



Aplicación del esquema de hilo flexible para el cálculo de entresijos con ausencia de columna conectados con marcos

Application of the flexible thread scheme for the calculation of mezzanines with column absence connected to frameworks

Yuri Vasilevich Krasnoschekov^{a*}, Larisa Vladimirovna Krasotina^{b*}, José Luis Pulido Delgado^{c**}, Héctor Martín Durán García^{d**}

RESUMEN

En ocasiones, los edificios utilizan sistemas estructurales conectados con elementos para dar una mayor resistencia de carga; éstos consisten en pisos reforzados con la sujeción de cuerdas o hilos. El objetivo de la investigación fue encontrar una metodología viable para el cálculo del hilo flexible, tomando en cuenta el efecto dinámico asociado con la ausencia de columna. Se examinaron dos variantes dinámicas: sin cable y con cable del reforzamiento de los pisos (concreto armado) con el fin de prevenir un colapso progresivo. Para los análisis se aplicó el esquema de hilo flexible, considerando un aumento de los refuerzos debido a la falta de la columna, por lo que se utiliza un coeficiente dinámico, el cual es recomendable cuando se considera una estructura sin columnas (según la Normativa rusa ГOCT 27751-2014 [2014]). Se desarrolló y probó la metodología para calcular el coeficiente dinámico considerando una deformación inelástica. Posteriormente, se muestra el análisis numérico de construcción para evitar el colapso, concluyendo que se requiere un mayor reforzamiento del cable para asegurar su capacidad de carga en tensión y evitar la falla.

ABSTRACT

Oftentimes buildings utilize structural systems connected to elements to give them a greater load resistance; these consist of reinforced floors with the fastening of cables or wires. The objective of this research was to find a viable methodology for flexible wire calculation taking into consideration the dynamic effect associated with the absence of a column. Two dynamic variants were examined: static and dynamic reinforcement of floors (reinforced concrete) in order to prevent a progressive collapse. For analyses, the flexible wire scheme was applied considering an increase of reinforcements due to the absence of the column. A dynamic coefficient is used which is advisable when considering a structure without columns (according to the Russian standard regulation 27751-2014). The methodology was developed and tested to calculate the dynamic coefficient considering an inelastic deformation. Numerical models of construction analysis are shown to avoid collapse concluding that a greater reinforcement of the cable is required to ensure its load capacity in tension and to avoid failure.

* Universidad del Automóvil y Caminos de Siberia

** Universidad Autónoma de San Luis Potosí



Recibido: 2 de mayo de 2018;
aceptado: 25 de junio de 2018



Palabras clave:
situación de colapso, ausencia de columna, deterioro progresivo, hilo flexible, efecto dinámico.



Keywords:
collapse situation, absence of column, progressive deterioration, flexible wire, dynamic effect.



Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación. CC-BY-NC-ND

INTRODUCCIÓN

El diseño estructural básico tiene como objetivo garantizar la seguridad frente a siniestros naturales. Abarca desde la etapa de construcción hasta su funcionamiento (uso previsto de la estructura). Recientemente, con el fin de desarrollar las normas de diseño de edificios y estructuras, ha sido ampliamente discutido el problema de la durabilidad (De-Biagi 2015; Krasnoshekov, 2017), es decir, la fiabilidad en una situación de desastre, entendiendo como durabilidad a una propiedad de las estructuras para mantener la capacidad de realizar sus funciones básicas, evitando fallas y el deterioro progresivo (Raiser, 2012). Sin embargo, tanto en Rusia como en otros países, dicho termino no ha sido estandarizado para las obras de construcción (Normativa rusa ГOCT 27751-2014). La causa de una destrucción progresiva de los elementos de construcción, es consecuencia del deterioro local de componentes estructurales cuando se someten a acciones que incluyen, por ejemplo: explosiones (en incendios), sacudidas sísmicas y deslizamientos (en terrenos poco estables). Un edificio o estructura debe estar diseñado de modo que, en caso de fallar algún elemento individual, permanezca operativo durante un periodo de tiempo considerable para una acción inmediata; por ejemplo, la evacuación en caso de incendio (Klyuev *et al.*, 2012).

