

ISSN 2444-4928

Volumen I, Número 1 — Julio — Septiembre -2015

Revista de
Aplicación Científica y
Técnica

ECORFAN®

Bases de datos

Google Scholar.



ECORFAN-Spain

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María, PhD.

Director Regional

MIRANDA-GARCÍA, Marta, PhD.

Director de la Revista

ESPINOZA-GÓMEZ, Éric, MsC.

Relaciones Institucionales

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando, BsC.

Revista de Aplicación Científica y Técnica, Volumen 1, Número 1, de Julio a Septiembre -2015, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Spain. Calle Matacerquillas 38, CP: 28411. Moralarzal -Madrid. WEB: www.ecorfan.org/spain, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, Co-Editor: MIRANDA-GARCÍA, Marta, PhD. ISSN-2444-4928. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 2015.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Centro Español de Ciencia y Tecnología.

Consejo Editorial

ROMAN-KALISCH, Manuel, PhD.
*Universidad Autónoma de Yucatán,
México*

SOUSA-GONZALES, Eduardo, PhD.
*Universidad Autónoma de Nuevo León,
México*

ARANCIBIA-VALVERDE, María, PhD.
*Universidad Pedagógica Enrique José
Varona de la Habana, Cuba*

TORRES-HERRERA, Moisés, PhD.
*Universidad Autónoma de Barcelona,
España*

TAVER-CORTES, María, PhD.
UPIICSA-IPN, México

SALINAS-AVILES, Oscar, PhD.
*Centro de Investigación en Energía-
UNAM, México*

LUGARDO-BRAVO, María, PhD.
Universidad Iberoamericana, México

Consejo Arbitral

MONTERO-PANTOJA, Carlos, PhD

Universidad de Valladolid, España

RAMIREZ-MARTINEZ, Ivonne, PhD

Universidad Andina Simón Bolívar, Bolivia

GARCIA-VILLANUEVA, Jorge, PhD

Universidad Pedagógica Nacional, México

GONZALE-IBARRA, Miguel, PhD

Universidad Nacional Autónoma de México, México

CHAVEZ-BECKER, Carlos, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana, México

GONZALES-GAXIOLA, Oswaldo, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana, México

MORAN-CHIQUITO, Diana, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana, México

DOMINGUEZ-GUTIERREZ, Silvia, PhD

Universidad de Guadalajara, México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Aplicación Científica y Técnica

En Pro de la Investigación, Docencia, y Formación de los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

El artículo *Aplicación de elemento espectral a la ecuación de onda completa utilizando fronteras absorbentes* por MUÑOZ-GONZALES, Sergio, SALDAÑA-CARRO, Cesar, BECERRA-DIAZ, Julio y SANCHEZ-GARCIA, Gustavo con adscripción en la Universidad Politécnica de Tlaxcala, como siguiente artículo está *Visualización y análisis de mapas temáticos de la actividad científica mexicana sobre cáncer (1977-2012)* por HERRERA-MIRANDA, Israel y HERRERA-MIRANDA, Miguel con adscripción en la Universidad Autónoma de Guerrero, como siguiente artículo está *Diseño de una bodega de datos con información relacionada a las asistencias de personal en una empresa* por VAZQUEZ-DE LOS SANTOS, Laura, VALDEZ-MENCHACA, Alicia, CORTES-MORALES, Griselda y HERNANDEZ-VILLAREAL, Rubén con adscripción en la Universidad Autónoma de Coahuila, como siguiente artículo está *Características acústicas de la madera de Swietenia humilis y Alnus acuminata* por SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier y VILLASEÑOR-AGUILAR, José con adscripción en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, como siguiente artículo está *Velocidad de ondas de esfuerzo y módulos de elasticidad de 4 maderas mexicanas* por SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier y VILLASEÑOR-AGUILAR, José con adscripción en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, como siguiente artículo está *Caracterización dinámica de la madera de Fraxinus americana y Fraxinus uhdei* por VILLASEÑOR-AGUILAR, José y SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier con adscripción en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, como siguiente artículo está *Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores* por ARROYO-ALMAGUER, Marisol, RICO-MORENO, José, BARRON-ADAME, José y AGUIRRE-PUENTE, José con adscripción en la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, como siguiente artículo está *Revisión sistemática sobre los efectos de la crioterapia* por GARCIA-HERNÁNDEZ, Ana María, SASIA, Karen, AMARO, Osvaldo con adscripción en la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato.

Contenido

Artículo	Página
Aplicación de elemento espectral a la ecuación de onda completa utilizando fronteras absorbentes <i>MUÑOZ-GONZALES, Sergio, SALDAÑA-CARRO, Cesar, BECERRA-DIAZ, Julio y SANCHEZ-GARCIA, Gustavo</i>	1-10
Visualización y análisis de mapas temáticos de la actividad científica mexicana sobre cáncer (1977-2012) <i>HERRERA-MIRANDA, Israel y HERRERA-MIRANDA, Miguel</i>	11-20
Diseño de una bodega de datos con información relacionada a las asistencias de personal en una empresa <i>VAZQUEZ-DE LOS SANTOS, Laura, VALDEZ-MENCHACA, Alicia, CORTES-MORALES, Griselda y HERNANDEZ-VILLAREAL, Rubén</i>	21-27
Características acústicas de la madera de <i>Swietenia humilis</i> y <i>Alnus acuminata</i> <i>SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier y VILLASEÑOR-AGUILAR, José</i>	28-33
Velocidad de ondas de esfuerzo y módulos de elasticidad de 4 maderas mexicanas <i>SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier y VILLASEÑOR-AGUILAR, José</i>	34-42
Caracterización dinámica de la madera de <i>Fraxinus americana</i> y <i>Fraxinus uhdei</i> <i>VILLASEÑOR-AGUILAR, José y SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier</i>	43-53
Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores <i>ARROYO-ALMAGUER, Marisol, RICO-MORENO, José, BARRON-ADAME, José y AGUIRRE-PUENTE, José</i>	54-65
Revisión sistemática sobre los efectos de la crioterapia <i>GARCIA-HERNÁNDEZ, Ana María, SASIA, Karen, AMARO, Osvaldo</i>	66-72

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Aplicación de elemento espectral a la ecuación de onda completa utilizando fronteras absorbentes

MUÑOZ-GONZALES, Sergio†*, SALDAÑA-CARRO, Cesar, BECERRA-DIAZ, Julio y SANCHEZ-GARCIA, Gustavo

Universidad Politécnica de Tlaxcala. Av. Universidad Politécnica 1 C.P. 90180 Tepeyanco, Tlax.

Recibido Enero 2, 2015; Aceptado Mayo 29, 2015

Resumen

Existen diferentes métodos numéricos para simular la propagación de ondas en un medio estratificado, sin embargo en todos ellos es necesario imponer condiciones de frontera (Dirichlet o Neuman) que generan reflexiones de ondas espurias las cuales no tienen significado físico. Los métodos de Fronteras Absorbentes (PML Perfectly Match Layer) junto con elementos espectrales se utilizan para resolver la ecuación de onda, reduciendo el efecto de reflexión de ondas considerablemente y así simular la continuación de la onda en el medio.

Métodos, Ondas, Elementos espectrales

Citación: MUÑOZ-GONZALES, Sergio, SALDAÑA-CARRO, Cesar, BECERRA-DIAZ, Julio y SANCHEZ-GARCIA, Gustavo. Aplicación de elemento espectral a la ecuación de onda completa utilizando fronteras absorbentes. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2015, 1-1: 1-10

Abstract

In order to simulate wave propagation in a stratified media many differential methods had been developed, however all these methods need boundary conditions (Dirichlet or Neuman) which create artificial waves reflections without any physical mean. Perfectly Match Layer (PML) along with spectral element methods are used to solve the wave equation, reduce the effect of artificial wave reflections and therefore imitate the wave propagation over the media.

