

Tecno Lógicas

ISSN: 0123-7799

tecnologicas@itm.edu.co

Instituto Tecnológico Metropolitano

Colombia

Arango-Londoño, Juan Fernando; Sandoval, Juan de Jesús  
Absorción de la Cara Vista en Baldosas de Grano de Mármol. Comparación de Métodos y  
Tiempos Ensayo para la Propuesta de Modificación de la Norma NTC 2849

Tecno Lógicas, núm. 19, diciembre, 2007, pp. 121-139

Instituto Tecnológico Metropolitano

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234312006>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

# **ABSORCIÓN DE LA CARA VISTA EN BALDOSAS DE GRANO DE MÁRMOL. COMPARACIÓN DE MÉTODOS Y TIEMPOS ENSAYO PARA LA PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LA NORMA NTC 2849**

JUAN FERNANDO ARANGO LONDOÑO<sup>1</sup>

JUAN DE JESÚS SANDOVAL<sup>2</sup>

## **Resumen**

Este artículo presenta los resultados del proyecto de investigación “Nuevo método para determinar la absorción de baldosas mono y duocapa”. Se presentan los resultados de ensayos de absorción realizados con base en la Norma Técnica Colombiana NTC 2849-1997 y las variaciones de tiempo y procedimiento posibles para la misma, al igual que el análisis estadístico multivariado de los resultados obtenidos. Para el análisis, se utilizaron 37 muestras provenientes de cuatro productores diferentes ubicados en la ciudad de Medellín (Colombia), ensayando baldosas conformadas en duocapa y monocapa.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Civil y Especialista en Estructuras de la Universidad Nacional de Colombia. DEA en Gestión de la Ciencia y la Tecnología por la UPV/EHU. Estudiante de Doctorado en la Universidad del País Vasco (España) UPV/EHU. Líder del grupo de investigación en Materiales –MYTEC– del Instituto Tecnológico Metropolitano –ITM–. E-mail: juanarango@itm.edu.co; londo@une.net.co

<sup>2</sup> Matemático de la Universidad de Antioquia, Especialista en Estadística de la Universidad Nacional de Colombia. Máster en Epidemiología de la Universidad de Antioquia. Docente del Instituto Tecnológico Metropolitano –ITM–. Catedrático de la Universidad de Antioquia. E-mail: juansandoval@itm.edu.co; jsandoval@guajiros.udea.edu.co

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2007  
Fecha de aceptación: 21 de diciembre de 2007

Se encontró que la variación del tiempo de ensayo por encima del especificado en la norma NTC 2849 vigente, produce diferencias de resultados de absorción estadísticamente significativos, sin embargo, la variación en la magnitud del valor de absorción para tiempos de inmersión mayores, no justifica, en términos prácticos, un cambio del valor máximo de absorción especificado en la norma vigente. La estabilización de los resultados de absorción por encima de 24h de inmersión total incluida 1h de cocción inicial, y la respuesta encontrada para ambas conformaciones del material respecto al tiempo en el ensayo, permiten se considere aplicar un mismo procedimiento y tiempo de ensayo para determinar la absorción de la cara vista de la baldosa de grano de mármol –terrazzo.

#### Palabras clave

Terrazzo, Baldosa de cemento, Baldosa de grano de mármol, Absorción, Ensayo.

#### Abstract

This paper shows the results obtained in the research project "New test method to determine single layer and dual layer terrazzo tile absorption". Different test methods results are shown including the Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICON-TEC) NTC 2849-1997 and variations in test time and procedure. Multivariate statistical models were used for data analysis. 37 samples including single and dual layer terrazzo tiles were tested. Terrazzo samples were obtained from four different manufacturing companies located in Medellín (Colombia).

It was found that test time variation above the one specified in NTC 2849 standard procedure leads to significance differences in absorption values in statistical terms. Perhaps, there are no significant variations in magnitude to consider further modifications in product standards if test time is modified. Stabilization of absorption values above 24h of immersion –including 1h initial boiling– and the response found in both material conformations lead to consider apply the same procedure and test time to determine terrazzo upper layer water absorption.

#### Key words

Terrazzo tile, Absorption, Test method.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Norma Técnica Colombiana NTC 2849 (ICONTEC, 1997) establece el método de ensayo de baldosas de grano (terrazo). Entre los diferentes ensayos especificados en la norma se encuentra el ensayo de absorción de cara vista para las baldosas duocapa<sup>3</sup>. Este ensayo determina la cantidad de agua que la cara vista de una baldosa puede incluir en su interior y su resultado se asocia en el ambiente tropical al desempeño del material en condiciones de servicio, a saber, con la posibilidad de ensuciamiento superficial, el desempeño en diferentes ambientes de exposición (uso interior o exterior) y la pérdida de brillo por exposición a la humedad.

La norma NTC 2849 establece un procedimiento de ensayo que implica la saturación de la muestra, en un proceso de laboratorio que toma un tiempo total de  $12h \pm 1/4h$ , en el cual la baldosa se somete a una cocción inicial por el transcurso de una hora, se conserva en el agua, hasta su enfriamiento, por 11h adicionales<sup>4</sup> (ICONTEC, 1997, pág. 10).

