

Propiedades que definen los materiales resilientes en arquitectura

Defining the materials properties resilient in architecture

Oscar Cortés Cely

Resumen



En El artículo, a partir del estudio de las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y ambientales de algunos materiales de construcción, propone un nuevo enfoque del concepto de resiliencia en el campo de la arquitectura.

Se analizan una serie de variables que permiten establecer criterios de selección para los materiales bajo el concepto de resiliencia, haciendo énfasis en cuatro aspectos: i) estructuras y cerramientos más seguros, ligeros y sanos en términos de la salud de los ocupantes;

ii) fácil reconstrucción de estructuras luego de un evento catastrófico; iii) bajo impacto ambiental causado por la generación de materiales de construcción; y iv) eficiencia en cuanto al ahorro de recursos y energía. Se concluye que las variables empleadas para determinar las propiedades de un material resiliente abren un nuevo enfoque en la arquitectura del siglo XXI.

Palabras clave: Materiales, Resiliencia, Propiedades, Ambiente, Eficiencia.

Abstract



The article proposes a new approach to the concept of resilience applied to architecture from the study of the physical, mechanical, thermal and environmental properties of some materials and the variables applied in the order

stated in the article. The analysis of the variables for describing the selection criterion applied to architecture under the concept of resilience formulated for research in the following materials: i) structures and safer, lighter and healthier enclosures in terms of the health of the occupants; ii) easy rebuilding structures after a catastrophic event; iii) low environmental impact caused by the generation of materials; and iv) efficiency in terms of saving resources and energy. We conclude that the variables used to determine the properties of a resilient material open a new focus on the architecture of the XXI century.

Keywords: Materials, Resilience, Property, Environment, Efficiency..

Recibido / Received: Febrero 16 de 2015 Aprobado / Aproved: Marzo 09 de 2015

Tipo de artículo / Type of paper: Artículo de investigación científica y tecnológica terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad Católica de Colombia sede Bogotá.

Autor para comunicaciones / Author communications: Oscar Cortés-Cely, arqortescely@gmail.com

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Introduction

La resiliencia, como concepto aplicado a la arquitectura, es relativamente nuevo. Sin embargo, algunas investigaciones adelantadas en Estados Unidos y Europa aportan, desde la mecánica de materiales, diversas aplicaciones del concepto de resiliencia en ese campo. Ejemplo de lo anterior son: el diseño de juntas estructurales para minimizar el riesgo por fenómenos naturales como vientos y tormentas en las edificaciones; la creación de estructuras ligeras para reducir el peso de las construcciones; o el empleo de materiales compuestos como materiales de acabado en espacios arquitectónicos, por su capacidad para mitigar el impacto de fenómenos físicos como el ruido y el calor, con el fin de incrementar el confort térmico y acústico de las edificaciones en las grandes ciudades.

En los Estados Unidos el diseño de nuevos materiales y sistemas ‘resilientes’ se ha centrado en la creación de paneles y juntas que generen protección frente a fuertes impactos naturales y urbanos, de manera que la resiliencia de los materiales reduce los riesgos a los que se exponen las edificaciones. En Europa, los países que más han avanzado en la aplicación de la resiliencia en la arquitectura han sido Francia y Alemania; el primero en la creación de estructuras ligeras y juntas estructurales a partir de materiales compuestos de matriz orgánica (polímeros) y uniones mecánicas que posibiliten el libre movimiento de las estructuras de cerramiento. Alemania por su parte, ha profundizado en el diseño de materiales de origen natural y orgánico; fibras y polímeros que han permitido el diseño de paneles multifuncionales que se adaptan al clima, al igual que materiales para la construcción que se puedan reciclar o sean biodegradables.

La múltiple aplicación del término resiliencia

Etimológicamente, el vocablo resiliencia proviene de prefijo *re-* y la palabra latina *resilio*, que significa saltar, rebotar [1]. De manera que la resiliencia alude a algo que vuelve ‘de un salto’ a su estado original [2]. Esta capacidad se aplica por igual en diversas y muy distintas disciplinas.

