



## Comparación de la Resistencia al Corte por Adherencia de Losas Compuestas en Función de los Parámetros M y K, Obtenidos Experimentalmente Versus Ecuaciones Existentes

### Comparison of Bonded Shear Strength of Composite Slabs as a Function of Experimentally Obtained M and K Parameters Versus Existing Equations

**Benjamín Maigua<sup>1</sup>** <sup>1</sup> Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional-EPN, Quito-Ecuador, [sayri.maigua@epn.edu.ec](mailto:sayri.maigua@epn.edu.ec)

**Christian Gómez<sup>1</sup>** <sup>1</sup> Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional-EPN, Quito-Ecuador, [christian.gomez@epn.edu.ec](mailto:christian.gomez@epn.edu.ec)

**Diego Jara<sup>1</sup>** <sup>1</sup> Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional-EPN, Quito-Ecuador, [diego.jara@epn.edu.ec](mailto:diego.jara@epn.edu.ec)

**Edwin Guaminga<sup>1</sup>** <sup>1</sup> Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional-EPN, Quito-Ecuador, [edwin.guaminga@epn.edu.ec](mailto:edwin.guaminga@epn.edu.ec)

#### HISTORIA DEL ARTÍCULO

Recepción: 07/11/2023  
Recibido tras revisión: 28/04/2024  
Aprobación: 20/05/2024  
Publicación: 15/06/2024

#### PALABRAS CLAVE

Método m y k, resistencia al corte, placas metálicas, losas compuestas, corte longitudinal.

#### KEY WORDS

M-k method, shear strength, deck, composite slabs, longitudinal shear.

#### ABSTRACT

For the proper performance of composite slabs, the interaction between concrete and the steel plate is crucial. The shear adhesion strength allows us to understand the behavior and capacity of the system against a longitudinal slip failure mode. However, at the national level, the evaluation of the performance and adhesion capacity of these slabs against shear forces is scarce. In this context, an experimental study is presented on composite slabs with a 1 mm thick sheet metal, whose objective is to evaluate their physical-mechanical behavior. Using a linear regression analysis applied to the data obtained in laboratory tests, the parameters "m" and "k" are determined. For the development of the tests, eight specimens were prepared, strictly following the guidelines established in international standards. These specimens were divided into four sets, each consisting of two samples, maintaining a similar configuration and using the thickness of the concrete layer as an experimental variable. The results obtained in the tests allow us to determine the shear capacity of the slabs and compare it with the values provided by the manufacturers. These results seek to be relevant for engineers and manufacturers in the face of the scarcity of information and studies on the subject.

#### RESUMEN

Para el correcto desempeño de las losas compuestas, la interacción entre el hormigón y la placa de acero es crucial. La resistencia de adherencia al corte permite comprender el comportamiento y la capacidad del sistema frente a un modo de falla por deslizamiento longitudinal. No obstante, a nivel nacional, la evaluación del desempeño y la capacidad de adherencia de estas losas frente a fuerzas cortantes es escasa. En este contexto, se presenta un estudio experimental en losas compuestas con chapa metálica de 1 mm de espesor, cuyo objetivo es evaluar su comportamiento físico-mecánico. Mediante un análisis de regresión lineal aplicado a los datos obtenidos en ensayos de laboratorio, se determinan los parámetros "m" y "k". Para el desarrollo de los ensayos, se elaboraron ocho probetas, siguiendo estrictamente los lineamientos establecidos en las normativas internacionales. Estas probetas se dividieron en cuatro conjuntos, cada uno conformado por dos muestras, manteniendo una configuración similar y utilizando el espesor de la capa de hormigón como variable experimental. Los resultados obtenidos en los ensayos permiten determinar la capacidad de corte de las losas y compararla con los valores proporcionados por los fabricantes. Estos resultados buscan ser relevantes para ingenieros y fabricantes ante la escasez de información y estudios sobre el tema.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las losas compuestas representan una forma eficiente y rentable de crear superficies para pisos en edificaciones. Su amplia aceptación se debe en gran medida a la facilidad y rapidez con la que se pueden instalar, así como a su eficaz contribución a la integridad estructural de la edificación.

Este sistema compuesto consiste en una lámina de acero conformada en frío, que actúa como refuerzo en tensión de la losa y como base para el colado del hormigón de la losa. La acción combinada entre la lámina y el hormigón se logra a través de la adherencia que existe entre ambos materiales, además, los relieves en la lámina (muescas) contribuyen a aumentar la resistencia al cortante. Por el efecto del trabajo conjunto (lámina de acero – hormigón), se puede disminuir el espesor de la losa de entrepiso, ya que disminuyen las cargas de peso propio, además, se genera un ahorro en el costo total de la estructura [1].

En investigaciones previas, se ha realizado un análisis para evaluar la influencia de los parámetros “m” y “k” en la capacidad y desempeño de las losas compuestas. El ensayo de flexión a escala natural constituye el método más confiable para determinar la capacidad resistente de las losas compuestas. Este ensayo, desarrollado por la AISI en 1967 (AISC, 2007; ASTM-E8-00b, 2001), permite obtener los parámetros “m” y “k” de manera experimental, los cuales se utilizan en la expresión propuesta por [2] para estimar la resistencia al corte en este tipo de estructuras [1].

Estos parámetros se han establecido como indicadores críticos para comprender la resistencia al corte por adherencia y el comportamiento de las losas compuestas, permitiendo una mayor comprensión de la capacidad para resistir esfuerzos cortantes y la capacidad estructural en general.

En consonancia con el trabajo de [3], se analiza la resistencia al corte longitudinal a partir de resultados experimentales. El esfuerzo cortante longitudinal se determina mediante métodos analíticos, lo que contribuye a una mejor comprensión del comportamiento de las losas compuestas y del punto de desprendimiento.

A nivel internacional existen varios estudios alrededor de las losas compuestas utilizando este tipo de chapas o placas metálicas:

El trabajo de [4] demuestra una reducción del 12% de las cargas aplicadas en la losa mediante el método m-k.

En el trabajo desarrollado por [5] menciona que al aplicar el método m-k, se tienen resultados más conservadores respecto a otros métodos de diseño, hasta con un 43% de diferencia con una variación en los resultados de ensayos de probetas del 12.5%. Otro estudio relacionado al método m-k realizado por [6], agrega líneas de corte aumentando su capacidad hasta 120 kN y con una deformación de 3.5 mm, demostrando mayor ductilidad en losas compuestas.

Por último, en las conclusiones del trabajo realizado por [7], indica “aunque el método *m-k* es un método muy práctico para la estimación de la resistencia frente a esfuerzos rasantes de un forjado de placa colaborante, es aconsejable no emplear únicamente los parámetros *m-k* que suministra el fabricante de la chapa, ya que el ensayo realizado por el fabricante corresponde a la configuración pésima del forjado”.

Las losas compuestas requieren mecanismos de análisis por interacción, es decir, métodos por los cuales se logra que todos los elementos trabajen en conjunto frente a deslizamientos [8]; estos métodos pueden ser: adherencia química, obstrucción mecánica por embutición, obstrucción mecánica por fricción.

La investigación de [9] resalta la necesidad de estudiar el comportamiento estructural del sistema compuesto para mitigar la pérdida de adherencia. Complementando el estudio experimental, se realiza un análisis numérico para diversas configuraciones de losas, entre las cuales el sistema sin refuerzo convencional presenta similitudes con el de esta investigación. Esto pone de manifiesto la amplia gama de posibilidades de estudio y la variedad de métodos disponibles para corroborar y validar los resultados.

