

Calibración de un equipo medidor de humedad comercial para ser aplicado como instrumento de prevención y control dentro del proceso de producción de Bloques de Tierra Comprimida.

Calibration of commercial moisture measuring equipment to be applied as a prevention and control instrument within the production process of Compressed Earth Blocks.

Presentación: 4/9/2023

Gonzalo Darras. gonzalo.darras@gmail.com

Renato Pilatti. renatoadolfofilatti@gmail.com

Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra -TIERRA FIRME. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe. Argentina.

Resumen

El objetivo del presente trabajo es evaluar la factibilidad de calibrar un dispositivo comercial de medición de humedad Smart Sensor AR991 para el uso dentro del proceso de producción de Bloques de Tierra Comprimida (BTC). La propuesta surge de la necesidad de poder controlar los niveles de humedad en la etapa de mezclado siendo este un factor crítico en la prevención de diversas fallas ocasionadas tanto por faltante como también exceso de agua en dicha actividad previa al prensado de los bloques. La metodología planteada consistió en realizar, calcular y analizar diferentes tipos mediciones de humedad en una mezcla de suelos que permita luego poder definir si el uso del equipo es apto para tal fin. Se pudo demostrar que el dispositivo puede emplearse como instrumento de prevención y control dentro del proceso de fabricación teniendo en cuentas algunas particularidades.

Palabras clave: BTC – Proceso – Prevención – Control – Humedad.

Abstract

The objective of this work is to evaluate the feasibility of calibrating a commercial device for measuring humidity Smart Sensor AR991 for use within the production process of Compressed Earth Blocks (CEB). The proposal arises from the need to be able to control the humidity levels in the mixing stage, this being a critical factor in the prevention of various failures caused by both lack and excess of water in said activity prior to pressing the blocks. The proposed methodology consisted of making, calculating and analyzing different types of moisture measurements in a mixture of soils that later allows to define if the use of the equipment is suitable for this purpose. It was possible to demonstrate that the device can be used as a prevention and control instrument within the manufacturing process, taking into account some particularities.

Keywords: CEB – Process – Prevention – Control – Humidity.

Introducción

En las últimas décadas, el uso de la tierra como material de construcción ha experimentado un renovado interés e impulso debido a sus propiedades higrotérmicas y ambientales, entre ellas la baja utilización de energía requerida durante su proceso de transformación y la posibilidad de adquirir la materia prima en la región próxima a la obra (Hegyi et al., 2016; Yepes González & Bedoya-Montoya, 2023). Existen diversas técnicas constructivas que emplean la tierra como material preponderante, siendo de particular interés las técnicas de mampostería, dentro de las cuales se encuentra el Bloque de Tierra Comprimida o BTC.

El BTC es un mampuesto fabricado mediante la compresión de una mezcla de tierra, generalmente estabilizada con cal o cemento, que se encuentra contenido en el interior de una prensa específicamente diseñada para tal fin, cuyo accionamiento puede ser manual o automatizado, dependiendo del nivel de producción requerido. La forma de estos bloques es variable y depende de la matriz empleada durante su fabricación, pudiendo ser macizos, huecos o encastrables (Cabrera et al., 2020). Sin embargo, a pesar de ser una tecnología conocida y de amplia difusión no logra aún consolidar emprendimientos productivos sostenibles y una inserción de escala para competir con el ladrillo tradicional.

El proceso de producción de BTC consta de numerosas etapas que van desde la recepción de materia prima inicial hasta el curado final y su almacenamiento previo al despacho. Dentro de la etapa de mezclado vale destacar la importancia del contenido de humedad que se añade a la mezcla de suelo con aglomerantes previo al prensado. Este factor resulta fundamental para poder garantizar el óptimo prensado del bloque y prevenir fallas debido a esta causa como por ejemplo fisuras, faltante de material que se adhiere al molde por exceso de humedad, fallas dimensionales, entre otras.

La idea del presente trabajo surge por la necesidad de adaptar y calibrar un equipo de medición comercial que sea capaz de medir los niveles porcentuales de humedad in situ dentro del proceso productivo de BTC. Para ello, existen diferentes dispositivos y métodos para la medición de humedad utilizados en suelos y diferentes tipos de granos.

