hechos a base de papel y cartón han sido explorados experimentalmente por diferentes autores. El primer tipo de técnica constructiva está basada en vaciar el cuerpo del panel con una mezcla de papel, cartón, agua y con la adición o la omisión de un ligante. El cuerpo del panel puede ser reforzado interior o exteriormente y es secado a temperatura ambiente. El segundo tipo de técnica constructiva está basada en prefabricar las unidades de mampostería con una mezcla de papel, cartón, agua y un ligante. Las unidades son secadas en un horno hasta obtener peso constante y el cuerpo del panel es conformado superponiendo las unidades de mampostería, a las cuales se les suministra un sistema de confinamiento que permite que las unidades de mampostería se comporten como un conjunto.

Entre las investigaciones experimentales desarrolladas en la primera técnica constructiva de paneles hechos a base de papel o cartón se pueden mencionar: i) fracciones de papel y cartón mezcladas con agua y posteriormente compactadas con la adición de elemento de concreto reforzados localizados en la parte exterior del cuerpo panel (Cervantes et al., 2010), ii) láminas de papel periódico adheridas en las caras exteriores de un núcleo de poliuretano (Aperador et al., 2011) y iii) papel licuado en agua y mezclado con cemento Portland blanco con la

adición de fibras de polipropileno como refuerzo (Cañola et al., 2012). Estas investigaciones demostraron que los paneles hechos a base de papel se caracterizan por bajas densidades, grandes resistencias a la flexión y adecuadas condiciones estéticas, cuando comparados con paneles hechos a base de materiales convencionales.

En la segunda técnica constructiva de paneles ensamblados con unidades prefabricadas de mampostería hechas a base de papel se puede mencionar una investigación experimental: i) paneles divisorios no estructurales con un sistema de confinamiento exterior, refuerzo longitudinal interior y conformados por unidades de mampostería hechas a base de papel periódico, cubetas de cartón para almacenar huevos y engrudo de almidón de yuca como ligante (Chanchi et al., 2008a, 2008b). Esta investigación demostró que el uso de unidades de mampostería prefabricadas a base de papel, cubetas de cartón para almacenar huevos y ligante, generaron paneles de baja densidad, de alta versatilidad constructiva, de alta ductilidad a carga vertical y alta adherencia entre unidades, cuando son comparados con paneles convencionales.

Considerando las ventajas que ofrecen las unidades prefabricadas de papel en el ensamblaje de paneles de la segunda técnica constructiva descrita anteriormente y teniendo en cuenta que a la fecha no se tiene referencia de investigación alguna que describa el comportamiento a carga lateral de este tipo de paneles; este artículo describe el comportamiento experimental de la fuerza lateral sobre paneles a escala real y propone un modelo que predice la rigidez lateral de este tipo paneles. Las siguientes preguntas son resueltas en este artículo:

- ¿Cuál es el comportamiento del panel cuando está sometido a fuerza lateral cuasi-estática unidireccional?
- ¿Cuál es el mecanismo de falla del panel cuando está sometido a fuerza lateral?
- ¿Cuáles son las posibles aplicaciones, ventajas y limitaciones de este panel?
- ¿Cuál es un modelo simple para predecir la rigidez lateral del panel?
- ¿Cuál es la efectividad del modelo teórico propuesto de la rigidez lateral del panel en la predicción de los desplazamientos laterales del panel?

2. Materiales.

2.1 Unidad de mampostería

La unidad de mampostería fue elaborada usando un material llenante y un material ligante. El material llenante fue constituido por papel periódico reciclado molido y cubetas de

cartón para almacenar huevos. El material ligante fue elaborado mezclando engrudo de almidón de yuca, vinagre y agua en proporciones en peso de 1:1:6.7, respectivamente. Esta mezcla fue calentada a una temperatura de 60°C durante 20 minutos. El aglomerado que constituyó la unidad de mampostería fue obtenido mezclando el papel periódico molido y el engrudo de almidón de yuca a temperatura ambiente durante 10 minutos y en proporciones en peso de 1:4.3, respectivamente. Este aglomerado se mezcló uniformemente durante 10 minutos hasta lograr una masa de consistencia media.

La unidad de mampostería se conformó usando una formaleta de paredes laterales de madera y con bases superior e inferior en moldes de aluminio. Estos moldes de aluminio presentaban

en una de sus caras la forma de las protuberancias y oquedades semiovoides de una cubeta para almacenar huevos (**Figura 1a**). La masa de papel periódico molido y engrudo de almidón de yuca fue vaciada sobre el molde inferior de la formaleta cubierto por una fracción de cubeta de cartón para almacenar huevos (**Figura 1b**). Sobre la masa vaciada se instaló el molde superior cubierto con una fracción de cubeta de cartón para almacenar huevos. La formaleta fue confinada horizontal y verticalmente con barras roscadas tensionadas con tuercas localizadas en ambos extremos de la barra e instaladas en la condición apriete ajustado (**Figura 1c**). La condición apriete ajustado es definida como la rotación máxima desarrollada en una tuerca, cuando esta es instalada por un hombre usando una llave estándar (Research Council on Structural Connections, 2004).

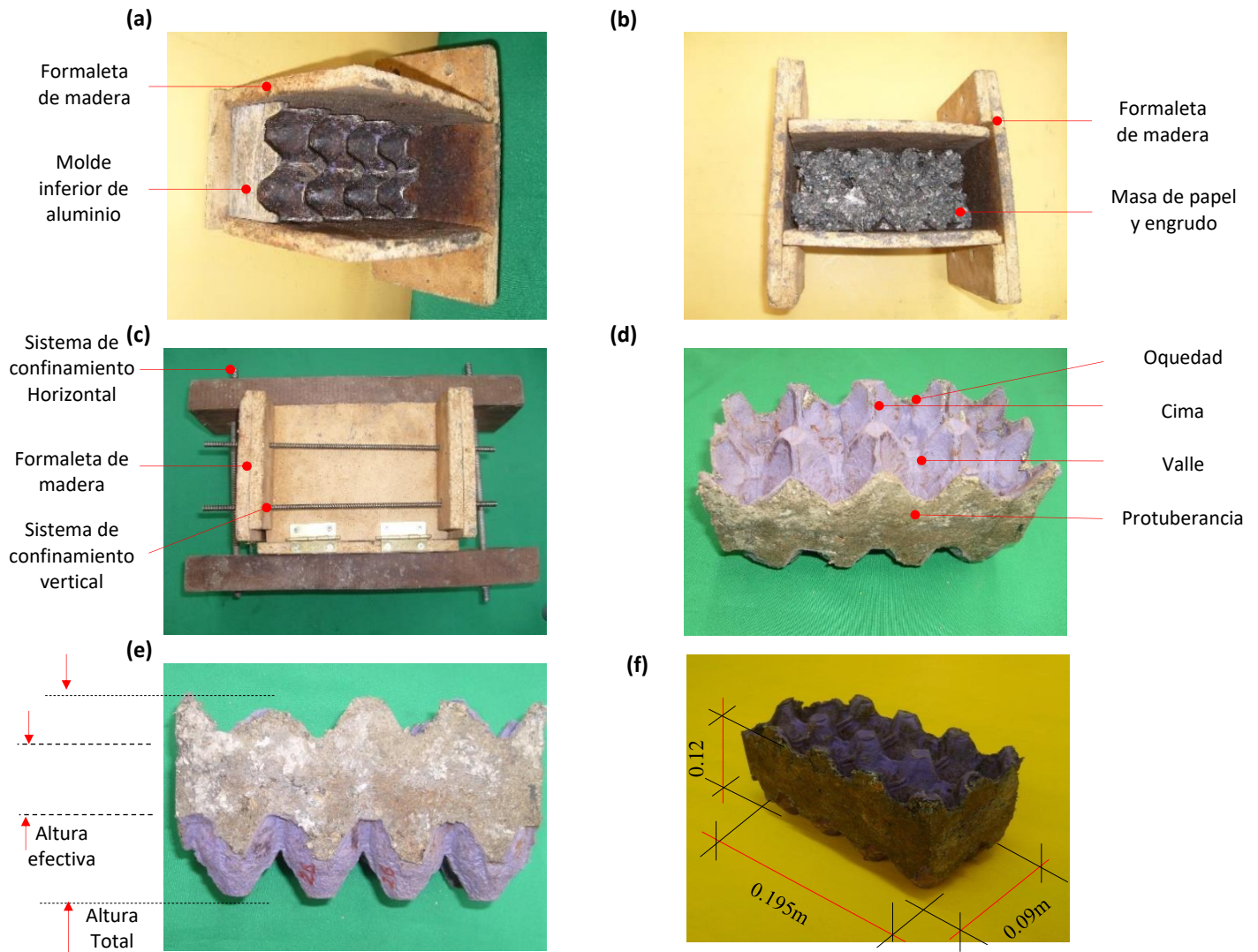


Figura 1. Unidad de mampostería y proceso de ensamblaje. (a) Formaleta de madera con molde inferior en aluminio. (b) Vaciado de la masa de papel periódico molido y engrudo de almidón de yuca. (c) Sistema de confinamiento de la formaleta. (d) Vista en planta de la unidad de mampostería. (e) Vista lateral de la unidad de mampostería y (f) Vista tridimensional de la unidad de mampostería

Este sistema formaleta-aglomerado fue secado en un horno eléctrico a una temperatura constante de 110°C durante 48 horas hasta lograr peso constante. En estado seco la unidad de mampostería cuenta con las siguientes dimensiones: 0.195m de longitud, 0.09m de ancho, 0.12m de altura total y 0.085m de altura efectiva (**Figuras 1d - f**).

2.2 Panel

Tres paneles fueron ensamblados. Cada panel presentó una forma prismática de base rectangular con dimensiones de 1.56m de altura, 0.47m de ancho y 0.095m de espesor. El cuerpo de cada panel fue constituido por 52.5 unidades de mampostería como las descritas en la **Sección 2.1** y dispuestas en 21 hiladas de 2.5 unidades. Las unidades de mampostería se instalaron sin ningún tipo de adhesivo encajando las protuberancias con las oquedades entre unidades consecutivas y con la ayuda de

refuerzo longitudinal. En esta disposición las unidades formaron juntas verticales discontinuas y juntas horizontales continuas (**Figura 2a**).

El cuerpo de cada panel fue delimitado en su parte superior e inferior por elementos prismáticos de confinamiento en aluminio. El elemento inferior de confinamiento contaba en una de sus caras con oquedades semiovoides y el elemento superior con protuberancias semiovoides para permitir el acople de las unidades de mampostería (**Figura 2c**). El refuerzo longitudinal fue constituido por 6 barras roscadas de diámetro 1/4 de pulgada de resistencia a la fluencia de 500 MPa y dispuestas verticalmente (**Figura 2b**). La densidad total del panel incluyendo unidades de mampostería, refuerzo longitudinal y elementos de confinamiento correspondió a 806Kg/m³.