La mayoría de las investigaciones examinadas para este estudio se han desarrollado siguiendo

las directrices y estándares establecidos por el Eurocódigo como marco de referencia. Esta investigación se centra en la evaluación de la capacidad de resistencia al corte de losas compuestas, empleando los parámetros “m” y “k” obtenidos del estudio experimental. Dichos parámetros son específicos para cada configuración de losa y representan características distintivas de su comportamiento estructural.

El perfil de la cubierta proporciona capacidad de resistir la separación vertical y el deslizamiento horizontal entre la superficie de contacto del acero y del hormigón. Esta capacidad se puede mejorar mediante la fijación de espárragos u otros dispositivos de cizallamiento similares, para lograr una acción compuesta adicional. La característica de adherencia al corte de la chapa o placa estampada se evalúa a través de dos parámetros empíricos: “m” y “k”. En este contexto, “m” representa el grado de enclavamiento mecánico entre el acero y el hormigón, mientras que “k” hace referencia a la fricción entre ambos materiales [7].

Como lo menciona [10], los coeficientes “m” y “k” caracterizan a un mismo grupo de ensayo. En su investigación, [9] evalúa un grupo de losas compuestas con una lámina de acero de 0.76 mm de espesor. La expresión obtenida en este estudio es aplicable a condiciones constructivas similares.

Los fabricantes de perfiles de acero para losas compuestas deben someter sus productos a pruebas de certificación que garanticen su funcionalidad y permitan determinar las propiedades mecánicas específicas de cada perfil. Entre estas propiedades, destacan los parámetros “m” y “k”, los cuales cuantifican la adherencia entre la placa de acero y el hormigón en condiciones de servicio. La obtención de estos parámetros es crucial para el correcto diseño y análisis estructural de las losas compuestas.

En caso de que el fabricante no proporcione los valores de “m” y “k” para un perfil específico, resulta complicado obtenerlos por otros medios. El fabricante es quien debe presentar una tabla con los valores de “m” y “k” para cada perfil, facilitando así la interpretación y un uso adecuado por parte de los ingenieros, asegurando un diseño y análisis estructural precisos de las losas compuestas.

En este estudio se busca evaluar los parámetros

“m” y “k” para placas de acero de 1 mm de espesor, obtenidos a partir de la experimentación y el análisis de datos relevantes del ensayo. Adicionalmente, se realiza una comparación entre los resultados experimentales y la información proporcionada por los fabricantes, con el objetivo de determinar la variación existente entre las estimaciones de los catálogos comerciales y los resultados teórico-experimentales.

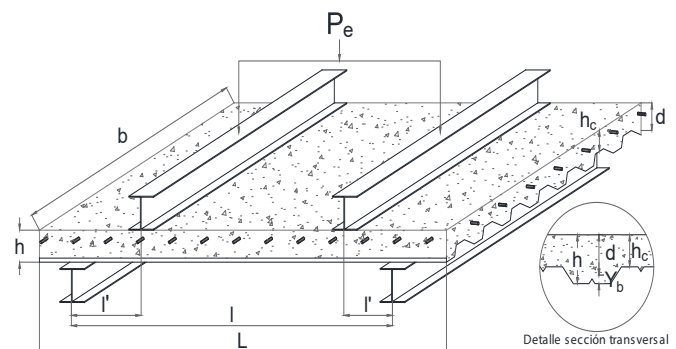
La determinación de los coeficientes “m” y “k” se basa en los procedimientos establecidos en la normativa ANSI-SDI-T-CD-2011. Dicha metodología implica la elaboración y ensayo de probetas sometidas a dos tipos de carga: monotónica y cíclica, hasta alcanzar el punto de falla [11]. Los ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Los resultados principales de esta investigación proporcionarán información valiosa para diseñadores y profesionales del sector de la construcción.

## 2. MÉTODO

Este ensayo desarrollado por el Steel Deck Institute, nace para determinar la resistencia nominal y la rigidez compuesta de las losas compuestas de acero [11]. Esta norma está diseñada para la construcción de tableros de acero compuesto conformado en frío y está avalado por el American National Standards Institute (ANSI).

El ensayo consiste en la aplicación de una fuerza ( $P_e$ ) sobre dos vigas de ala ancha colocadas sobre la losa compuesta, (ver en la figura 1), dicha fuerza empuja el tablero provocando un esfuerzo por cortante ( $\tau$ ) sobre el mismo.

**Figura 1.**  
*Marco de prueba para un tramo único*



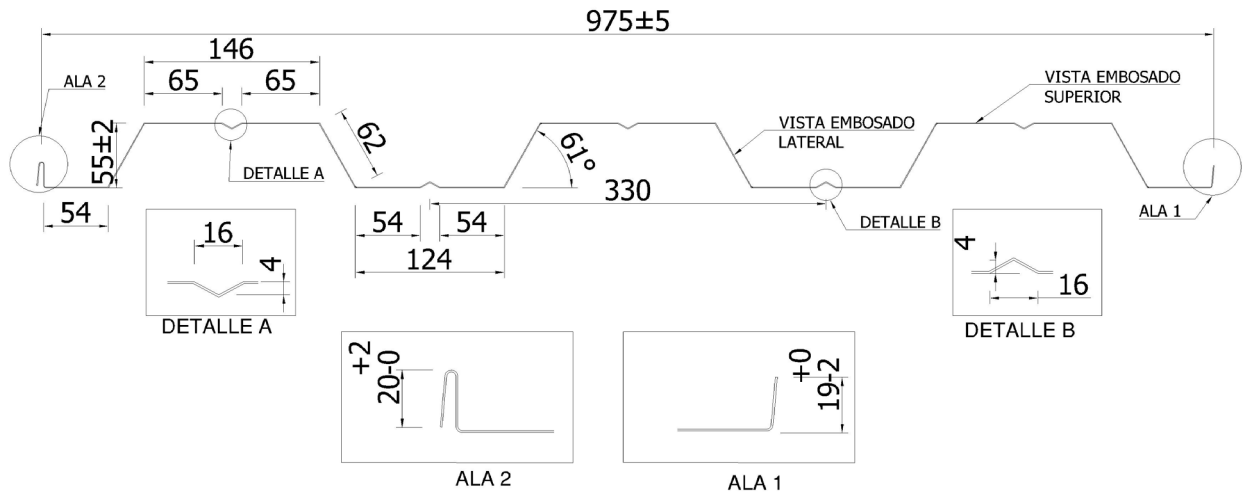
Fuente: Adaptado de [10].

## 2.1 Preparación de probetas de ensayo

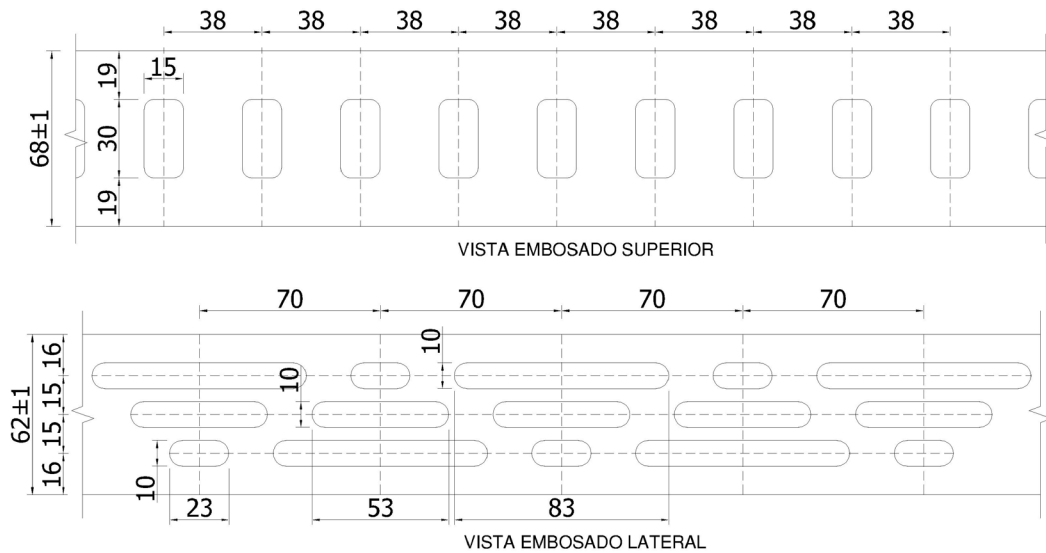
Se elaboraron 8 probetas, distribuidas en 4 grupos de 2 muestras cada uno. Cada muestra consistió en una placa de acero de 1 mm de espesor con dimensiones de 1 m de ancho (b) por 2.4 m de largo (L). Las probetas incorporaron malla electrosoldada