El tiempo de ensayo, así especificado, implica que se requiere personal de laboratorio en diferentes jornadas de trabajo<sup>5</sup>. Existe evidencia de que en algunos laboratorios se extiende el tiempo de ensayo hasta que un operario pueda terminar el proceso<sup>6</sup>. Al momento, no se dispone de un estudio que muestre el grado de afectación del resultado de absorción por este tipo de prácticas.

<sup>3</sup> Las baldosas duocapa se definen como un prefabricado compuesto por dos capas. La capa de desgaste o cara vista, de terrazo, y la capa de base, conformada por un mortero de arena y cemento Portland. Para su fabricación los materiales se someten a procesos de prensado y pulido.

<sup>4</sup> A nuestro juicio, desde el punto de vista de seguridad industrial en el laboratorio, es interesante examinar la posibilidad de eliminar el proceso de cocción del material y tratar de determinar las equivalencias de métodos que permitan obtener el valor de absorción con agua a temperatura ambiente.

<sup>5</sup> Basado en una jornada de trabajo de 8 a 9 horas diarias.

<sup>6</sup> Basado en entrevistas realizadas en 2002 a diferentes laboratoristas en la ciudad de Medellín, tanto de control de calidad de empresas productoras como de laboratorios particulares.

Por otra parte, en los últimos años se introdujo en el mercado colombiano un producto que está conformado por una sola capa de material de terrazo, denominado baldosa monocapa<sup>7</sup>, para el cual la norma NTC 2849 es aplicable parcialmente. Para el interés de este trabajo, no se ha verificado experimentalmente la validez de las equivalencias de tiempo de saturación prescrito en la norma, en relación con el espesor del material de la cara vista de la baldosa monocapa (la totalidad del espesor de la baldosa) y el valor máximo de absorción<sup>8</sup>.

En razón de la poca bibliografía y lo específico sobre el tema, este proyecto de investigación pretende encontrar un método alternativo para determinar la absorción de la cara vista en baldosas monocapa y verificar su aplicabilidad, para determinar la absorción de las baldosas monocapa, con el fin de proponer la modificación del procedimiento de ensayo establecido en la norma NTC 2849 (ICONTEC, 1997). Se pretende, además, verificar el impacto de la variación del tiempo de ensayo en los resultados reportados y las equivalencias entre éstos. Lo anterior permitirá mejorar las prácticas y los tiempos de laboratorio y aumentar la confiabilidad de los resultados ante el consumidor del producto, el constructor y el productor.

<sup>7</sup> Se define la baldosa monocapa como un prefabricado compuesto por una sola capa de terrazo que conforma por uno de sus lados, la cara vista y, por su opuesto, la cara de base. Para su fabricación los materiales se someten a procesos de prensado.

<sup>8</sup> En la baldosa monocapa, el espesor de material equivalente de cara vista cuando menos triplica el espesor que de este material tendría una baldosa duocapa. La baldosa monocapa se ofrece en espesores desde 18 mm y para instalaciones especiales se pueden encontrar espesores de hasta 25 a 30 mm. El espesor típico de cara vista de una baldosa duocapa es de 6 mm mínimo, con un promedio (mínimo) de 9 mm. En cuanto a la aplicabilidad de la NTC 2849, los productores de baldosa monocapa ofrecen este material con los requisitos que le son aplicables de dicha norma, entre ellos, el ensayo de absorción. Esto es fácilmente verificable en la publicidad del producto. Por su parte, el procedimiento para determinar el módulo de rotura cara-revés pierde sentido al ser la baldosa monocapa un material homogéneo en su espesor. Las texturas que se le incluyen a la cara de revés, que buscan mejorar la adherencia, poco influyen en el valor del módulo de rotura de la cara-revés en relación con el módulo de rotura de la cara vista, lo cual se verifica fácilmente calculando el momento de inercia de la sección real y el momento de inercia de la sección sin dichas texturas.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Muestras

Para la realización de la investigación se solicitaron muestras compuestas por 15 especímenes, cada una proveniente de baldosas de diferentes tipos y tamaños de grano. Cuatro empresas de la ciudad de Medellín (Colombia) aportaron un total de 37 muestras compuestas por 15 de monocapa y 22 de duocapa.

Para la determinación de la absorción se utilizó la expresión en la ecuación 1<sup>9</sup>

$$Ab(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_s} * 100 \quad (1)$$

<sup>9</sup> La absorción se entiende así como el aumento de masa de la cara vista de la baldosa de terrazo por el ingreso de agua en los poros permeables, sin incluir el agua adherida a la superficie exterior. La absorción se expresa como un porcentaje de incremento de masa respecto a una condición "seca".

Es importante anotar que la evolución de la norma de referencia para la NTC 2849-1997, hoy las normas UNE-EN 13748-1 (AENOR, 2005) y UNE-EN 13748-2 (AENOR, 2005(b)) para baldosas de uso interior y uso exterior respectivamente, introdujeron el concepto de absorción de agua por unidad de superficie (capacidad de absorción) y el valor de absorción total. Para el interés de este trabajo, el valor de absorción total máximo fue fijado en la norma de baldosa de uso interior en el 8% (AENOR, 2005, pág. 11), en un ensayo que compromete el secado a masa constante por mínimo tres días, y con un proceso de saturación de mínimo 3 días, y hasta que la unidad alcance una masa constante de saturación tras verificaciones cada 24h. Por su parte, para las baldosas de uso exterior, la norma controla la resistencia climática con base en la absorción total y la pérdida de masa en el ensayo de hielo-deshielo (AENOR, 2005(b), pág. 13) y sólo especifica un valor máximo de absorción del 6% para la baldosa clase C en la que no se requiere el control de la pérdida de masa por hielo-deshielo. La absorción para las baldosas de uso exterior es determinada con el mismo procedimiento que para uso interior (AENOR, 2005(b), pág. 33). Sin embargo, es claro que la absorción y la resistencia al hielo-deshielo están relacionadas de forma inversamente proporcional para la mayoría de materiales de hormigón. Finalmente, las dos partes de la norma UNE-EN 13 748 son de aplicación generalizada para las baldosas monocapa y duocapa (AENOR, 2005, pág. 7) (AENOR, 2005(b), pág. 7).