Methods, Waves, Spectral elements

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: sergio.munoz@uptlax.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En física ha sido de interés el poder simular la propagación de ondas en diferentes medios, como es el caso del sonido, desafortunadamente esta tarea no es fácil especialmente cuando se tiene un dominio restringido por los datos y las propiedades físicas del medio. Se considera que las dimensiones del dominio de interés son pequeñas en comparación del medio físico original, entonces es necesario aplicar fronteras absorbentes para simular numéricamente la continuidad de las ondas en el dominio real. Por ejemplo se tiene interés en simular la propagación de una onda en un lugar cerrado, entonces las condiciones que se imponen en las paredes del dominio pueden ser tipo Dirichlet, es decir, se le impone un valor específico a la solución en la frontera. En otro caso si la onda se propaga en un lugar abierto es posible que las dimensiones del dominio sean tan amplias que la capacidad numérica no sea suficiente y/o el tiempo de simulación sea muy largo, en el caso de dominios abiertos generalmente el espacio de interés de influencia de la onda es pequeño en comparación de todo del medio, en tal situación se aplica fronteras absorbentes para simular la continuación de la onda en todo el medio y así evitar reflexiones de ondas que pudieran afectar los resultados en el área de interés.

Bérenger (Berenger, 1996) introdujo un modelo efectivo de fronteras absorbentes PML para ondas electromagnéticas, el cual es considerado el método óptimo para condiciones de frontera absorbente, el esquema comúnmente utilizado por su sencillez en la simulación de ondas es el de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD).

Sin embargo FDTD tiene la desventaja de ser un método de orden dos, al aplicar elementos espectrales se mejora la exactitud de la solución en el dominio espacial y los elementos pueden ser más grandes con el uso de un mayor número de puntos de interpolación por elemento.

Dentro de los modelos para la solución de la ecuación de onda, algunos separan artificialmente la velocidad y el esfuerzo (Y. Q. Zeng, 2001), los que no separan las variables requieren resolver términos de convoluciones e introducir variables auxiliares, útiles en los modelos de integración numérica de convoluciones CPML (D. Kimatitsch, 2008) y modelos de integración recursiva (F. H. Drossaert, 2007). El modelo que se presenta no requiere hacer separación de variables y se resuelve en la presión mediante la ecuación de onda acústica en 2D basado en la formulación de Yotka Rickard (Y. Rickard, 2002).

Ecuación de Onda Acústica

La ecuación de onda (1) es muy conocida y es el primer paso para estudiar la propagación del sonido en diferentes medios al encontrar la presión p (Rossing, 2007), para el caso de la simulación se considera que las propiedades se pueden estimar en un campo medio llamado velocidad (v) el cual es el único parámetro que se considera variable y depende del material por donde pasa la onda.

De forma general se considera la ecuación de onda acústica en 3D

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = v^2 \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

Dónde:

$$v = \frac{\lambda}{T} \text{ Velocidad de onda.}$$

λ Longitud de onda.

$$f \text{ Frecuencia de onda y } T = \frac{1}{f}.$$

$$\text{Para los sólidos } v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Dónde: E es el Módulo de Young que tiene que ver con la elasticidad del medio y ρ la densidad.

$$\text{Para los gases } v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Dónde: γ es el coeficiente de dilatación adiabática, R la constante universal de los gases, T temperatura en Kelvin y M la masa molar del gas.

Algunos valores clásicos para la velocidad del sonido son:

- En el aire a 0° C, $v = 331.5\text{m/s}$ (por cada grado más v aumenta en 0.6 m/s.
- En agua (a 25° C), $v = 1,493\text{m/s}$
- En madera, $v = 3,700\text{m/s}$
- En hormigón, $v = 4,000\text{m/s}$
- En acero, $v = 5,100\text{m/s}$
- En aluminio, $v = 6,400\text{m/s}$

Formulación de la Frontera Absorbente

Al aplicar la transformada de Fourier a la ecuación de onda (1) se tiene la siguiente ecuación

$$-w^2 \hat{p} = v^2 \left(\frac{\partial^2 \hat{p}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \hat{p}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \hat{p}}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

y al introducir el cambio de variable para la PML (Y. Rickard, 2002)

$$S_x = 1 + \frac{\delta_x}{iw} \quad S_y = 1 + \frac{\delta_y}{iw} \quad S_z = 1 + \frac{\delta_z}{iw} \quad (3)$$

la ecuación (2) queda como

$$-w^2 \hat{p} = v^2 \left(\frac{1}{S_x} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{S_x} \frac{\partial \hat{p}}{\partial x} \right) + \frac{1}{S_y} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{S_y} \frac{\partial \hat{p}}{\partial y} \right) + \frac{1}{S_z} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{S_z} \frac{\partial \hat{p}}{\partial z} \right) \right) \quad (4)$$

Generalmente cuando se hace una formulación de PML se tienen los siguientes operadores para la primera y segunda derivada

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{1}{S_x} \frac{\partial}{\partial x}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} = \frac{1}{S_x} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{S_x} \frac{\partial}{\partial x} \right)$$

Utilizando las variables auxiliares (5)

$$iw\hat{X}_1 = \frac{1}{S_x} \frac{\partial \hat{p}}{\partial x} \quad iw\hat{X}_2 = \frac{1}{S_x} \frac{\partial}{\partial x} (iw\hat{X}_1)$$

$$iw\hat{Y}_1 = \frac{1}{S_y} \frac{\partial \hat{p}}{\partial y} \quad iw\hat{Y}_2 = \frac{1}{S_y} \frac{\partial}{\partial y} (iw\hat{Y}_1)$$

$$iw\hat{Z}_1 = \frac{1}{S_z} \frac{\partial \hat{p}}{\partial z} \quad iw\hat{Z}_2 = \frac{1}{S_z} \frac{\partial}{\partial z} (iw\hat{Z}_1)$$

(5)

en la ecuación (4) y al regresar a la variable tiempo, se tiene el sistema de ecuaciones diferenciales que modela las fronteras absorbentes.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} &= v^2 \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial x} (\delta_x X_1) - \delta_x X_2 \right. \\ &\quad \left. - \frac{\partial}{\partial y} (\delta_y Y_1) - \delta_y Y_2 - \frac{\partial}{\partial z} (\delta_z Z_1) - \delta_z Z_2 \right) \\ \frac{\partial X_1}{\partial t} &= \frac{\partial p}{\partial x} - \delta_x X_1 \\ \frac{\partial X_2}{\partial t} &= \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{\partial}{\partial x} (\delta_x X_1) - \delta_x X_2 \\ \frac{\partial Y_1}{\partial t} &= \frac{\partial p}{\partial y} - \delta_y Y_1 \\ \frac{\partial Y_2}{\partial t} &= \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} - \frac{\partial}{\partial y} (\delta_y Y_1) - \delta_y Y_2 \\ \frac{\partial Z_1}{\partial t} &= \frac{\partial p}{\partial z} - \delta_z Z_1 \\ \frac{\partial Z_2}{\partial t} &= \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial z} (\delta_z Z_1) - \delta_z Z_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Para frecuencias bajas se modifican las ecuaciones (3) como

$$\begin{aligned} S_x &= 1 + \frac{\delta_x}{k_x + iw} & S_y &= 1 + \frac{\delta_y}{k_y + iw} \\ S_z &= 1 + \frac{\delta_z}{k_z + iw} \end{aligned} \quad (7)$$

lo que da como resultado el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} &= v^2 \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right. \\ &\quad \left. - \frac{\partial}{\partial x} (\delta_x X_1) - (\delta_x + k_x) X_2 \right. \\ &\quad \left. - \frac{\partial}{\partial y} (\delta_y Y_1) - (\delta_y + k_y) Y_2 \right. \\ &\quad \left. - \frac{\partial}{\partial z} (\delta_z Z_1) - (\delta_z + k_z) Z_2 \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial X_1}{\partial t} &= \frac{\partial p}{\partial x} - (\delta_x + k_x) X_1 \\ \frac{\partial X_2}{\partial t} &= \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{\partial}{\partial x} (\delta_x X_1) - (\delta_x + k_x) X_2 \\ \frac{\partial Y_1}{\partial t} &= \frac{\partial p}{\partial y} - (\delta_y + k_y) Y_1 \\ \frac{\partial Y_2}{\partial t} &= \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} - \frac{\partial}{\partial y} (\delta_y Y_1) - (\delta_y + k_y) Y_2 \\ \frac{\partial Z_1}{\partial t} &= \frac{\partial p}{\partial z} - (\delta_z + k_z) Z_1 \\ \frac{\partial Z_2}{\partial t} &= \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial z} (\delta_z Z_1) - (\delta_z + k_z) Z_2 \end{aligned} \quad (8)$$

Elementos Espectrales

Elementos espectrales (SPECFEM), es elemento finito sólo que en su formulación se construyen las funciones de forma (polinomios de Lagrange) sobre los puntos de integración Gauss-Legendre-Lobatto (Kopriva, 2009). Un esquema numérico de elemento finito en dominio y diferencias finitas explícitas en tiempo para la ecuación de onda, involucra la solución en cada paso de tiempo de un sistema de ecuaciones lineales, sin embargo al utilizar elementos espectrales la matriz del sistema de ecuaciones es diagonal, así en un esquema explícito de diferencias finitas para el tiempo, solamente es necesario la sustitución directa de los valores de las variables (D. Kimatitsch, 2008).