de 6 mm de diámetro con una separación de 15x15 cm. El espesor del hormigón varió según el grupo, con valores de 5, 6, 8 y 10 cm, y no se emplearon conectores de corte. Cada grupo de muestras se sometió a dos tipos de carga: carga monotónica (M) y carga cíclica (E) [11]. La Tabla 1 presenta las configuraciones de las muestras en cada grupo.

**Figura 2.**  
Lámina de acero



a) Geometría Novalosa 55



b) Embosado lámina de acero  
Nota: Adaptado de CIV – EPN

**Tabla 1.***Características constructivas probetas de ensayo*

Grupo	Losa	Tipo ensayo	Espesor deck (mm)	Malla $\Phi$ (mm)	Espesor hormigón (cm)
Grupo 1	1	M	1.0	6.0	10
	2	E			
Grupo 2	1	M			8
	2	E			
Grupo 3	1	M			6
	2	E			
Grupo 4	1	M			5
	2	E			

Para el ensayo se utilizó láminas metálicas de fabricación nacional como se indica en la Figura 2, con la configuración de relieves de acuerdo con su método de fabricación. El acero de las placas metálicas es de grado estructural y cumple con la norma ASTM A653, con galvanizado G90 (Z275) y un límite de fluencia mínimo de 255 MPa (2600 kg/cm<sup>2</sup>) [12].

El hormigón se curó de acuerdo con lo detallado en la normativa nacional NEC-SE-HM en el capítulo 9.6 [13]. Además, se realizaron los ensayos de resistencia a compresión del hormigón siguiendo la normativa INEN y ASTM correspondientes [14]. El hormigón vertido en las muestras, como se indica en la Figura 3, alcanzó resistencias superiores a los 24 MPa.

Para el muestreo se siguió los lineamientos establecidos en la normativa [14] y [15], que indican lo siguiente “la resistencia final será el promedio de la resistencia de 3 probetas de una misma mezcla determinada a los 28 días”.

**Figura 3.***Proceso constructivo probetas de ensayo*

La identificación de cada probeta se presenta en la tabla 2. Las muestras tienen como medidas estándar o nominales (2.4 x 1.0) m, sin embargo, debido a distintas condiciones constructivas, el proceso de encofrado, mano de obra, etc., se opta por realizar un promedio de las dimensiones tomadas de longitud (L), ancho (b), altura de hormigón (h), espesor de hormigón (h<sub>c</sub>) para así poder realizar un tratamiento de datos óptimo. La longitud libre (l) corresponde a la distancia entre apoyos. Los puntos de apoyo se miden desde una distancia de 10 cm, medido desde el borde de la losa. En la tabla 2 se presenta el resumen del registro de medidas tomadas.

**Tabla 2.***Parámetros homogenizados de las probetas*

Grupo	Losa	Espesor hormigón (cm)	L (cm)	h (cm)	l (cm)	b (cm)
Grupo 1	C1	10	241.20	14.86	221.20	99.80
	C8		241.65	14.70	221.65	98.45
Grupo 2	C3	8	241.20	13.23	221.20	99.35
	C7		241.05	12.99	221.05	99.50
Grupo 3	C6	6	241.50	10.70	221.50	99.55
	C2		241.50	12.00	221.50	99.15
Grupo 4	C4	5	240.90	10.36	220.90	98.55
	C5		240.90	10.56	220.90	99.50

La distancia a la cual se ubican los puntos de aplicación de la carga lineal concentrada se muestra en la Tabla 3. Dependiendo del grupo al que pertenecen las probetas, se define la distancia de corte (l').

**Tabla 3.***Longitud de aplicación de carga*

Espesor deck (mm)	Espesor losa (cm)	l'(m)
1.0	5.0	90.0
	6.0	80.0
	8.0	60.0
	10.0	40.0

**2.2 Aplicación del ensayo T-CD-2011**

El procedimiento de ensayo para las muestras se resume en los siguientes pasos:

**Colocación de la probeta:** Con el marco de carga posicionado, se utiliza un puente grúa para situar la probeta sobre los apoyos.

**Alineación de las vigas:** Se colocan y alinean las vigas para la aplicación de carga sobre la probeta, manteniendo una distancia  $l'$  especificada en la tabla 3. La tabla también indica el tipo de ensayo aplicado a cada probeta.

Se verifica que el ancho “b” de todas las probetas sea igual al ancho útil del panel de cubierta de acero, con un valor mínimo de 600 mm.

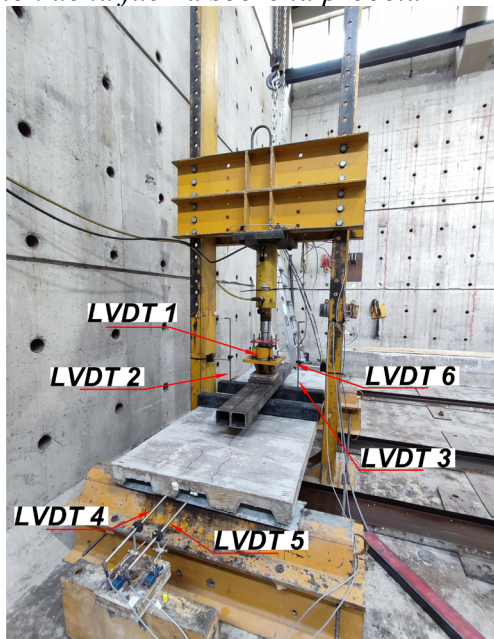
**Instrumentación:** Se instrumenta la probeta con medidores de deformación (LVDT), como se muestra en la figura 4.

**Aplicación de la carga:** Se aplica la fuerza de carga sobre la probeta de manera controlada.

**Generación del esfuerzo cortante:** La carga de compresión aplicada sobre la viga genera la fuerza de corte  $V_t$  sobre la probeta, conduciéndola a su falla.

**Figura 4.**

*Aplicación de la fuerza sobre la probeta*



**Ensayo monotónico (M):** Consiste en la aplicación de una carga incremental hasta llegar a la falla en las probetas C1, C3, C4 y C6. Se registraron los datos de carga y deformación, incluyendo la carga de rotura aplicada y el desplazamiento final.

**Ensayo cíclico (E):** En las muestras C2, C5, C7 y C8 se aplicó una carga inicial del 5% de la carga de falla obtenida en el ensayo monotónico, manteniéndola durante cinco minutos. Posteriormente, se incrementó la carga hasta alcanzar el 60% de la carga de falla del ensayo monotónico, valor que se mantuvo por cinco minutos adicionales antes de

llevar la probeta a la falla.