El cálculo estructural se hizo para el colapso progresivo de edificios y estructuras del tipo KC-3 y KC-2, con una carga viva (presencia masiva de personas). La carga viva recomendada de edificios y estructuras se encuentra en el Apéndice B de la Normativa rusa ГOCT 27751-2014. Estos incluyen, entre otros, los edificios residenciales, de oficinas, administrativos, sociales y otros, con una altura de 5 niveles o más. Para dichos edificios, usualmente se utilizan sistemas típicos estructurales conectados con elementos prefabricados de concreto (Serie 1.020-1/87). Shiyanov, Shepelin, y Kurantsov (2013), muestran un caso de análisis de durabilidad de un edificio, en donde los pisos son reforzados por la sujeción de cables o hilos. Los resultados del cálculo aproximado de los esfuerzos de agarre y desplazamiento son muy discutidos. Anteriormente, el efecto dinámico causado por la súbita eliminación del esquema de columna no era considerado, por lo que la posibilidad de utilizar sistemas estructurales conectados de marcos para edificios y construcciones del tipo KC-2 con presencia de carga

viva requiere un estudio especial sobre su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas. El objetivo de la investigación fue encontrar una metodología viable para el cálculo del esquema del hilo flexible, tomando en cuenta el efecto dinámico asociado con la ausencia de columna.

METODOLOGÍA

Modelo de durabilidad

La aplicación y la eficiencia de la metodología proporcionan un enfoque vinculado a la diversidad de modelos estructurales existentes (Krasnoshekov, Melnikova, y Ekimov, 2016). Hay dos modelos de durabilidad: el determinístico y el probabilístico.

El modelo determinista (de esperanza) es un método de estados límite que implica analizar el estado de tensión del sistema estructural, estimar la resistencia y la estabilidad en caso de colapsar uno o más elementos de soporte. Raiser (2012), trabajó con instalaciones de uso deportivo simulando una estructura tridimensional. El análisis del estado esfuerzo-deformación con eliminación de elementos de pisos realizados por la acción de valores estándar de las constantes de cargas bajo un efecto dinámico, se sugiere para condiciones extremas (de durabilidad).

Los modelos de criterios de probabilidad son indicadores de fiabilidad, estos pueden ser, por ejemplo, el índice de fiabilidad del método de dos puntos, que se determina por la fórmula:

$$\beta = \frac{(\bar{R} - \bar{F})}{\sqrt{S_R^2 + S_F^2}} \quad (1)$$

donde \bar{R} y \bar{F} - las expectativas matemáticas y capacidad de carga respectivamente S_R^2 y S_F^2 ; son la dispersión de la capacidad y la carga.

Raiser (2012), sugiere que para evaluar la capacidad de durabilidad, se puede utilizar el índice de durabilidad del tipo:

$$I = \frac{\beta_{INT}}{\beta_{INT} - \beta_D} \tag{2}$$

donde β_{INT} , β_D son índices de fiabilidad de la estructura no dañada y dañada.

El uso de modelos probabilísticos requiere la normalización de los índices de fiabilidad y capacidad de durabilidad (valores límite para diferentes situaciones). Estos valores de índice caracterizan con éxito los distintos conceptos de fiabilidad y capacidad de durabilidad (Stolyarov, 2013).

En general, el cálculo de la durabilidad se reduce al análisis de la estabilidad de edificios y estructuras contra el colapso progresivo, tomando en cuenta la deformación plástica bajo cargas extremas. En el trabajo de Shiyarov *et al.* (2013), se propone llevar a cabo el cálculo de la durabilidad en dos etapas. La primera consiste en hacer el cálculo con elementos desconectados antes de la destrucción local; en la segunda etapa, con la no linealidad física y geométrica de la acción de la carga bajo una fuerza determinada en la primera etapa, y con un aumento debido a un factor que tiene en cuenta la consideración dinámica de la destrucción local.