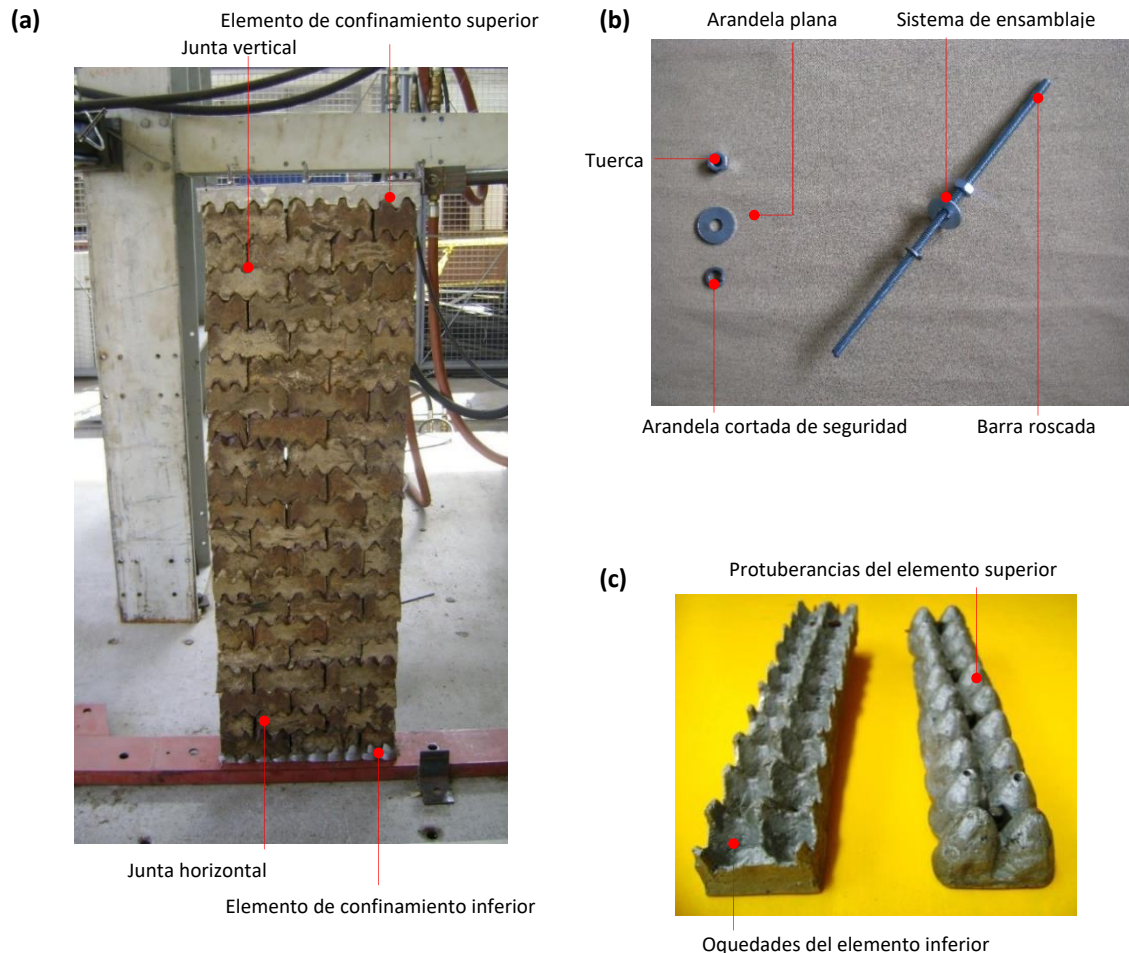


Figura 2. Detalle y componentes del panel. (a) Vista frontal del panel, (b) Refuerzo longitudinal y (c) Elementos de confinamiento.

3. Métodos

3.1 Ensamblaje del panel

Cada panel se ensambló sobre una viga metálica de sección canal. El elemento de confinamiento inferior se apernó al alma de la viga metálica usando cuatro pernos A325 de diámetro 3/8" y longitud 30mm (**Figura 3a, b**).

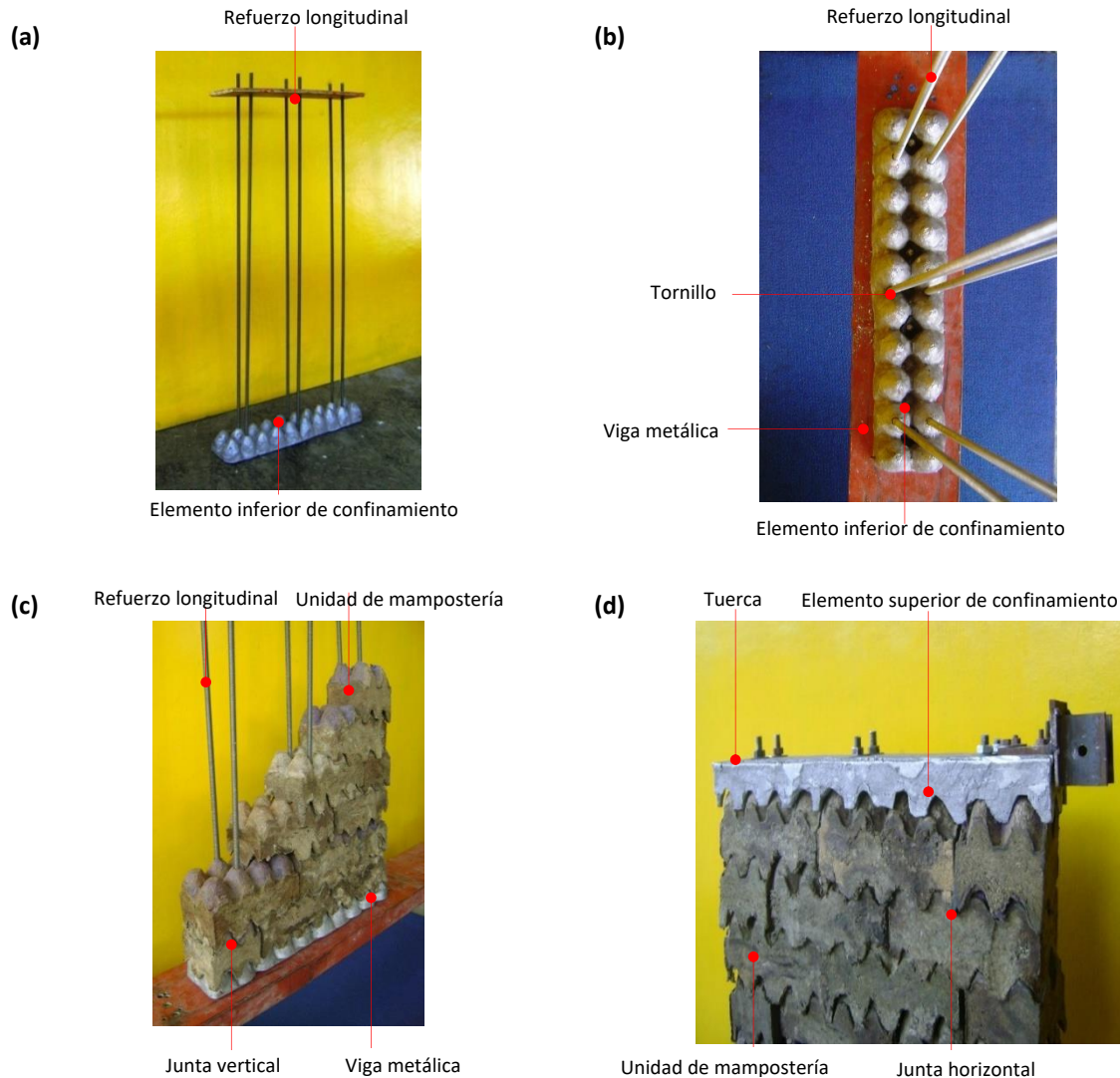


Figura 3 Etapas del proceso de ensamblaje del panel. **(a)** Elemento inferior de confinamiento. **(b)** Instalación de refuerzo longitudinal. **(c)** Instalación de unidades de mampostería y **(d)** Instalación elemento superior de confinamiento.

Las 6 barras roscadas que constituyeron el refuerzo longitudinal se instalaron perforando el elemento de confinamiento inferior y el alma de la viga metálica. Tuercas y arandelas fueron suministradas en el extremo de las barras roscadas que atravesó

el alma de la viga metálica (**Figura 3b**). Las unidades de mampostería se instalaron por filas insertando el refuerzo longitudinal en perforaciones que atravesaron la totalidad del espesor de las unidades. En cada fila las unidades de

mampostería fueron dispuestas consecutivamente y garantizando que las juntas verticales fueran discontinuas (**Figura 3c**). La instalación de filas consecutivas verticalmente se realizó haciendo coincidir las protuberancias semiovoides de las unidades de mampostería de la fila inferior con las oquedades semiovoides de las unidades de mampostería de la fila inmediatamente superior. Este sistema de ensamblaje generó una traba mecánica horizontal entre unidades de mampostería. Ningún tipo de ligante fue utilizado en las juntas verticales u horizontales (**Figura 3c**). Sobre la fila superior del panel se localizó el elemento de confinamiento previamente perforado, de tal manera que las 6 barras roscadas atravesaran el espesor del elemento de confinamiento. Las 6 barras roscadas fueron tensionadas usando tuercas (**Figura 3d**). Estas tuercas fueron instaladas en la condición de apriete ajustado (Research Council on Structural Connections, 2004) definida en la **Sección 2.1**.

3.2 Ensayo a carga lateral cuasi-estática del panel

El panel fue dispuesto para el ensayo apernando la viga metálica canal en la base del panel a una losa de reacción usando pernos de 1" de diámetro y 150mm de longitud (**Figura 4a**). La parte superior del panel fue alojada en una viga canal de madera que restringió los desplazamientos en el sentido perpendicular al plano del panel (**Figura 4 a-c**). El elemento de confinamiento en la parte superior del panel se conectó a un actuador mediante una barra de transmisión equipada con una rótula en cada extremo. Una de las rótulas se acopló al elemento de confinamiento y la otra rótula al extremo libre del pistón del actuador. Estas dos rótulas permitieron las rotaciones del panel en su propio plano (**Figuras 4a, c**).