En este caso se planteará el esquema numérico para un problema en 2D como se muestra en la Figura 1, donde se distingue entre el dominio físico al centro y el dominio ficticio en la frontera absorbente. El dominio físico o real junto con el ficticio es el dominio computacional donde se resolverá la ecuación (8), para tal se definen en la frontera condiciones tipo Neuman

$$\frac{\partial p}{\partial n} = 0$$

Donde n es el vector normal a la frontera y condiciones iniciales $p(0)=0$, Puesto que en el tiempo cero se considera que el medio no ha sido perturbado.

A. Coeficientes de Atenuación

Los coeficientes de atenuación generalmente se definen como funciones que van creciendo gradualmente dentro de la frontera absorbente (F. Collino, 2001)

$$\delta(l) = \delta^{\max} \left(\frac{l}{d} \right)^m \tag{9}$$

Para $0 \leq l \leq d$ y d es la longitud de la frontera absorbente en cada dirección, cuando $l=0$ se considera la interface entre el dominio físico y el ficticio. Un valor óptimo para δ^{\max} es

$$\delta^{\max} = \frac{3v_p}{2d} \log\left(\frac{1}{R}\right)$$

Donde R sería el coeficiente de reflexión teórica, v_p la velocidad más alta presente en el medio, en la simulación se consideran los valores $R = 1 \times 10^{-5}$, $m = 2$ y $k = 0.5$ en todos los perfiles.

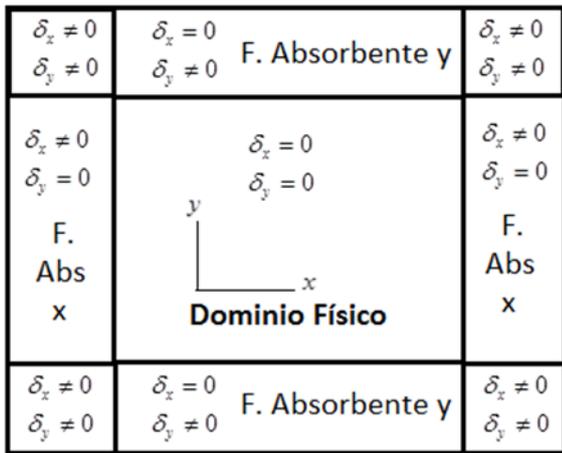


Figura 1 Dominio computacional y colocación de los coeficientes de atenuación (δ) en la PML

Se puede verificar que en el dominio físico se tiene $\delta_x = \delta_y = 0$, entonces la ecuación (6) se reduce sólo a la ecuación de onda original (1), de manera similar ocurre con (8) cuando $\delta_x = \delta_y = 0$ y $k_x = k_y = 0$.

B. Formulación de Elemento Espectral

Para aplicar elemento finito a (1) se tiene que pasar a su forma débil (O.C. Zienkiewicz, 2000)

$$\frac{1}{v^2} \sum_{j=1}^m \frac{\partial^2 p_j}{\partial t^2} \int_v N_j N_i dv = - \sum_{j=1}^m p_j \int_v \frac{\partial N_j}{\partial x} \frac{\partial N_i}{\partial x} + \frac{\partial N_j}{\partial y} \frac{\partial N_i}{\partial y} dv + \int_T N_i \frac{\partial p}{\partial n} dT \tag{10}$$

y por ejemplo la ecuación 2, 3 del sistema (8) quedan de la siguiente forma

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^m \frac{\partial X_{1j}}{\partial t} \int_v N_j N_i dv = \\ & - \sum_{j=1}^m p_j \int_v N_j \frac{\partial N_i}{\partial x} dv + \int_T N_i \frac{\partial p}{\partial n_x} dT \\ & - \sum_{j=1}^m (\delta_x + k_x) X_{1j} \int_v N_j N_i dv \\ & \sum_{j=1}^m \frac{\partial X_{2j}}{\partial t} \int_v N_j N_i dv = \\ & - \sum_{j=1}^m p_j \int_v \frac{\partial N_j}{\partial x} \frac{\partial N_i}{\partial x} dv + \int_T N_i \frac{\partial u}{\partial n_x} dT \\ & - \sum_{j=1}^m X_{1j} \int_v \frac{\partial \delta_x}{\partial x} N_j N_i dv - \sum_{j=1}^m X_{1j} \int_v \delta_x \frac{\partial N_j}{\partial x} N_i dv \\ & - \sum_{j=1}^m (\delta_x + k_x) X_{2j} \int_v N_j N_i dv \end{aligned} \tag{11}$$

A partir de (10) y (11) se puede obtener la forma débil del resto del sistema de ecuaciones (8). Cada función de forma es la multiplicación de dos polinomios de Lagrange $N_j = L_p(\varepsilon)L_q(\eta)$ construidos sobre los puntos de integración de Gauss-Lobatto-Legendre, en el presente modelo se utilizaron cinco puntos de integración $(-1, -\sqrt{3/7}, 0, \sqrt{3/7}, 1)$ y sus respectivos pesos w_p $(1/10, 49/90, 32/45)$, para $p, q = 1, \dots, 5$, dando así veinticinco puntos de interpolación ($m = 25$) por elemento finito, donde ε y η son las variables de la nueva métrica

$$x = x_0 + \frac{a}{2}\varepsilon, \quad y = y_0 + \frac{b}{2}\eta, \quad (12)$$

que transforman un rectángulo en el plano (x, y) con centro (x_0, y_0) y área ab , en un cuadrado $A = [-1, 1] \times [-1, 1]$ de área cuatro, sobre el plano (ε, η) , como se muestra en la Figura 2.

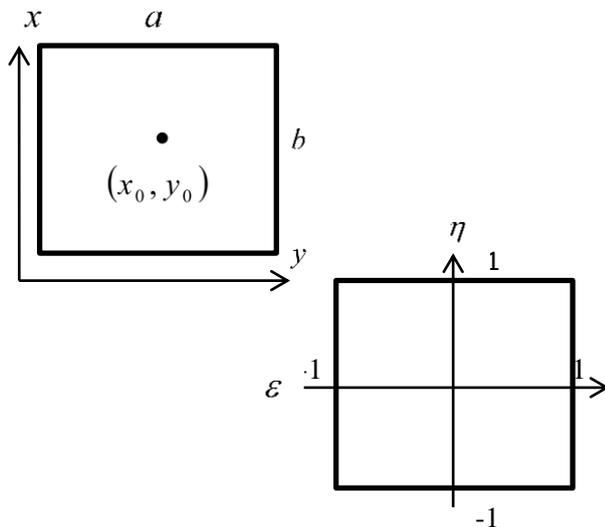


Figura 2 Cambio de métrica utilizado en SPECFEM

Después de aplicar la métrica a la ecuación representativa (10) y (11), las condiciones de frontera y la continuidad en el medio (N. A. Campanis, 2008) se tiene

$$\begin{aligned} & \frac{1}{v^2} \sum_{j=1}^m \frac{\partial^2 p_j}{\partial t^2} \int_v N_j N_i dv_e = \\ & - \sum_{j=1}^m p_j \int_v h^2 \frac{\partial N_j}{\partial \varepsilon} \frac{\partial N_i}{\partial \varepsilon} + k^2 \frac{\partial N_j}{\partial \eta} \frac{\partial N_i}{\partial \eta} dv_e \\ & \sum_{j=1}^m \frac{\partial X_{1j}}{\partial t} \int_v N_j N_i dv_e = \\ & - \sum_{j=1}^m p_j h \int_v N_j \frac{\partial N_i}{\partial \varepsilon} dv_e \\ & - \sum_{j=1}^m (\delta_{xj} + k_{xj}) X_{1j} \int_v N_j N_i dv_e \\ & \sum_{j=1}^m \frac{\partial X_{2j}}{\partial t} \int_v N_j N_i dv_e = \\ & - \sum_{j=1}^m p_j h^2 \int_v \frac{\partial N_j}{\partial \varepsilon} \frac{\partial N_i}{\partial \varepsilon} dv_e \\ & - \sum_{j=1}^m X_{1j} \frac{\partial \delta_{xj}}{\partial x} \int_v N_j N_i dv_e \\ & - \sum_{j=1}^m X_{1j} h \delta_{xj} \int_v \frac{\partial N_j}{\partial \varepsilon} N_i dv_e \\ & - \sum_{j=1}^m (\delta_{xj} + k_{xj}) X_{2j} \int_v N_j N_i dv_e \end{aligned} \quad (12)$$

con $h = 2/a$ y $k = 2/b$.

