

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

Dianely Yazuri Chulim Tec<sup>1</sup>, Alberto Yeladaqui Tello<sup>2</sup>,  
Danna Lizeth Trejo Arroyo<sup>3</sup>

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

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

## Resumen

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

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

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

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

## Introducción

El cemento es el material de mayor uso en la construcción y desarrollo de infraestructura. Se considera un material de construcción durable. Sin embargo, el proceso de fabricación del cemento se ha convertido en una preocupación en el ámbito ambiental, ya que las industrias del cemento son responsables de alrededor del 8% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial, según el centro de estudios británico Chatham House. Por lo que el uso de materiales alternativos que permitan el reemplazo de cemento en el concreto, es uno de los temas de mayor estudio en la actualidad. Uno de los materiales que ha demostrado poseer características puzolánicas propias de los cementantes es la ceniza de bagazo de caña (CBCA).

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

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

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

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

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

## Materiales

### *Material utilizado para la investigación*

#### Cemento

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

#### Agregado Fino

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

Tabla 1. Propiedades del agregado fino utilizado

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

#### Agregado Grueso

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

Tabla 2. Propiedades del agregado grueso utilizado

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

Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).

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

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

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

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

Caracterización de la ceniza de bagazo de caña

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

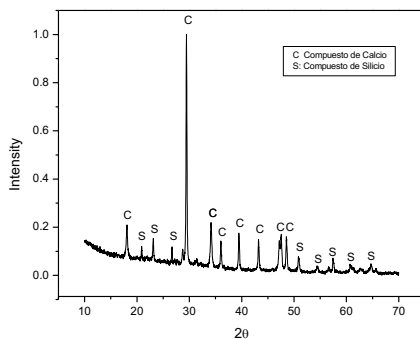


Figura 1. Difractograma de la muestra de CBCA

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

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

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

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

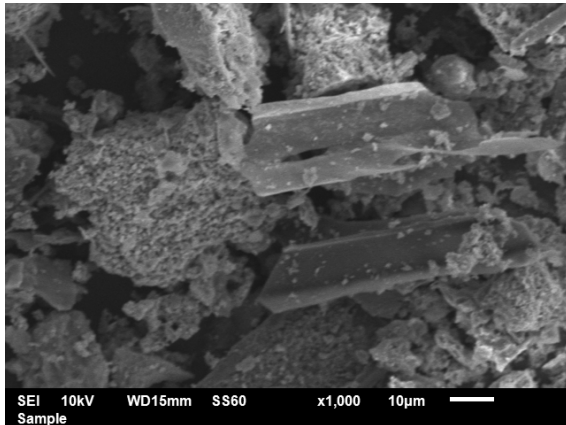


Figura 2. Morfología de la muestra de CBCA mediante MEB.

#### Agua

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

### Metodología

#### Diseño de mezclas

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

Tabla 4. Diseño de mezclas (Kg/m<sup>3</sup>)

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

#### Elaboración de muestras.

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

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

**Curado de muestras**

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

**Pruebas físico-mecánicas.**

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

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

**Resultados**

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

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

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

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

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

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

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

## Discusión

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

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

## Conclusiones

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

## Bibliografía

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

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

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

R. Alexis Barrientos González\*, Ricardo E. Vega Azamar, Danna L. Trejo Arroyo, Maritza Chan Juárez, José A. Domínguez Lepe  
 Instituto Tecnológico de Chetumal  
 \*Contacto: [ralbaqo7@gmail.com](mailto:ralbaqo7@gmail.com)

## RESUMEN

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

## METODOLOGÍA



ZONA	TIPO DE LUMINARIA	ILUMINACIÓN			SISTEMA DE REFRIGERACIÓN			
		No. DE LUMINARIAS	POTENCIA W/m <sup>2</sup>	HORAS-USO SEMANA	POTENCIA A (kW)	COP/EEER	CONSIGNA DE OPERACIÓN	HORAS-USO SEMANA
CASA 1	SALA/COMEDOR	1	37.5		1.85	4.1	16	52
	BAÑO	1	5	7				
	RECÁMARA EXTERIOR	2		84.5				
CASA 2	COMEDOR/COCINA	1	88.5		1.2	3.52	23	64
	BAÑO	2	14.5	79				
	RECÁMARA PRINCIPAL	2	3	95				

