



El Sistema Internacional de Unidades (SI) y su aplicación en la Ingeniería Civil y Estructural en Costa Rica

Daniel Johanning Cordero, Asistente de Ingeniería

Rolando Castillo Barahona, Coordinador

Correo electrónico: rolando.castillo@ucr.ac.cr

Programa de Ingeniería Estructural



en casi todo el mundo. Estas organizaciones son: la Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM), el Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM) y la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM, por sus siglas en francés). (BIPM, 2014).



Figura 1. Uso del Sistema Internacional de Unidades alrededor del mundo

Fuente: <http://www.realclearscience.com/>

Introducción

El Sistema Internacional de Unidades, abreviado como SI y denominado de aquí en adelante como Sistema Internacional, es el sistema de pesos y medidas reconocido como sistema oficial por la gran mayoría de países a nivel mundial, incluido Costa Rica (ver Figura 1). Únicamente tres países no lo han adoptado de manera oficial: Estados Unidos, Myanmar y Liberia (CIA, 2013).

La administración del Sistema Internacional está a cargo de tres organizaciones quienes velan por la estandarización y la implementación del sistema

El Sistema Internacional surgió en 1960, luego de que la Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM) realizara una revisión del sistema MKS (metro - kilogramo - segundo), que corresponde a una variante más antigua del sistema métrico en la que todas las unidades se definían en términos de tres unidades fundamentales: metro, kilogramo y segundo (NIST, 2000). A estas tres unidades, se agregaron cuatro unidades base adicionales para conformar las siete unidades fundamentales del sistema SI, mismas que son presentadas más adelante.

Como ya se mencionó, Estados Unidos es uno de los tres países que no ha adoptado oficialmente el Sistema Internacional. Ellos continúan utilizando el Sistema de Unidades Tradicionales de Estados Unidos o United States Customary System (USCS), el cual se basa en unidades anglosajonas utilizadas por el antiguo Imperio Británico. (FPSI, 2016).

Otros países como el Reino Unido o Canadá, a pesar de haber adoptado oficialmente el Sistema Internacional, todavía utilizan unidades del Sistema Imperial (también basado en unidades anglosajonas) para ciertos usos específicos. En el Reino Unido, por ejemplo, la señalización de carreteras aún se efectúa en unidades imperiales. (UKMA, 2013).

A pesar de que el Sistema Internacional es el sistema de pesos y medidas oficial de Costa Rica, éste aún no ha sido implementado en su totalidad. Como se verá más adelante, muchos ingenieros estructurales y civiles costarricenses emplean unidades pertenecientes al Sistema Métrico Gravitacional (SMG), también conocido como Sistema Técnico de Unidades, el cual utiliza algunas unidades que no son parte del Sistema Internacional.

La presente nota técnica tiene el objetivo de recordar a la comunidad ingenieril de Costa Rica que el Sistema Internacional es el sistema de medición oficial en el país. Primero se hace una mención breve de la normativa nacional existente respecto al Sistema Internacional. Seguidamente, se ofrece una corta explicación de los principales sistemas de pesos y medidas utilizados alrededor del mundo, haciendo énfasis en el Sistema Internacional al explicar sus principales características, ventajas y reglas de escritura. Por último, se incluyen recomendaciones para la aplicación correcta del sistema, específicamente en la ingeniería civil y estructural.

La información incluida en este boletín fue utilizada en la preparación de la ficha técnica titulada: *Conversión de Unidades al Sistema Internacional*, la cual puede ser utilizada como documento de referencia por ingenieros civiles/estructurales y estudiantes de la carrera.

El uso del Sistema Internacional de Unidades en Costa Rica

El Sistema Internacional de Unidades es el sistema oficial de pesos y medidas en Costa Rica desde 1973, según lo establece la Ley N° 5292 publicada el 9 de agosto de ese año. De esta ley se destaca lo siguiente:

Artículo 1°.- Se adopta para uso obligatorio en la República, con exclusión de cualquier otro sistema, el Sistema Internacional de Unidades, denominado internacionalmente bajo las siglas "SI", basado en el Sistema Métrico Decimal, en sus unidades básicas, derivadas y suplementarias de medición.