1. Por último, se registran los datos para su posterior análisis. Además, se registra una breve descripción de los eventos significativos durante la prueba y una identificación de la forma y tipo de falla.

### 2.3 Cálculo de la resistencia de adherencia al corte

De acuerdo con la norma [11], en el caso de ensayar solo uno o dos espesores de tablero, se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$V_t = b * d * \left( \frac{k_5}{l'} + k_6 \right) \quad (1)$$

En la Ecuación 1:  $b$  representa el ancho de la sección de losa compuesta;  $d$  es la profundidad efectiva medida desde la cara superior hasta el centroide de la placa de acero;  $k_5$  y  $k_6$  son coeficientes de adherencia al corte obtenidos del análisis de regresión lineal de los datos de prueba para cada espesor de tablero ensayado;  $l'$  es la distancia de cortante aplicado.

Si se aplican cargas lineales concentradas sobre la probeta, la resistencia de adherencia al corte se calculará con la Ecuación (2).

$$V_t = \left( \frac{P_t}{2} + \frac{W}{2} \right) \quad (2)$$

En la Ecuación (2):  $P_t$  es la carga última que provoca la falla durante la prueba;  $W$  es el peso de la probeta de losa compuesta ensayada considerando el ancho de losa.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Resistencia del hormigón estructural

Los resultados obtenidos de los cilindros ensayados a los 7, 14 y 28 días se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.**

*Resistencia a compresión del hormigón*

Muestra	Edad (días)	Resistencia ( $f'_c$ ) (MPa)	Promedio ( $f'_c$ ) (MPa)
7	28	35.00	33.87
8	28	32.10	
9	28	34.50	

Los cilindros presentan una falla tipo 4 según la norma ASTM C39, que corresponde a una fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes de la probeta (Figura 5).

**Figura 5.**  
*Cilindros después del ensayo de compresión*



### 3.2 Carga aplicada

La Tabla 5 resume los resultados de carga máxima aplicada, carga de falla y fuerza cortante ( $V_t$ ) para cada probeta de ensayo. La Figura 6 presenta las curvas esfuerzo-deflexión hasta la falla de cada losa compuesta (probeta) ensayada. Se observa que las losas de mayor espesor (C1 y C8) exhiben una mayor resistencia y menor deformación (ver Anexo Figura 6).

**Tabla 5.**  
*Carga máxima y valor del cortante*

Losa	Espesor hormigón (cm)	Carga máxima (KN)	Carga falla (KN/m)	$V_t$ (KN)	$V_t$ (KN/m)
C1	10	180.60	180.96	94.50	94.69
C8	10	210.12	213.43	109.19	110.91
C3	8	58.88	59.26	33.14	33.36
C7	8	73.07	73.44	40.22	40.42
C6	6	36.64	36.60	21.27	21.36
C2	6	27.29	27.50	16.95	17.09
C4	5	24.50	24.86	15.21	15.43
C5	5	28.70	28.84	17.33	17.42

### 3.3 Parámetros de cálculo

El cálculo del área de la sección transversal de la losa compuesta se determina con las dimensiones registradas de las probetas antes de los ensayos. Para determinar la posición  $Y_b$  (centroide de la placa de acero medido desde la base), se utilizó un software que genera una representación de la

sección transversal de la placa. Esta herramienta nos proporciona información sobre la geometría de la sección. La información obtenida se presenta en la Tabla 6 (ver Anexo Tabla 6).

El volumen de hormigón se obtiene a partir del producto de las longitudes promedio y las áreas obtenidas (ver Anexo Tabla 7).

$$V_{\text{hormigón}} = L * A_{\text{transversal}} \quad (3)$$

Para el cálculo del peso de hormigón se considera el peso específico del hormigón  $\gamma=2400 \text{ kg/m}^3$ . Se multiplica el peso específico y el volumen de hormigón tal como se muestra en la ecuación.

$$W_{\text{hormigón}} = \gamma_{\text{hormigón}} * V_{\text{hormigón}} \quad (4)$$

El peso total de la probeta considera el peso de hormigón y el peso de la placa colaborante. El peso de la placa está determinado por el fabricante con un valor de  $9.82 \text{ kg/m}^2$ .

### 3.4 Cortante teórico en función de los parámetros m y k

Los parámetros característicos  $k_5$  y  $k_6$ , requeridos para el cálculo del cortante teórico  $V_t$ , se determinan mediante un análisis de regresión lineal simple aplicado a los datos obtenidos en los ensayos. La Tabla 8 exhibe los parámetros requeridos para generar la curva visualizada en la Figura 7. Esta curva muestra la dispersión observada en los datos recopilados durante los ensayos realizados (ver Anexo Tabla 8 y Anexo Figura 7).

Se obtiene la ecuación de la línea de tendencia de la Figura 7.

$$y = 479.33x - 0.3646 \quad (5)$$

El análisis estadístico posibilita la generación de la línea de tendencia y la regresión lineal para los datos proporcionados, los cuales se detallan a continuación (ver Anexo Tabla 9):

Por último, se presentan en la Tabla 10 los valores de  $k_5$  y  $k_6$ , que son los coeficientes correspondientes a la variable  $X_1$ , junto con el valor de intercepción (ver Anexo Tabla 10).

Finalmente se utiliza la ecuación (1) dada por la norma T-CD-2011 para el cálculo del cortante

teórico (ver Anexo Tabla 11).

En la Figura 8 se observa la variación de los valores obtenidos de  $V_t$  aplicando la expresión teórica y los valores experimentales (ver Anexo Figura 8).

Dado que los valores de la relación en la Tabla 11 indican un error del 34%, se requiere reducir un 5% de los coeficientes  $k_5$  y  $k_6$ . Esto se ajusta a las regulaciones de la norma, que permiten un error máximo de  $\pm 15\%$  (ver Anexo Tabla 12).

En la Figura 9 se muestra la curva de regresión lineal derivada del ensayo, junto con la curva ajustada debido a la dispersión detectada entre los valores experimentales y teóricos (ver Anexo Figura 9).

La ecuación de resistencia al esfuerzo cortante para la placa de acero en estudio responde a la ecuación (6):

$$V_t = b * d * \left( \frac{m}{l'} + k \right) \quad (6)$$

En donde:

- b: ancho unitario de la losa (mm)
- d: profundidad efectiva de la losa (mm)
- l': longitud de corte (mm)
- m: pendiente de la recta
- k: ordenada del gráfico

y los coeficientes corregidos obtenidos del ensayo experimental corresponden a los valores:  $m=455.362$  y  $k=-0.346$

### 3.5 Discusión

Se realiza una comparación entre los resultados experimentales obtenidos en los ensayos y la información proporcionada por los catálogos de los proveedores de placas metálicas (ver Anexo Tabla 13). El objetivo de esta comparación es evaluar la correlación entre los datos experimentales y la información suministrada por los fabricantes.

En función a la información presentada en la Tabla 13 se determina el  $V_t$ , tomando en consideración la carga soportada y la longitud de separación entre apoyos. Tomando en consideración la ecuación 2 se calcula el valor de  $V_t$ , tomado como dato de carga de falla al valor de carga máxima soportada tomada de los catálogos comerciales, y el peso total considerando el peso del volumen de hormigón y el

peso de la placa (ver Anexo Tabla 14).

Se realiza una comparación entre los datos de cortante teórico ( $V_t$ ) obtenidos a partir de la expresión teórica, los valores experimentales y los datos proporcionados por los catálogos. La Figura 10 muestra la variación de los valores de  $V_t$  obtenidos teórica y experimentalmente (ver Anexo Tabla 15 y Anexo Figura 10).

