



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

métodos &
materiales

Publicación Anual • Volumen 5 • Núm 1 • Diciembre 2015 • ISSN impreso: 2215-342X
ISSN electrónico: 2215-4558

Estado del arte de la normativa técnica sobre elementos prefabricados de concreto para vivienda unifamiliar en Costa Rica

STATE OF THE ART OF THE TECHNICAL REGULATION FOR PRECAST CONCRETE ELEMENTS FOR
UNIFAMILIAR HOUSING IN COSTA RICA

Ing. Francisco Villalobos Ramírez M.Sc.




Jefe Laboratorio de Estructuras
LanammeUCR, Costa Rica
francisco.villalobosramirez@ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 10 de febrero de 2017 / **Fecha de aprobación:** 2 de Junio de 2017

Índices y Bases de Datos:

latindex

UCRIndex

-  revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales
-  lanamme.ucr.ac.cr
-  metodosymateriales.lanamme@ucr.ac.cr

Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo:
Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0
Internacional. ISSN impreso: 2215-342X. ISSN electrónico: 2215-4558

Estado del arte de la normativa técnica sobre elementos prefabricados de concreto para vivienda unifamiliar en Costa Rica

STATE OF THE ART OF THE TECHNICAL REGULATION FOR PRECAST CONCRETE ELEMENTS FOR UNIFAMILIAR HOUSING IN COSTA RICA

Ing. Francisco Villalobos Ramírez M.Sc.

Jefe Laboratorio de Estructuras

LanammeUCR, Costa Rica

francisco.villalobosramirez@ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 10 de febrero de 2017 / **Fecha de aprobación:** 2 de Junio de 2017

RESUMEN

En Costa Rica el sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales figura como una de las opciones más utilizadas en proyectos de vivienda de interés social desarrollados por el Banco Hipotecario de la vivienda, BAHNVI, este es una institución que aprueba y otorga bonos financiados por el Estado de Costa Rica para solucionar las necesidades de vivienda de sectores vulnerables de la población. Como consecuencia directa, la oferta de este producto ha aumentado considerablemente en los últimos años en la figura de pequeñas y medianas empresas distribuidas por todo el territorio nacional. Como una forma de velar por la buena calidad de estos productos se desarrolla por medio del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, la norma para elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel, mediante el sistema de baldosas horizontales y columnas. La primera edición de esta norma se publica en 2013 y en el mes de febrero del 2017 se publica la segunda edición, la cual expone cambios en aspectos normativos, métodos experimentales y métodos de muestreo. Desde la publicación la primera edición de la norma, se ha dado un una mejora significativa en la verificación de calidad de este producto y un desarrollo importante en trabajos de investigación en el tema. Este artículo describe las principales investigaciones nacionales desarrolladas en el tema y su relación con la evolución de la normativa técnica.

PALABRAS CLAVE: Elementos prefabricados concreto, vivienda social, baldosas y columnas, normativa técnica.

ABSTRACT

In Costa Rica, the prefabricated system of columns and horizontal tiles is one of the most used options in social housing projects developed by the BAHNVI. The BAHNVI is the mortgage housing bank of Costa Rica, it is in charge of assigning housing credits financed by the Government of Costa Rica to vulnerable sectors of the population in order to fulfill their housing needs. As a direct consequence, the supply of this product has increased considerably in recent years by small and medium-sized companies distributed throughout the national territory. As a way to ensure the good quality of these products the Technical Standards Institute of Costa Rica, INTECO, has developed a standard for prefabricated concrete elements for the construction of single-family housing using the system of columns and horizontal tiles. The first edition of this standard was published in 2013 and in February 2017 the second edition was published. This last edition exposes changes in normative aspects, experimental methods and sampling methods. Since the publication of the first edition of the standard, there has been a significant increase in the quality of the verification of this products and a great develop in research work on the subject. This paper describes the main national researches developed in the field and its relation with the evolution of technical regulations.

KEYWORDS: Precast concrete elements, low income housing, tiles and columns, technical regulations.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional, el sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales, se ha convertido en el sistema modular de paredes prefabricadas de concreto reforzado más conocido por la población costarricense. Esto se debe principalmente a que el sistema ha sido utilizado en Costa Rica por más de 40 años en la construcción de casas y aulas escolares. En los últimos años, la utilización de los sistemas prefabricados de columnas y baldosas se ha incrementado de manera sustancial, generando que su producción se desarrolle en todo el territorio nacional.

El quinto Censo Nacional de Vivienda realizado en Costa Rica en noviembre de 2002 (INEC, 2002), determinó que de las 935 289 viviendas ocupadas en el país, 65 982 corresponden a viviendas construidas con el sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales. Esta cifra representa el 7% del total de viviendas construidas en el país en esa fecha. En marzo de 2010, el Instituto Nacional de Estadística y Censo, reportó que este valor aumentó a un 11 % (INEC, 2012). En las encuestas realizadas a julio del 2016, el total de viviendas ocupadas en el país asciende a 1 436 120 de las cuales 342 000 fueron construidas con sistemas prefabricados de columnas y baldosas y asignadas a familias de bajos ingresos y clase media de manera individual o en proyectos (INEC, 2016). De esta manera el porcentaje de viviendas construidas con este sistema asciende a un 23,8%.

Según datos del Banco Hipotecario de la Vivienda (BANVHI), durante el periodo comprendido entre mayo de 2006 y marzo de 2010, se formalizaron 41 472 nuevos bonos de vivienda y para el periodo comprendido desde mayo 2010 hasta julio del 2013 se han extendido más de 32 000 bonos.

Tres de los proyectos más importantes desarrollados en Cartago (La Huerta en Paraíso con 231 viviendas; Vista al Lago en Cachí con 86 unidades habitacionales y Ecovivienda en Orosi con 62 casas), fueron construidos utilizando el sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales. Otro ejemplo es el proyecto La Tulita en Santa Cruz, Guanacaste, entregado en Julio de 2015.

En Noviembre de 2016, con la celebración del 30 aniversario del BANHVI, se firma un acuerdo entre el Banco Hipotecario de la Vivienda con Coopenae y Coocique, con el propósito de que a partir de ese momento ambas cooperativas puedan tramitar solicitudes de bono diferido. Esta modalidad de subsidio está dirigida a familias de clase media con un ingreso máximo de ₡1 514 970 por mes.