Artículo 4°.- En toda actividad agrícola, comercial o industrial, sólo podrán utilizarse las unidades de medición autorizadas por la presente ley.

Estos dos artículos ponen en evidencia que en Costa Rica no se permite el uso de otro sistema de medición que no sea el Sistema Internacional.

Con el fin de definir y dar a conocer las magnitudes, unidades, símbolos y reglas del Sistema Internacional, el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC) publicó en el año 2010 el Reglamento Técnico *RTCR 443:2010 Metrología. Unidades de Medida. Sistema Internacional (SI)*, el cual es de aplicación obligatoria para todas las actividades en las que se utilicen unidades de medida.

La información incluida en dicho reglamento se basa en las definiciones y características del Sistema Internacional establecidas por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM), las cuales son presentadas más adelante.

Descripción de algunos Sistemas de Pesos y Medidas

A continuación se describen brevemente algunos de los principales sistemas de unidades utilizados en el mundo.

a. Sistema Imperial de Unidades: es un sistema de unidades no métrico basado en unidades de medición anglosajonas más antiguas. Se utilizó en el Imperio Británico a partir de 1824 y por muchos años fue el sistema oficial en países que formaron parte del imperio. (FPSI, 2016). Algunas unidades comunes de este sistema incluyen la milla, la yarda, la pulgada, y el pie como unidades de longitud, la onza, el galón y la pinta como unidades de volumen, y la libra como unidad de masa o de fuerza. Como se observa, este sistema tiene la desventaja de que existen varias unidades para una misma magnitud física, por lo que requiere el uso frecuente de factores de conversión.

b. Sistema de Unidades de Uso Común en Estados Unidos (USCS): es un sistema de unidades muy similar al Sistema Imperial, ya que se basó en las mismas unidades anglosajonas.

Sin embargo, dado que Estados Unidos se independizó del Imperio Británico antes de que se definiera oficialmente el Sistema Imperial, este país desarrolló un sistema de unidades propio. Las unidades son prácticamente las mismas en ambos sistemas, pero las definiciones de éstas son distintas en muchos casos. Por ejemplo, la pinta estadounidense consiste de 16 onzas, mientras que la pinta imperial consiste de 20 onzas. (FPSI, 2016).

c. Sistema Métrico de Unidades: es un sistema de medición que surgió en Francia a finales del siglo XVIII a raíz de la necesidad de un sistema de pesos y medidas estándar. Éste utiliza una base decimal, es decir, las unidades pueden hacerse más grandes o más pequeñas multiplicando o dividiendo por 10. (NIST, 1997). El Sistema Métrico ha ido evolucionando a través de la historia, resultando en diferentes versiones. Algunas de sus variantes son las siguientes:

- **Sistema Metro - Kilogramo - Segundo (MKS):** es una variante del sistema métrico en la que todas las unidades del sistema se definen en términos de tres unidades base: metro como unidad de longitud, kilogramo como unidad de masa y segundo como unidad de tiempo. El sistema MKS representó la base del Sistema Internacional de Unidades utilizado actualmente. (NIST, 2000).
- **Sistema Métrico Gravitacional (SMG) o Sistema Técnico de Unidades:** es una variante del sistema métrico que utiliza la fuerza como unidad base, y no la masa como lo hace el Sistema Internacional. En este sistema, el metro y el centímetro son las unidades base de longitud, el kilogramo-fuerza (kgf) es la unidad base de fuerza, y el segundo es la unidad base de tiempo (Angustias, 2011). Este es el sistema que normalmente se utiliza en la ingeniería civil y estructural de Costa Rica.
- **Sistema Internacional de Unidades (SI):** es la versión moderna del sistema métrico. Este sistema se explica con mayor detalle a continuación.

Sistema Internacional de Unidades

El Sistema Internacional de Unidades constituye la base acordada internacionalmente para expresar mediciones en todos los niveles de precisión y en todas las áreas de ciencia, tecnología y tareas humanas en general (BIPM, 2014).