Debido a la construcción de los polinomios de Lagrange en los puntos de interpolación para las funciones de forma $N_j = L_p(\varepsilon)L_q(\eta)$ y $N_i = L_r(\varepsilon)L_s(\eta)$ la integral en la derivada de tiempo es igual a los pesos de integración numérica

$$\int_v N_j N_i dv_e = w_r w_s$$

Dando como resultado que la matriz del sistema de ecuaciones es diagonal, por lo que sólo hay que hacer sustituciones directas para un esquema de marcha en tiempo de diferencias finitas explícito de la forma

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \approx \frac{p^{n+2} - 2p^{n+1} + p^n}{dt^2}$$

Resultados

En la simulación de la ecuación de onda se consideran cuatro modelos diferentes que simulan diferentes configuraciones de velocidades, en un dominio cuadrado de 100m^2 con elementos de 1m^2 y diferentes incrementos en tiempo, para cumplir condiciones de estabilidad y número de elementos por longitud de onda. Los primeros dos modelos no contemplan la aplicación de la frontera absorbente, para demostrar la utilidad del método.

Así el dominio está formado por $100 \times 100 = 10,000$ elementos finitos, cada uno discretizado en 25 puntos, 5 por cada eje. Para todos los modelos se utilizan condiciones de Neuman ($\partial p / \partial s = 0$) igual a cero en la frontera.

Modelo 1. Se tiene una fuente puntual en el centro del dominio donde el medio es aire a 0°C , con una velocidad $v = 331.5\text{m/s}$, con condiciones de Neuman igual a cero.

En este caso se puede apreciar como la onda se propaga hasta la frontera del dominio y de acuerdo a la condición de Neuman las ondas que inciden de forma normal a la frontera son continuadas, pero aquellas que inciden con un ángulo diferente son reflejadas y no muestran la propagación de la onda en el medio físico, afectando los resultados en el dominio computacional

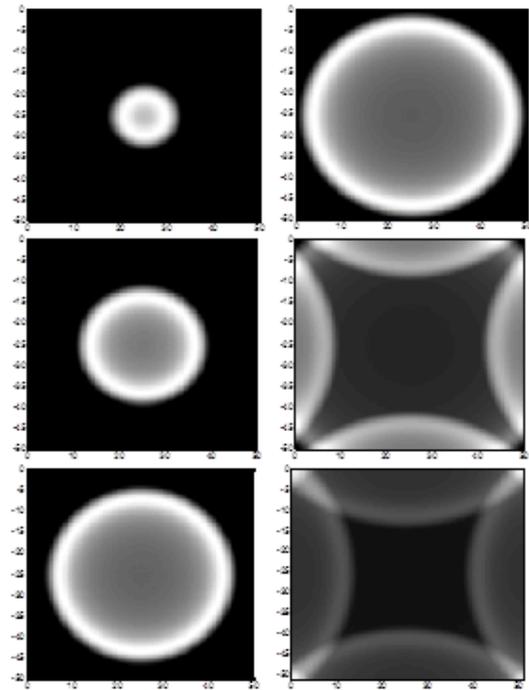


Figura 3 Se muestra de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, la simulación de la ecuación de onda utilizando las condiciones del modelo 1 sin utilizar PML.

Modelo 2. Se considera una fuente puntual en agua a 20°C , con una velocidad de $v = 1,493\text{m/s}$, con dos barras una de madera $v = 3,700\text{m/s}$ y acero $v = 5,100\text{m/s}$, colocados de manera vertical a la izquierda la madera y a la derecha el acero.

Al igual que en el modelo 1 se puede observar que al incidir la onda en la frontera también se tienen reflexiones que no deberían existir de acuerdo a lo que sucedería en la realidad, pero ocurren en el dominio computacional debido a las condiciones de frontera

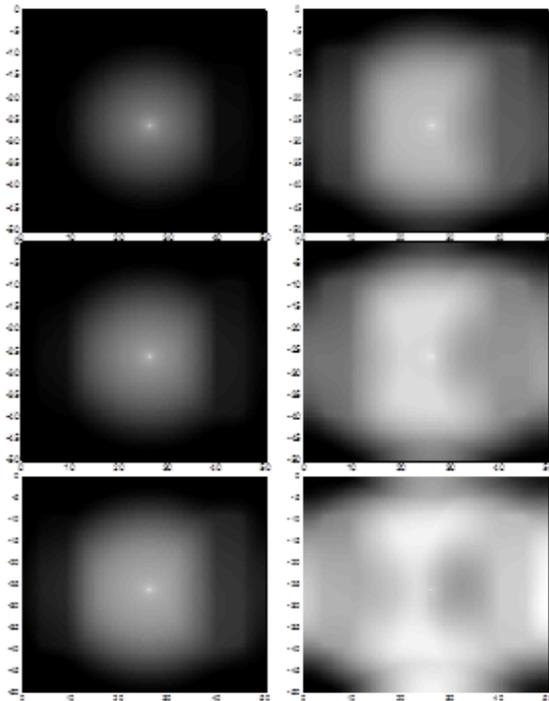


Figura 4 Se muestra de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, la simulación de la ecuación de onda utilizando las condiciones del modelo 2 sin utilizar PML.

Modelo 3. En este caso se considera una fuente puntual al centro y arriba, con fronteras absorbentes en los cuatro lados del dominio con una velocidad homogénea de $v = 3,000\text{m/s}$.

Se observa en la Figura 5 que al utilizar las fronteras absorbentes en el dominio de interés físico el cual es el dominio computacional, la onda se continua en el medio evitando la reflexión de ondas espurias que podrían dar resultados erróneos como en el modelo 1 y 2.

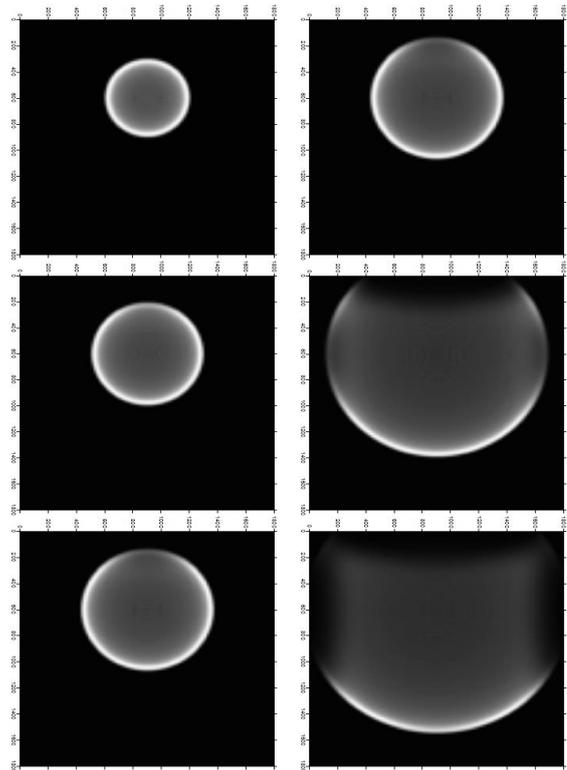


Figura 5 Se muestra de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, la simulación de la ecuación de onda utilizando las condiciones del modelo 3 utilizando PML

Modelo 4. En este modelo se considera condiciones de Dirichlet $u=0$ en la frontera superior y en el resto de las fronteras se impuso fronteras absorbentes, con la fuente puntual 3 metros debajo de la superficie y al centro. El dominio fue dividido por la mitad, en la parte superior de éste se tiene una velocidad de $v = 3,000\text{m/s}$ y en la mitad inferior $v = 2,000\text{m/s}$.

Cuando la onda toca la superficie con condiciones de Dirichlet se observa como se refleja sobre el dominio y en el resto donde actúan las fronteras absorbentes la onda se continua o se absorbe, también se tiene que la onda se refleja en cierta proporción a la mitad del dominio por el cambio de velocidad y luego se continua en la otra mitad del dominio.