Donde:

$M_h$ : Masa saturada superficialmente seca

$M_s$ : Masa seca

Para homogeneizar la varianza de la absorción (Ecuación 1), se trabajó con los promedios de las 5 réplicas, con lo cual se tuvieron las siguientes muestras para cada nivel:

**TABLA 1. TAMAÑOS DE MUESTRA PARA EL MODELO**

|                           |   | Etiqueta del valor | N  |
|---------------------------|---|--------------------|----|
| Conformación del material | 1 | Mono               | 15 |
|                           | 2 | Dúo                | 21 |
| Muestra de la empresa     | 1 | 1                  | 7  |
|                           | 2 | 2                  | 9  |
|                           | 3 | 3                  | 17 |
|                           | 4 | 4                  | 3  |

La diferencia de número de muestras da origen a un diseño de experimento desbalanceado. Las muestras se procesaron de forma simultánea, lo cual dificultó la aleatorización del diseño.

## 2.2 Metodología estadística

Para el análisis, se tuvo en cuenta la variable de respuesta cuantitativa *nivel de absorción del material*, el cual varía aproximadamente entre 4% y 9%. De cada muestra se tomaron especímenes para realizar un ensayo de absorción según la norma NTC 2849 (denominada en este trabajo 1h + 11h). A estos mismos especímenes se les prolongó el proceso de ensayo de absorción, sumergiéndolos en agua por 12 h adicionales (1h + 23h) y, seguidamente, por otras 24h (1h + 47h). Otra parte de la muestra se utilizó para realizar un ensayo de absorción por 24h en agua a 23 °C ± 3°C, sin la realización del proceso de ebullición por 1h (denominada para este trabajo 24h), y después por 24h adicionales (48h), para un total de 48 horas de

saturación. Se conservó una parte de la muestra de cada empresa como testigo.

Para los análisis, se utilizaron los promedios y desviaciones estándar en cada grupo para realizar comparaciones entre los distintos niveles. Para los análisis avanzados se utilizó análisis multivariado de varianza (Crowder & Hand, 1999, pág. 60) (Hand & Taylor, 1987, pág. 72); el primero, mediante diseño factorial con efectos principales y el segundo, mediante diseño factorial con interacción doble para las tres primeras respuestas y, luego, para las otras dos. Dentro del análisis multivariado de varianza se recurrió a la técnica del análisis de medidas repetidas (Hand & Taylor, 1987, pág. 1), después de verificar que la correlación entre las respuestas en cada tiempo de ensayo fue altamente significativa, por encima del 0,90, según Pearson (Montgomery & Peck, 1992, pág. 52).

Para el uso de la técnica del análisis multivariado de varianza de medidas repetidas, se valoraron los supuestos del modelo, entre ellos, el supuesto de que las matrices de covarianzas fueran iguales en todos los grupos analizados. Se utilizó la prueba de Box (Box, 1950), supuesto que no se cumplió para la totalidad de las mediciones de absorción con cocción ( $F$ -test = 1,835;  $p$ -valor = 0,008), sin embargo, sí se cumplió para las mediciones de absorción sin cocción ( $F$ -test = 0,888;  $p$ -valor = 0,559), con un nivel de significación del 5%. Esto permitió utilizar estadísticos multivariados que no chocaran con este supuesto, tales como la Traza de Pillai (Hair, Anderson, & otros, 1999), que es un estadístico robusto en caso de que no se cumpla dicho supuesto. También, mediante la prueba de contrastes de Levene, se observó la homogeneidad de las varianzas de los residuales del modelo propuesto. En ambos casos, dicho supuesto fue convalidado satisfactoriamente ( $F$ -test = 0,938,  $p$ -valor > 0,40). El supuesto de normalidad de los residuales dentro de los grupos fue validado según la prueba de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965), cumplidos satisfactoriamente ( $D$  = 0,928,  $p$ -valor > 0,11 en todos los casos).