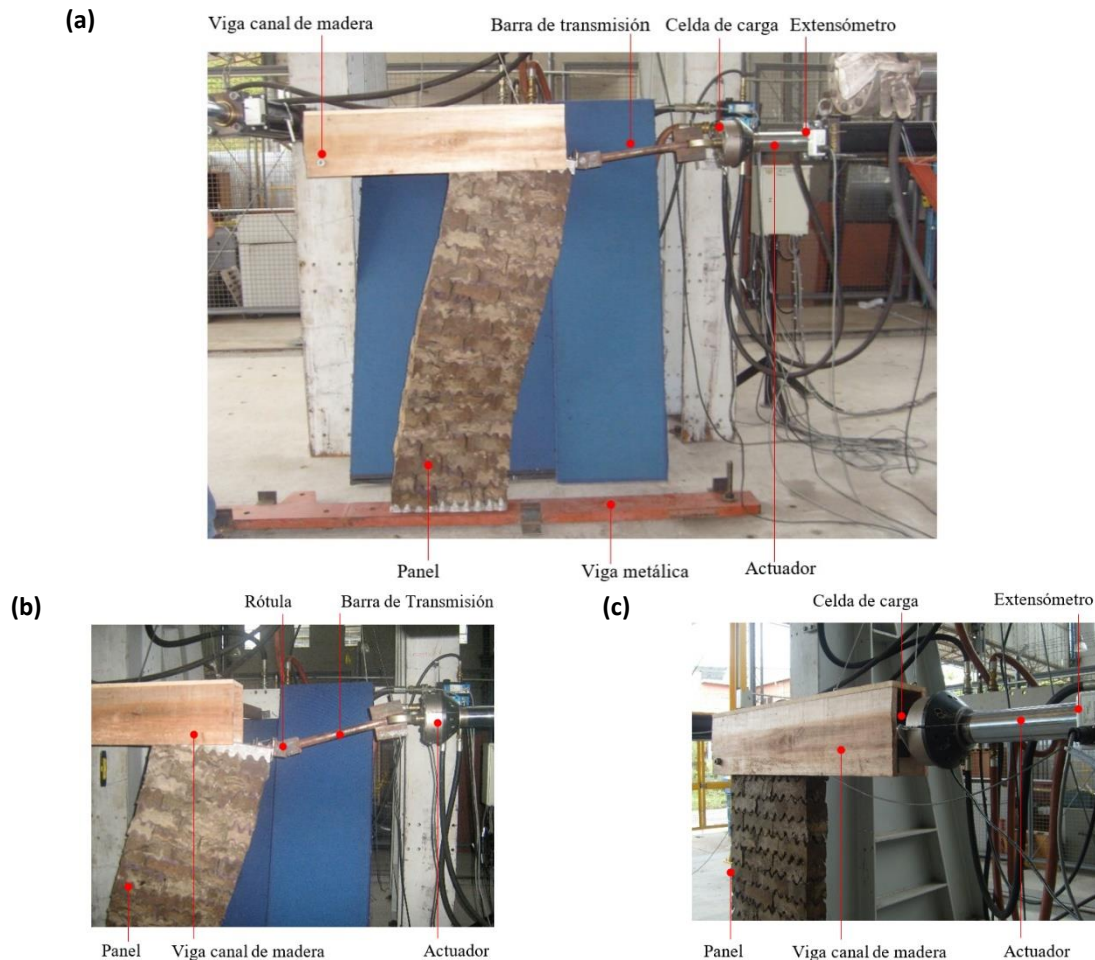


Figura 4. Montaje del ensayo del panel. (a) Vista frontal del montaje del ensayo del panel. (b) Unión rótula panel-actuador y (c) Actuador, celda de carga y extensómetro.

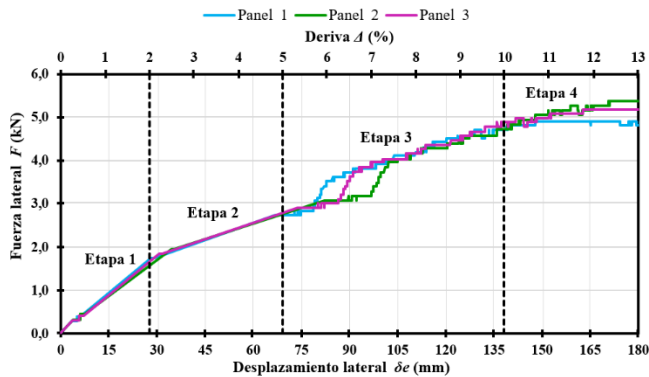
El actuador fue conectado a un marco de reacción y fue equipado en el extremo libre del pistón con una celda de carga y en la botella que contiene al pistón con un extensómetro (**Figura 4a, c**). Cada panel fue sometido a una fuerza lateral unidireccional cuasi-estática aplicada a una velocidad de 5mm/s y que varió desde una carga nula hasta la carga que falló el panel. El desplazamiento lateral del panel fue medido en el elemento de confinamiento superior con la ayuda del extensómetro.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS

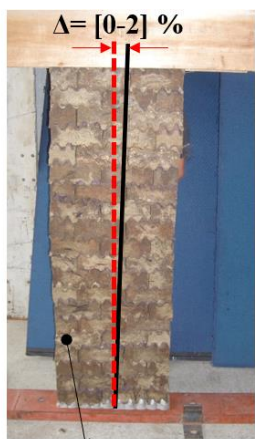
4.1 Comportamiento a fuerza lateral del panel

El comportamiento a fuerza lateral de los paneles se caracteriza por cuatro etapas con tendencia casi lineal (**Figura 5a**).

(a)

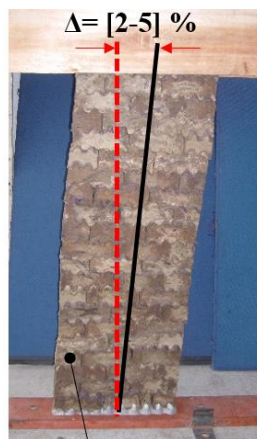


(b)



Ausencia de desplazamiento lateral relativo entre unidades de mampostería

(c)



Desplazamiento relativo entre las unidades de mampostería

(d)



Endurecimiento por deformación debido a fuerzas de contacto

(e)



Fluencia del refuerzo longitudinal en la base del panel

Figura 5. Comportamiento a fuerza lateral del panel. (a) Curva experimental fuerza lateral contra desplazamiento lateral de los paneles

En la etapa inicial, los paneles exhibieron derivas hasta del 2%. Incrementos en la fuerza lateral generaron bajos desplazamientos laterales y bajas rotaciones en el plano de los paneles. Estos desplazamientos y rotaciones son bajos cuando son comparados con los valores máximos registrados en el estado de falla del panel. Ni cambios en la forma de los paneles, ni desplazamientos laterales relativos entre las unidades de mampostería fueron observados (**Figura 5b**). Este comportamiento es debido a que los paneles desarrollaron su rigidez lateral máxima (**Figura 5a**). Después de que los paneles alcanzaron una deriva del 2%, los muros fueron descargados y se observó que los desplazamientos laterales y las rotaciones en el plano de los paneles retornaron a un valor nulo. Este comportamiento indica que en esta etapa inicial y hasta derivas del 2% el panel se comporta elásticamente. En la segunda etapa, los paneles exhibieron derivas entre el 2% y el 5%. Pequeños incrementos de fuerza lateral incrementaron moderadamente los desplazamientos laterales y las rotaciones en el propio plano de los paneles debido a que los paneles desarrollaron su rigidez lateral mínima (**Figura 5a**). La reducción en la rigidez lateral de los paneles se debió a desplazamientos laterales relativos que ocurrieron en las juntas verticales cuando las unidades de mampostería se desplazaron cerrando aquellos espacios que quedaron abiertos desde el ensamblaje de los paneles o se generaron durante las rotaciones de los paneles (**Figura 5c**).

En la tercera etapa, los paneles exhibieron derivas entre el 5% y el 10% con una rigidez lateral superior a la rigidez exhibida de la segunda etapa y ligeramente inferior a la rigidez exhibida en la primera etapa (**Figura 5a**). Las rotaciones de los paneles en su

propio plano se incrementaron significativamente y la forma de los paneles cambió considerablemente (**Figura 5d**). Este incremento en la rigidez lateral de los paneles se debió a un endurecimiento por deformación que sufrió cada una de las filas cuando fuerzas de aplastamiento entre unidades de mampostería contiguas se desarrollaron evitando que las unidades de mampostería se desplacen relativamente y aumentando la capacidad de absorción de fuerza lateral de los paneles. En la cuarta etapa, para derivas superiores al 10% los paneles exhibieron grandes desplazamientos con incrementos muy pequeños de fuerza (**Figura 5a**). Este comportamiento es debido a la fluencia del refuerzo longitudinal en la base de los paneles debido a esfuerzos de tracción inducidos por el momento generado por la fuerza lateral. Como resultado de la fluencia del refuerzo longitudinal, en esta cuarta etapa y para derivas superiores al 12%, los paneles también exhibieron desplazamientos y rotaciones fuera del plano de los paneles (**Figura 5d, e**).

4.2 Descripción del mecanismo de falla

El mecanismo de falla de los paneles es el producto de las acciones internas de momento y corte resultantes de la aplicación de la fuerza lateral. La acción del momento generó esfuerzos de tracción y compresión a lo largo del cuerpo de los paneles (**Figura 6a**). Mientras los esfuerzos de tracción generaron separaciones verticales entre las unidades de mampostería los esfuerzos de compresión generaron aplastamientos verticales entre unidades de mampostería. Ambos esfuerzos de tracción y compresión generaron la fluencia del refuerzo longitudinal en la base de los paneles. La máximas separaciones y aplastamientos verticales se presentaron en la base del panel y estas fueron reduciendo desde la base al extremo libre de los paneles (**Figura 6a**). Como resultado de la fluencia del refuerzo longitudinal en la base de los paneles, del lado de tracción, la separación vertical entre las unidades de mampostería fue significativa (**Figura 6c**) y en el lado de compresión, las unidades de mampostería se desplazaron fuera del plano de los paneles (**Figura 6b, d**).

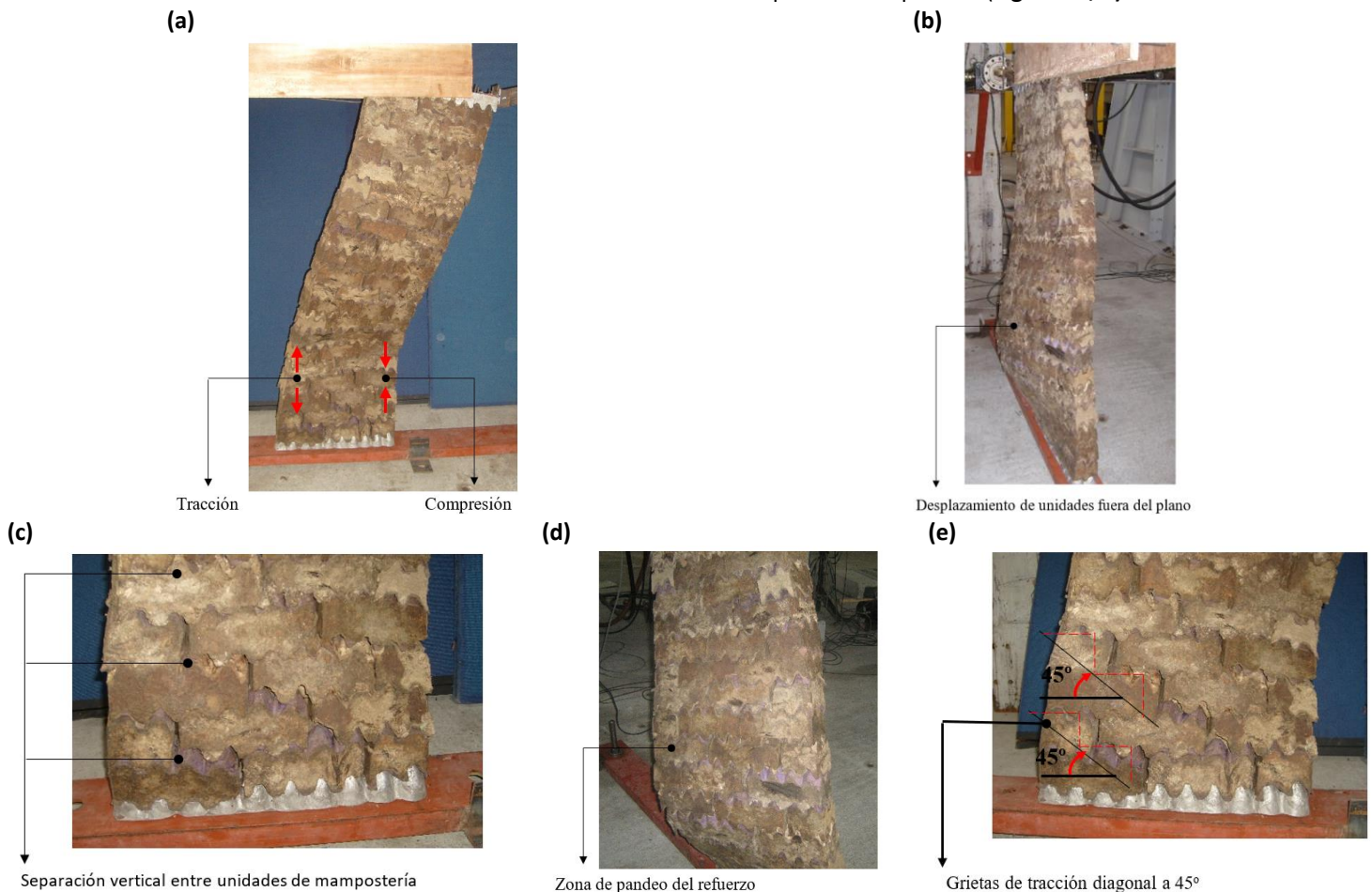


Figura 6. Descripción del mecanismo de falla del panel. (a) Vista frontal del panel en el estado de falla. (b) Vista lateral del panel en el estado de falla. (c) Separación de unidades de mampostería. (d) Desplazamientos fuera del plano de las unidades de mampostería y (e) Grietas debidas a tracciones diagonales