Las ventajas que ofrece este sistema sobre los demás sistemas de medición son múltiples. Entre ellas se resaltan las siguientes:

- Es universal: abarca todos los campos de la ciencia, la técnica, la economía y el comercio.
- Es coherente: todas sus unidades guardan proporcionalidad entre sí, siendo posible manipularlas algebraicamente. Esto simplifica la estructura de las unidades de medida y sus cálculos, lo que evita errores en su interpretación.
- Existe una sola unidad reconocida para cada magnitud física, por lo que no se requiere de coeficientes de conversión.

Seguidamente se presenta un resumen de los aspectos principales del Sistema Internacional en cuanto a unidades base, unidades derivadas, múltiplos y submúltiplos, reglas y otras características de importancia. Para acceder a la información completa establecida por la Oficina General de Pesos y Medidas (BIPM), puede visitar el sitio web <http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>

Unidades base y unidades derivadas del Sistema Internacional

Todas las unidades del Sistema Internacional pueden clasificarse en dos tipos: unidades base y unidades derivadas. Existen 7 unidades base, las cuales se usan como referencia para definir el resto de unidades de medición en el sistema. Las 7 unidades base y su respectivo símbolo se resumen en el Cuadro 1. En la ingeniería civil y estructural, el metro, el kilogramo y el segundo son las unidades base más utilizadas.

Cuadro 1. Unidades base del Sistema Internacional

Fuente: BIPM, 2014

Cantidad	Unidad base	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

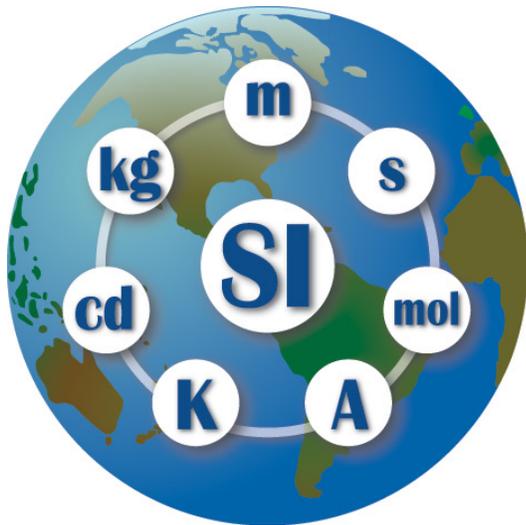


Figura 2. Unidades base del Sistema Internacional de Unidades
Fuente: <http://www.nist.gov/>

Las unidades derivadas, por otro lado, consisten de productos de potencias de las unidades base y se usan para medir cantidades derivadas. Por ejemplo, el metro por segundo (m/s) es una unidad derivada utilizada para medir la velocidad, que representa una cantidad derivada de la longitud y el tiempo. El Cuadro 2 resume algunas unidades derivadas utilizadas con frecuencia en la ingeniería civil y estructural.

Cuadro 2. Unidades derivadas del Sistema Internacional utilizadas en la ingeniería civil y estructural

Fuente: BIPM, 2014

Cantidad	Unidad	Símbolo	Expresión en términos de unidades base
Área	metro cuadrado	m ²	m ²
Volumen	metro cúbico	m ³	m ³
Fuerza	newton	N	$N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Presión o esfuerzo	pascal	Pa	$\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Frecuencia	hertz	Hz	$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$

La lista completa de unidades derivadas se puede encontrar en el siguiente enlace: <http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/section2-2.html>

Uso de múltiplos y submúltiplos decimales en el Sistema Internacional

Para ajustarse a cantidades con magnitudes muy grandes o muy pequeñas, el Sistema Internacional permite el uso de múltiplos y submúltiplos decimales, los cuales se denotan con prefijos determinados. El Cuadro 3 resume los múltiplos más comúnmente utilizados.

Cuadro 3. Prefijos más comunes a utilizar con las unidades del Sistema Internacional

Fuente: BIPM, 2014

	Factor	Prefijo	Símbolo
Múltiplos	10 ⁹	Giga	G
	10 ⁶	Mega	M
	10 ³	kilo	k
	10 ²	hecto	h
	10 ¹	deca	da
Submúltiplos	10 ⁻¹	deci	d
	10 ⁻²	centi	c
	10 ⁻³	mili	m
	10 ⁻⁶	micro	μ
	10 ⁻⁹	nano	n

Los múltiplos y submúltiplos mostrados en las celdas sombreadas no representan potencias ternarias de 10, por lo que se consideran de aplicación limitada. Estos múltiplos y submúltiplos no son recomendables y en la medida de lo posible se deben evitar, ya que puede existir confusión si se utilizan dos o más múltiplos donde el orden de magnitud entre ellos sea de solamente 10. (Milton, 1977).