### 2.3 Herramientas estadísticas

Para los análisis estadísticos, se utilizó el software SPSS® versión 15.0.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Generales

**TABLA 2.** RESUMEN DESCRIPTIVO NUMÉRICO DEL NIVEL DE ABSORCIÓN A DIFERENTES TIEMPOS, MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

|                      |        |      | Absorción (%) |                   |    |
|----------------------|--------|------|---------------|-------------------|----|
|                      |        |      | Media         | Desviación típica | n  |
| Material con cocción | 1h+11h | Mono | 5,962         | 0,761             | 15 |
|                      |        | Dúo  | 5,856         | 0,98              | 22 |
|                      | 1h+23h | Mono | 6,021         | 0,77              | 15 |
|                      |        | Dúo  | 5,921         | 0,987             | 22 |
|                      | 1h+47h | Mono | 6,026         | 0,783             | 15 |
|                      |        | Dúo  | 5,934         | 0,973             | 22 |
| Material sin cocción | 24h    | Mono | 5,911         | 0,853             | 15 |
|                      |        | Dúo  | 5,796         | 0,958             | 22 |
|                      | 48h    | Mono | 6,064         | 0,855             | 15 |
|                      |        | Dúo  | 5,822         | 0,945             | 22 |

La tabla 2 muestra la evolución de los distintos promedios por factores, que se analizarán a continuación. En cuanto al material que fue sometido a cocción, se encontró que el nivel de absorción de la baldosa monocapa, después de 12 horas (1h+11h), mostró un promedio de 5,96% con una deviación estándar de 0,761<sup>10</sup>; el mismo material, pasadas 48h (1h+47h), tuvo un promedio de

<sup>10</sup> En lo sucesivo y por facilidad, se presentará la desviación estándar entre paréntesis luego del promedio, por ejemplo 5.96% (0.7617). Para el error estándar de la media se utilizará la cifra entre semicolon, por ejemplo [0.35].

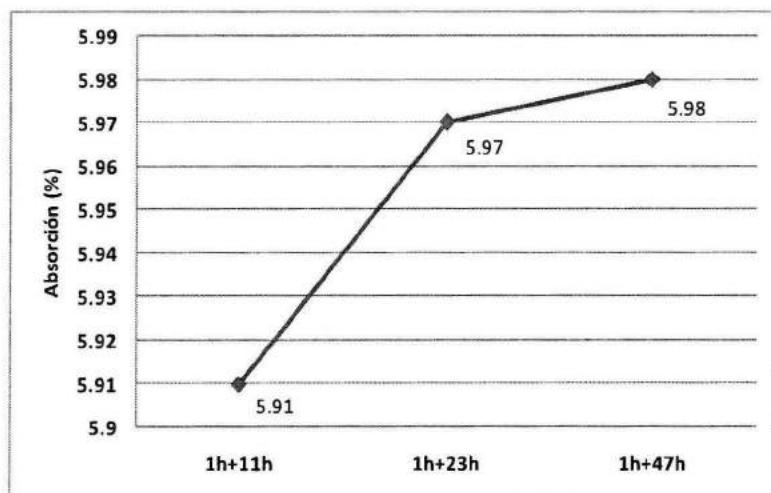
6,02% (0,783). Esto significó un incremento aproximado del 0,06% en el valor de absorción.

Análogamente, si se observa el material duocapa con promedio de 5,86% (0,98) y a las 48h (1h+47h) con 5,93% (0,973), esto significó un aumento de 0,07% en la absorción<sup>11</sup>.

### 3.2 Análisis multivariado

Inicialmente, se planteó la pregunta ¿es significativo el cambio en la velocidad del crecimiento de la absorción, conforme aumenta el tiempo a 12h, 24h y 48h con cocción? La Figura 1 muestra los promedios muestrales obtenidos para la absorción.

**FIGURA 1. MEDIAS DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN A DIFERENTES TIEMPOS PARA AMBAS CONFORMACIONES DE MATERIAL**



<sup>11</sup> Las diferencias encontradas para la absorción no pueden ser comparadas directamente, pues no se pueden confrontar sólo promedios sin observar su variabilidad y su tendencia de crecimiento, que es lo que se presentará en los análisis que siguen.

En la Figura 1 se observa que a medida que aumenta el tiempo de permanencia en saturación de la baldosa, aumenta el valor de absorción. La prueba de contraste multivariado según traza de Pillai ( $TP = 0,711$ ,  $F$ -test = 38,12,  $p$ -valor = 0,001), indica que hay cambio altamente significativo en la velocidad de crecimiento de la absorción a medida que aumenta el tiempo.

La prueba de contrastes por pares de medias se muestra en la Tabla 3.

**TABLA 3. COMPARACIONES POR PARES DE MEDIAS MUESTRALES SEGÚN LA PRUEBA LSD (MÍNIMA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA), UTILIZANDO EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A UN NIVEL DE SIGNIFICACIÓN DEL 5%**

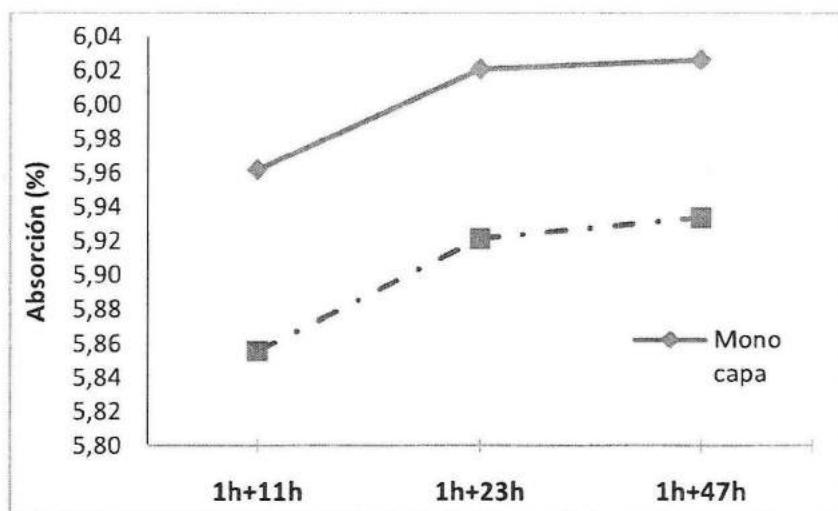
| (I) tiempo | (J) tiempo | Diferencia entre las medias (I-J)<br>Límite inferior | Error típico<br>Límite superior | p-valor<br>Límite inferior | Intervalo de confianza al 95% para la diferencia |                 |
|------------|------------|--|---------------------------------|----------------------------|--|-----------------|
|            |            |  |                                 |                            | Límite superior                                  | Límite inferior |
| 1+11h      | 1+23h      | -.086(*)   | ,010                            | ,000                       | -,106  | -,066           |
|            | 1+47h      | -,080(*)   | ,013                            | ,000                       | -,107  | -,053           |
| 1+23h      | 1+11h      | ,086(*)  | ,010                            | ,000                       | ,066   | ,106            |
|            | 1+47h      | 0,006  | ,009                            | ,494                       | -,012  | ,024            |
| 1+47h      | 1+11h      | ,080(*)  | ,013                            | ,000                       | ,053   | ,107            |
|            | 1+23h      | -0,006   | ,009                            | ,494                       | -,024  | ,012            |