La acción del corte generó grietas escalonadas en el tercio inferior de la altura de los paneles. Estas grietas escalonadas unieron fracciones de juntas horizontales con juntas verticales y la longitud total de estas grietas disminuyó desde la base de los paneles al tercio de la altura de los paneles (**Figura 6a**). Las grietas escalonadas son debidas a las tracciones diagonales orientadas a 45° del eje axial de los paneles, las cuales son inducidas por la acción del corte en el cuerpo de los paneles. La **Figura 6e** muestra que las grietas escalonadas no atravesaron el ancho total de los paneles y que la separación vertical entre unidades de mampostería generada por estas grietas disminuye desde el lado de tracción al lado de compresión de los paneles. Esta variación en la separación vertical entre unidades de mampostería generada por las grietas escalonadas es debida a que mientras los esfuerzos de tracción abren las grietas, los esfuerzos de compresión las cierran. Después de la falla de los paneles se observó que las unidades de mampostería y los elementos de confinamiento no sufrieron daños que alteraran su geometría. En el caso del refuerzo longitudinal, deformaciones plásticas debidas a la fluencia a tracción y a compresión fueron observadas.

4.3 Aplicaciones, ventajas y limitaciones del panel.

El panel propuesto en esta investigación puede usarse como panel no estructural acoplable a marcos de concreto, marcos de acero, muros de mampostería convencional, los cuales constituyan sistemas estructurales en edificaciones ubicadas en zonas activas sísmicamente. En estas aplicaciones propuestas, el panel debe instalarse de tal manera que solo actúe como divisorio, en donde las cargas axiales transmitidas por el panel sean bajas o limitadas a su peso propio. Esta propuesta de aplicación está basada en las siguientes razones:

- Para derivas entre 1 - 2%, las cuales son usadas por códigos internacionales como límite en el diseño sísmico de edificaciones, el panel no sufrió daño alguno en ninguno de sus componentes y exhibió su rigidez lateral máxima, como se estableció en la Sección 4.2. Éste resultado indica que el desempeño sísmico del panel será más que satisfactorio cuando el sistema estructural al que esté acoplado alcance su condición de diseño sísmico.
- Ensayos a compresión axial de muretes conformados por unidades de mampostería similares a las usadas en esta investigación demostraron que en la condición de carga última, los muretes exhibieron gran deformabilidad axial con daño considerable en las unidades de mampostería (Chanchi et al., 2008-l). Este resultado indica que el desempeño a carga axial del panel no es satisfactorio, por tal razón la carga axial sobre el panel debe ser baja o limitada a su peso propio.

Entre las ventajas del panel propuesto se puede mencionar:

- La densidad del panel propuesto es 806 Kg/m³, la cual es aproximadamente el 40% de la densidad de muros convencionales con unidades de mampostería de arcilla o concreto. Esta baja densidad constituye al panel propuesto como un sistema constructivo liviano, ideal para reducir la carga muerta y la carga sísmica de edificaciones.
- El panel propuesto es desmontable, fácil de transportar y su proceso constructivo es rápido y limpio cuando comparado con el proceso constructivo de muros convencionales con unidades de mampostería de arcilla o concreto. Estas características constituyen al panel como un sistema constructivo versátil, ideal para reducir tiempos de construcción de edificaciones.
- Las superficies del panel pueden ser fácilmente pulidas, pintadas, taladradas o recubiertas. Estas características dan libertad en los acabados del panel contribuyendo a la estética de las edificaciones.
- Considerando que para derivas de hasta el 10% el comportamiento fuerza – desplazamiento lateral del panel es casi lineal sin daño alguno en sus componentes; se puede establecer que después de un evento sísmico alto, sólo el re-tensionamiento del refuerzo longitudinal del panel es requerido. Considerando también que para derivas entre el 10% y el 15% el panel solo registró fluencia en el refuerzo longitudinal; se puede establecer que para un evento sísmico severo, sólo el reemplazo del refuerzo longitud es requerido, proceso que es rápido y limpio. Estas características del panel lo constituyen como un sistema constructivo de bajo daño bajo, el cual podría disminuir el tiempo de disrupción de edificaciones después de un evento sísmico alto o severo.

Entre las limitaciones del panel propuesto se puede mencionar:

- El panel propuesto puede ser afectado por humedad o por fuego, condiciones que afectan la integridad de las unidades de mampostería. Debido a que la fecha estudios experimentales acerca del efecto de la humedad y el fuego sobre el panel no se han efectuado, se propone el uso del panel en ambientes interiores donde el efecto de estas condiciones sea reducido.

5. Modelo propuesto de la rigidez lateral del Panel.

5.1 Propiedades mecánicas del panel

El módulo de corte del panel, G , fue considerado como la propiedad mecánica básica en el modelo de la rigidez lateral del panel. Este módulo se obtuvo a partir de las curvas esfuerzo a corte - deformación angular reportadas por Chanchi et al. (2008a) (**Figura 7b**) y obtenidas a partir de ensayos de tensión diagonal sobre muretes conformados por unidades de mampostería iguales a las usadas en esta investigación (**Figura 7a**). Los muretes ensayados por Chanchi et al. (2008a) fueron prismáticos de dimensiones de 0.48m de altura, 0.48m de longitud y 0.09m de espesor y fueron ensamblados con la misma metodología usada en esta investigación (**Figura 7a**).

Debido a que las curvas esfuerzo a corte-deformación angular de los muretes ensayados por Chanchi et al. (2008a) fueron no lineales (**Figura 7b**); en la presente investigación un modelo tri-lineal fue propuesto sobre estas curvas con el fin de discretizar la variación del módulo a corte (**Figura 7b**). El modelo tri-lineal propuesto siguió una tendencia que envolvió el límite superior de las curvas esfuerzo-deformación de los muretes ensayados (**Figura 7b**). Los valores de los rangos de esfuerzo cortante, los módulos de corte y las ecuaciones de esfuerzo cortante contra deformación angular que describen el modelo tri-lineal propuesto se presentan en la **Tabla 1**.

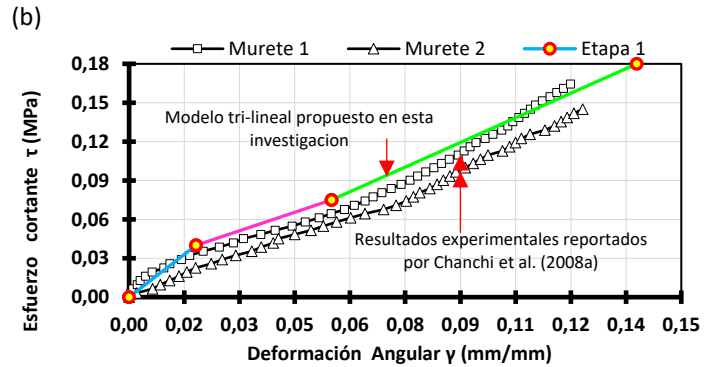
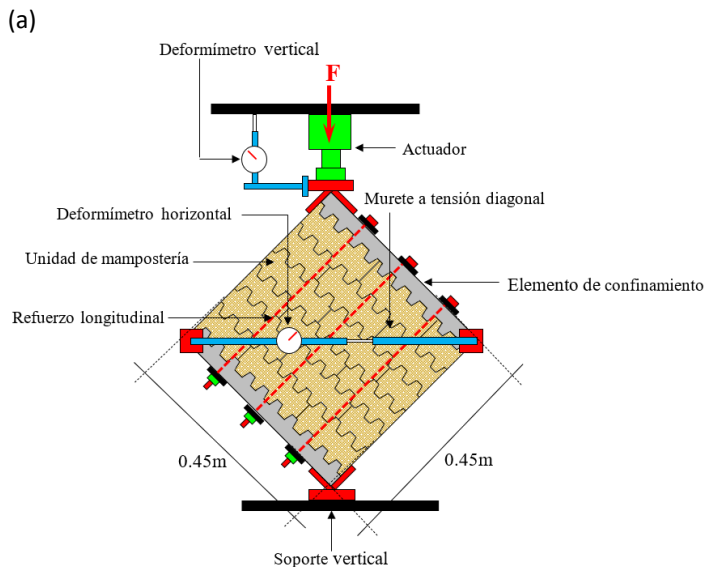


Figura 7. Ensayo de tensión diagonal, curvas esfuerzo a corte - deformación angular de muretes reportadas por Chanchi et al. (2008a) y modelo tri-lineal propuesto en la presente investigación para la curva esfuerzo a corte - deformación angular de muretes. **(a)** Ensayo de tensión diagonal sobre muretes reportados por Chanchi et al. (2008a). **(b)** Curvas esfuerzo a corte - deformación angular de muretes reportadas por Chanchi et al. (2008a) y modelo tri-lineal propuesto en la presente investigación para la curva esfuerzo a corte - deformación angular de muretes

La **Tabla 1** muestra que para el modelo de rigidez del panel, el módulo de corte G puede ser considerado entre 0.95MPa - 2.20MPa cuando el esfuerzo cortante varía entre 0.0MPa y 0.17MPa.

Tabla 1. Descripción del modelo tri-lineal de esfuerzo cortante versus deformación angular.