### 3.6 Resistencia a corte de hormigón

La resistencia a cortante proporcionada por el hormigón considera lo siguiente:

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'_c} * A_c \quad (7)$$

Donde  $A_c$  corresponde al área de hormigón que contribuye a corte en  $\text{cm}^2$ ,  $f'_c$  corresponde a la resistencia de hormigón en  $\text{kg/cm}^2$  [16]. En la Figura 11 el área sombreada corresponde a  $A_c$  (ver Anexo Tabla 16 y Anexo Figura 11).

### 3.7 Optimización de los datos

Debido a la dispersión presentada en los resultados y la variación significativa observada dentro de un subconjunto de datos, se optó por realizar un análisis segmentado de los grupos ensayados.

Se formaron dos nuevos grupos:

- Grupo 1-2: Compuesto por los grupos 1 y 2, con espesores de hormigón de 10 y 8 cm, respectivamente.
- Grupo 3-4: Compuesto por los grupos 3 y 4, con espesores de hormigón de 6 y 5 cm, respectivamente.

El objetivo de la segmentación fue desarrollar una expresión de cálculo de cortante para cada uno de los nuevos grupos de muestras (probetas). Esto permitió determinar parámetros “m” y “k” específicos y característicos para cada grupo. La metodología aplicada para el análisis segmentado coincidió con la utilizada en el análisis del conjunto de datos inicial. La segmentación de los grupos buscó mejorar los resultados obtenidos al reducir la dispersión de los datos.



### 3.8 Análisis de grupo 1 y 2

En la Tabla 17 se resumen los datos derivados del análisis, a partir de los cuales se obtienen los parámetros para este nuevo grupo de estudio (ver Anexo Tabla 17).

La curva característica para este segmento de datos se muestra en la Figura 12 (ver Anexo Figura 12). El análisis de la curva arrojó una pendiente de  $m = 603.22$  y una ordenada al origen de  $k = -0.645$ . Estos parámetros se utilizaron para desarrollar la siguiente expresión para el cálculo del cortante teórico ( $V_t$ ). Los valores calculados se presentan en la Tabla 18 (ver Anexo Tabla 18).

En este grupo de análisis se observa una baja dispersión de los datos, como se ilustra en la Figura 13 (ver Anexo Figura 13). La comparación entre los valores experimentales y los valores calculados mediante la ecuación teórica muestra una concordancia dentro del margen de tolerancia establecido. En consecuencia, no se requiere realizar ajustes a los coeficientes de la ecuación.

### 3.9 Análisis de grupo 3 y 4

A partir de los datos mostrados en la Tabla 19 (ver Anexo Tabla 19) se construye la regresión lineal que se presenta en la Figura 14 (ver Anexo Figura 14).

La comparación entre los valores de cortante obtenidos experimentalmente y los previstos por la expresión teórica, se muestran en la tabla 20, y presentan una dispersión del 22%. Esta cifra supera el límite permitido, que no debe exceder el 15%. Como resultado, es necesario efectuar una modificación de los coeficientes, disminuyéndolos en un 5%. De la curva obtenida en la Figura 14 extraemos la información correspondiente a  $m=99.035$  y  $k=0.106$  (ver Anexo Tabla 20).

En la Figura 15, se presentan las curvas inicialmente obtenidas y la curva reducida. Con base en los parámetros “m” y “k” ajustados se procede a calcular nuevamente el valor de cortante, el cual se detalla en la Tabla 21 (ver Anexo Tabla 21 y Anexo Figura 15).

### 3.10 Comparación de valores obtenidos

El análisis de los datos experimentales permitió derivar dos nuevas expresiones para el cálculo del cortante teórico ( $V_t$ ):

- Expresión 1: Válida para el subconjunto de probetas con espesores de losa en el rango de 8 a 10 cm.
- Expresión 2: Válida para el subconjunto de probetas con espesores de losa en el rango de 5 a 6 cm.

Con estas nuevas expresiones, se realizó una comparación adicional entre los valores de  $V_t$  calculados y los datos obtenidos de catálogos comerciales. Los parámetros “m” y “k”, utilizados en las expresiones, se resumen en la Tabla 22 (ver Anexo Tabla 22).

En la Figura 16, se comparan los valores obtenidos para cada uno de los segmentos analizados (ver Anexo Figura 16).

## 4. CONCLUSIONES

La teoría de losas compuestas referente al método de diseño m-k sirve para determinar: el esfuerzo cortante en la zona de interacción (lámina de acero – hormigón), las curvas de desempeño y la fuerza de resistencia máxima o fuerza de falla de cada probeta ensayada.

Se determinó la ecuación de la línea de tendencia que relaciona los valores obtenidos de cortante por adherencia para las ocho probetas ensayadas:  $y=455.44x-0.346$ . De esta ecuación se destaca la pendiente de la línea, que corresponde al coeficiente “m”, y la ordenada del gráfico, que corresponde al coeficiente “k” ( $y=mx+k$ ).

La configuración que presentan los relieves en la placa o chapa genera una adherencia que mejora la interacción de la placa y hormigón.

Los coeficientes “m” y “k” representan parámetros fundamentales para caracterizar la resistencia por adherencia al corte entre la placa de acero y el hormigón en losas compuestas. Su adecuada consideración en el análisis y diseño estructural es crucial para asegurar el correcto funcionamiento del sistema como un conjunto integrado. La omisión de estos coeficientes en el análisis implicaría suponer una nula adherencia entre la placa y el hormigón y el sistema no funcionaría como un sistema conjunto, generando desplazamiento y desprendimiento. Estos parámetros son propios de este conjunto de ensayos y son válidos para la expresión que determina la capacidad a corte definida por el

Steel Deck Institute en la norma T-CD-2011 para ensayos donde se trabaja con un solo espesor de placa, específicamente para el caso de estudio, para placas de 1 mm de espesor.

La Figura 6 ilustra el comportamiento individual de las probetas durante el ensayo. Se observa una clara correlación entre el espesor de la losa y las propiedades mecánicas del conjunto. En general, a mayor espesor de la losa se presentan menores deformaciones y una mayor capacidad de carga. Por el contrario, las probetas con un menor espesor de losa exhiben una resistencia a la carga más baja y mayores deformaciones.

Si bien este artículo se limita al análisis de un solo grupo de configuraciones de placa, la investigación podría mejorarse mediante la inclusión de un compendio más extenso de placas. Esto permitiría una mejor comprensión de los parámetros “m” y “k”, ya que abarcaría un rango de evaluación más amplio que incluye placas con diferentes espesores. De esta manera, los parámetros “m” y “k” se caracterizarían para este rango más amplio de configuraciones, proporcionando una visión más completa de su comportamiento y aplicabilidad.

Los resultados de los ensayos indican una falla dúctil en la losa compuesta, y se observó la aparición gradual de fisuras que están asociadas a esfuerzos de flexión en la zona de aplicación de carga. La primera caída en la curva representa la pérdida de adherencia entre lámina de acero y el hormigón, un incremento de la deflexión y la aparición de fisuras en la franja central de la probeta ensayada.

Del análisis de los resultados obtenidos y comparados con datos de catálogos comerciales, se observa que la información presentada en dichos catálogos subestima significativamente la capacidad de las losas compuestas para resistir fuerzas de corte por adherencia con mayores espesores de hormigón. Para espesores de losas de hasta 6 cm, las estimaciones teóricas y experimentales se asemejan a los valores del catálogo, mientras que, para espesores de losas superiores a 6 cm, se ha identificado una capacidad mayor de resistencia a corte por adherencia experimental.