El beneficio del bono diferido radica en aumentar la capacidad de endeudamiento de los interesados, al cubrir con el bono un porcentaje de la cuota mensual por créditos habitacionales hasta por 48 meses. Para optar por este bono el monto de la solución habitacional no puede superar los ₡ 58,6 millones, máximo actual para una casa de interés social. Esta modalidad es tramitada actualmente por MUCAP y Grupo Mutual, las cuales han aprobado 201 casos para una inversión en bonos de ₡ 434 millones y créditos por ₡ 5 355 millones.

Este tipo de convenios estimula al sector construcción por lo que es de esperar que el porcentaje de viviendas construidas con el sistema prefabricado de columnas y baldosas siga en aumento.



Figura 1. Proyecto La Tulita, Santa Cruz, Guanacaste. (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, 2016).

Por consiguiente surge la necesidad de velar por que los elementos prefabricados utilizados en Costa Rica cuenten con una calidad mínima y tengan un desempeño adecuado. Para velar por este objetivo se desarrolla por medio del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, la norma para elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel, mediante el sistema de baldosas horizontales y columnas. La primera edición de esta norma se publica en 2013 y en el mes de febrero del 2017 se publica la segunda edición.

El presente artículo tiene como finalidad ofrecer un panorama claro de los retos y las soluciones empleadas en el desarrollo de la normativa técnica de verificación de calidad para columnas y baldosas prefabricadas para viviendas unifamiliares en Costa Rica, además de exponer el estado del arte en el desarrollo de este tema para el caso de Costa Rica.

La norma de la cuál se hace referencia en este artículo tiene como alcance establecer las especificaciones que deben cumplir los elementos prefabricados de concreto que se utilizan para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel, bajo el sistema de baldosas horizontales y columnas.

En el apartado 2 se presenta una reseña del desarrollo, las consideraciones utilizadas y los puntos más relevantes de la primera edición de la norma (INTE 06-10-02:2013), además se discuten los cambios y las correcciones incorporadas en la segunda edición de la norma (INTE 06-10-02: 2017 / INTE 06-10-04:2017).

En el apartado 3 se exponen las investigaciones sobre prefabricado realizadas en Costa Rica, las cuales han sido utilizadas como apoyo en la toma de decisiones para el desarrollo de las dos ediciones de la norma.

En el apartado 4 se desarrolla una discusión del aporte de las investigaciones realizadas en la normativa de prefabricado; por último en el apartado 5 se enlistan las conclusiones y recomendaciones que surgen a partir del presente trabajo.

La norma a la cual hace referencia el presente artículo, tiene como objetivo establecer las especificaciones que deben cumplir los elementos prefabricados de concreto que se utilizan para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel, bajo el sistema de baldosas horizontales y columnas. Esta fuera del alcance del documento elementos prefabricados de concreto utilizados en la construcción de aulas y otros sistemas así como tubería, viguetas, losas entre otros.

2. NORMA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE UN NIVEL MEDIANTE EL SISTEMA DE BALDOSAS HORIZONTALES Y COLUMNAS.

En esta sección se presentan las consideraciones y puntos más relevantes de las dos ediciones de la norma para elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel mediante el sistema de baldosas horizontales y columnas en Costa Rica.

2.1. Antecedentes

El inicio del proceso de normalización técnica del sistema de baldosas horizontales y columnas, ocurre a mediados del año 2010. El Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto (ICCYC) siguiendo una solicitud del Ministerio de Vivienda,

crea una comisión permanente de prefabricado de concreto para reunir a empresas productoras, consumidores y entidades académicas con el fin de preparar un documento base para la normativa técnica que regule las características de este sistema constructivo. Esta comisión da inicio al estudio de demandas a las que pueden estar sometidas las columnas en estructuras construidas con este sistema y el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR, inicia una investigación con pruebas experimentales para determinar la capacidad en flexión de columnas de concreto. En marzo del 2011, INTECO crea dentro del subcomité nacional de productos prefabricados CTN 06 SC 09, un subgrupo de trabajo para el desarrollo de la norma.

2.2. Primera edición de la norma: INTE 06-10-02:2013

La primera edición de la norma, considera que el sistema posee una naturaleza dual, es decir, que tiene características de unidades de producción en masa y características de un elemento estructural. Como unidad de producción en masa, se establecieron requisitos en las tolerancias dimensionales y aspectos de acabado. Como elementos estructurales, se establecieron los requisitos de resistencia, tomando como base la demanda de fuerzas que pueden experimentar viviendas unifamiliares de un nivel que cumplen con lo establecido en el capítulo 17 del Código Sísmico de Costa Rica CSCR-2002.

Uno de los requisitos más importantes desarrollados en esta primera edición de la norma, fue la de resistencia mínima en flexión, de manera que este valor fuese un parámetro de aceptación en la verificación de calidad del producto. Para definir estos valores, fué necesario realizar un análisis de demanda para estructuras que cumplan con los requisitos del capítulo 17 del CSCR-2002. Para el análisis de capacidad en flexión de las columnas, se consideró como condición crítica la resistencia fuera del plano de las paredes.

Los casos de estudio fueron divididos según la dimensión de cuadrantes típicos utilizados en viviendas que cumplen con lo estipulado en el capítulo 17 del código sísmico de Costa Rica CSCR-2002. Los cuadrantes utilizados fueron de dimensiones de 3 x 6 m; 4,5 x 6 m; 4,5 x 6 m; 6 x 3 m; 7 x 3 m; el primer valor indica la longitud de la pared sometida a cargas fuera del plano, mientras que el segundo indica el largo de las paredes con carga el plano (ancho del recinto).

El modelo utilizado para el análisis considera las columnas empotradas en la base y vinculadas en su extremo superior, por medio de una solera para la cual se contempla como

mínimo un elemento metálico laminado en frío con sección RT 1-13. Tal como se establece en el CSCR-2002, las columnas se separan como máximo una distancia de 1,50 m.