(\*) Son estadísticamente diferentes al 5% de significación, según LSD.

La Tabla 3 muestra que la absorción media a 1h+23h y 1h+47h, difiere estadísticamente al 5% de la de 1h+11h. Sin embargo, no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de 1h+23h y 1h+47h. En otras palabras, los resultados anteriores indican que hay un cambio en la velocidad de crecimiento de la absorción del material entre 1h+11h a 1h+23h, al igual que entre 1h+11h a 1h+47h, respectivamente, pero que no hay cambio de velocidad entre 1h+23h y 1h+47h.

Seguidamente, se introdujo el factor “tipo de conformación del material” (mono y duocapa). Los resultados de las medias marginales estimadas por el modelo estadístico, se muestran en la Figura 2.

FIGURA 2. MEDIAS MUESTRALES ESTIMADAS A DIFERENTES TIEMPOS, AJUSTANDO POR TIPO DE CONFORMACIÓN DEL MATERIAL. P-VALOR = 0,315, TRAYECTORIAS SIMILARES SEGÚN TRAZA DE PILLAI. ANÁLISIS MULTIVARIADO DE VARIANZA DE MEDIDAS REPETIDAS

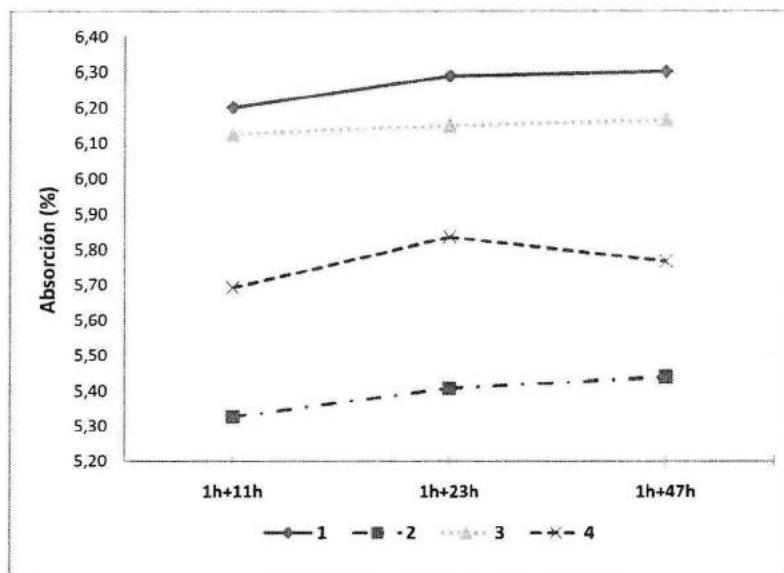


Respecto a los resultados del modelo de análisis de varianza, cuando se introduce la variable tipo de conformación del material, se produce un efecto que indica que las trayectorias de crecimiento de la absorción son las mismas en ambos tipos de conformación del material ( $TP = 0,072$ ,  $F$ -test = 1,2,  $p$ -valor = 0,315). En otras palabras, el crecimiento de la absorción en el tiempo no depende del tipo de conformación del material. Obsérvese, que la trayectoria de crecimiento de la absorción es muy similar en ambos materiales (ver Figura 2), aunque el promedio general de absorción por tipo de conformación del material difiera un poco respectivamente para mono y duocapa (ver Tabla 2).

La investigación también arrojó resultados en los cuales se evidencia que el crecimiento de la absorción es estadísticamente distinto por tipo de muestra de las empresas participantes ( $TP = 0,689$ ,  $F$ -test = 5,603,  $p$ -valor < 0,001), según el análisis de varianza con el estadístico traza de Pillai. Los análisis anteriores, también, arrojaron las mismas significaciones estadísticas según análisis

intravariables<sup>12</sup>, de acuerdo con los estadísticos de esfericidad asumida, Greenhouse-Geisser y Huynh-Feldt. Sin embargo, cuando se realiza el análisis entre promedios de los grupos, se encontró que no hay diferencias estadísticamente significativas al 5% entre los promedios por tipo de material ( $p$ -valor = 0,092,  $F$ -test = 3,016), pero sí los hay entre los promedios por muestras de empresas ( $p$ -valor = 0,044,  $F$ -test = 3,027) (Ver figura 3).