En el estudio de la capacidad de durabilidad de edificios con estructura de marco, se hace uso del esquema de cálculo que proporciona una rigidez y considera una falla de las columnas de la planta baja. Como resultado de los grandes desplazamientos, la construcción puede adecuarse a la nueva situación con un posible cambio del esquema de cálculo. En este caso, el esquema de cálculo del piso sobre la columna alejada se debe a grandes desplazamientos que son examinados en forma de membrana.

De-Biagi (2015), demuestra que cuando se exceden ciertas dimensiones (longitudes mayores de 12 m.) en los edificios de marcos con losas de concreto, solo se considera la combinación específica de carga que comprenden la constante *tiempo* y de *carga*. Los desplazamientos (desviación) y la anchura de la abertura de grieta en estructuras no están regulados, y la estabilidad debe garantizarse con elementos de refuerzo estructural mínimos y compuestos nodales correspondientes a la deformación máxima admisible del concreto y el refuerzo. Los criterios de capacidad considerados en este caso, son los mismos que en los cálculos convencionales de estados límite.

Actualmente, el método de cálculo de los estados lími-

te asegura la fiabilidad de los edificios y estructuras. En la última edición de la Normativa rusa ГОСТ 27751-2014 (2014), excepto el primero y segundo grupos de estados límites, se encuentran las condiciones originadas en situaciones y efectos en el espacio, por lo que el exceso lleva al deterioro de edificios con consecuencias a desastres.

Las condiciones especiales se dividen en estándar (por ejemplo, sísmica) y fallas, que surge de la operación del sistema estructural. Las condiciones especiales están incluidas en la combinación especial de carga, que permiten hacer caso omiso de la carga a corto plazo.

Se considera que la carga específica y las influencias crean las situaciones de catástrofes. Por lo tanto, se deben considerar los efectos especiales basados en la situación de emergencia calculada, correspondiente a las condiciones excepcionales de operación de construcciones, lo que puede conducir a daños ecológicos y pérdidas tanto humanas como económicas.

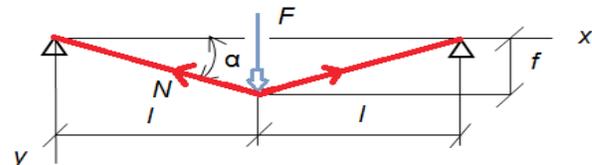
Los valores de las cargas especiales establecidas en la normativa de cálculo y el diseño de edificios, toman en cuenta los posibles deterioros de construcciones (dimensiones y cargas excesivas) (Krasnoshekov *et al.*, 2016).

RESULTADOS

Determinación de la fuerza de tracción y los desplazamientos del cable

Para el análisis estático, se utiliza la solución del problema de la tensión de las cuerdas (Krasnoshekov, 2017). La cuerda se encuentra asegurada en dos puntos por una longitud $2 \cdot l$, que tiene una tensión inicial N_0 y aplicando una fuerza F al centro del claro, por lo que se recibe una tensión adicional produciendo una deflexión f (figura 1).

Figura 1. Esquema de cálculo de la viga flexible



Fuente: elaboración propia.

Considerando la suma de proyecciones de las fuerzas sobre el eje y, teniendo en cuenta que $\text{sen } \alpha \approx \text{tg } \alpha = f/l$

$$F - 2Nf/\sqrt{f^2 + l^2} = 0 \tag{3}$$

El alargamiento se calcula, involucrando el módulo de elasticidad del material (E) y el área de sección transversal del elemento (A).

$$\Delta l = \sqrt{f^2 + l^2} - l = l(N - N_0)/EA \tag{4}$$

De la condición de la igualdad de la fuerza exterior sobre la proyección f y las fuerzas interiores sobre el desplazamiento Δl se obtiene la ecuación:

$$Ff = l(N - N_0)/EA. \tag{5}$$

Resolviendo las ecuaciones (3) y (5), se obtiene el movimiento vertical (deflexión) de la cuerda:

$$f = l(N - N_0)/EAF \tag{6}$$

El esfuerzo de tensión de la cuerda se determina con la ecuación cúbica:

$$4X^3 - (8N_0^2 - F^2)X^2 + 2N_0^2(2N_0^2 + F^2)X - F^2(N_0^4 - F^2E^2A^2) = 0 \tag{7}$$

donde $X = N^2$.