Los pasos por seguir para determinar el contenido de humedad en los granos incluyen mediciones directas e indirectas. Entre las metodologías de medición directa, la más sencilla es la que estima la humedad en el grano por diferencia del peso fresco y seco del grano (Satorre et al., 2010). Los métodos de medición indirecta son aquellos que estiman la humedad a través de la medición de parámetros distintos al peso, por ejemplo, los métodos de capacitancia o transmitancia y los de resistencia (propiedades dieléctricas de los granos y semillas). Los métodos indirectos se basan en la medición de alguna propiedad del grano o semilla que es afectada por el contenido de humedad, a partir de la cual se predice el porcentaje de humedad de la muestra. Estos métodos han adquirido gran difusión gracias a su practicidad y a la velocidad en la que se obtiene el resultado (unos pocos segundos), lo que los hace especialmente indicados para las determinaciones de rutina en la mayoría de las actividades productivas y comerciales. Sin embargo, las determinaciones de humedad con métodos directos, tales como estufa, son más precisas y confiables que aquellas hechas con métodos indirectos (Bartosik et al. 2009).

En función de lo mencionado anteriormente, el objetivo general de este trabajo es calibrar y adecuar el uso de un dispositivo de medición indirecta específicamente diseñado para la actividad agropecuaria, para la lectura instantánea de los niveles de humedad porcentuales de mezclas de tierra aplicable principalmente a proceso de producción continua de BTC, donde se realizan numerosas y repetitivas actividades de mezclado dentro de la jornada laboral.

Metodología

Se definió utilizar un humidímetro marca Smart Sensor AR991 que cuenta con 14 modos para diferentes tipos de granos y posee lectura instantánea con pantalla digital LCD. Su elección se basó en los costos de las diferentes opciones y la versatilidad de los equipos, siendo una de sus principales ventajas poseer 14 modos de medición, lo cual aumenta las posibilidades de encontrar alguno que pueda ajustarse al uso deseado. Estudios previos han demostrado que el modo 3 y 7 son los que menor variabilidad presentan, y es por ello que fueron los elegidos para este trabajo de investigación.

La metodología propuesta para el ajuste y calibrado del equipo consistió en definir diferentes niveles de humedad y realizar mediciones directas e indirectas en cada uno de ellos. Para ello, se utilizó el método de secado por estufa (directo) para calcular los porcentajes de humedad de las mezclas de suelo, definidos por diferencia de peso entre el suelo húmedo y el suelo seco en cada nivel. Luego estos datos fueron comparados con los valores que indicó el dispositivo de medición de humedad (indirecto).

El material utilizado fue una mezcla de suelo compuesta por 70% de tierra proveniente de la localidad de Monte Vera, previamente molida y tamizada, y 30 (%) arena del Río Paraná de venta comercial. La tabla 1 muestra los siete niveles de humedad propuestos, comenzando por la mezcla con humedad ambiente para luego agregar agua mediante pulverizado hasta alcanzar los distintos puntos que, a partir de la experiencia de los investigadores, son óptimos para la elaboración de BTC.

| Niveles de humedad – Valores cualitativos | |
|---|--|
| 1 | Humedad de la mezcla en condiciones naturales. |
| 2 | Humedad mínima. |
| 3 | Humedad mínima para confeccionar BTC. |
| 4 | Humedad óptima para fabricar BTC. |
| 5 | Humedad máxima para fabricar BTC. |
| 6 | Mezclas excesivamente húmedas para fabricar BTC. |
| 7 | Barro (Mezcla apta para fabricar adobes). |

Tabla 1 – Niveles de humedad cualitativos de la mezcla de suelos.