Como resultado del análisis, fue posible definir un valor de resistencia mínima de momento último en las columnas de 3000 N·m. Adicionalmente, se estableció un requerimiento de desempeño, de manera que se garantice que la relación entre el momento último y el momento de agrietamiento sea mayor de 1,2. Este aspecto se consideró como un medio para asegurar una ductilidad en el sistema de 2,0; valor que fue utilizado en la determinación de las demandas sísmicas de los modelos analíticos antes explicados. En relación con las baldosas, los requisitos de resistencia se establecieron considerando las cargas máximas de transporte, manipulación e instalación. En el análisis de demanda realizado no se considera que para solicitaciones de carga fuera del plano de la pared, la baldosa tome algún tipo de carga. Los valores de resistencia establecidos fueron: un momento mínimo de agrietamiento de 250 N·m y un momento de falla mínimo de 500 N·m.

Para la definición de los métodos de ensayos para la determinación de la resistencia en flexión, se tomó como base el trabajo realizado por Villalobos y Alfaro (2012) En este trabajo se muestran dos metodologías distintas para la falla de columnas prefabricadas de concreto: Ensayo de capacidad en flexión mediante cargas aplicadas en los tercios y ensayo de capacidad en flexión en voladizo.

2.3. Segunda edición de la norma: INTE 06-10-02: 2017 / INTE 06-10-04:2017

Uno de los cambios más significativos en la segunda edición de la norma consiste en que el documento original es dividido en dos normas. El comité técnico decide separar los requisitos de los productos: columnas y baldosas (INTE 06-10-02:2017) de los métodos de ensayos (INTE 06-10-04:2017). Las razones por la que se realiza esta separación son dos: existen otras estructuras distintas a viviendas unifamiliares que pueden ser construidas con este sistema como aulas y tapias, las cuales demandan requisitos distintos, sin embargo, pueden ser ensayadas con los mismos métodos de ensayo. La otra razón se centra en facilitar el proceso de acreditación de laboratorios de ensayos, quienes podrán optar por una acreditación sobre una norma únicamente de métodos de ensayo. A continuación se presentan los principales cambios incluidos en la segunda edición de la norma. No se abordan todas las secciones de la norma ya que existen algunas en las cuales no hay cambios significativos.

2.3.1. INTE 06-10-02: 2017 - Objeto y campo de aplicación

El objeto y campo de aplicación de la norma esencialmente no varía entre ambas ediciones, sin embargo se realizan cambios que puedan aclarar la intención de la norma. Se establece que toda vivienda construida con el sistema debe cumplir con lo establecido en el Código Sísmico de Costa Rica (CFIA, 2011), esto para hacer énfasis en la jerarquía entre estos dos documentos. Se elimina de esta sección la referencia al capítulo 17 del Código Sísmico de Costa Rica (CFIA, 2011) ya que se incorpora de manera explícita en la sección 5 de la norma, donde se hace una diferencia entre los requisitos de resistencia que deben aplicar cuando la vivienda se ajusta a lo establecido por el capítulo 17 del CSCR-2011 y los requisitos que aplican cuando hay un diseño estructural formal. En la edición anterior pudiese existir confusión de que la norma solo aplica para viviendas construidas utilizando un diseño simplificado.

2.3.2. INTE 06-10-02: 2017 - Requisitos físicos

Esta sección sufre cambios basándose en algunos de los resultados mostrados por Villalobos y Otárola (2015) y también el trabajo técnico realizado por el subcomité CTN 06 SC 09. En primera instancia, se establece que los requisitos establecidos en la tabla 5.1 solo aplican para estructuras que son dimensionadas utilizando las consideraciones del capítulo 17, sección 17.1-b y 17.3.3-e del CSCR (CFIA, 2011). En el caso que exista un diseño formal de la estructura se establece como requisito que el fabricante debe garantizar que el 95% del inventario de donde se extraen los elementos, posean una resistencia igual o superior a la utilizada como resistencia nominal en los cálculos y especificada por el diseñador estructural.

En la tabla 5.1 se realizan cambios. En el caso de las baldosas, se decide eliminar el requisito de momento de agrietamiento. Se considera que no es necesario establecer un desempeño especial en las baldosas dado que su función en el comportamiento de las estructuras es básicamente como un puntal que trabaja en compresión en la transmisión de cargas laterales en el plano de los muros. Los resultados obtenidos por Otárola y Villalobos (2015) demuestran que el nivel de demanda probable en estos elementos es inferior en relación con su capacidad, específicamente un 66% en flexión y un 77% en cortante. Basado en esto, se considera que estos elementos trabajan esencialmente en el rango elástico. Otro aspecto que cambia en comparación de la edición anterior de la norma, es que el requisito de momento mínimo requerido, MR, para baldosas, se establece por ancho

unitario, pasa de un valor de 500 N·m a 1000 N·m/m. Esto se hace ya que existen en el mercado diferencias significativas en el ancho de las baldosas, por lo que se adopta un criterio más homogéneo de verificación.

En el caso de las columnas, no se realiza ningún cambio en los requisitos de resistencia mostrados en la tabla 5.1, sin embargo, se agrega un requisito adicional. Las columnas deben cumplir con una rigidez elástica mínima que permita alcanzar un desplazamiento menor de 10,0 mm al aplicar una carga de 800 N de acuerdo con la norma INTE 06-10-04, apartado 5.2. Este requisito se establece como una medida para regular indirectamente un valor de resistencia mínima del concreto y controlar aspectos de adherencia entre el refuerzo de acero y el concreto; y aspectos de deslizamiento en elementos pre-esforzados.

2.3.3. INTE 06-10-02: 2017 - Requisitos dimensionales

En la segunda versión se identifican problemas de compatibilidad dimensional de los elementos aún cuando estos individualmente cumplieren con las tolerancias establecidas. Dada esta circunstancia se sustituyen los valores máximos y mínimos de ancho y profundidad de canal en las columnas, por ecuaciones que aseguran una compatibilidad dimensional entre la baldosa y la columna. Estas relaciones se muestran en el anexo A de la norma.