**FIGURA 3. MEDIAS MUESTRALES ESTIMADAS A DIFERENTES TIEMPOS, CON AJUSTE POR EMPRESA. P-VALOR <0,001, AL MENOS UNA TRAYECTORIA ES DISTINTA, SEGÚN TRAZA DE PILLAI, ANÁLISIS MULTIVARIADO DE VARIANZA DE MEDIDAS REPETIDAS**



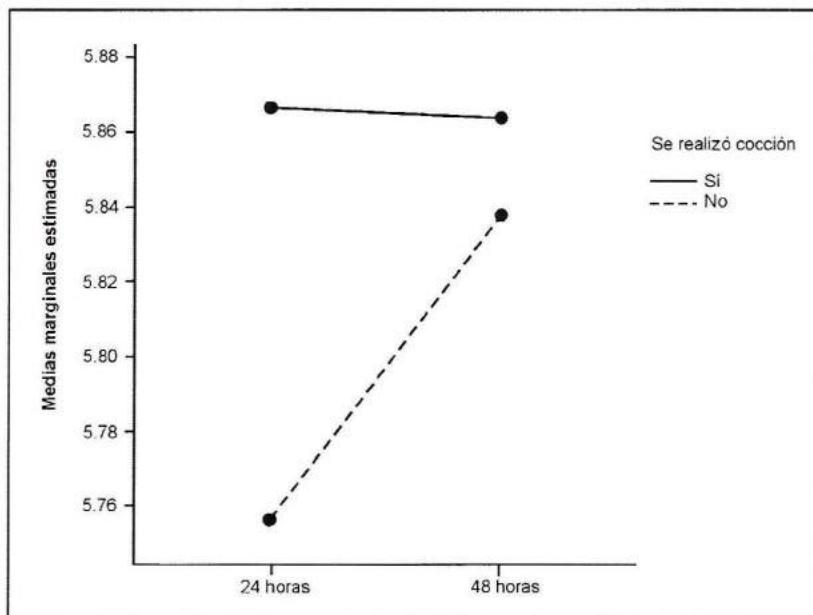
### 3.3 Comparación material cocido y no cocido

Para realizar la comparación entre el material cocido y no cocido se utilizaron las mediciones de la absorción a 24h y 48h, para lo

<sup>12</sup> Es decir, cuando se observaron los análisis dentro de cada uno de los tiempos de absorción.

cual se creó un factor que se denominó “cocción sí” y “cocción no”. Los resultados del contraste multivariado mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones de 24h y 48h ( $TP=0,210$ ,  $F$ -test = 17,532,  $p$ -valor <0,001). Seguidamente, se analizaron por el factor cocción y las diferencias se siguieron conservando (Figura 4).

**FIGURA 4. ESTIMACIÓN DE LAS MEDIAS MARGINALES OBTENIDAS POR EL MODELO DE ABSORCIÓN A DIFERENTES TIEMPOS, AJUSTANDO POR MATERIAL COCIDO O NO COCIDO. P-VALOR <0,001, SEGÚN TRAZA DE PILLAI. ANÁLISIS MULTIVARIADO DE VARIANZA DE MEDIDAS REPETIDAS**



Los resultados de la prueba de contrastes multivariados del modelo de análisis de varianza para la absorción, ajustando por material cocido o no cocido indica que hay diferencias estadísticamente significativas en la velocidad de crecimiento de 24h a 48h, según el análisis de medidas repetidas con el estadístico traza Hotelling, lo que significa que la velocidad de absorción no es

equivalente<sup>13</sup>. Adicionalmente, en las figuras 5a y 5b, se muestra el efecto de interacción cuando se adiciona el tipo de conformación de la baldosa (monocapa o duocapa).

Respecto a otros análisis, como el análisis intravariables, nuevamente los resultados de las significaciones son muy similares a los del contraste multivariado.