En el campo de la mecánica se asigna el concepto de resiliencia a los resortes, por ejemplo, ya que tienen la

capacidad de recobrar su forma luego de estar sometidos a largos períodos de presión. En la ingeniería de vías se considera que los pavimentos, que deben soportar continuamente cargas y descargas del tráfico vehicular, sufren deformaciones permanentes, o plásticas, y deformaciones recuperables, es decir, resilientes [3]. En este campo de investigación se realizan estudios a nivel micro-mecánico para incrementar el Módulo de Resiliencia¹ de los materiales granulares utilizados en los pavimentos destinados a carreteras y pistas de aterrizaje, con el fin de hacerlos más flexibles, y por ende, más durables [4].

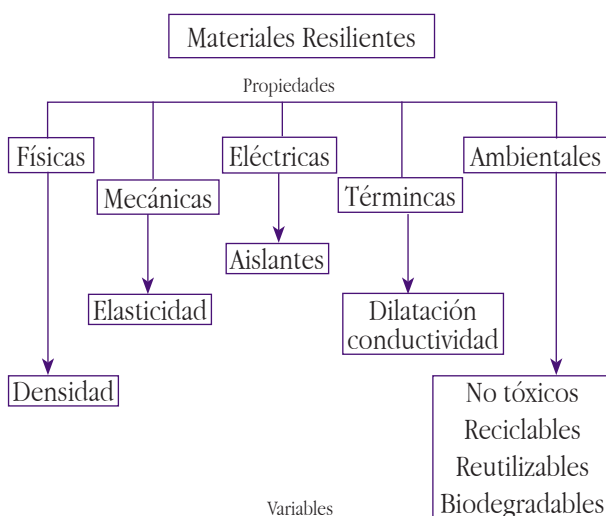
En las ciencias sociales y la psicología el término resiliencia se refiere a la “Capacidad humana de asumir con flexibilidad situaciones límite y sobreponerse a ellas [5]. Y es un campo en el que es sobresaliente la literatura científica. Por su parte la ecología recurre al término resiliencia para describir la capacidad de un ecosistema para absorber las perturbaciones a las que es sometido, sea por incendios, terremotos, inundaciones, plagas entre otros factores disturbiantes, retornando en un tiempo variable a un estado próximo al que se encontraba antes del disturbio [6]. De igual manera el concepto de resiliencia ha permeado los campos del urbanismo y la planificación urbano territorial, constituyendo uno de los elementos clave del concepto de ecología urbana, al cual se han suscrito incontables investigadores de todo el mundo, que trabajan en pro de ciudades realmente sustentables [7]. Pero para que existan ciudades verdaderamente resilientes es necesario que las edificaciones, que las conforman, sean de una u otra manera igualmente resilientes. En esta línea de pensamiento se puede afirmar que, para que una edificación sea resiliente, requiere de materiales resilientes en su construcción. De esta manera abordamos el objetivo del artículo que es el de establecer las propiedades que definen un material resiliente en la arquitectura.

1. Concepto elaborado a partir de los aportes de Hveem y Carmany, 1948; Seed et al, 1955 y Seed et al, 1962, el cual se define como “la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable” (Garnica et al, 2001: 10).

Concepto de resiliencia formulado para este artículo

A partir de los avances tecnológicos, como la nanotecnología, y gracias al descubrimiento de nuevos materiales que otorgan propiedades de fuerza, resistencia y menor peso a las construcciones, aparecen las fibras, los plásticos, las resinas y los nanotubos de carbón; que combinados unos con otros se denominan nano compuestos [8]. Estos materiales pueden ser aplicados a la arquitectura. Ejemplo de ello es la arquitectura neumática, la cual se caracteriza por construirse con materiales inflables de gran resistencia, que no revisten riesgo para las personas que los ‘habitan’. Tanto los nuevos materiales, como los que por tradición se emplean en las construcciones arquitectónicas, pueden aportar a las edificaciones propiedades y características que se acoplan al concepto de resiliencia. Para identificar dichas características, desde la investigación se plantearon cinco variables que están estrechamente relacionadas con las cualidades de cualquier material, y que permiten evaluar las propiedades de los materiales que se emplean en la arquitectura, así como el grado de resiliencia que cada material puede aportar a las construcciones (Diagrama 1).

Diagrama 1. Propiedades de los materiales resilientes [9].