De la ecuación (7) se obtiene una expresión para la determinación del módulo de elasticidad del hilo flexible, correspondiente al valor límite: $N_u = R_{sn}A$

$$E_u = \sqrt{4N_u^6 - (8N_0^2 - F^2)N_u^4 + 2N_0^2(2N_0^2 + F^2)N_u^2 - F^2N_0^4} / F^2A^2 \tag{8}$$

El movimiento del hilo flexible considerando la fuerza F, puede ser recalculado tomando como valor inicial el valor obtenido de E_u

Tabla 1. Ejemplo del cálculo de la fuerza de agarre según la Normativa rusa 27751-2014 [2014]

Área de sección	Fuerza límite	Resistencia del cable	No = 0	F = 222 kN	Eu = 44600 Mpa (fórmula 6)	Módulo de elasticidad
A = 7,05 cm ²	Nu = 916,5 kN	Rsn = 1300 Mpa				E = 180000 Mpa

Fuente: elaboración propia.

El valor límite del módulo de flexión, se obtiene de la ecuación (9):

$$\bar{K}_{pl} = \bar{\epsilon}_{s2}E/(R_{sd} + 0.002E) \approx 4.7 \tag{9}$$

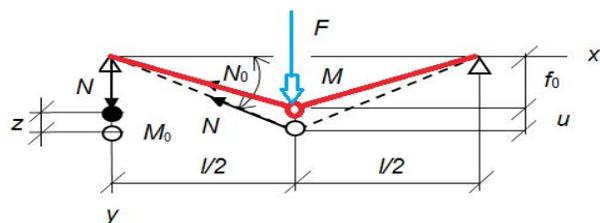
donde $\bar{\epsilon}_{s2} = 0.05$ (ley de Hooke); es el alargamiento máximo uniforme; RSD = 1560 MPa - resistencia al tirón bajo carga dinámica.

De la ecuación 6: $E = E_u$ y se determina la flecha de tracción $f = 72$ cm. Considerando que la tensión inicial de la cuerda $N_0 = 0$; por lo que se concluye que, sin aumentar el área de la sección del cable, ésta no influye sobre la magnitud de la flecha debido a la disminución de la elasticidad.

Análisis dinámico del hilo flexible

Para el modelo de cálculo dinámico se utiliza el concepto de “hilo flexible”, según se describe en Krasnoshekov (2017). El esquema de cálculo se considera como un cable de agarre el cual tiene un extremo fijo y el otro se encuentra tensado por un bloque (se consideran hilos verticales inextensibles) (figura 2). Se supone que como resultado de la carga estática F, actúa la masa correspondiente M que se mueve a una distancia f_0 y la rigidez se produce por el esfuerzo N_0 . Debido a que la aplicación instantánea de masa M tiene lugar con movimientos de oscilación del hilo u, y la masa del contrapeso M_0 , que crea tensión en las oscilaciones de hilos N desplazados por una cantidad z.

Figura 2. El esquema de cálculo del hilo con carga dinámica



Fuente: elaboración propia.

Para resolver el problema en cuestión, se utilizan las ecuaciones diferenciales de movimiento de una partícula en la forma de:

$$My'' = \Sigma y_i \quad (10)$$

donde y'' representa la aceleración del punto en la dirección del eje y ; y_i es la proyección de las fuerzas aplicadas en dirección del eje y . Las masas M_0 y M obtenidas por las fuerzas N y F debido a la aceleración g de la caída libre.

Debido al pequeño valor del ángulo α se considera que sin $\alpha \approx \text{tg } \alpha = 2f/l$ y la ecuación 10 tienen el tipo:

$$\begin{aligned} N_0 + M_0 z'' &= N \\ (F - Mf'')/4f &= N \end{aligned} \quad (11)$$

Considerando que el desplazamiento vertical total durante la vibración sería $f = f_0 + u$, considerando que hubiese algún desplazamiento anterior (peso propio).