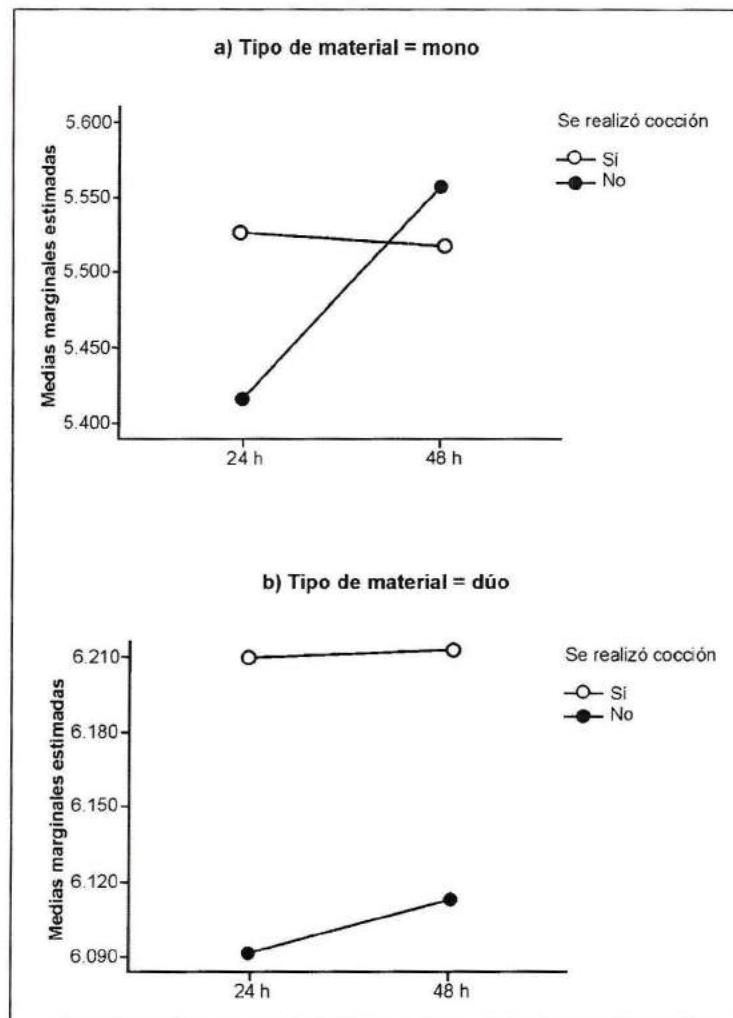
En la Figura 5, se observa que el crecimiento en la velocidad de absorción al pasar de 24h a 48h es diferente en los dos tipos de conformación del material. En la conformación en monocapa hay un aumento ostensible de la absorción cuando se pasó de 24h a 48h en material sin cocción. En cambio, en este mismo material, prácticamente no hubo cambio significativo en el ensayo con cocción. En cuanto al duocapa, en el ensayo con cocción y sin cocción, el comportamiento de cambio de 24h a 48h es muy similar. En el análisis estadístico de medidas repetidas, involucrando el efecto de interacción tipo de material, cocción (sí/no), se encuentra efecto altamente significativo según traza de Hotelling ( $TH = 0,445$ ,  $F$ -test = 29,343,  $p$ -valor <0,001), lo que indica específicamente que las dos conformaciones de materiales en mono y duocapa tienen diferentes reacciones a la absorción, cuando no se someten a cocción.

Posteriormente, en el análisis intervariables, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al 5% entre los promedios de las variables a 1h+23h y 1h+47h por cocción ( $p$ -valor = 0,734,  $F$ -test = 0,117), ni tampoco en el efecto de interacción tipo de material por cocción (sí/no) ( $p$ -valor = 0,873,  $F$ -test = 0,026). Lo anterior indica que, cuando se observan sólo los promedios como un estimador puntual de la absorción, no se encuentran diferencias entre las medias, pero sí en las trayectorias de crecimiento, las cuales muestran claras diferencias entre los grupos en el tiempo. Finalmente, en el análisis intersujetos, se evidenciaron diferencias

---

<sup>13</sup> El análisis estadístico de los datos muestra que, en el caso de baldosas sometidas a cocción, no hay diferencia de absorciones entre 1h+23h y 1h+47h. Esto indica que la tendencia levemente descendente de la gráfica en la figura 4, obedece a la variabilidad intrínseca de los datos.

**FIGURA 5.** GRÁFICO DE LAS MEDIAS MARGINALES<sup>14</sup> DEL EFECTO DEL MODELO DE ABSORCIÓN A DIFERENTES TIEMPOS, AJUSTANDO POR MATERIAL COCIDO O NO COCIDO Y TIPO DE MATERIAL. P-VALOR < 0,001, SEGÚN TRAZA DE PILLAI. ANÁLISIS MULTIVARIADO DE VARIANZA DE MEDIDAS REPETIDAS DEL EFECTO DE INTERACCIÓN



<sup>14</sup> Promedios estimados mediante el ajuste del modelo de análisis de varianza. Las medias marginales son utilizadas para el cálculo de las pruebas de significación en el modelo utilizado.

en los promedios en cuanto al tipo de material ( $p$ -valor =  $0,026 < 0,05$ ,  $F$ -test = 5,175) y entre las muestras de material por empresas ( $p$ -valor =  $0,002 < 0,05$ ,  $F$ -test = 5,450), lo que indicó por lo menos, en estos dos últimos análisis, grandes diferencias en la evolución por tipo de material y por empresa.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Es importante anotar que la absorción que reportan los diferentes tiempos y métodos de ensayo empleados en este trabajo, corresponden al agua alojada en los espacios de poros presentes en el espécimen, los cuales lograron ser vaciados en el proceso de secado, teniendo en cuenta que los especímenes se llevaron a masa constante<sup>15</sup>, y que posteriormente lograron ser llenados, total o parcialmente, en el proceso de inmersión en agua (con o sin proceso de cocción). El método, por tanto, no tiene en cuenta aquellos poros que por estos métodos son considerados “impermeables” para las pruebas realizadas y que de ser utilizados podrían haber arrojado valores superiores de absorción para esas características particulares de ensayo<sup>16</sup>.

Los resultados obtenidos en este estudio evidenciaron cambios en la velocidad de crecimiento de la absorción de la cara vista de la baldosa de terrazo, conformada como monocapa y duocapa, en la medida que aumenta el tiempo de ensayo con el proceso de cocción inicial (1h+11h; 1h+23h, 1h+47h). Adicionalmente, de acuerdo con el análisis de varianza sobre las dos conformaciones de material,

<sup>15</sup> Los especímenes se consideran “secos”, al remover el agua no combinada a temperatura constante; sin embargo, pueden contener agua combinada o capilar que no es removible a las temperaturas y tiempos empleados en el ensayo.