HABITANTES	FACHADA	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO			CARACTERÍSTICAS DE ENVOLVENTE			EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO					
		SUPERFICIE M <sup>2</sup>	ALTURA	RELACION VIDRIO/MURO %	SUELO	MURO	CUBIERTA	ACRISTALAMI ENFO/Valor U(W/m <sup>2</sup> K)	EQUIPOS ELECTRÓNICOS	CANT.	POTENCIA (W/hr)	HR/DIA (LUN-VIE)	HR/DIA (LUN-VIE)
CASA 1	2 NORESTE	35.45	2.7	SALA/COMEDOR	21.98	BLOCK HUECO	VIDRIETA	TINTEX 60MM	LICUADORA	1	400	0.083	0
				COCINA	15.68	ISCM 1 ISCM	BOVEDILLA 20CM SIN	REFRIGERADOR	1	100	0.5	0	
				RECÁMARA	M1=15.65	CONCRETO DE	ACABADO	TELEVISIÓN 32"	1	48	5	8	
				M2=21.26	ACABADO	ISCM EN	COMPUTADORA	1	1000	0.25	0		
BAÑO	7.66	RÚSTICO EN	APLANADO	PORTÁTIL	1	60	2	3					
				Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	4.73	2.66	2.802	CLARO 1.2MM	CELULARES	2	5	6	6
CASA 2	2 SUROESTE	42.5	2.75	COMEDOR/COCINA	M1=15.82	BLOCK HUECO	VIDRIETA	TINTEX 60MM	VENTILADOR DE FISO	1	70	1	2.5
				RECÁMARA PRINCIPAL	M2=17.14	ISCM 1 ISCM	BOVEDILLA 20CM SIN	REFRIGERADOR	1	250	16	16	
				RECÁMARA	M1=15.82/M2=18.64	CONCRETO DE	ACABADO	TELEVISIÓN 32"	1	55	4	8	
				BAÑO	12.83	RÚSTICO EN	APLANADO	COMPUTADORA	1	1000	0.25	0	
				Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	4.73	2.66	2.802	CLARO 1.2MM	CELULARES	2	5	7	7
				PROPIEDADES DE ACRISTALAMIENTO				VIDRIO CLARO 3MM	U (W/m <sup>2</sup> K)	3.300			
								TINTEX 60MM	U (W/m <sup>2</sup> K)	6.812			
								ULTRASOL 6MM	U (W/m <sup>2</sup> K)	5.808			

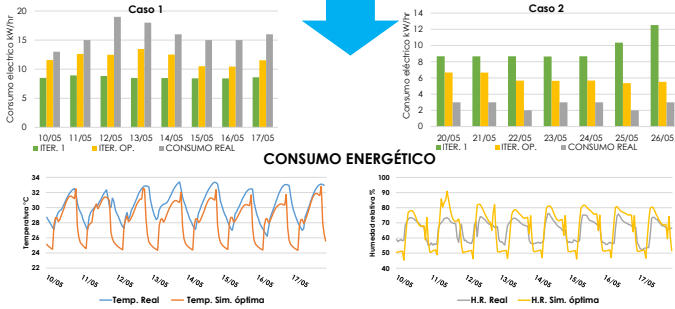
ÍNDICES DE EVALUACIÓN ASHRAE 14-2002 A NIVEL HORARIO<sup>2</sup>:  
 NMBE ≤ 10%, CV(RMSE) ≤ 30% Y R<sup>2</sup> ≥ 0.75

$$NMBE\% = \frac{1}{m_{avg}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - S_i)}{n} \times 100$$

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

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

### RESULTADOS DE ITERACIONES MANUALES: MODELOS VALIDADOS Y DATOS REALES



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

CASA	ZONA	ITER.	R <sup>2</sup>	TEMPERATURA			HUMEDAD RELATIVA			
				Media	NMBE%	CV(RMSE)%	Media	NMBE%	CV(RMSE)%	
CASA 1	Recámara	ITER. 1	0.25	26.11	16.03	18.17	0.41	60.85	7.26	13.25
		ITER. OPT.	0.37	28.29	7.10	16.72	0.68	66.52	-1.88	11.27
		ITER. 1	0.67	28.41	12.57	12.97	0.36	74.86	-6.79	10.70
		ITER. OPT.	0.68	31.76	0.68	2.62	0.64	65.85	5.96	7.44
CASA 2	Recámara pral.	ITER. 1	0.09	29.35	-5.01	13.77	0.60	63.86	-29.58	38.51
		ITER. OPT.	0.38	28.09	-0.74	11.01	0.50	69.20	-35.01	40.49
		ITER. 1	0.54	31.14	5.73	6.95	0.40	64.27	-9.55	14.72
		ITER. OPT.	0.62	32.94	0.02	3.42	0.43	70.58	-8.94	13.24
CASA 2	Comedor/cocina	ITER. 1	0.47	30.27	7.92	8.70	0.43	73.14	-4.86	9.79
		ITER. OPT.	0.51	30.80	6.07	6.87	0.44	68.97	0.88	6.39
		ITER. 1	0.51	30.80	6.07	6.87	0.44	68.97	0.88	6.39
		ITER. OPT.	0.51	30.80	6.07	6.87	0.44	68.97	0.88	6.39

PARÁMETROS TÉRMICOS MULTIZONA

### CREACIÓN DE MODELOS TEÓRICOS



Herramientas de interfaz gráfica y cálculo desarrolladas por el Departamento de Energía de E.U.A. y con validez para la certificación de edificios verdes LEED<sup>3</sup>.

### REGISTRO DE PARÁMETROS AMBIENTALES Y DE ENERGÍA



## CONCLUSIONES

Mediante la reducción de incertidumbre en los parámetros de ocupación y clima, la validación manual de datos horarios se realizó mediante iteraciones ajustando los niveles de infiltración, así como la consigna de temperatura de aire acondicionado para cada zona de ambos casos estudiados. Utilizando tres diferentes valores de infiltración, se observó que se produce una afectación máxima del 7% en la temperatura interior frente al 21% de influencia en la humedad relativa. Por otro lado, el ajuste más significativo en los resultados fue mediante los índices NMBE y CV(RMSE), mientras que la correlación (R<sup>2</sup>) arrojó en todos los casos una dependencia de tipo medio, rango inferior al establecido por los lineamientos de la ASHRAE 14-2002.

## REFERENCIAS

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