Al aplicar una segmentación en los grupos de ensayo con el propósito de minimizar la dispersión de los datos, se logra una aproximación más precisa, especialmente para el conjunto de probetas con

espesores de hormigón que oscilan entre 8 y 10 cm. Los valores de m y k derivados de esta configuración específica pueden considerarse como estimaciones más confiables en este contexto.

Tras analizar el conjunto completo de muestras ensayadas y los resultados asociados, se ha identificado una dispersión en los datos obtenidos, lo cual plantea la posibilidad de errores en los resultados. La dispersión observada en los datos podría atribuirse a diversas fuentes de interferencia durante la realización de los ensayos. La precisión y calibración de los equipos de medición empleados durante los ensayos pueden influir en la variabilidad de los resultados. Errores en la medición de variables como la carga aplicada, la deformación o las dimensiones de las probetas pueden afectar significativamente los resultados obtenidos. La mano de obra durante la fabricación de las probetas de ensayo puede introducir variabilidad en sus propiedades mecánicas. Irregularidades en la mezcla de hormigón, porosidades o defectos en el material, o imprecisiones en la geometría de las probetas pueden afectar su comportamiento bajo carga. Para validar de manera más sólida los hallazgos, se recomienda llevar a cabo investigaciones con probetas o muestras utilizando la misma configuración del presente estudio.

## REFERENCIAS

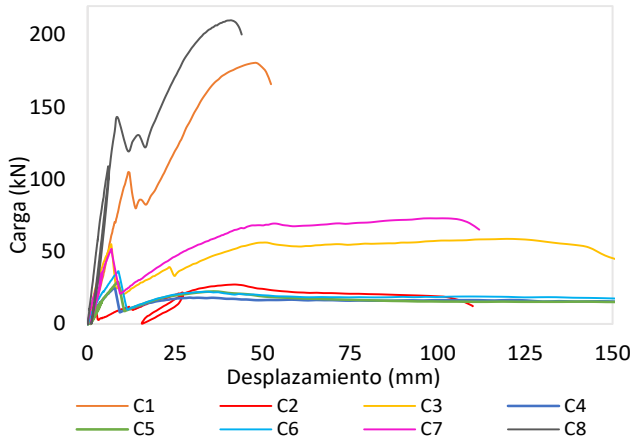
- [1] M. López, R. Larrúa y C. Recarey, «Un nuevo sistema de diseño de embuticiones en láminas de acero para maximizar resistencia de losas compuestas,» *Revista de Ingeniería & Construcción*, vol. 22, n° 3, pp. 145-156, 2007.
- [2] S. Seleim, *Ultimate Shear Bond Capacity Of Composite Steel Deck Concrete Slabs*. M.A.Sc. Tesis, Universidad de Waterloo, Waterloo, Ontario, Canadá, 1979.
- [3] J. Cueva, «Estudio del comportamiento de las losas con placa colaborante en términos de parámetros geométricos y mecánicos,» Universidad Nacional de Ingeniería, 2019. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.14076/20546>.
- [4] H. Cifuentes y F. Medina, «Experimental study on shear bond behavior of composite slabs according to Eurocode 4,» *Journal of Constructional Steel Research*, n° 82, pp. 99-110, 2013.

- [5] A. Namdei, «Design of composite slabs with profiled steel decking: A comparison between experimental and analytical studies,» *International Journal of Advanced Structural Engineering*, vol. 3, pp. 1-15, 2012.
- [6] S. Hajir, S. Bakar y M. Ahmadi, «Experimental studies on corrugated steel-concrete composite slab,» *Gradevinar*, vol. 3, n° 67, pp. 225-233, 2015.
- [7] L. Echeverria y J. Gutierrez, «Análisis crítico sobre el ensayo m-k de forjados de chapa colaborante,» *ALCONPAT*, vol. 2, n° 4, pp. 185-192, 2013.
- [8] F. Ballester, «Losas mixtas: mecánica de flexión y métodos de cálculo,» 26 julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6864/09Mfb09de14.pdf?sequence=9>.
- [9] E. I. Celis Imbajoa, «Comportamiento no lineal de losas compuestas por lámina colaborante, con y sin refuerzo convencional. Modelación experimental y numérica,» Universidad Nacional de Colombia, 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77789>.
- [10] J. Villareal, «Determinación experimental de coeficientes m y k para planchas metálicas de espesores 0.65, 0.76 y 1[mm], con diferentes espesores de hormigón, y dos diámetros diferentes de malla electro-soldada corrugada, sometida a cargas de flexión monotónicas y cíclic,» Escuela Politécnica Nacional, 2023. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24954>.
- [11] Steel Deck Institute, T-CD-2011 Test Standard for Composite Steel Deck-Slabs, American National Standards Institute, 2011.
- [12] NOVACERO, «Estructuras Metálicas y Mixtas Novalosa,» 15 febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.novacero.com/wp-content/uploads/2021/12/Novalosa-Catalogo-Digital.pdf>.
- [13] MIDUVI, «Seguridad estructural de las edificaciones: NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>.
- [14] INEN, Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010.
- [15] ACI, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19), ACI, 2019.
- [16] V. P. Galán Burneo y D. W. Jaramillo Gutiérrez, «Ensayo experimental de los conectores de corte de las losas tipo DECK,» 19 Septiembre 2012. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4948>.