Uso de otras unidades que no pertenecen al Sistema Internacional

La Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) permite utilizar ciertas unidades que no pertenecen al Sistema Internacional, ya sea porque aún aparecen en la literatura científica, técnica y comercial, o bien, porque su uso está consolidado en la historia y cultura humana, como es el caso de las unidades de tiempo (BIPM, 2014). Estas unidades y su respectiva conversión a unidades del sistema SI se resumen en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Unidades aceptadas para usar en conjunto el sistema SI

Fuente: BIPM, 2014

Cantidad	Nombre	Símbolo	Valor en unidades SI
Tiempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
	día	d	1 d = 24 h = 86 400 s
Ángulo plano	grado	°	1° = (π/180) rad
	minuto	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad
	segundo	"	1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
Área	hectárea	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
Volumen	litro	L, l	1 L = 1 l = 1 dm ³ = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³
Masa	tonelada	t	1 t = 10 ³ kg = 1 Mg

Reglas básicas para la escritura de cantidades, unidades y símbolos en el Sistema Internacional

A continuación se mencionan algunas reglas básicas para el uso del Sistema Internacional según establece la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) y que también se incluyen en el Reglamento Técnico de Costa Rica (MEIC, 2010):

- Los nombres de las unidades se escriben con minúscula, a excepción del grado Celsius. Ejemplo: metro, newton, kilogramo.
- Los símbolos de las unidades se escriben con minúscula, a excepción de aquellos que se derivan de nombres propios, en cuyo caso la primera letra se escribe en mayúscula. Ejemplo: m, N, Pa.
- Los símbolos de las unidades no varían en plural. Ejemplo: "10 kg", no "10 kgs".
- Los nombres de las unidades sí varían en plural. Ejemplo: "varios kilogramos".
- El uso de abreviaturas para los nombres y símbolos de las unidades no es permitido. Ejemplo: usar "s" y no "seg", usar "km/h" y no "kph".
- Si se usa un prefijo asociado a un múltiplo o un submúltiplo, éste se escribe antes del nombre de la unidad sin usar un espacio o un guion en medio (forman una sola palabra). Ejemplo: milímetro, kilogramo, megapascal.
- Si se usa un prefijo asociado a un múltiplo o un submúltiplo, su símbolo se escribe antes del símbolo de la unidad sin usar un espacio en medio. Ejemplo: mm, kg, MPa.
- El producto de símbolos de varias unidades se representa mediante un espacio o mediante un punto a media altura (\cdot). El espacio puede omitirse si esto no genera confusión con alguna otra expresión. Ejemplo: N m, N·m, Nm.
- La división, por otro lado, puede representarse mediante una barra horizontal, una barra oblicua o mediante exponentes negativos. Ejemplo: m/s, $\frac{m}{s}$, $m \cdot s^{-1}$
- El valor de una cantidad se escribe como el producto de un número y una unidad, con un espacio en medio de ellos. En el caso de las unidades de ángulos planos grados

($^{\circ}$), minutos ($'$) y segundos ($''$), no se deja espacio entre el número y la unidad. Por ejemplo: 25 kg, 45 $^{\circ}$

- No se debe usar más de una unidad en una sola expresión. Ejemplo: escribir "5.23 m" y no "5 m 23 cm".
- Cuando un número tiene más de 4 dígitos, se recomienda agrupar los dígitos en grupos de 3 desde el punto decimal, separados por un espacio pequeño, esto para facilitar la lectura. No se deben usar puntos ni comas para separar los dígitos, ya que pueden confundirse con el marcador decimal. Por ejemplo: 1 234 567.890 12

El marcador decimal puede ser un punto o una coma, según sea la costumbre del idioma o la región. Por ejemplo: 25.3 o 25,3. Es importante aclarar que debe existir uniformidad en el uso del marcador decimal. En el caso específico de Costa Rica, el Reglamento Técnico RTCR 443:2010 establece lo siguiente acerca del uso del punto y de la coma: *"Para separar la parte entera de la decimal debe usarse la coma (,) o el punto (.)*. Ejemplo: *se escribe 245,76 m o 245.76 m*". (MEIC, 2010). Es decir, en el país se permite utilizar ambos separadores decimales.