2.3.4. INTE 06-10-02: 2017 - Planes de Muestreo

Se identifican por primera vez dos métodos de inspección, uno por atributos y el otro por variables. Para cada uno de los métodos se incluye una tabla para la determinación de la muestra a ensayar en función de la población.

La inspección por atributos se enfoca en la verificación del cumplimiento de requisitos dimensionales, mientras que la inspección por variables, se enfoca en el cumplimiento de los requisitos de resistencia de las columnas y las baldosas. Las características dimensionales (inspección por atributos) están asociadas a no conformidades mayores, mientras que las características de resistencia (inspección por variables), están asociadas a no conformidades críticas. La clasificación establece como no conformidades críticas, aquellas cuya existencia provoca un problema grave de calidad y seguridad; y como no conformidades mayores, aquellas cuyo incumplimiento tiene un impacto importante en la calidad del producto y su desempeño en el campo.

En la inspección por atributos, la evaluación de la conformidad se realiza bajo la premisa Pasa/No-pasa, lo que es igual a establecer si el elemento cumple o no cumple con los requisitos dimensionales. Se establece cuantas unidades de la muestra en estudio deben cumplir con los requisitos para la aceptación de la población (lote).

Los parámetros de resistencia de las baldosas y columnas no se inspeccionan por medio de procedimientos Pasa/No-pasa tal y como se efectúa en el resto, pues son variables de riesgo que merecen ser analizadas en forma individual. Esto quiere decir que la aceptación del lote no depende del cumplimiento individual de requisitos de resistencia, sino del valor promedio obtenido y la dispersión de los resultados. Con esta definición puede eventualmente darse la aceptación del lote cuando una de las muestras no cumple con los requisitos mínimos. Si la disminución en la resistencia no provoca una desviación alta de los datos y por consiguiente, el promedio de resistencia tiene un valor superior al valor requerido, entonces el parámetro de aceptación puede indicar que el lote es aceptable. La muestra indica que la población posee un comportamiento homogéneo y que es probable que al menos el 95% de la población supere el mínimo de resistencia. También puede suceder que un lote sea rechazado aún cuando todos los elementos de la muestra cumplan individualmente con los requisitos de resistencia. Esta situación puede suceder si los valores de resistencia obtenidos experimentalmente son muy cercanos al límite establecido y adicionalmente, una de las muestras reporta un valor muy superior, lo cual genera una desviación considerable de los datos, en este caso la muestra se rechazaría ya que esta es muy heterogénea y que es probable que más de un 5% de la población no cumpla con los requisitos mínimos de resistencia.

2.3.5. INTE 06-10-04: 2017 - Métodos de ensayo para verificación de atributos (dimensiones)

En esta nueva versión de la norma, se incluyen más detalles de la forma en la que se deben medir las dimensiones de los elementos en laboratorio. Se establecen aspectos como número de mediciones, ubicación y la precisión con que se deben reportar los valores. Por ejemplo, se aumenta el número de mediciones a realizar en la determinación del espesor de la baldosas. En esta nueva versión, se requiere realizar la medición en 8 puntos. Se incluye por primera vez la validez del uso de equipo de detección de acero para la determinación del recubrimiento del acero de refuerzo de los elementos prefabricados. Se establece la metodología para la comprobación de equipo y la respectiva periodicidad.

2.3.6. INTE 06-10-04: 2017 - Métodos de ensayo para inspección de variables (resistencia)

Los ensayos de resistencia fueron modificados tanto para uniformizar aspectos de equipos y aditamentos de carga, como también para modificar algunos de los cálculos utilizados en el reporte de resultados. En el caso del ensayo de flexión de baldosas, se realiza un cambio en las dimensiones de los cilindros de apoyo, se establece utilizar el mismo diámetro de los cilindros de carga. Se establece también un valor de espesor mínimo, de manera que la rigidez de los cilindros sea suficiente para distribuir la carga a todo lo ancho del espécimen de ensayo. También se fija un valor máximo de la masa de los cilindros y aditamentos de carga (25 kg). Este valor pretende asegurar que el ensayo inicie con una condición elástica de la baldosa. Se elimina la toma de datos de desplazamientos en el centro del claro de la baldosa, tal como se explica en el apartado 6 de la norma, la nueva edición de la norma solo establece requisitos para el valor máximo de resistencia. Por tal motivo, no es necesaria la construcción del gráfico experimental de carga contra desplazamiento en dicho ensayo.

En el caso de los ensayos de resistencia en flexión de columnas se realizaron algunos cambios en la descripción de los equipos y en el procesamiento de los resultados. Se acepta el uso de cualquier sistema de empotramiento en la base de la columna que impida la rotación en ese punto. Se elimina el valor de carga de empotramiento que figuraba en la versión anterior. Esto permite que se puedan diseñar sistemas de empotramientos mecánicos y no necesariamente hidráulicos, estimulando la implementación de este ensayo en más laboratorios de la región.

Se elimina del procedimiento de ensayo la determinación de la carga de agrietamiento a través de la medición de un ancho de grieta en la base. De la ejecución y observación del ensayo, se determina que en la base de la columna se genera una zona de rotulación y no existe una única grieta que pueda establecer de manera reproducible un valor de carga asociado al agrietamiento de la columna. En su lugar se establece que el momento de agrietamiento de la columna está asociado con un cambio significativo en la rigidez del elemento. Se establece la metodología para determinar la rigidez inicial de la columna y posteriormente calcular la variación porcentual de la rigidez en los pasos de carga subsecuentes. El valor de carga asociado a una variación mayor del 50% de la rigidez se considera como carga de agrietamiento.

3. INVESTIGACIONES SOBRE PREFABRICADO REALIZADAS EN COSTA RICA

En esta sección se presentan las investigaciones que se han realizado antes y después de la publicación de la primera edición de la norma INTE 06-10-02:2013.