Etapa	Rango de esfuerzos cortantes (τ) [Mpa]	Módulo de corte (G) [Mpa]	Ecuación de esfuerzo cortante* [Mpa]
Inicial	0.00 - 0.04	2.20	$\tau_1 = (2.20 \times \gamma_1)$
Intermedia	0.04 - 0.08	0.95	$\tau_2 = (0.95 \times \gamma_2) + 0.0227$
Final	0.08 - 0.17	1.50	$\tau_3 = (1.50 \times \gamma_3) - 0.0075$

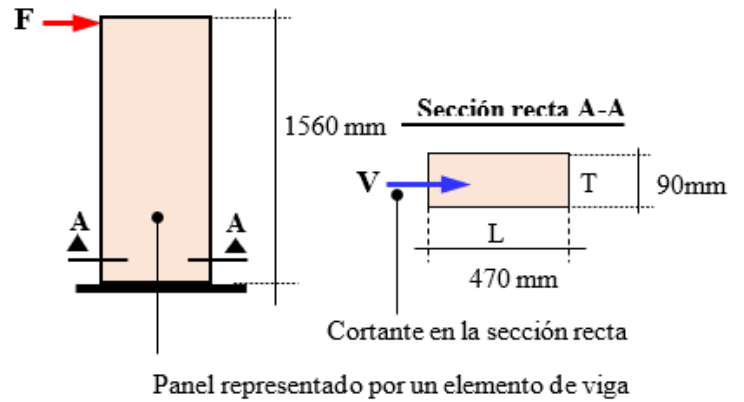
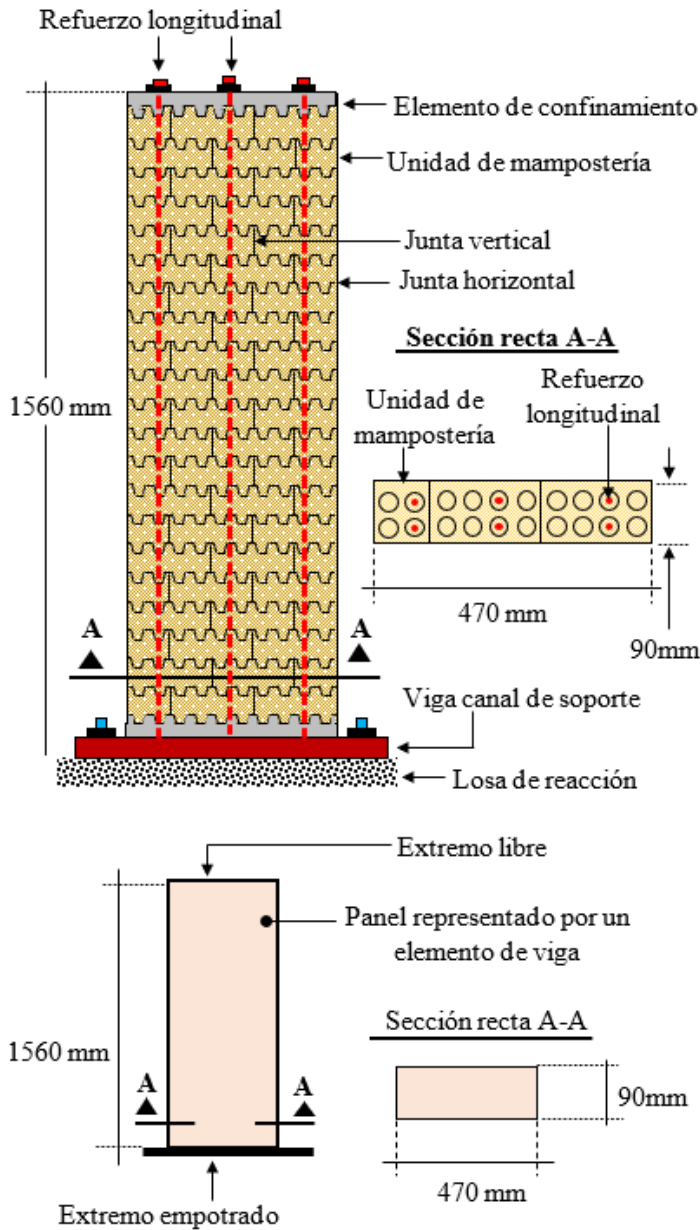
* τ_i : Esfuerzo cortante en MPa, γ_i : Deformación angular en mm/mm

5.2 Modelo propuesto de la rigidez lateral del panel

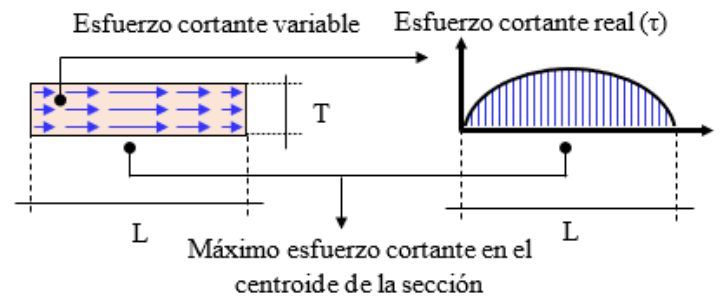
El modelo de rigidez lateral del panel se basó en considerar el cuerpo del panel como un solo elemento, en el cual se despreció el aporte de rigidez lateral de los elementos de confinamiento y el aporte de rigidez del refuerzo longitudinal debido a que estos componentes no se encuentran adheridos totalmente a las unidades de mampostería (**Figura 8a**). La compresión inicial inducida por el sistema de confinamiento durante el proceso de ensamblaje también se despreció en el modelo de rigidez lateral del panel, debido a que el refuerzo longitudinal no fue tensionado hasta su carga de prueba produciendo de esta manera esfuerzos compresivos muy bajos en la sección recta del panel.

El elemento que representó al panel se caracterizó por una altura de 1560mm y por una sección recta con dimensiones de 470mm de ancho por 90mm de espesor y un área de corte 42300mm^2 (Figura 8a). Las condiciones de soporte del panel fueron consideradas como empotrado en la base y libre en el

extremo superior (Figura 8a). El panel fue idealizado como un elemento planar de viga en voladizo con capacidad de tomar esfuerzos de corte, esfuerzos de momento y sin capacidad para tomar esfuerzos axiales (Figura 8b)



Distribución real de esfuerzo cortante en sección recta A-A



Distribución teórica de esfuerzo cortante en sección recta A-A

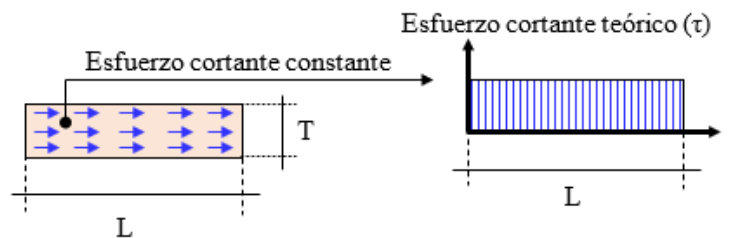


Figura 8. Concepción básica del modelo del panel

La rigidez del elemento planar de viga que representó el panel, K , fue evaluada considerando únicamente la rigidez a corte del panel, K_s . Esta aproximación se basa en que mientras el corte inducido por la fuerza lateral es asumido por toda la sección recta del panel, el momento inducido por la fuerza lateral es asumido por una fuerza de tensión actuante sobre el refuerzo longitudinal en el extremo a tensión del panel y por dos fuerzas de compresión, una actuante sobre una fracción pequeña de la sección recta y la otra sobre el refuerzo longitudinal, ambas fuerzas ubicados en el extremo a compresión del panel. Esta distribución de fuerzas de tensión y compresión es debida a que el refuerzo no está adherido a las unidades de mampostería y a las grietas de tracción diagonal generadas sobre el panel y descritas en la **Sección 4.2**. Estas dos condiciones impiden que la totalidad del área de la sección recta del panel pueda asumir el momento inducido por la fuerza lateral sobre el panel. Basados en estos mecanismos de distribución de fuerza cortante y momento y considerando que el refuerzo longitudinal fue ignorado en la evaluación de la rigidez de panel, se puede establecer que mientras la rigidez a corte se debe evaluar considerando la totalidad de la sección recta del panel, la rigidez a momento se debe evaluar considerando únicamente la pequeña fracción de la sección recta sometida a compresión, condición que reduce significativamente la rigidez a momento respecto a la rigidez a corte del panel.

La rigidez a corte se evaluó en función del área de la sección recta del panel, A , el módulo de corte del conjunto de unidades de mampostería G , y la altura del panel, H . (**Ecuación 1**). La fuerza lateral se consideró distribuida en cada sección del panel a través de un esfuerzo cortante uniformemente distribuido y constante, τ . Este esfuerzo cortante se evaluó como el cociente entre la fuerza cortante actuante en cada sección del panel, V , y el área de la sección recta del panel, A , (**Ecuación 2**). La distribución de esfuerzo cortante uniformemente distribuido y constante es una aproximación debido a que el esfuerzo

cortante varía en el ancho de la sección recta del panel y presenta el máximo valor en los puntos localizados al nivel del centroide de la sección recta (**Figura 8b**). El desplazamiento lateral del panel, δ , se evaluó como el cociente entre la fuerza cortante actuante en cada sección del panel, V , y la rigidez a corte del panel, K_s (**Ecuación 3**).

$$K_s = \frac{A \times G}{H} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{V}{K_s} \quad (3)$$

5.3 Predicción de la rigidez lateral del panel con el modelo propuesto

La rigidez lateral del panel se obtuvo incrementando la fuerza lateral en los siguientes siete niveles de fuerza lateral (**Tabla 2**): 0.8kN, 1.6kN, 2.1kN, 2.6kN, 3.5kN, 4.0kN y 4.9kN. El último nivel de fuerza de 4.9kN correspondió a un valor muy cercano al máximo reportado experimentalmente para el panel (**Figura 9a**). En la **Tabla 2**, para cada nivel de la fuerza, el esfuerzo cortante, τ , la rigidez del panel, K_s , y el desplazamiento lateral del panel, δ , fueron calculadas usando las **Ecuaciones 1 -3**. El cortante V para cada nivel de fuerza correspondió al nivel de fuerza debido a que el muro se representó como un elemento planar de viga en voladizo. La rigidez del panel K_s para cada nivel de fuerza se calculó seleccionando el módulo de corte, G , apropiado de acuerdo al modelo tri-lineal de esfuerzo cortante contra deformación angular propuesto y presentado en la **Tabla 1**. Un resumen de los resultados del análisis incremental de fuerza lateral del panel descrito anteriormente se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Resumen de resultados del análisis incremental de fuerza lateral del panel

Número de Nivel de fuerza lateral del panel	Fuerza lateral del panel	Cortante del panel	Esfuerzo cortante del panel	Etapa en el modelo tri-lineal propuesto *	Módulo de corte del panel	Rigidez a corte del panel	Desplazamiento lateral del panel
#	F kN	V kN	τ MPa		G MPa	K_s kN/mm	δ mm
1	0.8	0.8	0.0189	Inicial	2.20	0.0596	13.410
2	1.6	1.6	0.0378	Inicial	2.20	0.0596	26.821
3	2.1	2.1	0.0436	Intermedia	0.95	0.0257	46.231
4	2.6	2.6	0.0615	Intermedia	0.95	0.0257	65.642
5	3.5	3.5	0.0827	Final	1.50	0.0406	87.769
6	4.0	4.0	0.0946	Final	1.50	0.0406	100.062
7	4.9	4.9	0.1158	Final	1.50	0.0406	122.190

* Clasificación del esfuerzo cortante τ de acuerdo al modelo tri-lineal de esfuerzo cortante versus deformación angular definido en la **Tabla 1**.

5.4 Comparación de la predicción de rigidez lateral del panel con resultados experimentales

La **Figura 9a** compara los resultados del modelo de rigidez lateral presentados en la Tabla 2 con las curvas experimentales fuerza lateral contra desplazamiento lateral de los tres paneles ensayados. La **Figura 9a** muestra que el modelo de rigidez propuesto se ajusta bien a los resultados experimentales. Este

resultado indica que la curva fuerza lateral contra desplazamiento lateral de los paneles se puede describir teóricamente usando una rigidez lateral a corte variable y que las rigideces máxima, intermedia y mínima de los paneles se pueden evaluar con la expresión de la rigidez de corte definida en la **Ecuación 1** usando módulos de corte de 2.20MPa, 0.95MPa, 1.50MPa, respectivamente.