La simulación muestra que las fronteras absorbentes son un buen método para continuar las ondas en el medio y evitar lo más posibles reflexiones espurias sin significado físico, inminentes en los modelos clásicos para la solución de la ecuación de onda.

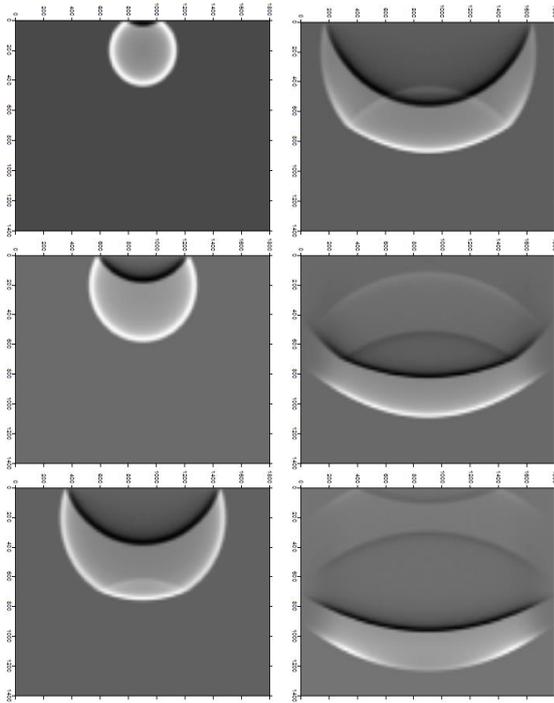


Figura 6 Se muestra de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, la simulación de la ecuación de onda utilizando las condiciones del modelo 4 utilizando PML.

Conclusiones

Se formuló y resolvió la ecuación de onda acústica utilizando la PML en el contexto numérico de elemento finito e integración de Gauss-Lobatto-Legendre conocido como elemento espectral y diferencias finitas de segundo orden para la discretización en tiempo.

De acuerdo a los resultados se mostró la eficiencia de las fronteras absorbentes mediante la aplicación del método PML, para eliminar la reflexión de ondas espurias que existen debido a las condiciones de frontera que se deben imponer al aplicar un método numérico y así éste cumpla condiciones de estabilidad y convergencia. El método muestra ser estable y puede utilizarse para aplicarlo a medios heterogéneos que simulen medios físicos reales, como por ejemplo en mapas de ruido, campos magnéticos, pre y pos apilado de imágenes sísmicas, etc. Como trabajo futuro se puede simular la ecuación elastodinámica y verificar su eficiencia en problemas más completos que consideran un mayor número de propiedades del medio, no solo la velocidad.

Referencias

- Berenger, J. P. (1996). Three Dimensional Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Waves. *Journal of Computational Physics*, 127, 363-379.
- D. Komatitsch, R. M. (2008). An Unsplit Convolutional Perfectly Matched Layer Improved at Grazing Incidence for the Seismic Wave Equation. *Geophysics*, 73, 51-61.
- D. Komatitsch, J. T. (2003). A Perfectly Matched Layer Absorbing Boundary Condition for the Second Order Seismic Wave Equation. *Geophysics Journal International*, 154, 146-153.
- F. Collino, C. T. (2001). Application of the Perfectly Matched Absorbing Layer Model to the Linear Elastodynamic Problem in Anisotropic Heterogeneous Media. *Geophysics*, 66, 294-307.

F. H. Drossaert, A. G. (2007). A Nonsplit Complex Frequency – Shifted PML Based on Recursive Integration for FDTD Modeling of Elastic Waves. *Geophysics*, 72, 9-17.

Kopriva, D. A. (2009). *Implementing Spectral Methods for Partial Differential Equations*. USA: Springer.

N. A. Campanis, V. A. (2008). *Effective Computational Methods in Wave Propagation*. USA: Chapman & Hall/CRC.

O.C. Zienkiewicz, R. T. (2000). *The Finite Element Method Vol 1*. USA: Butterworth-Heinemann.

Rossing, T. D. (2007). *Handbook of Acoustics*. New York: Springer.

S. Gopalakrishnan, A. C. (2008). *Spectral Finite Element Method Wave Propagation, Diagnostics and Control in Anisotropic and Inhomogeneous Structures*. USA: Springer.

Y. Q. Zeng, J. Q. (2001). The application of the Perfectly Matched Layer in Numerical Modeling of the Wave Propagation in Poroelastic Media. *Geophysics*, 66, 1258-1266.

Y. Rickard, N. G. (2002). A Perfectly Matched Layer for the 3-D Wave Equation in Time Domain. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 12, 181-183.

Visualización y análisis de mapas temáticos de la actividad científica mexicana sobre cáncer (1977-2012)

HERRERA-MIRANDA, Israel*† y HERRERA-MIRANDA, Miguel

Cipes, UA Matemáticas, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Gro..

Recibido Enero 5, 2015; Aceptado Junio 3, 2015

Resumen

Se obtuvieron los registros bibliográficos de artículos científicos sobre cáncer publicados en revistas de alto impacto a nivel internacional. Se consultaron para ello las bases de datos de Thomson Reuters: *Science Citation Index SCI*, *Social Science Citation Index SSCI* y *los Conference Proceedings* en Julio de 2013. El periodo de búsqueda abarcó de 1977 al 2012 de los trabajos sobre cáncer realizados por al menos un autor con institución de adscripción en México. Se utilizó el campo resumen de los registros mencionados para ser procesados por los programas de software Bibexcel y VOSviewer con la finalidad de generar mapas temáticos. Con la visualización de estos mapas por periodos (ventanas en el tiempo) se realizó un análisis cualitativo de las tendencias en este campo de dominio de la investigación científica mexicana.

Indicadores bibliométricos, mapas de la ciencia, mapas bibliométricos, mapas disciplinares, investigación científica, cáncer, México, análisis de contenido, minería de datos.

Abstract

Bibliographic records were obtained from scientific articles on Mexican cancer research published in high impact journals worldwide. The bibliographic records were retrieved from the Thomson Reuters databases: *Science Citation Index SCI*, *SSCI Social Science Citation Index* and *Conference Proceedings* on July 2012. The search covered the period 1977 to 2012 of the published works on cancer research conducted by at least one author whose affiliation institution were from Mexico. It was used the field abstract of the bibliographic records to be processed by the software programs Bibexcel and VOSviewer in order to generate thematic maps. With these maps displayed by periods of time it was performed a qualitative analysis of the trends in this field of scientific mexican research.

Bibliometric indicators, science maps, bibliometric maps, disciplinary maps, scientific research, cancer, Mexico, content analysis, data mining.

Citación: HERRERA-MIRANDA, Israel y HERRERA-MIRANDA, Miguel. Visualización y análisis de mapas temáticos de la actividad científica mexicana sobre cáncer (1977-2012). *Revista de Aplicación Científica y Técnica* 2015, 1-1: 11-20

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: israel_hm@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción**Los Mapas temáticos y el análisis de contenido**

Los mapas temáticos son utilizados para proveer un entendimiento básico de cómo está organizada la ciencia. En este contexto, un tema, área de conocimiento o disciplina se conforma con un subconjunto o racimo (clusters) de términos extraídos de un cuerpo de texto (Sci Tech Strategies, 2012). El mapeo de las ciencias es un área importante de investigación que permite analizar la evolución del conocimiento en determinados campos de dominio (Börner, Chen y Boyack, 2003) (Boyack, Klavans y Börner, 2005).

Estos mapas son particularmente útiles en el análisis y la comparación de los perfiles disciplinarios de un país, que muchas veces es utilizado por agencias de apoyo a la ciencia u otras instituciones, como universidades y centros de investigación para orientar sus programas de desarrollo. Existen dos aspectos relevantes que se pueden distinguir dentro del mapeo de las ciencias: uno, es la construcción de los mapas (denominados bibliométricos en virtud de su origen a partir de registros bibliográficos de bases de datos especializadas) y el otro, es la representación gráfica de tales mapas.

Se ha prestado más atención a la construcción de estos mapas bibliométricos estudiando el efecto de diferentes medidas de similitud, y experimentado con diferentes técnicas de mapeo como las aplicadas por el software Pajek (2012).

La representación gráfica de los mapas bibliométricos, por otro lado, ha recibido una atención mucho menor. Sin embargo, parece que hay una tendencia a considerar mapas más grandes, y para tales mapas, simples representaciones gráficas no son muy adecuadas (Van Eck, Nees, Waltman y Ludo, 2010).