Una vez definido todos los niveles, se procedió a definir cuantitativamente los valores de humedad a partir de ambos métodos. Para ello, se tomaron muestras que permitieron calcular a través del método directo el porcentaje de humedad de cada punto, y a su vez, se realizaron y registraron cinco mediciones de cada punto con el equipo en estudio con los diferentes modos. En simultáneo con las mediciones efectuadas, recolectándose recolectaron en pesafiltros dos muestras por cada nivel para posteriormente determinar la humedad por el método de secado en estufa a 105 (°C). Luego de 24 (h) se realiza la medición de la masa seca con una balanza electrónica de apreciación de 0,01 (g). Se repitió la medición hasta obtener masa constante y allí se determina la finalización del experimento.

Resultados y discusión

El experimento descrito en el apartado anterior se repitió dos veces con el objetivo de tener mayor representatividad al permitir procesar más cantidad de datos. Se obtuvieron entonces 10 mediciones de humedad de cada uno de los 7 niveles y para los 2 modos diferentes, resultando un total de 140 mediciones con el dispositivo digital. Por otra parte, se obtuvieron 4 muestras para cada nivel de humedad que fueron llevadas a estufa para el cálculo con del método directo del porcentaje de humedad.

La tabla 2 indica los valores porcentuales de humedad real promedio obtenidos para cada uno de los niveles cualitativos. La tabla 3 muestra los valores promedios medidos por el humidímetro en cada uno de los modos.

| n | Denominación | Humedad real promedio (%) |
|---|---|---------------------------|
| 1 | Humedad de la mezcla en condiciones naturales. | 1,57 |
| 2 | Humedad mínima. | 5,06 |
| 3 | Humedad mínima para confeccionar BTC. | 6,41 |
| 4 | Humedad óptima para fabricar BTC. | 8,74 |
| 5 | Humedad máxima para fabricar BTC. | 11,50 |
| 6 | Mezclas excesivamente húmedas para fabricar BTC | 15,47 |
| 7 | Barro (Mezcla apta para fabricar adobes). | 21,19 |

Tabla 2 – Referencia entre etapas cualitativas y humedad real.

| n | Denominación | Humedad promedio modo 3 (%) | Humedad promedio modo 7 (%) |
|---|---|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Humedad de la mezcla en condiciones naturales | 17,3 | 13,53 |
| 2 | Humedad mínima. | 36,22 | 29,43 |
| 3 | Humedad mínima para confeccionar BTC. | 39,18 | 32,08 |
| 4 | Humedad óptima para fabricar BTC. | 41,23 | 34,38 |
| 5 | Humedad máxima para fabricar BTC. | 43,50 | 38,24 |
| 6 | Mezclas excesivamente húmedas para fabricar BTC | 46,49 | 42,47 |
| 7 | Barro (Mezcla apta para fabricar adobes). | 46,68 | 43,15 |

Tabla 3 – Referencia entre etapas cualitativas y humedad promedio del modo 3 y 7.

El próximo paso fue realizar una comparación entre los valores calculados y medidos, para ello se realizaron diferentes correlaciones con el objetivo de demostrar si existe o no relación entre los mismos. La Figura 1 y Figura 2 muestran los resultados de correlación entre los valores reales de humedad calculados contra los medidos con el equipo en los modos 3 y 7, respectivamente.