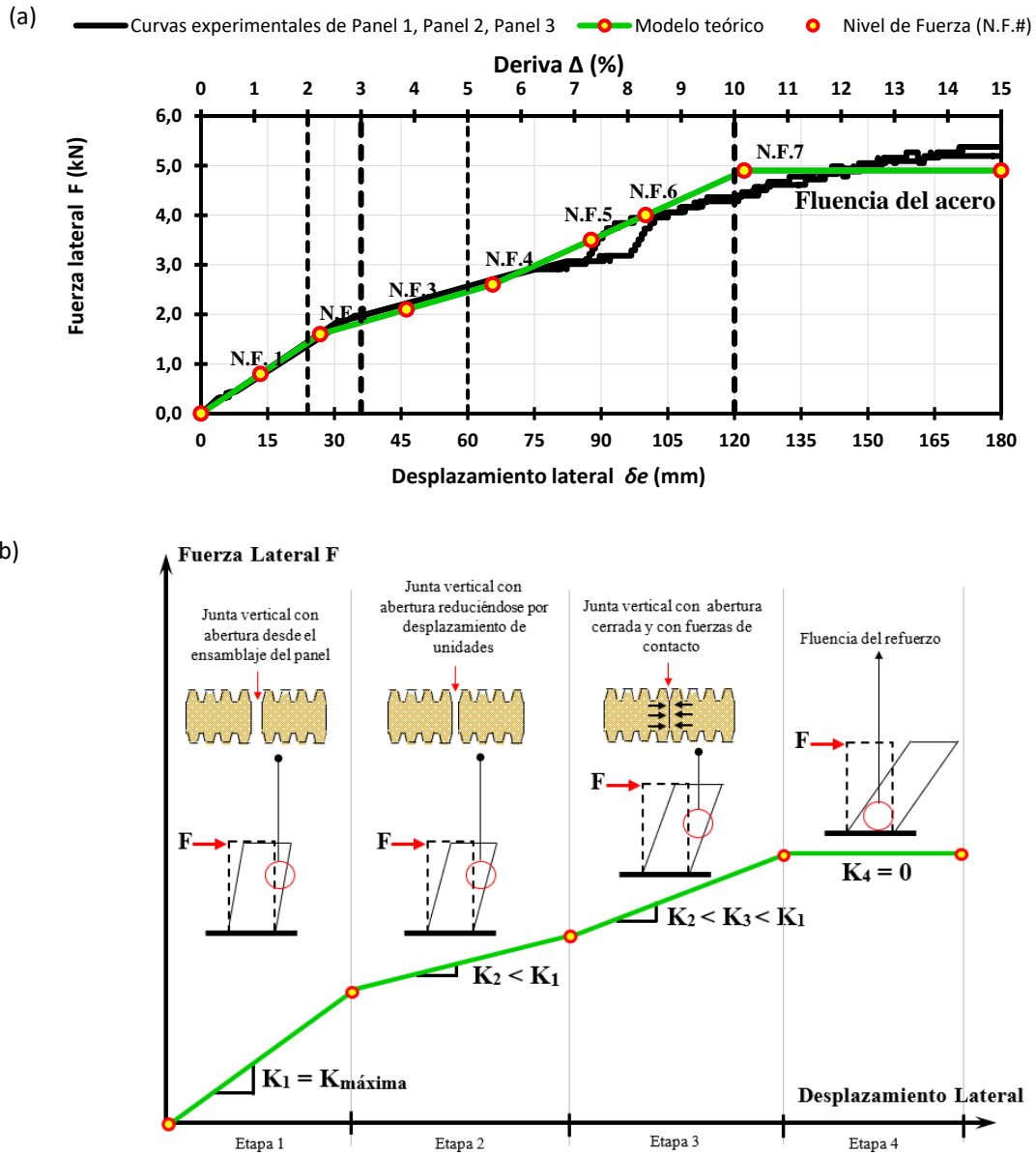


Figura 9 Curva experimental fuerza lateral contra desplazamiento lateral y modelo de la rigidez lateral del panel. (a) Curva experimental y modelo fuerza lateral contra desplazamiento lateral del panel (b) Modelo de rigidez lateral de panel

La **Figura 9a** muestra que la rigidez a corte de los paneles varía con la deriva del panel. La variación de la rigidez a corte de los paneles se puede describir en cuatro etapas (**Figura 9b**). La primera etapa ocurrió para derivas del panel de hasta 2%, donde la rigidez del panel fue la máxima debido a que el grupo de unidades de mampostería exhibieron su máximo módulo de corte como consecuencia de la ausencia de desplazamiento relativo entre unidades de mampostería (**Figura 9a, b**). La segunda etapa ocurrió para derivas del panel del 2% - 5%, donde el panel redujo la rigidez a corte debido a que el grupo de unidades de mampostería exhibieron su mínimo módulo de corte como resultado del desplazamiento de las unidades de mampostería para cerrar las juntas verticales que quedaron abiertas desde el ensamblaje del panel (**Figura 9a, b**). La tercera etapa ocurrió para derivas del panel del 5% - 10%, donde el panel incrementó la rigidez a corte por debajo de la observada en la primera etapa. Este incremento en la rigidez a corte del panel se debió al incremento del módulo de corte del conjunto de unidades de mampostería, el cual ocurrió como resultado de las fuerzas de contacto desarrolladas entre unidades de mampostería después de que las juntas verticales que quedaron abiertas en el proceso de ensamblaje se cerraron en la segunda etapa (**Figura 9a, b**). La cuarta etapa ocurrió para derivas del panel de 10 - 15%, donde la rigidez a corte del panel fue casi nula debido a la fluencia del refuerzo longitudinal en la base del panel.

5.5 Efectividad del modelo teórico de la rigidez lateral del panel

La efectividad del modelo teórico en la predicción de la rigidez lateral experimental de los paneles, E , se calculó usando la **Ecuación 4**. En esta ecuación, la efectividad E se expresó en porcentaje y se calculó como el cociente entre el desplazamiento lateral de los paneles calculado con el modelo teórico, δ , usando la **Ecuación 3** y el desplazamiento lateral experimental de los paneles leído desde la **Figura 9a**, δ_e .

$$E = \left[\frac{\delta}{\delta_e} \right] \times 100 \quad (4)$$

La **Figura 10** muestra la efectividad del modelo teórico E en la predicción de la rigidez lateral experimental de los tres paneles ensayados. Para cada uno de los paneles, la efectividad se calculó con la **Ecuación 4** en cada uno de los siete niveles de fuerza de 0.8kN, 1.6kN, 2.1kN, 2.6kN, 3.5kN, 4.0kN y 4.9kN, los cuales fueron definidos en la **Sección 5.2**.

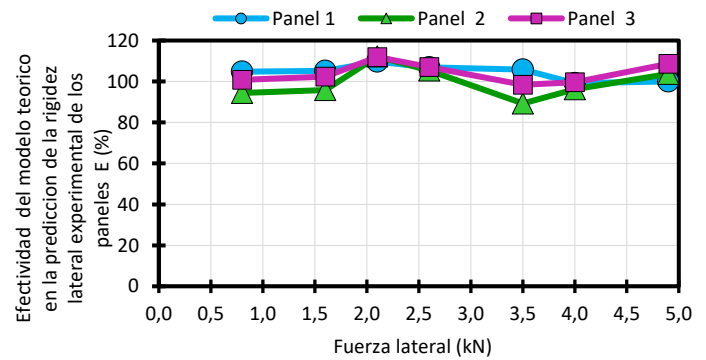


Figura 10. Efectividad E del modelo teórico en la predicción de la rigidez lateral experimental de los paneles.

La **Figura 10** muestra que la efectividad E del modelo teórico en la predicción de la rigidez lateral experimental de los tres paneles varió entre el 89% y el 113%. Estos resultados indican que el modelo teórico propuesto predice con buena aproximación la rigidez lateral de los paneles y que sobreestima los desplazamientos laterales de los paneles hasta 13%. Esta inconsistencia es debida a las aproximaciones realizadas en el modelo tri-lineal que predice el módulo de corte del conjunto de las unidades de mampostería y a la no inclusión del aporte de la rigidez a momento en la evaluación de la rigidez lateral del panel. Estas dos aproximaciones generaron rigideces laterales teóricas inferiores a las rigideces laterales experimentales de los paneles.

6. Conclusiones.

Este artículo describe el comportamiento a fuerza lateral de paneles ensamblados con unidades de mampostería hechas a base de papel reciclado, cubetas de cartón para el almacenamiento de huevos y almidón de Yuca, se demostró que:

- El comportamiento fuerza-desplazamiento lateral del panel es dúctil y se caracterizó por cuatro etapas cuasi-lineales. En la primera etapa para derivas de hasta 2%, el panel desarrolló su máxima rigidez lateral. En la segunda etapa para derivas 2% - 5%, la rigidez del panel redujo debido a desplazamientos horizontales relativos entre unidades de mampostería. En la tercera etapa para derivas entre el 5% - 10%, la rigidez del panel se incrementó por debajo de la rigidez inicial debido al desarrollo de fuerzas de aplastamiento en las juntas verticales del panel. En la cuarta etapa para derivas entre el 10% - 15%, la rigidez lateral del panel fue casi nula debido a la fluencia del refuerzo longitudinal en la base del panel.
- El mecanismo de falla de los paneles es producido por la



acción combinada del corte y momento inducidos por la fuerza lateral. El momento produjo la fluencia del refuerzo longitudinal en la base del panel, separaciones y aplastamientos entre unidades de mampostería que disminuyeron desde la base al extremo libre del panel. El corte produjo grietas escalonadas en el tercio inferior cerca a la base de los paneles. En el estado de falla los paneles lograron derivas de hasta el 15% acompañadas de desplazamientos fuera del plano en la base del panel con daños bajos en las unidades de mampostería y en los elementos de confinamiento.

- El panel puede usarse como panel no estructural o divisorio sometido cargas axiales bajas. El panel puede ser acoplable a marcos de concreto, marcos de acero, o muros de mampostería convencional, los cuales constituyan sistemas estructurales en edificaciones ubicadas en zonas activas sísmicamente. El panel se caracteriza por ser liviano, fácil y rápido de ensamblar, desmontable, y podría ser protegido contra humedad o fuego. El panel se considera un sistema estructural de bajo daño debido a que después de un evento sísmico alto en donde las derivas del panel llegaran hasta el 10%, sólo el re-tensionamiento del refuerzo longitudinal es requerido y para eventos sísmicos severos, en donde las derivas del panel varíen entre y el 10% y 15%, el cambio del refuerzo es requerido, proceso que es rápido y limpio.
- La rigidez lateral del panel puede predecirse considerando el panel como un elemento de viga en voladizo con rigidez equivalente a la rigidez a corte del panel e ignorando la rigidez a momento del panel. Esta aproximación es posible debido a que la rigidez a corte es generada por la totalidad de la sección recta del panel, mientras que la rigidez a momento es generada por una fracción pequeña de la sección recta ubicada en la zona del panel sometida a compresión y resultante de la distribución del momento sobre la sección recta del panel cuando la no adherencia del refuerzo longitudinal y las grietas de tensión diagonal generadas sobre el panel son consideradas. En este modelo, la variabilidad de la rigidez lateral del panel se representó a través de la variabilidad del módulo de corte descrita a través de un modelo tri-lineal en el rango de esfuerzos cortantes de 0.0MPa – 0.17MPa.
- El modelo teórico propuesto de la rigidez lateral del panel predijo los desplazamientos laterales de los paneles con una efectividad del 89 % - 113%. Discrepancias entre el modelo propuesto y los resultados experimentales se atribuyeron a aproximaciones en la estimación del módulo de corte del conjunto de las unidades de mampostería y a la no inclusión de la contribución de la rigidez a momento en la evaluación

de la rigidez lateral del panel.