La representación gráfica de grandes mapas bibliométricos puede mejorarse mucho por medio de la funcionalidad del zoom, de algoritmos especiales de etiquetado y metáforas de densidad.

En la década de 1960, Solla Price (1965) sugirió estudiar a la ciencia con los métodos científicos provenientes de la misma. La mayor parte de los primeros trabajos se centraron en la identificación de redes de grupos de autores, documentos o referencias (Garfield, 1995). Los métodos alternativos basados en el análisis de co-palabra se desarrollaron para identificar temas desde un enfoque semántico (Callon y Law, 1983). Por otro lado, los recientes avances en las técnicas de visualización de mapas temáticos han añadido la posibilidad de visualizar diversos campos de dominio del conocimiento (Börner, Chen, y Boyack, 2003).

En bibliometría, el mapeo temático es una herramienta cada vez más importante para la clasificación de documentos en grupos y subgrupos, así como para el análisis de otro tipo de patrones. La materia prima para los mapas bibliométricos han sido las palabras clave, las citas y los términos técnicos que aparecen en los títulos y los resúmenes de los registros de las bases de datos bibliográficas.

El mapeo en forma de redes ha proporcionado información sobre cuestiones tales como las relaciones entre los campos científicos, o las revistas, así como la colaboración científica entre investigadores, las instituciones y los países. Un mapa temático, es un mapa que muestra las relaciones entre palabras o expresiones de un campo de dominio del conocimiento. En estos mapas, entre más cerca se encuentren los términos, más fuerte es la relación entre ellos y se conocen como mapas de co-términos (Peters y Van Raan, 1993).

El análisis de contenido de estos mapas se orienta en una metodología cualitativa cuyo objetivo consiste en identificar el contenido semántico de los conceptos correspondiente a los términos efectivamente utilizados en determinados textos, cuyo análisis se considera interesante para determinada finalidad. Proviene, por una parte del estructuralismo norteamericano, y por otra, de la escuela francesa de análisis del discurso (Magariños, 2010).

El estudio del desenvolvimiento de la investigación sobre cáncer basado en el análisis de contenido (Atkins, 1988) (Zins, 2007), ofrece la oportunidad de identificar los temas de interés por parte de los investigadores en esta importante área del desarrollo científico en México

Métodos

Se llevó a cabo en Julio de 2013 una búsqueda de información bibliográfica en las bases de datos *Science Citation Index SCI*, *Social Science Citation Index SSCI* y los *Conference Proceedings* tanto de ciencia como de ciencias sociales *CPCI-S*, *CPCI-SSH* respectivamente de Thomson Reuters (2013).

El periodo de búsqueda abarcó de 1977 a 2012 de los trabajos sobre cáncer realizados por al menos un autor con institución de adscripción en México, recuperándose 2688 registros. Los registros se descargaron en formato *plain text*, para a su vez, ser procesado por el software *Bibexcel* (2012) con el fin de generar datos tabulares del campo resumen.

Posteriormente se utilizó el software *VOSviewer* (2012) para generar mapas temáticos a partir del campo resumen. Este software es una aplicación de minería de datos desarrollado en el *Centre for Science and Technology Studies* (CWTS) de Leiden University, The Netherlands, para la construcción y visualización de mapas que se denominan bibliométricos.

Los mapas bibliométricos generados con *VOSviewer* proporcionan una perspectiva dinámica en el ámbito científico, revelando tendencias, como la frecuente atención a un tema, o la convergencia de las corrientes de investigación diferentes. *VOSviewer* identifica secuencias de palabras que se componen exclusivamente de sustantivos y adjetivos y que terminan con un sustantivo (por ejemplo, *paper*, *visualization*, *interesting result*, *and text mining*, *pero no degrees of freedom and highly cited*). El programa dispone de funciones de acercamiento (zoom), desplazamiento (scroll), y búsqueda de términos o expresiones para facilitar el examen detallado de un mapa

Resultados

Mapas temáticos generado a partir de un corpus de texto (campo resumen) de los registros bibliográficos de la investigación mexicana sobre cáncer (1977-2012).

Para observar el desenvolvimiento (diversificación y especialización) de los temas de interés asociados a la investigación sobre el cáncer, se generaron mapas temáticos a partir del campo resumen para los siguientes periodos o ventanas en el tiempo: 1977-1999; 2000-2004; 2005-2008; 2009-2012. Por razones de espacio solo se presenta la información de los temas más relevantes extraídos de los mapas de dichos periodos. Al final se presenta un mapa temático de todo el periodo estudiado (1977-2012). En el mapa de la Fig. 1 se observan tres subconjuntos (racimos o clusters) de los términos relevantes obtenidos del corpus de texto del campo resumen de los registros bibliográficos sobre cáncer en el periodo 1977-1999.

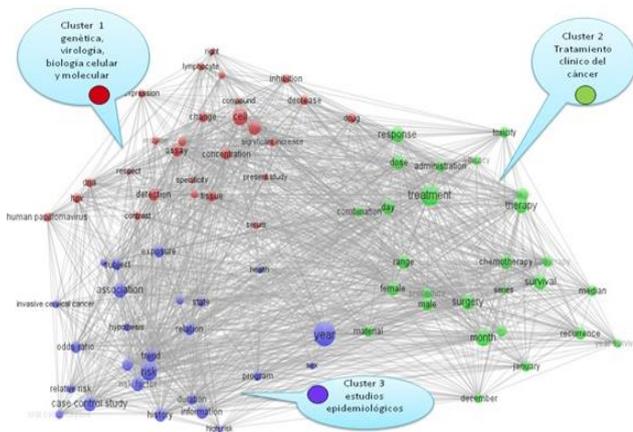


Figura 1 Visualización del mapa temático (generado por VOSviewer) basado en el campo resumen de los registros bibliográficos de la investigación mexicana sobre cáncer (1977-1999).

(Fig. 1, Cluster 1) cell, activity, assay, detection, concentration, tissue, change, hpv, decrease, drug, dna, gene, human, papillomavirus, inhibition, lymphocyte, significant increase, sensitivity, expression, enzyme, contrast, serum, human, specificity, present study, right, compound, respect.

(Fig. 1, Cluster 2) treatment, month, response, survival, surgery, therapy, dose, day, female, range, chemotherapy, week, male, recurrence, toxicity, January, radiotherapy, mean age, median, material, administration, procedure, december, combination, efficacy, year survival, series

(Fig. 1, Cluster 3) year, risk, association, case control study, risk factor, information, history, trend, exposure, relation, confidence interval, odds ratio, subject, duration, program, relative risk, state, oral contraceptive, gastric cancer, hypothesis, invasive cervical, cancer, sex, diet, health, high risk

En la Fig. 1, el cluster 1 indica estudios relacionados con la genética, la inmunología, la virología y las investigaciones sobre las bases moleculares del comportamiento de las células cancerígenas. El cluster 2 muestra los aspectos relacionados con el tratamiento clínico de la enfermedad. El cluster 3 presenta por su parte un conjunto de términos que indican estudios epidemiológicos y de investigaciones especializadas donde se aplican los métodos estadísticos.

En el mapa temático de la Fig. 2 se observan tres racimos o clusters de los términos relevantes obtenidos del corpus de texto del campo resumen de los registros bibliográficos referentes a la investigación mexicana sobre cáncer en el periodo 2000-2004.

(Fig. 2, Cluster 1) cell, effect, activity, right, expression, protein, gene, cell line, mechanism, dose, role, contrast, concentration, inhibition, receptor, growth, reduction, compound, vitro, drug, action, animal, lymphocyte, proliferation, apoptosis, mouse, administration, induction, cell proliferation, decrease, rat, present study, ability, Elsevier science bv, mutation, human, alteration, beta, regulation, absence, culture, alpha, immunohistochemistry, angiogenesis, vivo, elsevier science ireland ltd, arsenic, cytotoxicity, liver, dna damage, copyright, elsevier science ltd, chromosome, Elsevier science, significant increase.

(Fig. 2, Cluster 2) year, cervical cancer, mexico city, hpv, material, human papillomavirus, confidence interval, risk factor, hospital, pcr, prevalence, dna, history, odds ratio, trend, case control study, methods, paper, polymerase chain reaction, questionnaire, english version, mexican woman, mortality rate, pap, consumption, hpv infection, state, diet, specificity, age group, cin, hpv type, prevention, relation, sex, statistical analysis, cervical intraepithelial, neoplasia, percent, imss, may, high risk, mexican population.