**ANEXOS**

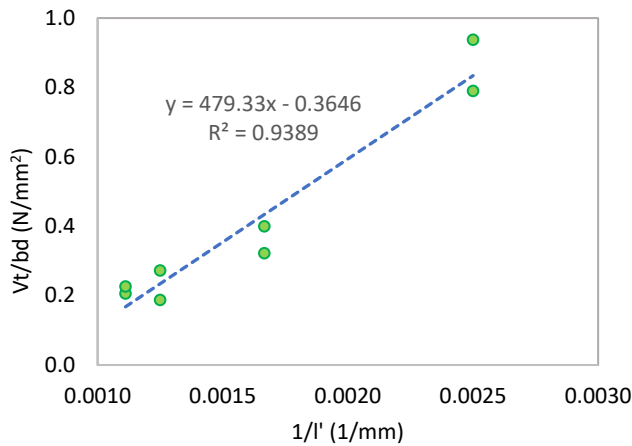
**Figura 6.**

*Curvas esfuerzo vs deflexión*



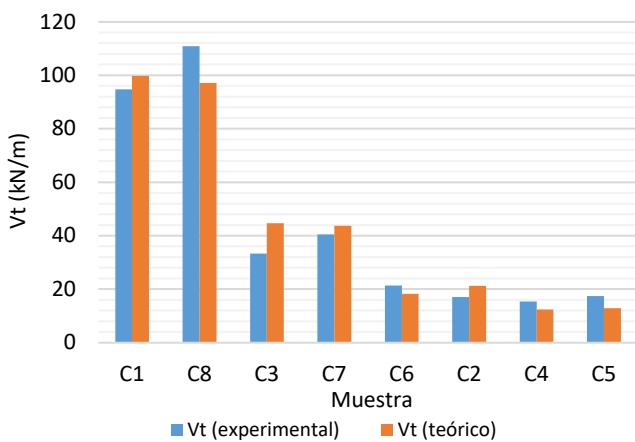
**Figura 7.**

*Dispersión de datos del ensayo*



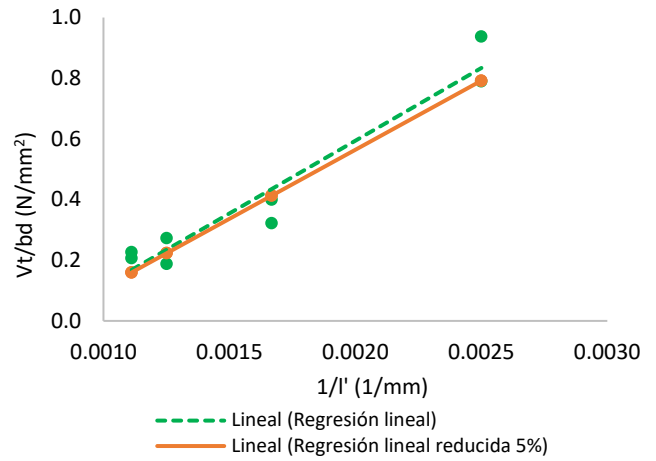
**Figura 8.**

*Comparación  $V_t$  teórico y  $V_t$  experimental*



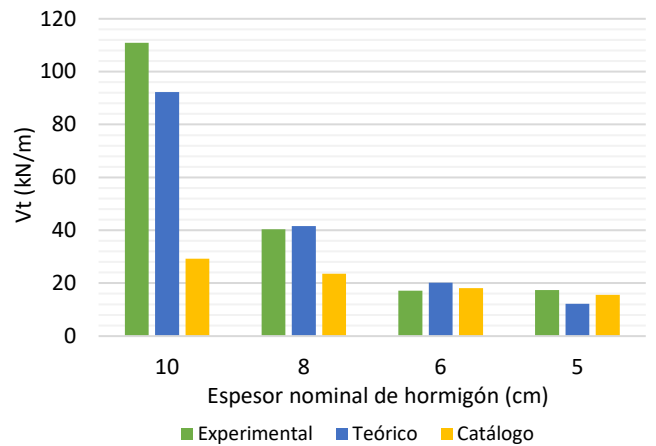
**Figura 9.**

*Curva m-k reducida*



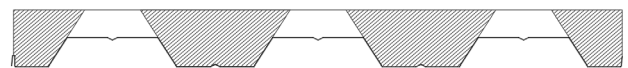
**Figura 10.**

*Comparación  $V_t$  teórico,  $V_t$  experimental,  $V_t$  catálogo*



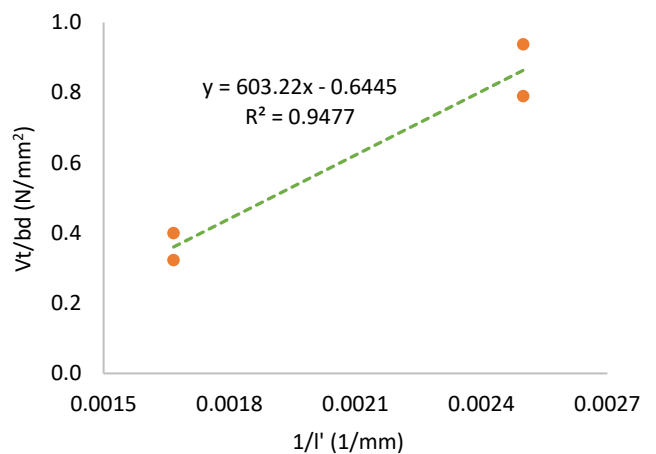
**Figura 11.**

*Área de hormigón contribuyente a cortante,  $A_c$*



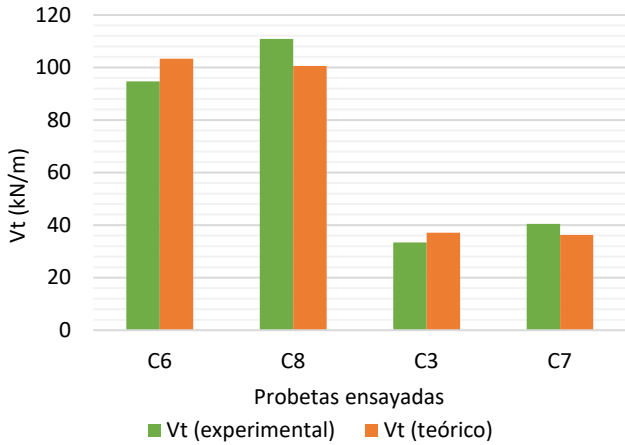
**Figura 12.**

*Curva m-k datos grupos 1 y 2*



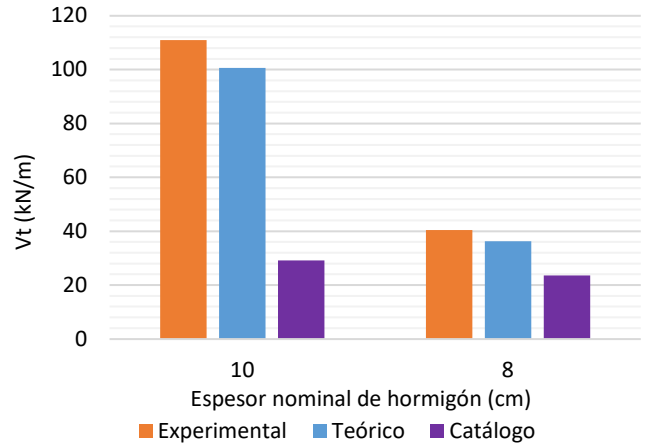
**Figura 13.**

Comparación  $V_t$  experimental y teórico



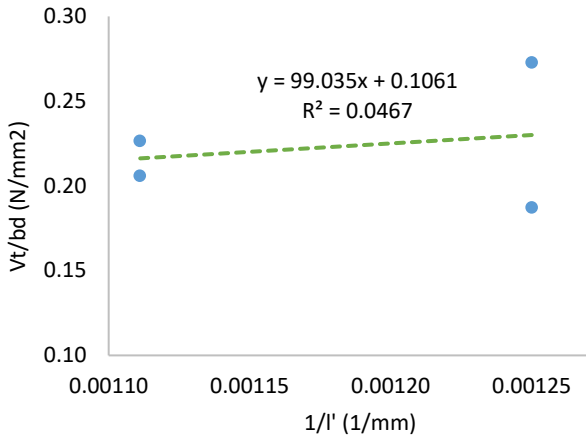
**Figura 16.**

Comparación  $V_t$  experimental y teórico

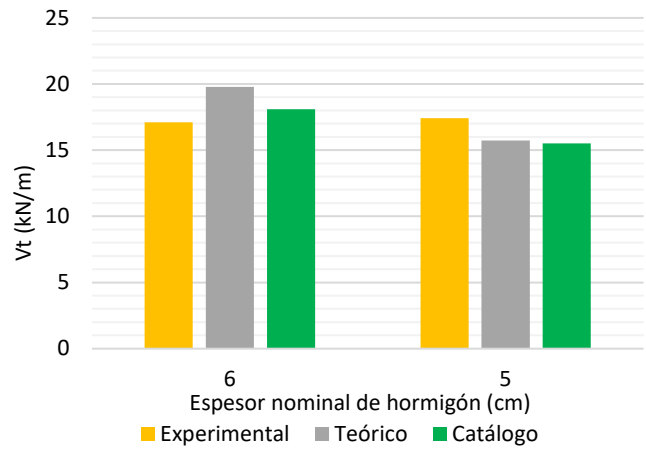


**Figura 14.**

Curva  $m-k$  datos grupos 3 y 4

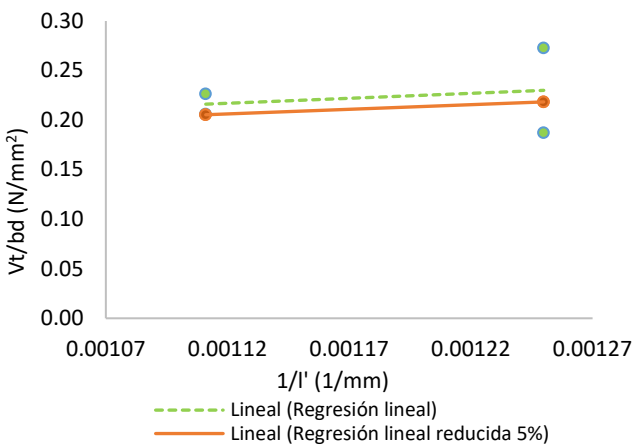


a) Espesores de hormigón de 8 a 10 cm



**Figura 15.**

Curva  $m-k$  reducida



b) Espesores de hormigón de 5 a 6 cm

**TABLAS**

**Tabla 6.**

*Geometría de la sección transversal*

Parámetro	Valor
Área	1245.53 mm <sup>2</sup>
Perímetro	2474.78 mm
Centroide	Y <sub>b</sub> : 28.70 mm