<sup>16</sup> Es claro que el método empleado no tiene en cuenta estos espacios “impermeables” al agua, que se pueden determinar por otro tipo de técnicas, tales como aplicación de vacío o presurización. Estas técnicas pueden incrementar el valor de absorción de agua o bien determinar con mayor precisión lo que se denomina el Volumen de Espacios de Poros Permeables (American Society for Testing and Materials, 1997). Los valores de absorción determinados por los diferentes métodos empleados reflejan la absorción para las condiciones particulares del método de ensayo.

se encontró que las trayectorias de crecimiento-absorción fueron muy similares para ambos tipos de conformación. Esto último no se encontró para el proceso de absorción sin cocción (24h y 48h), además, se encontró que cada tipo de conformación tiene una reacción distinta en ese proceso.

Los ensayos conducidos demostraron que en términos estadísticos la variación de la absorción es significativa con la prolongación del tiempo de ensayo, más allá de 1h+11h. Sin embargo, en términos prácticos, la diferencia numérica es poco significativa, lo cual permite considerar no variar el valor máximo de absorción de cara vista especificado en la norma para la cara vista de la baldosa de terrazo. En este mismo sentido, el análisis de los datos sugiere una estabilización en la lectura de absorción entre 1h+23h y 1h+48h.

De lo anterior se puede concluir que una modificación posible para la norma NTC 2849 es asumir un tiempo de ensayo para la absorción de la cara vista de 1h+23h, el cual es aplicable a la conformación de la baldosa en monocapa o duocapa, conservando el valor especificado de absorción en la actualidad por la norma para cada tipo de exposición ambiental.

Es conveniente indicar algunas de las limitaciones que presentó esta investigación. En primer lugar, las muestras se procesaron de forma simultánea sin un diseño aleatorizado previamente establecido. Esta dificultad posiblemente pueda restar validez a los resultados en relación con la repetitividad interna, todo ello por la imposibilidad de controlar el efecto de los factores incontrolables a través de la aleatoriedad y que el diseño completamente aleatorio lo hubiese podido hacer. Conviene indicar que se hizo una inspección de la obtención de las mediciones por medio de control individual de los laboratoristas que acompañaron el diligenciamiento de las mediciones, la estandarización de los procesos de medición, el tiempo, el secado y la selección de los lotes de material. Adicionalmente, la utilización de la absorción como medida adimensional le restó variabilidad a las mediciones, al mismo tiempo que las hizo comparables. La utilización de medidas repetidas a distintos

tiempos, hizo que se disminuyera la variabilidad de los procesos de medición, lo que permitió acrecentar el poder estadístico de las pruebas de hipótesis (Hand & Taylor, 1987, pág. 81).

Hubiese sido importante que los dos tipos de conformación del material hubieran sido representativos por empresas, sin embargo, ello fue imposible por el bajo número de empresas productoras de baldosa monocapa. Esto llevó a un diseño desbalanceado que posiblemente le disminuya poder estadístico a las pruebas, puesto que las réplicas se vieron disminuidas por factor de análisis.

Se considera importante haber realizado este estudio puesto que no se conoce bibliografía que relacione la absorción de las baldosas monocapa y duocapa.

Los autores consideran que los resultados presentados servirán como base para investigaciones futuras sobre el tema y darán soporte experimental a una propuesta de modificación de la norma NTC 2849.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a los estudiantes del programa de Construcción de Acabados Arquitectónicos del Instituto Tecnológico Metropolitano, que apoyaron el proceso de laboratorio; así como a los Técnicos del Laboratorio de Materiales de la misma Institución. Agradecemos, también, a las empresas patrocinadoras de esta investigación: Colpisos S.A., Roca S.A (Almacenes e industrias Roca S.A), EGaviria<sup>17</sup>, y Mosaicos Sarrari.

<sup>17</sup> Lamentablemente al momento de la publicación de este artículo, la empresa EGaviria ya fue liquidada. Agradecemos a sus propietarios y al personal técnico el apoyo que siempre brindaron a las diferentes iniciativas de investigación sobre materiales para pisos del grupo MYTEC.

## 6. TRABAJOS CITADOS

- AENOR. (2005). *Baldosas de terrazo - Parte 1: Baldosas de terrazo para uso interior*. Madrid: AENOR.
- AENOR. (2005(b)). *Baldosas de terrazo - Parte 2: Baldosas de terrazo para exterior*. Madrid: AENOR.
- American Society for Testing and Materials. (1997). *Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete-ASTM C642-*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- Box, G. (1950). Problems in the analysis of growth and wear curves. *Biometrika*, 6, 362-389.
- Crowder, M. J., & Hand, D. (1999). *Analysis of Repeated Measures*. New York: Ed. Chapman & Hall.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., & otros, y. (1999). *Análisis Multivariante*. España: Pearson Educación.
- Hand, D. J., & Taylor, C. (1987). *Multivariate Analysis of Variance and Repeated Measures: a practical approach for behavioural scientists*. New York: Chapman & Hall.
- ICONTEC. (1997). *NTC 2849 Baldosas con superficie de grano -Terrazo-* (Vol. NTC 2849). Bogotá: Icontec.
- Montgomery, D. C., & Peck, E. (1992). *Introduction to linear regression analysis*. New York: John Wiley and Sons.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52-53.