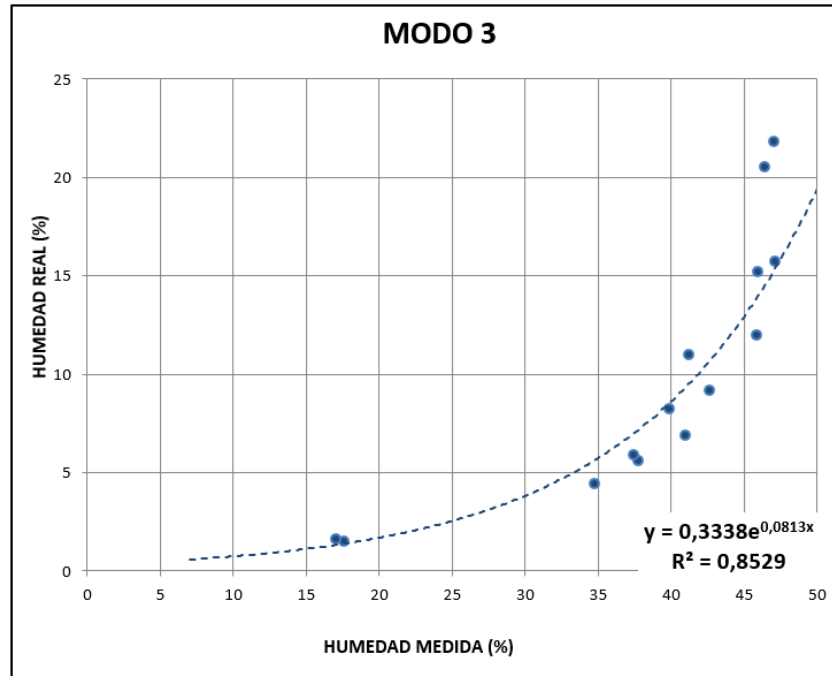


Figura 1 – Gráfica de correlación entre humedad de mezcla medida en Modo 3 (%) y humedad real (%).

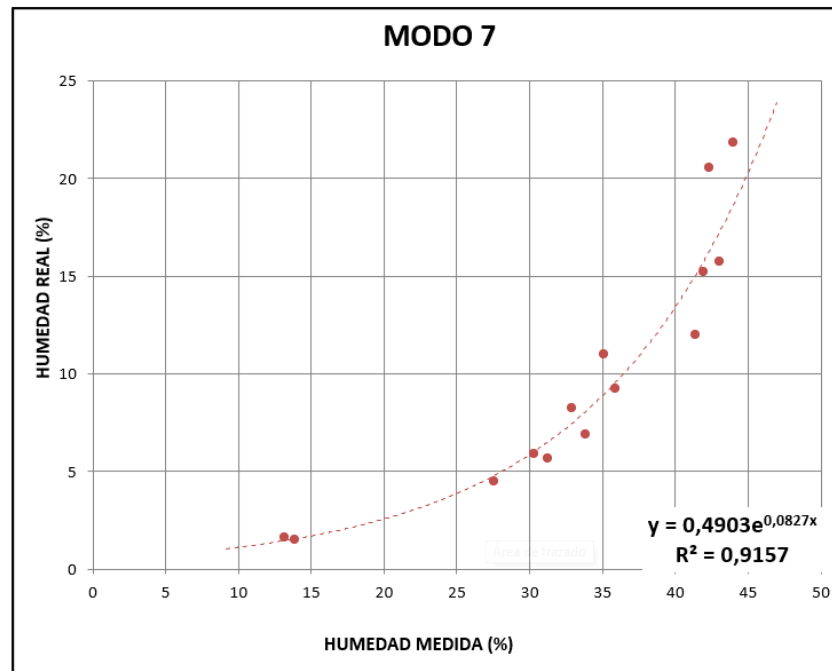


Figura 2 – Gráfica de correlación entre humedad de mezcla medida en Modo 7 (%) y humedad real (%).

Teniendo en cuenta que el coeficiente de determinación (R^2) del modo 7 es mayor al del modo 3, se pudo demostrar empíricamente que el mismo se ajusta mejor y se define entonces como el modo a utilizar. Luego, considerando el alcance y objetivo del trabajo, dado que el dispositivo se utilizará en la producción de BTC, se analizó solo el rango de humedad de 7-15 (%) excluyendo los valores fuera de dicho intervalo. La figura 3 muestra la nueva gráfica y función de correlación de datos para este rango.