Metodología

Inicialmente se seleccionaron siete materiales de construcción que configuran la arquitectura del claustro de la Universidad Católica de Colombia, en Bogotá: acero

estructural, aluminio, concreto, ladrillo, madera, mortero y vidrio. En segundo lugar se realizó un análisis de las propiedades físicas, mecánicas, térmicas, eléctricas y ambientales de dichos materiales, bajo el enfoque del concepto de resiliencia, lo cual determinó la selección de las siguientes variables: densidad, elasticidad, aislamiento, dilatación, conductividad térmica, materiales no tóxicos, reciclables, reutilizables y biodegradables. En tercer lugar se realizaron los análisis de cada material bajo los enfoques establecidos. Por último, se redactaron las conclusiones.

Resultados

Resiliencia de materiales

A diferencia de la resistencia de materiales, que involucra la capacidad de un material para soportar esfuerzos de tracción, compresión, flexión, torsión y corte, la resiliencia de los materiales se relaciona con una propiedad fundamental de la materia: la elasticidad. Algunos materiales poseen alta resiliencia porque sus propiedades mecánicas les permiten grandes deformaciones, luego de las cuales, retornan a su estado original. En consecuencia con lo anterior, la metodología del artículo se basa en el análisis de una serie de propiedades que son determinantes para especificar las cualidades y atributos que deben tener los materiales resilientes. Las propiedades a estudiar son: físicas, mecánicas, eléctricas, térmicas y ambientales, y las variables seleccionadas están vinculadas al objetivo trazado en la investigación.

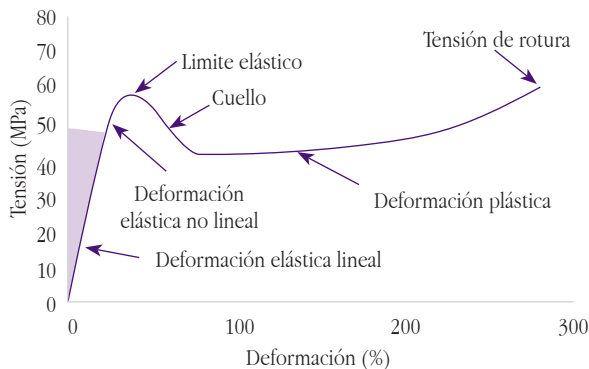
Propiedades físicas de los materiales resilientes

Las propiedades físicas de cualquier material son inherentes a su naturaleza, y ellas establecen las características propias de ese material que son medibles y cuantificables. El peso, la masa y el volumen se consideran variables importantes, sin embargo, la densidad del material es la variable que indica si un material es ligero o pesado; y es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. La unidad de medida para la densidad, en el sistema internacional, es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3).

Propiedades mecánicas de los materiales resilientes

Dentro de las propiedades mecánicas de los materiales encontramos que la elasticidad conforma la principal variable para determinar si un material es resiliente: la elasticidad es una propiedad la cual permite que un material recupere su forma original cuando deja de actuar la fuerza que la deformaba. Un material muy elástico, se caracteriza, “por recobrar más o menos su extensión y forma, tan pronto como cesa la acción de la fuerza que las deformaban” [5]. (Diagrama 2).

Diagrama 2. Relación entre la tensión y la deformación. La resiliencia es el área bajo la curva en la zona verde. [10].



Propiedades eléctricas de los materiales resilientes

Otro aspecto fundamental que involucra el concepto de resiliencia, es el de prever y mitigar los riesgos a los cuales están expuestas las edificaciones. En consecuencia, los materiales que poseen un mayor índice de resistencia eléctrica se pueden considerar más resilientes que los que son buenos conductores, puesto que en una situación de catástrofe, al ‘aislar’ la electricidad, protegen a sus habitantes. La arquitectura, si pretende ser resiliente, debe recurrir a materiales que sean excelentes aislantes de la electricidad.

Propiedades térmicas de los materiales resilientes

Dos características son determinantes dentro de las propiedades térmicas: la dilatación y la conductividad.

La primera hace referencia a la física del material, y se caracteriza por el “aumento de longitud, superficie o volumen de un cuerpo por separación de sus moléculas con disminución de su densidad” [5]. Por su parte, la conductividad se refiere a la “capacidad de un material para conducir calor a través de su estructura interna y se expresa en $W/(m \cdot K)$, Watt (metro x kelvin), [11].