3.1. Investigaciones previas a la norma INTE 06-10-02:2013.

Uno de los primeros trabajos realizados en la materia fue desarrollado por Calvo (1987), este consiste en la revisión experimental de paredes construidas con el sistema de baldosas y columnas sometidas a cargas fuera de su plano. En este trabajo, se realizaron pruebas a escala real en campo, utilizando tres modelos distintos. El modelo 1 a su vez, consiste en tres variaciones constructivas: modelo 1-A es una pared típica conformada por tres columnas, diez baldosas (cinco por vano) y solera superior; el modelo 1-B es una pared conformada por tres columnas y diez baldosas (cinco por vano) y sin solera superior; finalmente el modelo 1-C es una pared conformada por 3 columnas, sin baldosas y con solera superior. El modelo 2 se conforma por tres paredes en una configuración tipo C y finalmente, el modelo 3, el cual consiste en una columna empotrada. La investigación está enfocada en determinar el papel estructural que desempeña cada uno de los elementos que componen una pared frente la acción de cargas fuera del plano. Las cargas en los modelos fueron aplicadas puntualmente en la columna central a una altura de 1,60 m sobre el nivel del suelo. Se elige esta ubicación, considerando que la resultante de las cargas de viento inducidas en una pared de este tipo esta aproximadamente a ese nivel. En la Figura 2 y en la Figura 3 se muestra el detalle del montaje experimental utilizado y una fotografía del ensayo en ejecución, respectivamente. Unas de las principales conclusiones de este trabajo fueron las siguientes:

- La acción de la solera como conector y transmisor de cargas se torna más relevante a medida que la carga externa aplicada aumenta, lo cual comprueba su contribución estructural.
- Las baldosas funcionan como una losa semi-empotrada en la columna que disminuye la deformación lateral de las columnas.

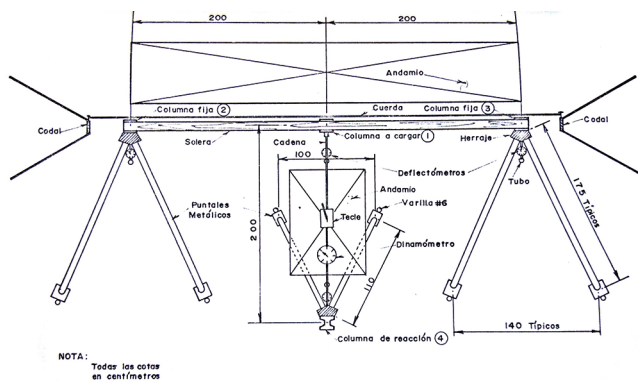


Figura 2. Detalle en planta montaje experimental del Modelo 1-A (Calvo, 1987).

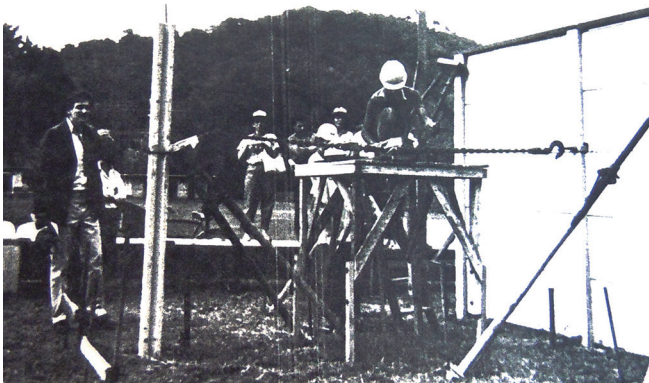


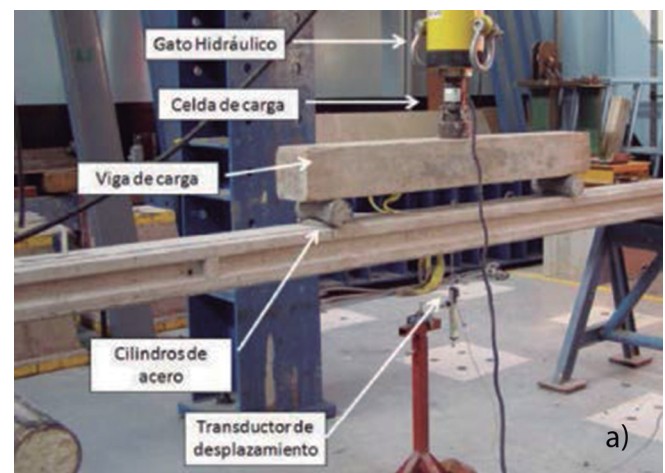
Figura 3. Ejecución del ensayo sobre el Modelo 1-A (Calvo, 1987).

Otro trabajo fue el realizado por González (2005) en el cual realiza una evaluación de la competencia estructural de los límites y las recomendaciones del método de diseño simplificado del capítulo de vivienda unifamiliar del CSCR-2002. Este trabajo de índole analítico, revela que en el país no existían investigaciones relacionadas con el comportamiento del sistema en cuanto a la acción de cargas laterales paralelas a su plano. En esta investigación se propone por primera vez la utilización de la metodología de puntal equivalente para considerar el aporte a la resistencia del sistema debido a las baldosas. Esta recomendación se genera ya que el autor reconoce que el fenómeno más similar encontrado, fue el comportamiento de los marcos de concreto o acero en edificios, cuando se rellenan su interior con algún tipo de mampostería. Se proponen dos modelos de puntales, uno con un solo puntal largo y otro con varios puntales cortos que representan el eje diagonal de las baldosas. El autor determina que el desplazamiento elástico de los modelos es muy sensible al ancho de puntal que se utilice en el

análisis, sin embargo, no lo es en la obtención de resultados de capacidad lateral elástica del sistema. Concluye además, que no existe suficiente certeza de la forma en que paredes construidas con este sistema se comportan en realidad y que las capacidades de las columnas podrían no ser suficientes de acuerdo con uno de los modelos analíticos.

En 2012, Villalobos y Alfaro (2012) desarrollan un trabajo en el que se muestran dos metodologías distintas para la falla de columnas prefabricadas de concreto: el ensayo de capacidad en flexión mediante cargas aplicadas en los tercios y el ensayo de capacidad en flexión en voladizo. En el documento se detalla los parámetros básicos utilizados en el desarrollo experimental.