Depende de los desplazamientos z y f que está determinada por la expresión:

$$z = 2 \left(\sqrt{(l/2)^2 + f^2} - \sqrt{(l/2)^2 + f_0^2} \right) - Z/c \quad (12)$$

en la que $Z = N - N_0$ - componente variable de la tensión del hilo durante la vibración; $c = EA/l$ - fuerza unitaria del alargamiento elástico; Z/c - componente variable de la deformación del hilo.

En la fórmula 12, la expresión entre paréntesis se convierte mediante la adición de una suma de términos radicando f^4/l^2 y f_0^4/l^2 , permitiendo la igualdad de los términos adicionales que determina el grado de aproximación de la fórmula 12 cuando se convierte a una forma más conveniente.

$$z = 2(f^2 - f_0^2)/l - Z/c \quad (13)$$

Se considera que la expresión f del componente f_0 es constante, obteniendo $f'' = u''$.

La segunda ecuación 11 se puede escribir como:

$$Fl/4 - Mu''/4 = Zf_0 + N_0f_0 + Zu + N_0u \quad (14)$$

Dado que $Fl/4 = N_0f_0$ (ver figura 2), y despreciando el producto Zu , obteniendo

$$Z = -Mlu''/4f_0 - N_0uf_0 \quad (15)$$

Sustituyendo z , queda como:

$$z = 2(2f_0u - u^2)/l - Z/c \approx 4f_0u/l - Z/c = (Ml/4f_0c)u'' + (4f_0/l + N_0/f_0c)u \quad (16)$$

Sustituyendo (15) y (16) en la primera ecuación (11), se obtiene la ecuación diferencial.

$$u^4 + b_1u'' + b_2u = 0 \quad (17)$$

donde:

$$b_1 = (N_0 + 4f_0^2c/l)4/Ml + c/M_0; \quad b_2 = 4N_0c/MM_0l$$

De las soluciones de la ecuación (17) en Klyuev *et al.* (2012) se obtienen las expresiones para las características de vibración: Frecuencia

Amplitud

$$\omega_{1,2} = \sqrt{b_1/2 \pm \sqrt{b_1^2/4 - b_2}} \quad (18)$$

Parámetros de cálculo

$$A_1 = k(\omega_2^2 - 4N_0/Ml)/(\omega_2^2 - \omega_1^2) \quad (19)$$

$$h_1 = Ml/4f_0c; \quad h_2 = 4f_0/l + N_0/f_0c \quad (20)$$

$$z''_{max} = \pm 2\omega_1^2 A_1 (h_1\omega_1^2 - h_2)d \quad (21)$$

Tensión máxima del hilo

$$z_{max} = M_0 z''_{max} \quad (22)$$

Tabla 2. Parámetros de valores para el análisis dinámico

Longitud	k = f _g	M	MO	Fuerza	Aceleración Máxima	Frecuencia	Amplitud	Parámetros diseño		Coeficiente	
								b1	b2		
12 m	0,72 m	22,6 Mg	93,4 Mg	2620 kN/m	4,49 m/s ²	ω ₁ = 3,01 s ⁻¹ ; ω ₂ = 6,46 s ⁻¹	A ₁ = 0,62 m	b ₁ = 0,036 s ²	b ₂ = 0,726 s ²	50,84 s ²	379,12 s ²

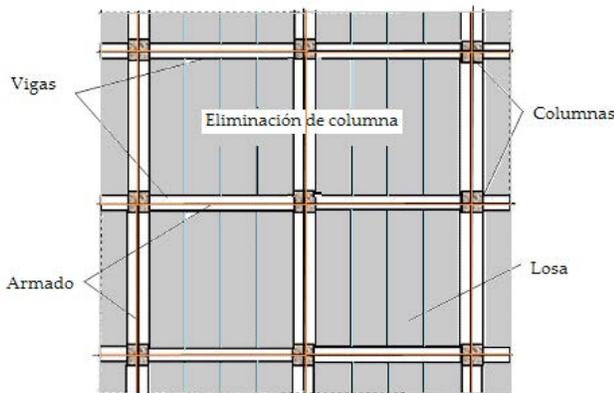
Fuente: elaboración propia.