(Fig. 2, cluster 3) month, survival, day, period, toxicity, chemotherapy, surgery, grade, median, , combination, recurrence, mortality, week, radiotherapy, cisplatin, efficacy, december, january, prognosis, morbidity, overall survival, course, mean age, metastasis, head, gastric cancer, multivariate analysis, symptom, most patien.

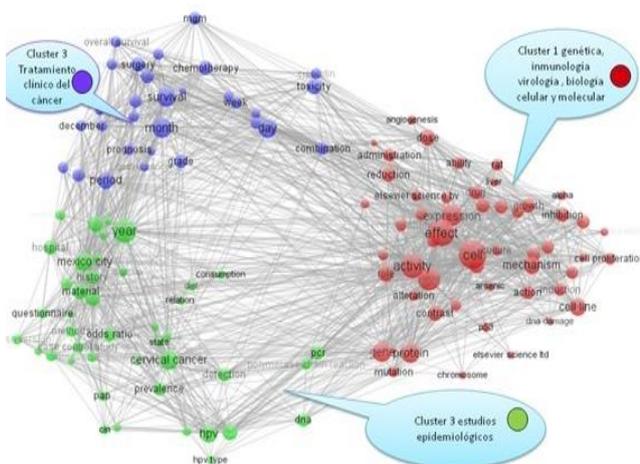


Figura 2 Visualización del mapa temático (generado por VOSviewer) basado en el campo resumen de los registros bibliográficos de la investigación mexicana sobre cáncer (2000-2004).

En el cluster 1 de la Fig. 2, los términos indican estudios relacionados con la genética, la inmunología, la virología y las investigaciones sobre las bases moleculares del comportamiento de las células cancerígenas. También destacan la identificación específica de genes y la presencia de la editorial científica *Elsevier*. En ese periodo se presenta por primera vez el término apoptosis y el gen *p53* asociado a la misma que indica el inicio de una nueva línea de investigación sobre la muerte celular. Se observa además términos que relacionan la investigación utilizando animales de laboratorio.

En lo referente al cluster 2, el conjunto de términos indican estudios epidemiológicos y de investigaciones donde se aplican los métodos estadísticos. También aparecen las pruebas de laboratorio aplicadas al diagnóstico de la enfermedad. Por su parte, El cluster 3 contiene términos que indican los aspectos relacionados con el tratamiento clínico de la enfermedad, además de estudios donde se aplican los métodos estadísticos. Nótese la aparición del término metástasis y otros que indican nuevos fármacos (ej: cisplatin).

En el mapa temático de la Figura 3 se observan dos racimos o clusters de los términos relevantes obtenidos del corpus de texto del campo resumen de los registros bibliográficos referentes a la investigación mexicana sobre cáncer en el periodo 2005-2008.

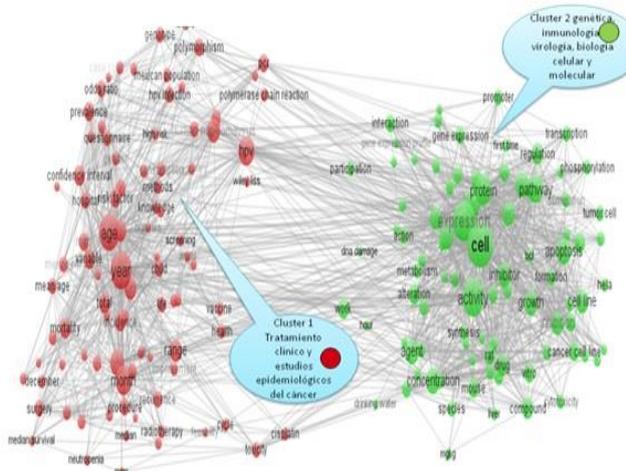


Figura 3 Visualización del mapa temático (generado por VOSviewer) basado en el campo resumen de los registros bibliográficos de la investigación mexicana sobre cáncer (2005-2008).

(Fig. 3, Cluster 1) Year, age, hpv, month, diagnosis, human papillomavirus, range, material, country, variable, total, confidence interval, mortality, risk factor, incidence, prevalence, man, polymorphism, pcr, surgery, hpv infection, gastric cancer, procedure, history, odds ratio, child, hospital, recurrence, questionnaire, genotype, mexico city, mean age, impact, toxicity, life, introduction, neoplasm, hpv type, morbidity, complication, methods, management, mexican population, consumption, health, trend, knowledge, vaccine, radiotherapy, december, polymerase chain, reaction, cycle, gender, allele, overall survival, improvement, problem, case control study, cisplatin, vaccination, self, person, pregnancy, safety, participant, quality, significant association, January, high risk, screening, prognostic factor), median survival, median, multivariate analysis, mexican woman, wiley liss, statistical analysis, world, intervention, neutropenia, h pylori, institution, mgm, histology, clinical stage, effectiveness, sex, advanced stage, high rate, feasibility, june.

(Fig. 3, Cluster 2) cell, expression, activity, protein, pathway, mechanism, concentration, apoptosis, receptor, activation, agent, growth, inhibitor, proliferation, cell line, contrast, inhibition, regulation, drug, compound, alteration, cell proliferation, work, cancer cell line, mouse, vitro, target, interaction, alpha, cancer cell, animal, gene expression, induction, production, capacity, important role, molecule, promoter, ability, variety, lymphocyte, transcription, tumor cell, formation, action, mrna, hela cell, species, metabolism, structure, cytotoxicity, phosphorylation, synthesis, participation, enzyme, organ, stimulation, rt pcr, mcf, cytokine, mu m, cell cycle, hela, caspase, human, cervical carcinoma, flow cytometry, breast cancer cell, liver, application, bcl, first time, member, present work, elsevier ireland ltd, western blot, estradiol, estrogen receptor, hypothesis, immune system, angiogenesis, prostate, mgkg, lipid peroxidation, hour, gene expression profile, dna damage, drinking water

En el cluster 1 de la Figura 3 destacan algunos términos los cuales indican estudios relacionados a la atención clínica de la enfermedad, los estudios de laboratorio, así como las investigaciones estadísticas. Nótese la aparición de los términos relacionados con el cáncer gástrico asociado a la bacteria *H. pylori*. En lo referente al cluster 2 de la Figura 3, el conjunto de términos indican estudios relacionados con la genética, la inmunología, la virología y las investigaciones sobre las bases moleculares del comportamiento de las células cancerígenas. También aparecen términos que indican una amplia diversificación y especialización en estas disciplinas, reflejando también la aplicación de nuevas técnicas de laboratorio y el descubrimiento e identificación de genes y líneas de células.

En el mapa temático de la Figura 4 se observan dos racimos o clusters de los términos relevantes obtenidos del corpus de texto del campo resumen de los registros bibliográficos referentes a la investigación mexicana sobre cáncer en el periodo 2009-2012.

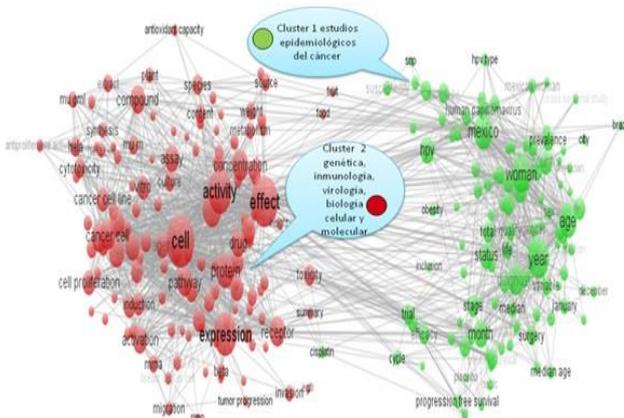


Figura 4 Visualización del mapa temático (generado por VOSviewer) basado en el campo resumen de los registros bibliográficos de la investigación mexicana sobre el cáncer (2009-2012).