Propiedades ambientales de los materiales resilientes

Los materiales que se emplean en la arquitectura, y que están dentro de la categoría ambiental, son los que involucran cuatro características: NO tóxicos, reciclables, reutilizables y biodegradables. Un material es tóxico cuando “produce gran impacto en el ambiente y no es biodegradable, puede resultar venenoso para los seres vivos, contamina el agua, el suelo y la atmósfera” [12]. Por oposición, los materiales no tóxicos son los que no son venenosos para ninguna clase de ser vivo. La capacidad de reciclaje de un material depende de su estructura física, que permite que sea sometido a un nuevo proceso de re-fabricación para volverlo a utilizar. Desde la tecnología el reciclaje es “someter repetidamente una materia a un mismo ciclo, para ampliar o incrementar los efectos de este” [5]. La reutilización se refiere a la capacidad de un material para ser utilizado luego del desmantelamiento de la arquitectura que lo contenía, y con la función que desempeñaba anteriormente, o con otros fines. Por último, un material es biodegradable cuando “se descompone por un proceso natural biológico” [13].

Aplicación de las propiedades de materiales en el contexto de la edificación resiliente

En el primer artículo de la investigación se plantea la edificación resiliente como: “una construcción orientada a la sostenibilidad, que tiene la capacidad de adaptarse a las necesidades de habitabilidad de los usuarios y a los diferentes cambios del ambiente” [14].

La aplicación del modelo de evaluación resiliente se aplicará en las edificaciones del Claustro de la Universidad Católica de Colombia, en la ciudad de Bogotá. Los materiales con los cuales se construyó la edificación

antigua y los edificios que configuran la manzana y que son posteriores al edificio antiguo son: acero estructural, aluminio, concreto, ladrillo (en un alto porcentaje, todas las fachadas están construidas en ladrillo tolete), madera, mortero y vidrio. En consecuencia, los materiales que se analizan en el presente artículo corresponden a los mencionados anteriormente y que a la fecha continúan configurando la imagen de las edificaciones después de 50 años de uso. En las siguientes tablas se especifican las unidades y los datos numéricos de las variables descritas en el apartado de propiedades; densidad, módulo de elasticidad y coeficientes de conductividad y dilatación térmica (Tablas 1, 2, 3 y 4).

Densidad

Para la evaluación del factor de resiliencia, esta propiedad define la masa sobre el volumen de un material: “la densidad afecta el desempeño térmico de los materiales; es un valor fundamental del cual se deducen otras propiedades, como: la inercia (capacidad de un material para conservar y ceder energía calorífica) y la conductividad térmica (capacidad de un material para conducir calor a través de su estructura interna)” [15]. El acero es el material de mayor densidad y la madera el de menor densidad: el acero y la madera tienen una característica común son de baja inercia térmica, el concreto y el ladrillo por el contrario son los dos materiales que tienen alta inercia térmica por su estructura interna, estos dos materiales tienen la capacidad de absorber energía calorífica (masa térmica), el comportamiento inverso se presenta en el aluminio y el vidrio con densidades similares; tienen baja inercia térmica (Tabla 1).

Tabla 1. Densidad de materiales. [16].

Material	Densidad Kg/m ³
Acero	7.760
Aluminio	2.700
Concreto	2.400
Ladrillo	1.800
Madera	600
Mortero	2.130
Vidrio	2.500

El módulo de elasticidad

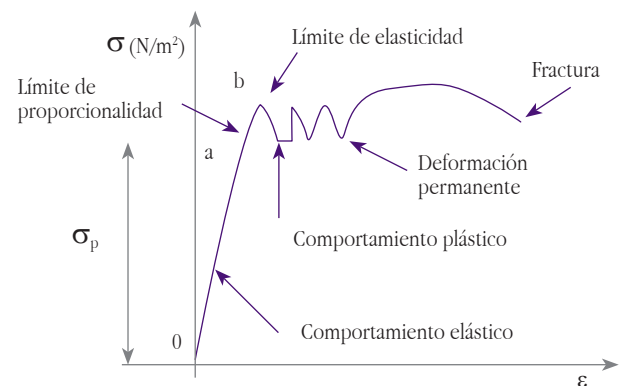
El material que presenta el mayor índice de elasticidad es el acero y el mortero el material que presenta el menor índice de elasticidad: “el módulo de elasticidad es la medida de la capacidad elástica de un material, mientras mayor el valor (módulo), más rígido el material. A la inversa, los materiales con valores bajos son más fáciles de doblar bajo carga” [17]. (Tabla 2). Dentro del factor de resiliencia se considera que los materiales elásticos son los más favorables: recuperan su forma original cuando se libera la fuerza que se ejerce sobre él, son materiales con memoria; su estructura interna no se ve alterada, pero se pueden estirar, un buen ejemplo es la guadua [18].