La investigación desarrolla una comparación y correlación de los dos tipos de ensayos para la determinación de la resistencia en flexión de columnas. Del trabajo se concluye que para columnas prefabricadas de concreto reforzado o pretensado, con una sección homogénea a través de la longitud del espécimen, se puede utilizar el método de cargas en los tercios para determinar su resistencia en flexión. La relación del momento de agrietamiento y de falla obtenido con el método de carga en voladizo, sobre los obtenidos con el método de cargas en los tercios (excluyendo un fabricante) son de 1,02 y 1,03, respectivamente. La investigación concluye que ambos métodos pueden ser utilizados en la determinación de la capacidad en flexión de las columnas prefabricadas de concreto siempre y cuando el elemento posea una distribución de refuerzo uniforme. Las columnas que posean refuerzo variable, podrían presentar resultados de resistencia menor cuando se ensayan utilizando el método con cargas aplicadas en los tercios.



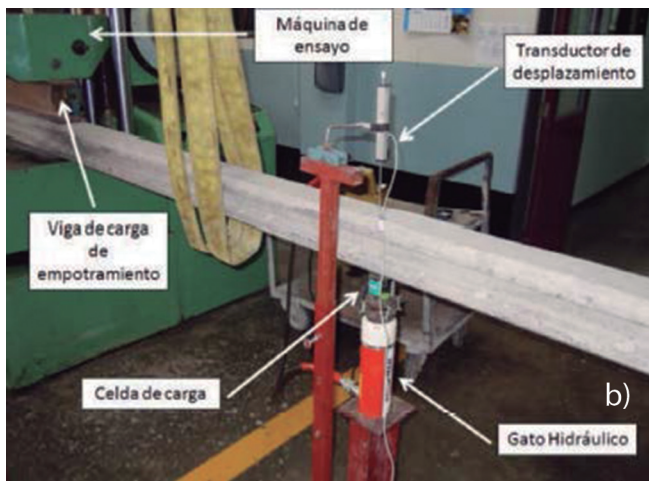


Figura 4. Fotografías del montaje utilizado en ensayo de capacidad en flexión: a) montaje para carga aplicada en voladizo y b) montaje para cargas aplicadas en los tercios medios. (Villalobos & Alfaro, 2012).

3.2. Investigaciones posteriores a la norma INTE 06-10-02:2013.

La primera investigación realizada posterior a la publicación de la primera edición de la norma, fue la realizada por Quesada (2013). En esta investigación, el autor estudia cuáles ensayos no destructivos pueden ser utilizados para determinar parámetros de resistencias de los elementos y poder determinar de manera indirecta la capacidad en flexión de elementos pertenecientes al sistema prefabricado de columnas y baldosas para viviendas unifamiliares de un piso.

Los ensayos no destructivos utilizados en esta investigación fueron los siguientes: determinación de la permeabilidad de concreto por medio de bomba de vacío, resistencia a la compresión de concreto por medio de esclerómetro, determinación de velocidad de onda por ultrasonido y ubicación y profundidad de acero de refuerzo por medio de detección de acero. Los ensayos se realizan a dos muestras de baldosas y columnas construidas con concreto con diferente resistencia a la compresión.

El autor concluye que por las características dimensionales de los elementos de este sistema, los ensayos de determinación de permeabilidad de concreto y velocidad de onda por ultrasonido no brindan resultados confiables que puedan ser correlacionados con la resistencia a la compresión del concreto y por ende, tampoco con la determinación de resistencia de los elementos. Adicionalmente, se determina que los ensayos de resistencia a la compresión por esclerómetro y ubicación de acero por detección de acero (ver Figura 4) sí generan

resultados útiles para la determinación de la resistencia de los elementos. El autor recomienda la utilización de esclerómetros tipo L o LR (baja energía de impacto), para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto y la utilización de cabezas de búsqueda de baja intensidad para el equipo de detección de acero.

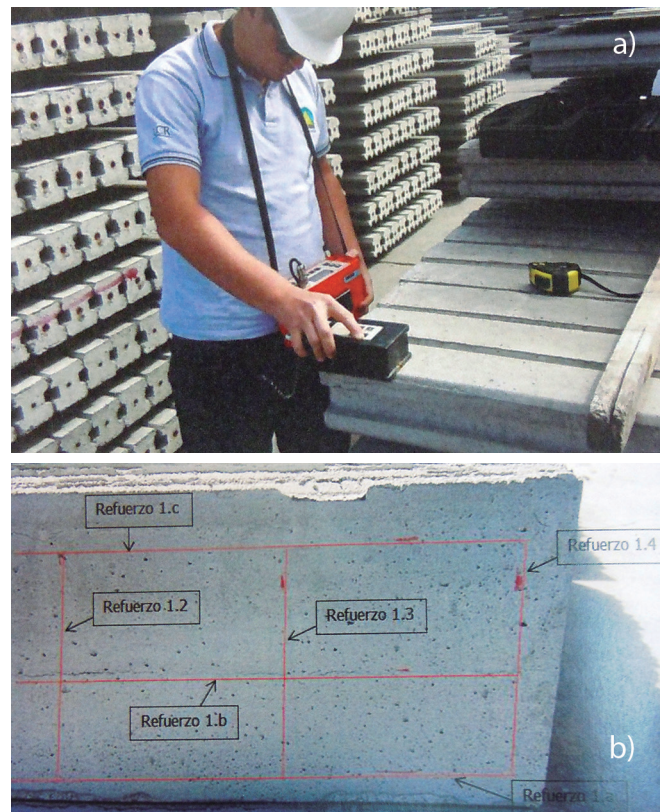


Figura 5. Ensayos de detección de acero en elementos prefabricados, a) ejecución de ensayo de detección de acero en columnas y b) resultados del ensayo de detección de acero en baldosa (Quesada, 2015).

En el año 2015, Otárola y Villalobos (2015) realizan una evaluación de la demanda de resistencia para elementos de estructuras con elementos prefabricados (baldosas horizontales y columnas) sometidas a carga lateral según el CSCR-10. Este trabajo evalúa los límites de resistencia mínimos establecidos en la norma INTE 06-10-02:2013, esta es la primera investigación en estos elementos publicada después de la norma. En esta investigación, se realiza un estudio de la demanda sísmica que pueden presentar estos elementos (baldosas horizontales y columnas) mediante un análisis estructural formal de casos particulares. Se modelan 10 estructuras diferentes, cada una con configuración y aspectos particulares (variando entre viviendas unifamiliares e infraestructura educativa).