7. Agradecimientos.

Los autores desean expresar su agradecimiento a los Ingenieros Civiles egresados de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales: José Nicolás Ruiz Noreña, María Angélica Muñoz Hidalgo, Adriana Cubides Cruz y Cristian Mutis Ortega, quienes contribuyeron activamente en el desarrollo experimental de esta investigación.

8. Referencias.

- [1] Cervantes, L., Valdés, E., González, E. (2010). Una Construcción Elaborada con Muros de Papel y Cartón Comprimidos más otros Residuos Valorizables. *Acta universitaria*, Vol. 2, No 2.
- [2] Aperador, W., Bautista, J., Peña, G. (2011). Paneles en láminas de papel periódico reciclado polimetilmetacrilato con núcleo de poliuretano: un modelo de la implementación de la ingeniería estructural. *El hombre y la máquina*, No 37.
- [3] Reyes, D. y Cornejo, Y. (2014). Alternativas constructivas y Fuentes energéticas con materiales reciclables. *Departamento de Ingeniería Civil - Universidad Católica*. Bogotá - Colombia.
- [4] Caballero, J., Álvarez, R., Juárez, L. (2013). Procedimiento constructivo de panel tipo sándwich para vivienda con materiales no convencionales. *XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT-Colombia*.
- [5] Cañola, H., Echavarría, C., Sánchez, J. (2012). Recipanel: paneles de papel reciclado. *Dyna*, vol. 79, No. 171, pp. 132-137.
- [6] Chanchí, J., Bonilla, D., Gaviria, J., Giraldo, J. (2008a). Ensayos a Compresión y Tensión Diagonal Sobre Muretes Hechos a Base de Papel Periódico Reciclado y Engrudo de Almidón de Yuca. *Scientific Electronic Library Online (SCIELO)*. *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol. 23, No 3, pp. 145-154.
- [7] Chanchí, J., Bonilla, D., Gaviria, J., Giraldo, J. (2008b). Caracterización Mecánica a Compresión y Tensión Diagonal de Muretes Conformados por Unidades de Mampostería Hechas con Papel Periódico Reciclado y Engrudo de Almidón de Yuca. *12th International Conference on Project Engineering*, Zaragoza -España, pp. 349-360.
- [8] Research Council on Structural Connections (2004). Specifications for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts. American Institute of Steel Construction, Inc. Chicago – United States of America.

Los artículos enviados a la revista RIOC deberán ser trabajos originales que no han sido publicados previamente ni estar presentados a otra revista, para ser publicados con acceso abierto. Los artículos pueden ser escritos en inglés o español y deberán ser enviados en versión electrónica en **formato.doc o.docx**. Los artículos deberán ser subidos a través de la página web **www.rioc.cl** para lo cual debe registrarse y generar un envío. Otra opción de envío puede ser a través del correo electrónico **rioc@ufrontera.cl**, indicando el nombre, e-mail, afiliación institucional y grado académico del autor de correspondencia. El artículo será enviado a evaluadores externos especialistas en los temas específicos para su revisión. El Autor de Correspondencia puede sugerir al Editor revisores idóneos de acuerdo al tema del trabajo propuesto. El Editor podrá solicitar revisiones y correcciones antes de tomar una decisión final de aceptación o rechazo del artículo. Además, tenga en cuenta que:

- No hay tarifa de publicación
- Los artículos están disponibles gratuitamente tanto para los suscriptores como para el público en general con reutilización permitida.
- La revista aplica criterios de revisión por pares y estándares de aceptación.

Asegúrese de que los siguientes elementos estén presentes en sus manuscritos:

Un autor ha sido designado como el autor de correspondencia con los datos de contacto:

- Dirección de correo electrónico
- Dirección postal completa

El Manuscrito debe incluir:

- Palabras clave (máximo 4)
- Todas las figuras (incluir títulos relevantes)
- Todas las tablas (incluyendo títulos, descripción, notas al pie)
- A modo de referencia el manuscrito no debiese exceder de 10.000 palabras

Otras consideraciones

- El manuscrito ha sido corregido ortográficamente y se ha verificado la gramática.
- Todas las referencias mencionadas en la Lista de referencias se citan en el texto y viceversa.
- Se revisaron las políticas de la revista detalladas en esta guía y las normas en envío. a

Declaración y verificación

La presentación de un artículo implica que el trabajo descrito no se ha publicado previamente (excepto en forma de resumen o como parte de una conferencia o tesis académica publicada o como preimpresión electrónica), que no está bajo consideración para su publicación en otro lugar, que su publicación es aprobada por todos los autores y tácita o explícitamente por las autoridades responsables donde se realizó el trabajo, y que, si se acepta, no se publicará en otro lugar en la misma forma, en inglés o en cualquier otro idioma, incluido electrónicamente sin el consentimiento por escrito del titular de los derechos de autor.

Cambios en la autoría

Se espera que los autores consideren cuidadosamente la lista y el orden de los autores antes de enviar su manuscrito y proporcionen la lista definitiva de los autores en el momento de la presentación original. Cualquier adición, eliminación o reordenación de los nombres de los autores en la lista de autoría debe hacerse solo antes de que el manuscrito haya sido aceptado y solo si el editor de la revista lo aprueba.

Fuentes de financiamiento

Se le solicita que identifique quién brindó apoyo financiero para la realización de la investigación y / o preparación del artículo y para describir brevemente el papel del (de los) patrocinador (es), en su caso, en el diseño del estudio; en la recopilación, análisis e interpretación de datos; en la redacción del informe; y en la decisión de enviar el artículo para su publicación. Esta condición opcional puede ser incorporada en la sección "Reconocimientos" después de las Conclusiones del trabajo

Presentación

Nuestro sistema de envío en línea lo guía paso a paso a través del proceso de ingresar los detalles de su artículo y cargar sus archivos. Se requieren archivos editables (p. Ej., Word) para componer su artículo para la publicación final. Toda la correspondencia, incluida la notificación de la decisión del Editor y las solicitudes de revisión, se envía por correo electrónico a través de la plataforma de la revista.

NUEVAS PRESENTACIONES

Las presentaciones de trabajos a esta revista y su proceso de revisión se llevan a cabo totalmente en línea. Se recomienda a los autores tener en cuenta los siguientes puntos

Revisión por pares

El editor evaluará inicialmente todas las contribuciones para determinar su idoneidad para la revista. Los documentos que se consideran adecuados se envían normalmente a un mínimo de dos revisores expertos independientes para evaluar la calidad científica/tecnológica del documento. El Editor es responsable de la decisión final con respecto a la aceptación o rechazo de artículos. La decisión del editor es final e inapelable.

Uso de software de procesamiento de textos

Independientemente del formato de archivo del envío original, para una adecuada revisión se nos debe proporcionar un archivo editable de todo el artículo. Mantenga el diseño del texto lo más simple posible. La mayoría de los códigos de formato serán eliminados y reemplazados al procesar el artículo. El texto electrónico debe prepararse de una manera muy similar al formato ejemplo disponible en la WEB) Para evitar errores innecesarios, se recomienda encarecidamente utilizar las funciones de "revisión ortográfica" y "verificación gramatical" de su procesador de texto.

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO

Subdivisión: secciones numeradas

Divida su artículo en secciones numeradas y claramente definidas. Las subsecciones deben numerarse 1.1 (luego 1.1.1, 1.1.2,...), 1.2, etc. (el resumen no está incluido en la numeración de las secciones). Use esta numeración también para las referencias cruzadas internas, es decir no solo se refiera a 'el texto'. Cualquier subsección puede recibir un breve encabezado. Cada título debe aparecer en una línea separada.

Página de título

- **Título.** Conciso e informativo. Los títulos se usan a menudo en sistemas de recuperación de información. Evite abreviaturas y fórmulas cuando sea posible. Evite nombres conocidos solo en un contexto definido.
- **Nombres de los autores y afiliaciones.** Indique claramente el (los) nombre (s) y apellido (s) de cada autor y verifique que todos los nombres estén escritos con precisión. Presente las direcciones de afiliación de los autores (institución u organismo donde se realizó el trabajo real, en tanto aplique) debajo de los nombres. Indique todas las afiliaciones con una letra superíndice minúscula inmediatamente después del nombre del autor y frente a la dirección correspondiente. Proporcione la dirección postal completa de cada afiliación, incluido el nombre del país y, si está disponible, la dirección de correo electrónico de cada autor.
- **Autor de correspondencia.** Indique claramente quién manejará la correspondencia en todas las etapas de arbitraje y publicación, también después de la publicación. Por ejemplo un * a continuación del nombre del autor de correspondencia y una nota posterior que indique "Autor de correspondencia" sería adecuado. Es deseable que el autor por correspondencia sea el responsable de cargar los documentos en la plataforma virtual de la RIOCI. Esto asegura una más fluida comunicación. Asegúrese que el autor de correspondencia proporcione una dirección de correo electrónico y mantenga actualizados los datos de contacto en la plataforma de la RIOCI.

Resumen

Se requiere un resumen conciso y real. El resumen debe indicar brevemente el propósito de la investigación, los resultados principales y las principales conclusiones. Un resumen a menudo se presenta por separado del artículo, por lo que debe ser capaz de ser independiente. Por esta razón, las referencias deben evitarse. Además, se deben evitar las abreviaturas no estándar o poco comunes, pero si son esenciales, deben definirse en su primera mención en el mismo resumen. **Un resumen no debiese exceder de 1800 caracteres (incluido los espacios).** El resumen debe escribirse en un correcto inglés y castellano, siendo el primero el idioma del cuerpo del manuscrito.

Palabras clave

Inmediatamente después del resumen, proporcione un máximo de 4 palabras clave, utilizando la ortografía estadounidense y castellana. Evite los términos generales, plurales y múltiples conceptos (evite, por ejemplo, "y", "de"). Séa respetuoso con las abreviaturas: solo las abreviaciones firmemente establecidas en el campo pueden ser elegibles. Estas palabras clave se usarán con fines de indexación.

Introducción

Indique los objetivos del trabajo y proporcione un trasfondo adecuado, evitando una encuesta bibliográfica detallada o un resumen de los resultados. Debe aportar los antecedentes teóricos que justifican el objetivo del trabajo y especifican el punto de partida del conocimiento respecto del problema u oportunidad que desea abordar.

Teoría

Una nueva sección de carácter teórico debe ampliar no repetir, el fondo del artículo ya tratado en la Introducción y sentar las bases para el trabajo posterior. Una nueva sección de teoría será aplicable ante la necesidad de proporcionar mayores antecedentes que precisen la temática que se abordará.

Materiales y/o métodos o metodología

Proporcione suficientes detalles para permitir que el trabajo sea reproducido por un investigador independiente. Los métodos que ya están publicados deben resumirse e indicarse mediante una referencia. Si cita directamente (literalmente) de un método publicado previamente, use comillas y también cite la fuente. Cualquier modificación a los métodos existentes también debe describirse.

Los Resultados

Los resultados son el producto de haber aplicado los métodos y/o materiales expuestos previamente. La presentación de los resultados debe ser clara y concisa. Evite la explicación detallada del procesamiento de la información. Tenga en cuenta que sus resultados deben ser expuestos en el espacio limitado. Solo en los casos justificados tablas de más de una página serán permitidas.

Discusión

Esto debería explorar la importancia de los resultados del trabajo, no repetirlos. Una sección combinada de Resultados y Discusión a menudo es apropiada. Evite citas extensas y discusiones sobre literatura ya publicada.