Tabla 2. Módulo de elasticidad de materiales. [19].

Material	Módulo de elasticidad kg/cm ²
Acero	E=2100000
Aluminio	E=700000
Concreto	E=390000
Ladrillo	E=350000
Madera	E=162500
Mortero	E=40000
Vidrio	E=700000

El diagrama 3 muestra la relación entre dos fuerzas: tensión y deformación, la primera determina la fuerza por unidad de superficie en una sección determinada de un material. La deformación: es el cambio de forma de la estructura interna de un material; se mide como la extensión fraccional perpendicular a la sección transversal [18].

Diagrama 3. Diagrama tensión – deformación [20]



Coefficiente de conductividad térmica

La conductividad, se refiere al coeficiente de transmisión térmica que tiene un material; en las tablas 3 y 4 se presentan los índices de conductividad y dilatación térmica de los materiales analizados, el aluminio alcanza el mayor coeficiente de conductividad térmica, es decir que es un material que conduce el calor a través de su estructura interna; al contrario de la madera que es un material de baja conductividad térmica; es decir que sirve de material aislante. El concreto y el mortero con índices similares, son materiales de baja conductividad térmica, el ladrillo y el vidrio también se ubican en este rango. Para determinar el factor de resiliencia se describe la conductividad térmica como: “el flujo de calor que, atraviesa un material de caras plano-paralelas y de espesor unitario, durante una unidad de tiempo, cuando la diferencia de temperatura entre sus caras es de una unidad” [16].

Tabla 3. Conductividad térmica de materiales [16].

	Conductividad w/m°C	
Material	Acero	50
	Aluminio	200
	Concreto	1,60
	Ladrillo	0,73
	Madera	0,14
	Mortero	1,40
	Vidrio	0,95

Dilatación térmica

El concepto de dilatación está asociado directamente a las juntas de dilatación de los elementos constructivos; en la literatura se conoce también como expansión térmica: “los sólidos (materiales) aumentan de volumen cuando se incrementa la temperatura y disminuyen cuando esta descende” [21].

Tabla 4. Coeficiente de dilatación térmica de materiales [22] - [23].

	Coefficiente dilatación	a°C	-1
Material	Acero	1.2x10	-5
	Aluminio	2.3x10	-5

	Coefficiente dilatación	a°C	-1
Material	Concreto	95x10	-5
	Ladrillo	NR	
	Madera	45x10	-5
	Mortero	NR	
	Vidrio	8,5x10	-6
		NR=No registra	

Materiales aislantes eléctricos

El aislamiento como concepto pretende otorgar seguridad y buen desempeño de los materiales frente a los intercambios de energía: “un material aislante es aquel que, debido a que los electrones de sus átomos están fuertemente unidos a sus núcleos, prácticamente no permite sus desplazamientos” [24] Los aislantes son materiales que resisten el flujo de la electricidad, algunos ejemplos de materiales aislantes son: el plástico, madera, caucho, tela, aire y vidrio (Tabla 5).

Tabla 5. Materiales conductores y aislantes de la electricidad [25].

	Electricidad	
	Conductor	Aislante
Material	Acero	
	Aluminio	
		Concreto
		Ladrillo
		Madera
		Mortero
		Vidrio

Materiales No tóxicos

Desde la perspectiva y enfoque ambiental, los materiales que se implementan en las edificaciones debe ser lo más sanos posibles, es decir que los materiales de origen natural, entre otros son los que poseen una propiedades que se ajustan a los criterios de sostenibilidad y resiliencia. La herramienta para evaluar el grado de toxicidad de los materiales que se analizan a nivel global es a través del software SimaPro; el cual mide el impacto asociado a las cargas ambientales dentro de un proceso de Análisis de Ciclo de Vida [26].