Para generar los modelos de análisis, se investiga acerca de los métodos que mejor representan el comportamiento real del sistema. Se determina que el modelado mediante el uso de puntales diagonales cortos (Figura 5) representa mejor la posible configuración deformada de las estructuras, ya que es más probable que frente a la acción de cargas laterales en su plano, las columnas adopten una deformación en doble curvatura. De esta manera, se propone utilizar un ancho de puntal igual que 5,83% de la longitud de la diagonal correspondiente.

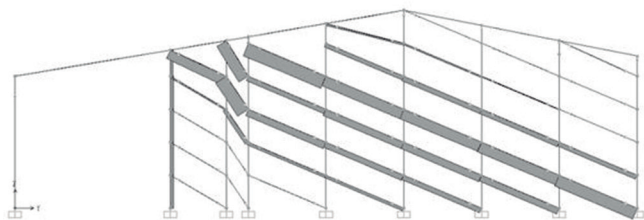


Figura 6. Flujo de carga observado en los muros de los modelos de análisis (Otárola & Villalobos, 2015).

Posteriormente, se realiza un análisis probabilístico de los datos obtenidos por su análisis. La investigación concluye que existe un 90% de confianza de que se cumpla con los requisitos mínimos de resistencia para columnas establecidos en la norma INTE 06-10-02:2013. Por lo tanto, el valor mínimo de resistencia a flexión de 3000 N·m requerido por la norma es adecuado. En el caso de las baldosas, se determina que el nivel de demanda probable en estos elementos es muy inferior en relación con su capacidad, específicamente un 66% en flexión y un 77% en cortante por tanto los límites establecidos por la norma también son seguros.

Finalmente Alfaro (2015) se enfocada en el diseño de un sistema de ensayo para la verificación de calidad de columnas y baldosas horizontales de concreto prefabricadas para ser utilizada por empresas productoras. En la investigación se proponen las dimensiones y características de un marco de reacción que permita realizar los ensayos de acuerdo con la norma INTE 06-10-02:2003. El autor proponer utilizar en los ensayos de flexión de columnas el método de cargas en los tercios (Villalobos & Alfaro, 2012) y el método de falla de baldosas que se indica en la norma INTE 06-10-02:2013. Se concluye, que la inversión inicial necesaria para la construcción del equipo de carga es cercana a los \$5000.

3.3. Investigaciones en ejecución

Actualmente en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), junto con el patrocinio de empresas privadas, se encuentran en ejecución dos proyectos de investigación relacionados con el sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales de concreto. En el primer proyecto se estudia la factibilidad técnica del uso de concreto reforzado con fibra sintética en la elaboración de baldosas prefabricadas. El objetivo de esta investigación es determinar si las baldosas reforzadas únicamente con fibra, son capaces de cumplir con los requisitos de la norma INTE 06-10-02:2017. El programa experimental de esta investigación contempla la calibración de un diseño de mezcla con fibra sintética, con el que se moldearán en laboratorio baldosas con dimensiones nominales de 1,50 m x 0,50 m x 3,6 cm y que posteriormente serán ensayadas según la metodología que se presenta en la norma INTE 06-10-04:2017.

La otra investigación en ejecución tiene como objetivo determinar experimentalmente la distribución de esfuerzos cortantes en baldosas de concreto en paredes prefabricadas. La intención de esta investigación es esclarecer el comportamiento de paredes construidas con este sistema al ser sometidas a cargas laterales paralelas a su plano y con esto ofrecer a diseñadores estructurales un modelo analítico refinado para determinar su comportamiento y resistencia. El programa experimental de esta investigación contempla el diseño, construcción e instrumentación de un modelo experimental a escala real de una pared prefabricada. Adicionalmente, contempla la realización de las pruebas de verificación de calidad a los elementos de manera individual según la norma INTE 06-10-04:2017. En la Figura 6 y en la Figura 7 se muestra un detalle del montaje experimental que será utilizado en esta investigación y el estado actual de la construcción del espécimen.

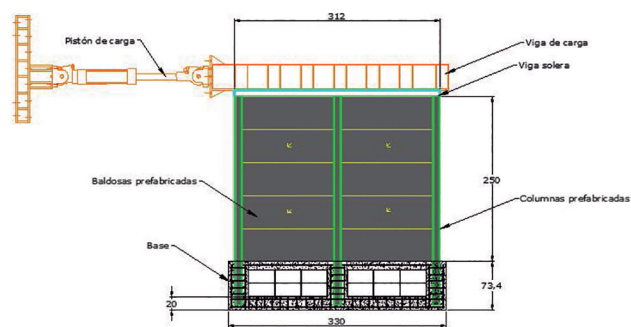


Figura 7. Propuesta de montaje experimental para el segundo proyecto de investigación, cotas en cm. (Detalle suministrado por LanammeUCR).



Figura 8. Espécimen experimental en construcción, investigación de LanammeUCR. (LanammeUCR, 2017).

4. DISCUSIÓN

Tal como se ha hecho evidente en este documento, la investigación experimental y analítica son aspectos claves en el desarrollo de normativa técnica, a su vez la publicación de normativa técnica promueve la generación de nuevas investigaciones. Las investigaciones previas a la publicación de la primera edición de la norma INTE 06-10-02, fungieron como las bases para la determinación de aspectos relevantes que se citan a continuación:

Calvo (1987)

- Los resultados obtenidos con los modelos tipo 1 justificaron por qué en la primera edición de la norma se desprecia el aporte de las baldosas para determinar la demanda de momento en las columnas.
- Las mediciones realizadas en las cimentaciones de los modelos, permitieron considerar como válida la primicia que las columnas se encuentran empotradas en su base. Este es un aspecto clave en el desarrollo de los modelos analíticos y las pruebas experimentales.

González (2005)

- La recopilación de aspectos normativos que hace el autor en cuanto a los requisitos dimensionales y de recubrimiento que deben cumplir estos elementos prefabricados de concreto, son considerados e incluidos en el cuerpo de la norma.