Conclusiones

Las principales conclusiones del estudio que dan respuesta a su objetivo pueden presentarse en una breve sección de Conclusiones. Además, asegure se indicar el aporte científico /tecnológico de la investigación (novedad y utilidad del artículo) y futuras líneas de trabajo que podrían derivarse de su aporte.

Reconocimientos

Intercalar los reconocimientos en una sección separada al final del artículo antes de las referencias. Por lo tanto evite incluir agradecimiento o reconocimientos en la página del título, como una nota al pie del título o de otro modo. En esta sección las fuentes de financiamiento pueden ser incorporadas. Para ello emplee el siguiente formato.

Este trabajo fue apoyado por los Institutos Nacionales de Salud [números de concesión xxxx, yyyy]; la Fundación Bill & Melinda Gates, Seattle, WA [número de concesión zzzz]; y los Institutos de Paz de los Estados Unidos [número de concesión aaaa].

Referencias y citaciones

- **Citación en el texto**

Asegúrese de que cada referencia citada en el texto también esté presente en la lista de referencias (y viceversa). Los resultados no publicados y las comunicaciones personales no se recomiendan en la lista de referencias, pero pueden mencionarse en el texto. Si estas referencias se incluyen en la lista de referencia, deben seguir el estilo de referencia estándar de la revista y deben incluir una sustitución de la fecha de publicación por "Resultados no publicados" o "Comunicación personal". La cita de una referencia como 'en prensa' implica que un artículo aún no publicado ha sido aceptado para su publicación.

Todas las citas en el texto deben referirse a:

1. *Autor único*: el nombre del autor (sin iniciales, a menos que exista ambigüedad) y el año de publicación;
2. *Dos autores*: los nombres de ambos autores y el año de publicación;
3. *Tres o más autores*: primer nombre del autor seguido de 'et al.' y el año de publicación.

Las citas pueden incluirse en la narrativa (por ejemplo Kramer et al. (2010) han mostrado recientemente... ') o hacerse entre paréntesis (por ejemplo 'como se demostró (Allan, 2000a, 2000b; Allan y Jones, 1999)).

Por cada citación se recomienda no incluir más de tres citas.

Si se identifican más de una referencia del mismo autor (es) con el mismo año, se deben incluir las letras "a", "b", "c", etc., colocadas después del año de publicación.

• Formato del listado de referencia

En general son aceptadas listas de referencias basadas en la norma APA; sin embargo no hay requisitos estrictos sobre el formato de referencia en la presentación, debiendo ser coherente en todo el manuscrito. De cualquier forma se recomienda evitar los modelos Vancouver u otros que presentan las referencias asociadas a un número correlativo en el cuerpo del manuscrito.

Las listas de referencias deben organizarse primero alfabéticamente y luego ordenarse cronológicamente si es necesario.

Un estilo de referencia adecuado para RIOCI es:

Nombre (s) del autor (es) <Apellido, inicial del nombre;...>, año de publicación, título del capítulo / título del artículo, título de la revista / título del libro, número de volumen (número de edición), pág. inicial – pág. final, DOI

Ejemplos:

Referencia a una publicación de revista:

Van der Geer, J.; Hanraads, J.A.; Lupton, R.A., 2010. El arte de escribir un artículo científico. J. Sci. Commun. 163, 51-59.

Referencia que usa DOI para un artículo que aún no está publicado:

VanDecar, J.C.; Russo, R.M.; James, D.E.; Ambeh, W.B.; Franke, M., 2003. Continuación sísmica de la losa de las Antillas Menores bajo el noreste de Venezuela. Journal of Geophysical Research. En prensa. <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>

Referencia a un libro:

Strunk Jr., W.; White, E.B. 2000. The Elements of Style, 4ta Ed. Longman, Nueva York.

Referencia a un capítulo en un libro editado:

Mettam, G.R.; Adams, L.B.; 2009. Cómo preparar una versión electrónica de su artículo, en: Jones, BS, Smith, RZ (Eds.), Introducción a la era electrónica. E-Publishing Inc., Nueva York, pp. 281-304.

Referencia a un sitio web:

Cancer Research UK, 1975. Reportes de estadísticas de cáncer para el Reino Unido. Disponible en <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (consultado el 13 de marzo de 2003).

Referencia a un conjunto de datos:

[conjunto de datos] Oguro, M.; Imahiro, S.; Saito, S.; Nakashizuka, T., 2015. Datos de mortalidad de la enfermedad del marchitamiento del roble japonés y las composiciones de los bosques circundantes. Mendeley Data, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

ELEMENTOS DEL ARTÍCULO

Abreviaturas

Defina abreviaturas que no son estándar en este campo solo la primera vez que esta sea usada en el cuerpo del documento. Asegure la consistencia de las abreviaturas en todo el artículo.

Fórmulas matemáticas

Envíe ecuaciones matemáticas como texto editable y no como imágenes. Presente fórmulas simples en línea con el texto normal siempre que sea posible y utilice (/) en lugar de una línea horizontal para términos fraccionarios pequeños, por ejemplo, X / Y. En principio, las variables deben presentarse en cursiva. Numerar consecutivamente todas las ecuaciones que deben mostrarse por separado del texto entre paréntesis y asegurar que cada ecuación sea citada en el cuerpo del documento.

Notas al pie

Las notas al pie deben usarse con moderación. Numerarlos consecutivamente a lo largo del artículo. Muchos procesadores de texto crean notas al pie en el texto, y esta característica puede ser utilizada. Si este no fuera el caso, indique la posición de las notas a pie de página en el texto y presente las notas al pie de página por separado al final del artículo.

Figuras y tablas incrustadas en el texto

Asegúrese de que las figuras y las tablas incluidas en el archivo único se coloquen junto al texto relevante en el manuscrito, en lugar de en la parte inferior o superior del archivo. El título correspondiente debe colocarse directamente debajo de la figura o tabla. Cada tabla y figura deberán contar con un número identificador a través del cual debe estar citado en el cuerpo del manuscrito. El orden de presentación de cada figura en el cuerpo del documento debe ser consistente en su aparición; es decir no puede mencionarse la Figura 2 si antes no ha sido mencionada la Figura 1. Esta situación es análoga para la mención de Tablas y Ecuaciones.

Ilustraciones

Las ilustraciones pueden incluir gráficos, dibujos lineales, esquemas, diagramas y fotografías. Deben numerarse en forma secuencial, en el mismo orden en que son referenciadas en el texto como: figura 1, figura 2, etc. El título debe presentarse bajo la figura. Evite emplear Ilustraciones optimizadas para el uso de la pantalla (resolución muy baja) y evite gráficos que sean desproporcionadamente grandes para el contenido.

Leyendas de las figuras

Asegúrese de que cada ilustración tenga al menos un título. Una figura debe incluir un título breve (no en la misma figura). Figuras compuestas emplearán letras minúsculas para diferenciarlas (Por ejemplo Figura 3a, Figura 3b...). Cada parte de una figura compuesta debe estar mencionada en el cuerpo del manuscrito. Por su parte, el texto en la ilustración (en el interior de la figura) podrá emplear tamaño mínimo y explicará todos los símbolos y abreviaturas utilizados.

Tablas

Por favor envíe las tablas como texto editable y no como imágenes. Es recomendable que las tablas se adjunten al texto relevante en el artículo. Numere las tablas consecutivamente de acuerdo con su apariencia en el texto y coloque las notas de la tabla debajo del cuerpo de la tabla. Emplea las tablas responsablemente y asegúrese de que los datos presentados en ellas no dupliquen los resultados descritos en otra parte del artículo. Evite el uso de reglas verticales y sombreado en las celdas de la tabla.

Material suplementario

El material suplementario, como aplicaciones, imágenes y conjuntos de datos, se puede publicar con su artículo para mejorarlo. Los artículos suplementarios enviados se publican exactamente tal como se reciben (los archivos Excel o PowerPoint aparecerán como tales en línea). Por favor, envíe su material junto con el artículo y proporcione un título descriptivo y conciso para cada archivo suplementario. Si desea realizar cambios en el material suplementario durante cualquier etapa del proceso, asegúrese de proporcionar un archivo actualizado. Desactive la opción "Control de cambios" en los archivos de Microsoft Office ya que estos aparecerán en la versión publicada.

DESPUES DE LA ACEPTACION

Corrección de pruebas

Los autores correspondientes recibirán un correo electrónico con la presentación borrador de la prueba de impresión de su manuscrito. En un plazo establecido los autores podrán solicitar enmiendas sobre la prueba de impresión. Trascurrido dicho plazo sin pronunciamiento del autor de correspondencia se considera que la prueba es aceptada para su impresión. El autor debe tener en cuenta potenciales errores de edición asociados a la composición tipográfica, la integridad, la corrección del texto, las tablas y figuras.

Es importante asegurarse de que todas las correcciones nos sean enviadas en una sola comunicación. Verifique cuidadosamente antes de responder, ya que no se puede garantizar la inclusión de correcciones posteriores. En esta instancia la revisión es exclusivamente su responsabilidad.




El equipo editorial, tienen la responsabilidad de recibir los artículos y emitir un primer juicio sobre los aspectos formales; además de rechazar un artículo cuando este no cuente con suficiente mérito científico y académico para su publicación o esté fuera de la temática de la Revista.

El Editor envía el artículo a evaluadores externos especializados en el área temática; el cual realiza una evaluación de acuerdo a criterios establecidos por la RIOCA. Cada evaluador externo puede rechazar, aceptar o bien aceptar con observaciones un artículo. En caso de rechazo se fundamenta esta situación, de otro modo artículos aceptados con observaciones son re-enviados al autor de correspondencia con las observaciones para la mejora del manuscrito.

Los evaluadores verifican el cumplimiento de todos los aspectos formales, y la consistencia entre las conclusiones, los métodos y objetivos propuestos. Por política de la RIOCA los evaluadores conocen la identidad de los autores, sin embargo los autores desconocerán a sus evaluadores.

En caso de observaciones el Editor se contacta con el autor de correspondencia para solicitar mejoras en el manuscrito en un plazo determinado. Una vez aprobadas por el comité editorial las modificaciones de un manuscrito, este estará en condiciones de ser aceptado para su publicación.

En caso que el resultado de una revisión sea el rechazo de alguno(s) de los evaluadores el manuscrito es enviado a otro árbitro; si el rechazo es confirmado, el artículo es rechazado definitivamente y se comunica se comunica la decisión al autor de correspondencia.



LABORATORIO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO INGENIERÍA OBRAS CIVILES
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

SERVICIOS DE NUESTRO LABORATORIO

ESTUDIO DE
MECÁNICA DE SUELOS

MUESTREO &
ANÁLISIS DE SUELOS

MUESTREO & ANÁLISIS DE
ÁRIDOS PARA DOSIFICACIÓN DE
HORMIGONES & MORTEROS

TOMA DE MUESTRAS DE
HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

EXTRACCIÓN & ENSAYO DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN

ENSAYOS DE RESISTENCIA
MECÁNICA AL HORMIGÓN

ASESORÍAS DE
LABORATORIO

ÁREA MECÁNICA DE SUELOS
ÁREA ÁRIDOS & HORMIGONES

HORARIO DE ATENCIÓN
LUNES A VIERNES 09 A 13 HRS. & 14 A 19 HRS.
AVDA. FRANCISCO SALAZAR 01145 TEMUCO
FONO FAX 45 259 2818 LABMATERIALES@UFRO.CL



rioc.cl