Materiales reciclables

Los estudios que se han realizado en torno a la posibilidad de reciclar y reutilizar materiales son amplios en el mundo de la construcción de edificaciones, sin embargo no se ha establecido con certeza que grado de reciclabilidad realmente se pueda obtener de los materiales analizados en el presente artículo. Ejemplo de ello es el reciclado de metales “al reciclarlos se elimina el impacto ambiental causado por los procesos de extracción y minería, reduciendo el consumo de energía hasta en un 70% en el caso del acero, y hasta en un 95% en el caso del aluminio” [27]. El concreto y el ladrillo, se pueden triturar para uso de nuevos agregados o rellenos en nuevas construcciones. El vidrio se puede reciclar casi en su totalidad [28].

Materiales reutilizables

Un material al ser reutilizado no debe tener ningún proceso de transformación, solamente es re-utilizarlo en otra edificación para contribuir a la eficiencia de recursos “al final de la vida útil del edificio, facilita la reutilización de los componentes y materiales. Al diseñar y construir el edificio se define cómo se “deconstruirá” previendo que los elementos y materiales no se destruyan y puedan ser reutilizados” [27].

Discusión

Es importante subrayar que el concepto de resiliencia aplicado a la arquitectura es en la actualidad tema de exploración y debate conceptual, por tanto, la selección de las variables incluidas en la Figura 1 obedeció a una visión amplia del concepto de resiliencia, que incluye: i) estructuras y cerramientos más seguros, ligeros y sanos en términos de la salud de los ocupantes; ii) fácil reconstrucción de estructuras luego de un evento catastrófico; iii) bajo impacto ambiental causado por la generación de materiales de construcción; y iv) eficiencia en cuanto al ahorro de recursos y energía.

Los cuatro criterios anteriores y las variables expuestas en el artículo se plantean como las pautas que pueden determinar si un material aporta resiliencia a las construcciones arquitectónicas. Algunos diseñadores señalan otros criterios para definir e implementar materiales en arquitectura, por ejemplo Peter Zumthor, dedica tiempo

al estudio de los materiales que dispone el lugar para el diseño de sus proyectos. Norman Foster, realiza análisis de nuevas tecnologías que contribuyan a mitigar el impacto ambiental, y así en el mundo entero cada oficina y arquitecto traza las pautas y criterios para escoger los materiales de sus proyectos, pero muchas veces sin criterios científicos que apoyen dicha selección. Queda abierto el debate a partir de la contribución expuesta en el presente artículo en el marco de la resiliencia para establecer nuevos criterios de selección, análisis y aplicación de materiales en la arquitectura del siglo XXI.

Conclusiones

La resiliencia de materiales contribuye de manera positiva a establecer parámetros de diseño aplicados a la arquitectura bajo el enfoque ambiental en busca de la eficiencia de recursos, lo cual cumple con uno de los objetivos fundamentales que persigue la arquitectura del siglo XXI. La resiliencia de materiales está determinada al definir las propiedades y variables que se expusieron en el artículo. De los materiales analizados, se determina que: el acero estructural es flexible, y se puede reutilizar en otras edificaciones. El aluminio es un metal liviano, lo cual permite configurar estructuras de bajo peso, modulares y adaptables. El concreto y el ladrillo son materiales con gran capacidad de almacenamiento térmico, son aislantes y resistentes, y con algunos procesos de trituración se pueden reutilizar. El vidrio se puede reciclar en un alto grado, casi en su totalidad. Sin embargo la madera es el material que presenta los mayores atributos que garantizan el concepto de material resiliente: ligero y resistente; las fibras están dispuestas longitudinalmente, lo cual permite absolver cargas de tracción, compresión y flexión, admite gran versatilidad estructural, aplicaciones y métodos constructivos. Es un material que se puede modular, acoplar y ensamblar, es un material renovable, presenta baja conductividad térmica y alta capacidad de almacenamiento de calor, es un buen aislante térmico [15].