El Sistema Internacional en la Ingeniería Civil y Estructural

En la actualidad, la mayoría de países emplean el Sistema Internacional en la ingeniería civil y estructural. Según se describió previamente, este sistema se distingue por utilizar el metro (m) como unidad base de longitud, el newton (N) como unidad de fuerza y el pascal (Pa = N/m²) como unidad de esfuerzo.

El Sistema de Unidades Tradicionales de Estados Unidos, o United States Customary System (USCS), utiliza más bien el pie (ft) y la pulgada (in) como unidades de longitud, la libra (lb) como unidad de fuerza, y la libra por pulgada cuadrada (lb/in² o psi) como unidad de esfuerzo.

Por otro lado, el Sistema Métrico Gravitacional (SMG), o Sistema Técnico de Unidades, utilizado en la ingeniería civil y estructural de Costa Rica, toma el kilogramo-fuerza (kgf) como unidad de fuerza y el kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm²) como unidad de esfuerzo. Asimismo, el uso del centímetro como unidad de longitud es común en este sistema (Angustias, 2011), unidad que más bien se evita en el Sistema Internacional.

El hecho de que en Costa Rica se utilice un sistema de unidades distinto al Sistema Internacional, puede considerarse un obstáculo tanto para estudiantes como para profesionales de la ingeniería civil y estructural. En el caso de estudiantes que busquen complementar sus conocimientos en el extranjero, éstos se ven obligados a comprender un sistema de unidades distinto al aprendido inicialmente en la universidad. En el caso de profesionales, éstos deben adaptarse al uso del sistema de unidades utilizado internacionalmente para poder ofrecer sus servicios en el exterior, o bien, para comprar o vender materiales de construcción a otros países. Debido a esta situación, Costa Rica no puede ni debe atrasar más el cambio hacia el uso del Sistema Internacional particularmente en el campo de la ingeniería civil y estructural.

Para conocimiento de estudiantes y profesionales que no utilizan el Sistema Internacional, en el Cuadro 5 se presenta un resumen de las diferentes propiedades de uso común en la ingeniería civil y estructural y las unidades de medición respectivas acordes con el Sistema Internacional. Este cuadro se basa en las recomendaciones dadas por la NIBS, o National Institute of Building Sciences (NIBS, 1991).

Cuadro 5. Unidades de medición recomendadas para distintas propiedades de uso común en la ingeniería civil y estructural

Propiedad a medir	Unidad
Longitud o altura	m
Área de piso	m ²
Volumen de material	m ³
Dimensiones de una sección	mm
Área de sección transversal	mm ²
Módulo de sección	mm ³
Momento de inercia	mm ⁴
Radio de giro	mm
Deflexión	mm
Espaciamiento de refuerzo	mm
Área de refuerzo	mm ²
Masa de material	kg o t
Densidad de material	kg/m ³ o t/m ³
Peso, fuerza o carga puntual	N o kN
Momento flector o torsional	N·m o kN·m
Carga por unidad de longitud	N/m o kN/m
Carga por unidad de área	N/m ² o kN/m ²
Peso específico de material	N/m ³ o kN/m ³
Esfuerzo	N/mm ² = MPa o kN/m ² = kPa
Módulo de elasticidad	kN/mm ² = GPa
Temperatura	°C

Asimismo, a continuación se ofrecen algunas recomendaciones generales para el uso del Sistema Internacional en el campo de la ingeniería civil y estructural, basadas en las recomendaciones de la NIBS (1991):