Villalobos y Alfaro (2012)

- La descripción de los métodos experimentales utilizados en esta investigación son incluidos como los métodos para la verificación de calidad de baldosas y columnas prefabricadas, en la norma INTE 06-10-02:2003

Las investigaciones desarrolladas posteriormente a la publicación de la primera edición de la norma ratifican la validez de las consideraciones tomadas en la misma; adicionalmente algunas de ellas jugaron un papel importante en los cambios realizados al documento en su segunda edición. A continuación se cita algunos de los principales aportes:

Quesada (2013)

- Los resultados obtenidos en el uso de ensayos no destructivos para la ubicación del acero de refuerzo en baldosas y columnas prefabricadas de concreto, permitieron establecer los requisitos mínimos del equipo que este tipo de equipos deben cumplir para que puedan ser utilizados en la determinación del recubrimiento de concreto que posee el acero de refuerzo.

Otárola y Villalobos (2015)

- La validación de los límites de resistencia que presenta esta investigación permite mantener dichos valores en la segunda edición de la norma.
- Los resultados obtenidos en cuanto al comportamiento de las baldosas permite eliminar requisitos que deben cumplir y con esto simplificar el método de ensayo.

La investigación realizada por Alfaro en 2015, no genera cambios en la segunda edición de la norma, sin embargo, representa el impacto que tuvo la primera edición de la misma en el deseo por parte de los productores de adoptar la norma e iniciar la verificación de calidad propia de sus productos en sus mismas fábricas. Según datos del LanammeUCR, el número de baldosas y columnas prefabricadas ensayadas posterior a la publicación de la primera edición de la norma, aumentó en un 100%. El laboratorio ha recibido muestras provenientes de las siete provincias del país.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La reglamentación técnica y la investigación contribuyen mutuamente al mejoramiento de las prácticas en vivienda prefabricada de concreto.

Las normas INTE 06-10-02:2017 e INTE 06-10-04:2017 son producto del trabajo conjunto de profesionales de la industria y la academia costarricense. Su desarrollo local resalta la importancia de estos documentos en el contexto regional.

Según se ha presentado en este documento, es de esperar que las investigaciones en ejecución sobre este tema sirvan como base para nuevas actualizaciones de la norma. Se recomienda continuar con la investigación en los siguientes aspectos relacionados a este sistema constructivo:

- Comportamiento estructural y resistencia de columnas especiales que presentan aberturas (columnas para toma corrientes y apagadores)
- Interacción entre columnas y solera superior.
- Estudio sobre la sobre resistencia real de este tipo de estructuras y su ductilidad con el fin de realizar una estimación más precisa de fuerzas sísmicas.

Agradecimientos

Las investigaciones mencionadas en este artículo fueron posibles, gracias al apoyo de empresas privadas a la investigación realizada por la Universidad de Costa Rica a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

Se extiende un gran agradecimiento a todos los investigadores mencionados y la labor de todo el personal técnico relacionado con estas investigaciones.

6. REFERENCIAS

- Alfaro Martínez, J.P. (2015). *Diseño del sistema para ensayo de columnas y baldosas horizontales de concreto prefabricadas*. (Proyecto de Graduación). Universidad de Costa Rica.
- Calvo Gutiérrez, J. (1987) *Revisión experimental del Sistema Prefa para paredes*. (Proyecto de Graduación). Universidad de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2011). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- González Quesada, M. (2005). *Evaluación de la competencia estructural de los límites y recomendaciones del método de diseño simplificado del capítulo de vivienda unifamiliar del Código Sísmico de Costa Rica de 2002*. (Proyecto de Graduación). Universidad de Costa Rica.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2010). *NORMALIZACIÓN TÉCNICA: Herramientas para la Competitividad*. Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2002). *V Censo Nacional de Vivienda*. 5a. ed, 309p. Costa Rica
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2012). *Encuesta Nacional de Hogares Julio 2012: Resultados Generales*, Vol. 1 ; Año 3. Costa Rica
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2013). *INTE 06-10-02. Norma para elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel, mediante el sistema de baldosas horizontales y columnas*. San José, Costa Rica: INTECO.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2017). *INTE 06-10-02. Elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel, mediante el sistema de baldosas horizontales y baldosas horizontales y columnas*. Requisitos. San José, Costa Rica: INTECO.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2017). *INTE 06-10-04 Elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel, mediante el sistema de baldosas horizontales y baldosas horizontales y columnas*. Métodos de ensayo. San José, Costa Rica: INTECO.
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (2016). *Memoria Institucional 2015-2016*. San José, Costa Rica: MIVAH.
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (2013). *Memoria Institucional 2012-2013*. San José, Costa Rica: MIVAH.

- Otárola Madrigal, K., & Villalobos Ramírez, F. (2015). *Evaluación de la demanda de resistencia para elementos de estructuras tipo prefa (baldosas horizontales y columnas) sometidas a carga lateral según el CSCR-10*. Congreso Estructuras 2015. XIII Seminario de Ingeniería Estructural y Sísmica. San José, Costa Rica.
- Quesada Chacón, D. (2013). *Evaluación de ensayos no destructivos para caracterizar la resistencia del sistema prefabricado de columnas y baldosas para viviendas unifamiliares de un piso. Medidor de permeabilidad, determinación de velocidad de onda por ultrasonido y esclerómetro Schmidt*. (Proyecto de Graduación). Universidad de Costa Rica.
- Unidad de Comunicaciones BANHVI. (2010). *Familias hacinadas y afectadas por emergencia de Oroquieta tienen casa propia*. San José, Costa Rica: BANHVI.
- Villalobos Ramírez, F. (2013). *Desarrollo de normativa técnica y métodos experimentales para la verificación de calidad de los elementos prefabricados para la construcción de viviendas unifamiliares*. Congreso Estructuras 2013. XII Seminario de Ingeniería Estructural y Sísmica. San José, Costa Rica.
- Villalobos Ramírez, F. Alfaro Martínez, J.P. (2012). *Pruebas experimentales para determinar la capacidad de columnas de concreto prefabricado. Comparación entre el método de flexión en voladizo y método de flexión con carga en los tercios*. Métodos y Materiales, Volumen 2. Universidad de Costa Rica, LanammeUCR.