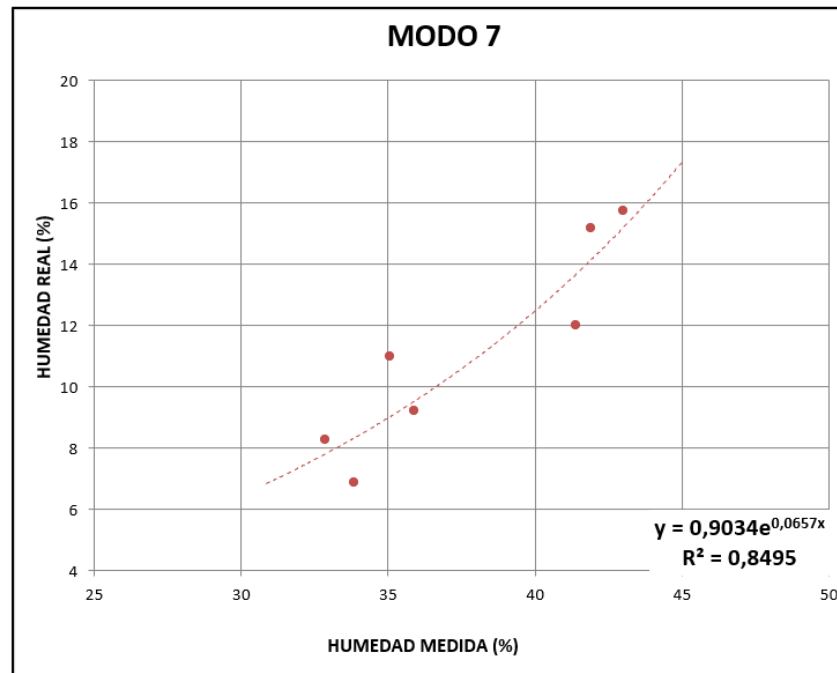


Figura 3 – Gráfica de correlación entre humedad de mezcla medida en modo 7 (%) y humedad real en el rango de 7 a 15 (%).

Se observa que, al aislar los rangos que corresponden a los valores de humedad que se busca medir con el instrumento en su futuro uso, el coeficiente de ajuste disminuye y se aleja del valor unitario; esto indicaría una pérdida de precisión del dispositivo en dicho intervalo de niveles de humedad. No obstante, dicha pérdida no es determinante ya que el valor de R^2 continúa demostrando una adecuada correlación entre variables.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y del análisis discutido anteriormente, se pudo demostrar que el uso del dispositivo Smart Sensor AR99 es factible en el proceso de producción de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) como instrumento de prevención y control en la etapa de mezclado. Sin embargo, para utilizarlo se detectaron una serie de particularidades a tener en cuenta:

1. Debe emplearse el Modo 7, debido a que es el de menor variabilidad y mayor precisión.
2. Los valores arrojados por el dispositivo en la pantalla digital no son los valores reales, sino que deben ajustarse en base la función de correlación. Para ello, se debe elaborar una tabla de valores que permita observar de manera sencilla y rápida cual es el porcentaje de humedad que tiene la mezcla de acuerdo con el valor medido.
3. La calibración de este equipo y su uso solo es aplicable para este tipo de mezcla de suelo. En caso de cambiar la dosificación, es estrictamente necesario realizar un reajuste de la función de correlación.

Referencias bibliográficas

- Bartosik R., Cardoso L., Piñeiro E.D. (2009) "Comparación de determinación de humedad de semillas de especies forrajeras por método de estufa y a través de instrumento de medición electrónico por capacitancia". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Balcarce.
- Cabrera, S., Aranda-Jiménez, Y., Suárez-Domínguez E., Rotondaro, R. (2020). "Bloques de tierra comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión", *Revista Hábitat sustentable*, 10(2), 70-81. Disponible en <https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05>

Área: Materiales.
Categoría: Doctorando.
Regional: Facultad Regional Santa Fe.



Hegyí, A., Dico, C. y Catalan, G. (2016). "Construction sustainability with adobe bricks type elements." *Urbanism. Arhitectura. Constructii*, 7(2), 147-156. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/4296/f73ce17aad2539bda49d366ef7e2d08c93ed.pdf>

Satorre, E., Benech L., Slafer, E., Miralles, D., Otegui M. y Savin, R. (2010) *Madurez y cosecha de los granos. Producción de grano*. Buenos Aires: Editorial facultad agronomía universidad de Buenos Aires Capítulo 25. pp. 717-735. 2.

Yepes González, A. M., y Bedoya-Montoya, C. M. (2023). "La construcción sostenible en el ámbito de la educación superior en Medellín, Colombia. El caso de la construcción con tierra." *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 25 (2). Disponible en <https://doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.4603>