- Utilizar el metro (m) para medir claros o alturas, y el milímetro (mm) para medir propiedades geométricas de una sección. Se debe evitar el uso del centímetro (cm) en todas las aplicaciones relacionadas con el diseño y la construcción de edificios.
- Las unidades de masa no son las mismas que las unidades de fuerza. En el Sistema Internacional, el kilogramo (kg) es la unidad base de masa, que representa la cantidad de materia y es independiente de la gravedad. El newton (N = kg·m/s²), por otro lado, es la unidad derivada para la fuerza. El newton reemplaza a la unidad de kilogramo-fuerza (kgf) que no debe ser utilizada.
- El pascal (Pa = N/m²) es la unidad base para la presión y el esfuerzo. Dado que la magnitud de 1 Pa es muy pequeña, se recomienda mostrar los esfuerzos de los cálculos estructurales en MPa o en kPa.
- A pesar de que la unidad para medir ángulos planos según el Sistema Internacional es el radián (rad), en aplicaciones estructurales se recomienda utilizar el grado (°), preferiblemente en formato decimal y no en formato de grados-minutos-segundos. Debe recordarse que el uso del grado es permitido a pesar de no ser una unidad propia del Sistema Internacional.

Finalmente, el Cuadro 6 muestra los factores de conversión necesarios para convertir las unidades del Sistema Métrico Gravitacional (SMG) a unidades del Sistema Internacional (SI). De forma similar, el Cuadro 7 muestra los factores de conversión necesarios para convertir las unidades del sistema USCS (United States Customary System) a unidades del Sistema Internacional (SI).

Conclusión

El Sistema Internacional de Unidades es el sistema de pesos y medidas reconocido por la gran mayoría de países como sistema de medición oficial. El carácter universal del sistema permite su aplicación en todos los campos de la ciencia, la técnica, la economía y el comercio.

Cuadro 6. Factores de conversión entre el Sistema Métrico Gravitacional (SMG) y el Sistema Internacional (SI)

Cantidad	SMG		SI	
Masa	1	kg	1	kg
Longitud	1	cm	0.01	m
	1	cm	10	mm
Área	1	cm ²	10 ⁻⁴	m ²
	1	cm ²	100	mm ²
Volumen	1	cm ³	10 ⁻⁶	m ³
	1	cm ³	1000	mm ³
Fuerza	1	kgf	9.80665	N
	1	tf	9.80665	kN
Densidad	1	kg/m ³	1	kg/m ³
Peso específico	1	kgf/m ³	9.80665	N/m ³
	1	tf/m ³	9.80665	kN/m ³
Esfuerzo / presión / Módulo de elasticidad	1	kgf/cm ²	0.0980665	N/mm ² (MPa)
	1	tf/m ²	9.80665	kN/m ²
Momento	1	kgf-m	9.80665	N-m
	1	tf-m	9.80665	kN-m
	1	kgf-cm	0.0980665	N-m
Carga por unidad de longitud	1	kgf/m	9.80665	N/m
	1	tf/m	9.80665	kN/m
	1	kgf/cm	980.665	N/m
Módulo de sección	1	cm ³	1000	mm ³
Momento de inercia	1	cm ⁴	10000	mm ⁴
Temperatura	1	°C	1	°C

En Costa Rica, a pesar de que el uso del Sistema Internacional es obligatorio por ley, éste no ha sido adoptado completamente en la ingeniería civil y estructural, ya que en este campo en particular se utiliza como sistema de medición el Sistema Métrico Gravitacional (SMG), también llamado Sistema Técnico de Unidades. Un ejemplo de ello es el Código Sísmico de Costa Rica, cuyo contenido se presenta en unidades de este sistema (CFIA, 2010). Asimismo, muchos cursos de la carrera de Ingeniería Civil se imparten con unidades del Sistema Métrico Gravitacional. Por otro lado, cabe destacar que la normativa elaborada por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), utiliza el Sistema Internacional en todas sus publicaciones.