El incremento máximo de la tensión del hilo durante las oscilaciones $Z_{max} = 420$ kN y el coeficiente dinámico $kd = 1 + 420 / 916,5 = 1,46$. Esto significa que se tienen que reforzar las uniones del cable casi 1,5 veces.

Opción reforzamiento de la construcción con marco de estructura

Para buscar soluciones más efectivas del diseño de la estructura, se usa un refuerzo de clase A 500 (Batalova, 2016). En la figura 3 se muestra el esquema constructivo de piso de la estructura conectada con marco, diseñado para una carga de servicio; mejorando la eficiencia del reforzamiento del armado proporcionado a lo largo de los ejes del piso.

Figura 3. Esquema constructivo de piso de la estructura conectada con marco



Fuente: elaboración propia.

Al retirar la columna central, parece una situación de colapso que se produce con el aumento de la extensión de la estructura $l=12$ m. Los elementos de piso, incluso en una acción prolongada única de carga, pierden la capacidad de trabajar en flexión, por lo que el esquema de superposición calculado sobre la columna se considera como un hilo flexible (cable). La tensión del hilo $N_u = 1079,4$ kN que se determina considerando un coe-

ficiente dinámico $kd = 1,1$. La longitud del cable $l=12$ m en cada dirección y que se carga en el medio del tramo por una fuerza $F = 135$ kN.

Tabla 3. Características de la estructura piso

Dimensión	Carga uniformemente distribuida	Módulo de Elasticidad	Tipo de Acer	Área de Acero	Esfuerzo de Fluencia
6 X 6 m.	12 kN/m	200 Gpa	A 500	19,625 cm ²	500 Mpa

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta, $N_o = 0$ por la fórmula (8) condición específica del valor $E_u =$ módulo de elasticidad 70.460 MPa. Este valor corresponde al coeficiente de plasticidad $K_{pl} = 200000/704600 \approx 2,84 < \bar{K}_{\phi} < 10$ (Krasnoshekov *et al.*, 2016).

Tabla 4. Parámetros de valores para el cálculo dinámico

Longitud	k = f _g	M	MO	Fuerza	Aceleración Máxima	Frecuencia	Amplitud	Parámetros diseño		Coeficiente	
								b1	b2		
6 m	0,375 m	13,8 Mg	110 Mg	11520 kN/m	4,49 m/s ²	ω ₁ = 4,31 s ⁻¹ ; ω ₂ = 12,12 s ⁻¹	A ₁ = 0,35 m	b ₁ = 0,0096 s ²	b ₂ = 0,375 s ²	165,58 s ²	2730 s ²

Fuente: elaboración propia.

El incremento máximo de la tensión del hilo durante las oscilaciones $Z_{max} = 65,3$ kN y el coeficiente dinámico $kd = 1,06 < 1,1$. Según la normativa rusa, esto significa que la necesidad de refuerzo adicional no se requiere.

CONCLUSIONES

En la investigación se pudo identificar una metodología para el análisis del hilo flexible tomando en cuenta el efecto dinámico asociado con la ausencia de columna (ver valores tabla 2 y 4). Deduciendo que la falla instantánea de la columna es acompañada por la modificación de los elementos estructurales y un incremento del esfuerzo en ellos; así también, el aumento de las fuerzas de tensión se puede determinar mediante la introducción de un coeficiente dinámico según la Normativa rusa 27751-2014 (2014). En el caso del colapso de las columnas en un edificio con un marco de unión, se requiere un mayor reforzamiento y asegurar su capacidad de carga en tensión por el esquema del hilo flexible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (México) y la Universidad Estatal de Automóviles y Carreteras de Siberia (Rusia), la realización del trabajo a través de un convenio marco de intercambio y cooperación académica existente.