**Tabla 7.**

*Volumen de hormigón en las probetas*

Losa	Espesor hormigón (cm)	Área hormigón (m <sup>2</sup> )	Vol. de hormigón (m <sup>3</sup> )	W probeta (N)	W probeta (N/m)
C1	10	0.14	0.35	8402.06	8418.90
C8	10	0.14	0.34	8250.79	8380.69
C3	8	0.13	0.30	7409.52	7458.00
C7	8	0.13	0.30	7374.07	7411.13
C6	6	0.10	0.25	6097.63	6125.19
C2	6	0.11	0.27	6629.97	6686.81
C4	5	0.10	0.24	5912.37	5999.36
C5	5	0.10	0.24	5959.27	5989.22

**Tabla 8.**

*Valores necesarios para crear regresión lineal*

Vt/(b*d)	1/1'
y	x
0.790	0.0025
0.937	0.0025
0.322	0.0017
0.400	0.0017
0.273	0.0013
0.187	0.0013
0.206	0.0011
0.226	0.0011

**Tabla 9.**

*Resumen de los parámetros estadísticos*

Estadísticas de la regresión	Valor
Coefficiente de correlación múltiple	0.9689
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.9389
R <sup>2</sup> ajustado	0.9287
Error típico	0.0764
Observaciones	8

**Tabla 10.**

*Interpretación de los valores k<sub>5</sub> y k<sub>6</sub>*

Parámetro estadístico	Coefficientes k	Valor
Variable X 1	k <sub>5</sub>	479.42
Intercepción	k <sub>6</sub>	-0.36

**Tabla 11.**

*Comparativa entre los datos experimentales y teóricos*

Losa	Espesor Hormigón (cm)	Vt (experimental) (kN/m)	Vt (teórico) (kN/m)	Relación Vt / Vt
C1	10	94.69	99.78	1.05
C8	10	110.91	97.10	0.88
C3	8	33.36	44.68	1.34
C7	8	40.42	43.72	1.08
C6	6	21.36	18.29	0.86
C2	6	17.09	21.23	1.24
C4	5	15.43	12.40	0.80
C5	5	17.42	12.86	0.74

**Tabla 12.**

*Coefficientes K<sub>5</sub> y k<sub>6</sub> reducidos*

Coefficiente K	Valor (reducido 5%)
k <sub>5</sub>	455.362
k <sub>6</sub>	-0.346

**Tabla 13.**

*Carga soportada; placa metálica comercial*

Espesor placa (mm)	Espesor losa (cm)	Separación entre apoyos (m)	Carga máxima (kg/m <sup>2</sup> )	Peso hormigón (kg/m <sup>2</sup> )	Peso placa (kg/m <sup>2</sup> )
1	10.00	2.2	2172.0	299.3	
	8.00		1738.0	251.3	9.82
	6.00		1324.0	203.3	
	5.00		1129.0	179.3	

Fuente: [12]

**Tabla 14.**

*Cortante obtenido de catálogo*

Espesor placa (mm)	Espesor losa (cm)	Carga (kg/m)	W (kg/m)	Vt (kg/m)	Vt (N/m)
1.00	10.00	5212.80	741.89	2977.3	29197.6
	8.00	4171.20	626.69	2398.9	23525.5
	6.00	3177.60	511.49	1844.5	18088.7
	5.00	2709.60	453.89	1581.7	15511.5

**Tabla 15.**

*Comparación de cortante*

Espesor losa (cm)	Vt (kN/m)			Exp/cata	Teo /cata
	Experimental	Teórico	Catálogo		
	Carga E	Carga E			
10	110.91	92.24	29.20	3.80	3.16
8	40.42	41.53	23.53	1.72	1.77
6	17.09	20.17	18.09	0.94	1.12
5	17.42	12.21	15.51	1.12	0.79

**Tabla 16.**

*Cortante que aporta el hormigón*

Losa	Ac (mm <sup>2</sup> )	Vc (N)	Vc (N/m)
C1	91361.58	88243.89	88420.73
C8	90500.04	87411.75	87586.92
C3	77167.53	74534.21	74683.57
C7	77167.53	74534.21	74683.57
C6	59493.66	57463.45	57578.61
C2	66199.98	63940.92	64069.06
C4	57318.09	55362.12	55473.07
C5	58039.95	56059.35	56171.69

**Tabla 17.**

*Valores de regresión lineal*

Losa	Espesor nominal (cm)	Tipo de ensayo	Vt/(b.d)	1/I'
			y	X
C1	10	M	0.7896	0.0025
C8	10	E	0.9375	0.0025
C3	8	M	0.3222	0.0017
C7	8	E	0.3995	0.0017

**Tabla 18.**

*Cortante Vt grupo 1 y 2*

Losa	Espesor nominal (cm)	Tipo de ensayo	Vt (experimental) (kN/m)	Vt (teórico) (kN/m)	teó/exp
C6	10	M	94.69	103.35	1.09
C8	10	E	110.91	100.57	0.91
C3	8	M	33.36	37.12	1.11
C7	8	E	40.42	36.33	0.90

**Tabla 19.**

*Valores de regresión lineal*

Muestra	Espesor nominal (cm)	Tipo de ensayo	Vt/(b.d)	1/I'
			y	X
C6	6	M	0.2727	0.0013
C2	6	E	0.1872	0.0013
C4	5	M	0.2060	0.0011
C5	5	E	0.2264	0.0011

**Tabla 20.**

*Cortante Vt grupo 3 y 4*

Losa	Espesor nominal (cm)	Tipo de ensayo	Vt (experimental) (N/m)	Vt (teórico) (N/m)	teó/exp
C6	10.00	M	21361.57	17931.99	0.84
C8	10.00	E	17091.07	20815.22	1.22
C3	8.00	M	15431.38	15962.92	1.03
C7	8.00	E	17417.03	16547.01	0.95

**Tabla 21.**

*Cortante Vt (ajustado) grupo 3 y 4*

Muestra	Espesor nominal (cm)	Tipo de ensayo	Vt (experimental) (N/m)	Vt (teórico) (N/m)
C6	10.00	M	21361.57	17035.39
C8	10.00	E	17091.07	19774.46
C3	8.00	M	15431.38	15164.78
C7	8.00	E	17417.03	15719.66

**Tabla 22.**

*Parámetros de análisis*

Espesor losa (cm)	Parámetros	
	"m"	"k"
5 a 10 cm	455.362	-0.346
8 a 10 cm	603.22	-0.645
5 a 6 cm	94.083	0.101