El hecho de que en la ingeniería civil y estructural de Costa Rica no se utilice el Sistema Internacional, como sí se hace en la mayoría de países a nivel mundial, pone a los estudiantes e ingenieros nacionales de este campo en desventaja. El estudio,

Cuadro 7. Factores de conversión entre el Sistema de Unidades Tradicionales de Estados Unidos (USCS) y el Sistema Internacional (SI)

Cantidad	USCS		SI	
Masa	1	lb	0.4536	kg
Longitud	1	ft	0.3048	m
	1	in	25.4	mm
Área	1	ft ²	0.0929	m ²
	1	in ²	645.16	mm ²
Volumen	1	ft ³	0.02832	m ³
	1	in ³	16387.1	mm ³
Fuerza	1	lbf	4.4482	N
	1	kip	4.4482	kN
Densidad	1	lb/ft ³	16.0185	kg/m ³
Peso específico	1	lbf/ft ³	157.09	N/m ³
Esfuerzo / presión / Módulo de elasticidad	1	psi (lbf/in ²)	6.89476	kPa (N/mm ²)
	1	ksi (klbf/in ²)	6.89476	MPa (N/mm ²)
	1	psf (lbf/ft ²)	47.88	Pa (N/m ²)
Momento	1	lbf-ft	1.3558	N-m
	1	kip-ft	1.3558	kN-m
	1	lbf-in	0.11298	N-m
Carga por unidad de longitud	1	lbf/ft	14.5939	N/m
	1	kip/ft	14.5939	kN/m
Módulo de sección	1	in ³	16387.1	mm ³
Momento de inercia	1	in ⁴	416231	mm ⁴
Temperatura	x	°F	(x-32)/1.8	°C

el ejercicio de la profesión, la venta de servicios o el intercambio de materiales pueden verse obstaculizados en el extranjero por el simple hecho de utilizar un sistema de unidades distinto.

Por esta razón es que el Programa de Ingeniería Estructural reitera la importancia de adoptar, en su totalidad, el Sistema Internacional de Unidades en la ingeniería civil y estructural en Costa Rica. Las universidades del país que ofrezcan esta carrera tienen la obligación de promover el uso del Sistema Internacional.

Bibliografía

- Angustias, M. (2011). *Curso Cero de Física. Sistemas de Unidades*. Universidad Carlos III. Madrid, España.
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (1973). *Ley del Sistema Internacional de Unidades, N° 5292*. San José, Costa Rica.
- Bureau International des Poids et Mesures, BIPM. (2014). *SI Brochure: The International System of Units, 8th ed.* Tomado de <http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>
- Central Intelligence Agency, CIA. (2013). *The World Factbook, Appendix G: Weights and Measures*. Washington, D.C. Estados Unidos
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Concrete Reinforcing Steel Institute, CRSI. (2003). *Manual of Standard Practice. Appendix D*. Illinois, Estados Unidos.
- FPSI. (2016). *Imperial and USA Measurement Systems and History*. France Property and Information. Extraído de <http://www.france-property-and-information.com/imperial-system-and-history.htm>
- Milton, H. (1977). *Práctica recomendada para el uso de unidades métricas (SI) en el diseño y construcción de edificios*. US Department of Commerce, National Bureau of Standards. Washington, D.C. Estados Unidos
- Ministerio de Economía, Industria y Comercio, MEIC. (2010). *Reglamento Técnico RTCR443:2010. Metrología. Unidades de Medidas. Sistema Internacional SI*. Extraído de http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/documentos/si/RTCR443-2010_Metrologia.unidades_de_medida.pdf
- National Institute of Building Sciences. (1991). *Metric Guide for Federal Construction*. Washington, D.C. Estados Unidos.
- National Institute of Standards and Technology, NIST. (1997). *A Brief History of Measurement Systems. National Institute of Standards and Technology*. Extraído de <http://www.nist.gov/pml/wmd/metric/upload/NIST-SP-304A-Brief-History-Measurement-Systems-w-Color-Chart-1997.pdf>
- National Institute of Standards and Technology, NIST. (2000). *Brief History of the SI. NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty*. Extraído de <http://physics.nist.gov/cuu/Units/history.html>
- UK Metric Association, UKMA. (2013). *Road Signage*. Extraído de <http://www.metric.org.uk/road-signage>

Diseño y Diagramación: Ana Isabel Gómez González,
Centro de Transferencia Tecnológica

Palabras clave: Ingeniería Estructural, Sistemas de unidades, Sistema Métrico, Sistema Internacional.



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica
Programa de Ingeniería Estructural
Tel. (506) 2511-2500 / Fax (506) 2511-4440 / Código Postal 11501-2060
E-mail: direccion@lanamme.ucr.ac.cr / Sitio web: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>