REFERENCIAS

- Batalova, N. A. (2016). *Estabilidad de construir estructuras. El potencial de la ciencia moderna.* (Устойчивость строительных конструкций. En ruso), 421, 98-100.
- De-Biagi (2015). Aumentar la durabilidad de estructuras utilizando la complejidad de los esquemas estructurales. (Повышение живучести сооружения с помощью усложнения конструктивных схем. En ruso). *Boletín TGACI*, 4, 92-100.
- Klyuev, N. V., Bukhtiyarova, A. S., y Kolchunov, S. I. (2012). Estudio de la durabilidad de marcos y diseños espaciales de concreto armado en estados límites. (Изучение прочности рамок и пространственных конструкций железобетона в предельных состояниях. En ruso). *Ingeniería Industrial y Construcción*, 2, 55-59.
- Krasnoshekov, Y. G. (2017). *Cálculo de edificios de marco ante un colapso progresivo por falla de la columna 1* (Расчет каркасного здания на прогрессирующее обрушение при аварийном отказе колонны. En ruso). 54-58.
- Krasnoshekov, Y. V., Melnikova, S. O., y Ekimov, A. A. (2016). La durabilidad de un edificio de varios pisos con un marco de unión. (Живучесть многоэтажного здания со связевым каркасом. En ruso). *Boletín SIBADI*, 2 (48), 100-104.
- Normativa rusa ГОСТ 27751-2014 (2014). La fiabilidad de las estructuras y cimientos de los edificios. Principales disposiciones estándar (Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. En ruso). Recuperado de <http://docs.cntd.ru/document/1200115736>
- Raiser, V. D. (2012). Sobre el problema de la durabilidad de edificios y estructuras. (К проблеме живучести зданий и сооружений. // Строительная механика и расчет сооружений. En ruso). *Mecánica estructural y cálculo de estructuras*, 5, 77-78.
- Shiyanov, S. M., Shepelin, P. V., y Kurantsov, V. V. y Kormilitsin A. (2013). *Acerca de la durabilidad de estructuras con sistemas complejos. La tecnología dual*, (О живучести несущих конструкций сложных технических систем. En ruso) 1 (67), 17-19.

Stolyarov, N. N. (2013). Aumento de la capacidad de supervivencia de las estructuras de concreto armado en el contexto de situaciones de emergencia. BST. (Повышение выживаемости железобетонных конструкций в условиях чрезвычайных ситуаций. En ruso). *Boletín de equipos de construcción*, 5 (945), 59-63.

NOTAS DE AUTOR

- ^a Doctor en Ingeniería Civil por la Universidad Siberiana de Automóviles y Carreteras SIBADI, Omsk, Rusia, 196. Profesor de tiempo completo e investigador en el Departamento de Ingeniería Civil del SIBADI. Líneas de Investigación: diseños de concreto armado, sistemas constructivos y bases probabilísticas de cálculo de construcciones de edificios. Correo electrónico: kafck@mail.ru
 - ^b Doctora en Ingeniería Civil por la Universidad Siberiana de Automóviles y Carreteras SIBADI, Omsk, Rusia, 1981. Jefe del área y profesora de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Civil del SIBADI. Líneas de investigación: análisis numérico, diseño concreto armado y vibraciones. Correo electrónico: krasotina.larisa@gmail.com
 - ^c Doctor en Ingeniería Mecánica de la Construcción por la Universidad Estatal de Rostov del Don, Rusia, 2001. Residencia postdoctoral en la Pontificia Universidad de Chile (Santiago de Chile, 2008), residencia postdoctoral en la Universidad Estatal de Omsk, (Rusia 2016). Actualmente es profesor e investigador de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Líneas de investigación: vibraciones mecánicas, construcción y métodos numéricos. Correo electrónico: jpulido@uaslp.mx
 - ^d Doctor en ingeniería rural por la Universidad Politécnica de Madrid, España, 1997. Profesor e investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y miembro del SNI. Líneas de investigación: Energía y tecnología. Correo electrónico: hduran@uaslp.mx.
- Autor de correspondencia.**