Referencias

- [1] Spes. *Diccionario VOX Latino-Español*. Barcelona: Spes, 1994.
- [2] J. L. Fernández, and A. Nerea. *Cultivar la resiliencia. Los aportes de la agricultura urbana a las ciudades*

- en transición*. Papeles de relaciones eco sociales y cambio global, n° 119, pp. 131-143, 2012.
- [3] P. A. Garnica, G. N. Pérez, and L. A. Gomes, *Módulo de Resiliencia en Suelos Finos y Materiales Granulares*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCI) - Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Sanfandila, México, n° 142, pp. 58, 2001.
- [4] H. A. Rondón, and F. Reyes *Comportamiento resistente de materiales granulares en pavimentos flexibles: estado del conocimiento*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 6, n° 11, pp. 66-90, 2007.
- [5] Real Academia Española, RAE. Enero 2015. [Online]. Available: <http://www.rae.es/>.
- [6] A. Calvente. *Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad*. Universidad Abierta Latinoamericana- UASIS, 2007.
- [7] M. Duque, and D. O. Sánchez. *Análisis crítico del concepto de ecología urbana*. Revista Facultad de Ciencias Básicas Universidad Militar Nueva Granada, vol. 8, n° 1, pp. 134-149, 2012.
- [8] N. Takeuchi. *Nanociencia y nanotecnología: La construcción de un mundo mejor átomo por átomo*. Fondo de cultura económica. México, 2009.
- [9] A. Miravete. *Los nuevos materiales en la construcción*. Reverté. Barcelona, 2002
- [10] Universidad Politécnica de Valencia. Enero 2015. [Online]. Available: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html.
- [11] NETZSCH, Enero 2015 [Online]. Available: <http://www.netzsch-thermal-analysis.com/en/materials-applications.html>.
- [12] G. Wadel, J. Avellaneda, and A. Cuchí. *La Sostenibilidad en la Arquitectura Industrializada: cerrando el ciclo de los materiales*. Revista Informes de la Construcción, vol. 62, no. 517, pp. 37-51, 2010.
- [13] Wordreference, Enero 2015 [Online]. Available: <http://www.wordreference.com/definicion>
- [14] O Cortés, and R. Cubillos. *Evaluación de la Eficiencia a partir del Análisis del Factor de Resiliencia en las Edificaciones en Bogotá*. 3° Congreso Internacional de Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable, Macdes. Cuba. 2014
- [15] M. Hegger, H. Drexler, and M. Zeumer. *Materiales*. Gustavo Gili. Barcelona, 2010.
- [16] Sol-arq. Enero 2015 [Online]. Available: <http://www.sol-arq.com/index.php/caracteristicas-materiales>.
- [17] [17] NewComb Spring Corp. Enero 2015 [Online]. Available: <http://www.newcombspring.com/spring-materials.html>.
- [18] P. Silver, and W. McLean, *Introducción a la tecnología Arquitectónica*. Parramón. Barcelona, 2008.
- [19] Construaaprende. Enero 2015 [Online]. Available: <http://www.construaaprende.com/docs/tablas/modulos-elasticidad>
- [20] Metalografía. Enero 2015 [Online]. Available: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/31/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>
- [21] Patología + Rehabilitación + Construcción. Enero 2015 [Online]. Available: <http://www.patologias-construccion.net/>.
- [22] Coeficientes de dilatación térmica. Enero 2015 [Online]. Available: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/coefidilat.pdf.
- [23] Tablas y Constantes. Enero 2015 [Online]. Available: <http://www.galeon.com/profedemateyfisica/tablas.pdf>.
- [24] Electropar. Enero 2015 [Online]. Available: <http://www.electropar.co.nz/events/>.
- [25] Erenovable. Enero 2015 [Online]. Available: <http://erenovable.com/materiales-conductores-y-materiales-aislantes/>.
- [26] E. Peris. *Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials*. *Building and Environment*, vol. 42, no. 3, pp. 1329-1334, 2007.
- [27] E. Rocha, E. *Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y ICA*. Revista Nodo, vol. 6, no. 11, año 6, pp. 99-116, 2011.
- [28] El reciclaje. Enero 2015 [Online]. Available: <http://elreciclaje.org/content/reciclaje-de-vidrio>.

El Autor



Oscar Cortés Cely

Arquitecto, candidato a magister en arquitectura bioclimática de la Escuela de Arquitectura y Diseño de América Latina y el Caribe, Isthmus. Miembro del grupo de investigación Sostenibilidad, Medio Ambiente y Tecnología. Docente Investigador de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Colombia 2006 a 2015. Diseñador Independiente. Correo electrónico: oacortes@ucatolica.edu.co