(Fig. 4, Cluster 1) Cell, effect, activity, expression, mechanism, protein, concentration, cancer cell, cell line, pathway, receptor, apoptosis, compound, inhibition, activation, assay, mouse, drug, acid, inhibitor, agent, target, cell proliferation, regulation, vitro, cancer cell line, alpha, tumor cell, induction, proliferation, production, toxicity, growth, hela, cytotoxicity, gene expression, species, enzyme, vivo, formation, action, content, mcf, mum, culture, cell death, antibody, flow cytometry, administration, extract, source, form, weight, mrna, beta, metabolism, important role, ability, invasion, metabolite, mu gml, rat, hela cell, plant, capacity, molecule, participation, protein level, fraction, resistance, caspase, epithelial cell, first time, synthesis, mgkg, cytotoxic effect, ligand, cancer development, lymphocyte, accumulation, animal, migration, elsevier ireland ltd, variety, rt pcr, cytotoxic activity, transcription, tumor growth, experiment, oxidative stress, p53, protein expression, bcl, cell growth, transition, arsenic, dna damage, expression level, breast cancer cell, cervix, cytokine, lung, antiproliferative, activity, cell cycle, peptide, water, anti, summary, food, cell viability, insight, western blot, antioxidant capacity, molecular mechanism, normal cell, fruit, siha, overexpression, cervical cancer cell line, tumor progression, present work, angiogenesis, solid tumor, cellular proliferation, novel, high level, cytoplasm, characterization, ros, antioxidant, degrees c, egfr, mmp, fluorescence.

(Fig. 4, Cluster 2) Year, woman, mexico, age, diagnosis, month, hpv, status, risk factor, country, confidential interval, man, prevalence, total, stage, trial, grade, human papillomavirus, surgery, genotype, program, questionnaire, overall survival, polymorphism, efficacy, week, health, variable, life, history, quality, hospital, mexico city, hpv infection, introduction, center, odds ratio, median, January, need, screening, case control study, mexican woman, cycle, gender, methods, male, susceptibility, trend, safety, multivariate analysis, child, mean age, management, radiotherapy, complication, point, cohort, sex, female, progression free survival, intervention, mexican population, participant, median age, allele, pain, symptom, self, cisplatin, hpv type, institution, mgnm obesity, recurrence, statistical analysis, significant association, clinical stage, smoking, series, body mass index, world, survey, december, bmi, education, histology, retrospective study, cross sectional study, tumor size, gastric cancer, ngml, cost, latin America, physician, breast cancer risk, epidemiology, mexican patient, colorectal cancer, access, placebo, progesterone receptor, national cancer, institute, general population, brazil, snp Europe, baseline, early detection, statistical significance, inclusion, performance, diabetes.

En el cluster 1 de la Figura 4 destacan algunos términos los cuales indican estudios relacionados con la genética, la inmunología, la virología y las investigaciones sobre las bases moleculares del comportamiento de las células cancerígenas. También aparecen términos que indican una amplia diversificación y especialización en estas disciplinas, reflejando también la aplicación de nuevas técnicas de laboratorio.

En cluster 2, por otra parte se refleja una amplia diversificación y especialización de los temas relacionados con los estudios epidemiológicos de la enfermedad.

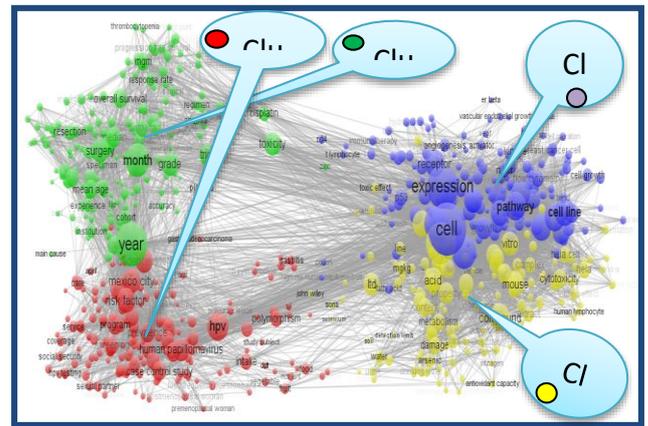


Figura 5 Mapa temático (generado por VOSviewer) basado en el campo resumen de los registros bibliográficos de la investigación mexicana sobre cáncer (1977-2012).

En la Figura 5 se presenta el mapa disciplinar de los términos obtenidos del corpus de texto del campo resumen de los registros bibliográficos en el periodo 1977-2012 referentes a la investigación mexicana sobre cáncer. La Tabla 1 presenta los términos de mayor relevancia en cada uno de los 4 clusters de la Figura 5.

Conclusiones

Se considera que el tratamiento dado a la información de los registros bibliográficos de los artículos científicos sobre cáncer con Bibexcel y VOSviewer permite hacer un primer acercamiento en el esfuerzo de entender las tendencias temáticas y la evolución del conocimiento científico en esta área del conocimiento.

Es factible, que con estos mapas, en una etapa posterior, se pueda trabajar con equipos interdisciplinarios para analizar y evaluar con mayor precisión los cambios que permitan detectar la aparición de nuevas disciplinas, su especialización y la diversificación de las mismas, así como tratamientos médicos más eficaces y el nacimiento de nuevos campos de conocimiento en el quehacer de la investigación científica.

Mediante la inspección y el análisis de estos conjuntos de términos los especialistas pueden descubrir las tendencias temáticas de las investigaciones que se muestran estrechamente relacionadas entre sí. Es importante que un mapa, sobre todo de un campo de dominio de la ciencia sea tan preciso como sea posible. Esto se debe a que en muchos casos, estos estudios sirven para respaldar la toma de decisiones dentro del contexto de una planificación nacional de la ciencia y la tecnología. Desde luego, que la utilización de mapas de la ciencia deben considerarse como un elemento más, que puede asociarse con otros procesos para evaluar la actividad científica y la asignación de recursos a la misma.

Referencias

- Atkins, S.E. (1988) Subject trends in library and Information Science Research, 1975-1984, *Library Trends*, vol. 36 (Spring) pp. 633-658.
- BIBEXCEL [en línea] disponible en <http://www8.umu.se/inforsk/Bibexcel/> [Consultado 23 de marzo 2012]
- Börner, K., Chen, C., Boyack, K. W.(2003) Visualizing knowledge domains, *Annual Review of Information Science and Technology*, vol. 37, pp. 179–255.
- Boyack, Kevin W., Klavans, Richard, Börner, Katy.(2005) Mapping the backbone of science, *Scientometrics*, vol. 64, num. 3, pp. 351-374.
- Callon, M., Law, J.(1983) From translations to problematic networks: an introduction to co-word analysis, *Social Science Information*, vol. 22, pp. 191-235
- Garfield, E.(1995) Citation indexes for science: A new dimension in documentation through association of ideas, *Science*, vol. 122, pp. 108-111.
- Magariños de Morentin, J., Fundamentos para un análisis del discurso vigente en determinada comunidad [en línea] Buenos Aires: Instituto on-line de semiótica Disponible en: <http://www.semiotica-online.com.ar/1Sintesisanalisisoinion.html> [consultado el 5 de marzo de 2010]
- Pajak [en línea] disponible en <http://www8.umu.se/inforsk/Bibexcel/> [Consultado el 23 de marzo 2012]
- Peters, H. P. F., Van Raan, A. F. J.(1993) Co-word-based science maps of chemical engineering, Part I: Representations by direct multidimensional scaling, *Research Policy*, vol. 22, num. 1, pp. 23–45.
- Sci Tech Strategies, consultado en: <http://mapofscience.com> (Consultado el 24 de junio de 2012)
- Solla Price, D. de (1965) Networks of scientific papers, *Science* num. 149, pp.510-515.
- Thomson Reuters. Web of Knowledge, Consultado en: http://apps.webofknowledge.com.pbidi.unam.mx:8080/RAMore.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=1D5fPnNDF90fhCAm@6F&qid=1224&ra_mode=more&ra_name=JCRCategories&colName=WOS&viewType=raMore [Consultado el 1de Julio de 2013]
- Van Eck, Nees Jan, Waltman, Ludo (2010) Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping, *Scientometrics*, vol 84, pp. 523–538.
- VOSviewer [en línea] Disponible en <http://www.socialsciences.leiden.edu/cwts/products-services/VOSviewer-cwts.html> [Consultado el 15 de octubre de 2012]

ZINS, Chaim (2007) Conceptions in information science, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol 58, num. 3, pp. 335-35.

Diseño de una bodega de datos con información relacionada a las asistencias de personal en una empresa

VAZQUEZ-DE LOS SANTOS, Laura*†, VALDEZ-MENCHACA, Alicia, CORTES-MORALES, Griselda y HERNANDEZ-VILLAREAL, Rubén

Universidad Autónoma de Coahuila, FIME. Barranquilla S/N col Guadalupe 25700 Monclova, Coah.

Recibido Enero 8, 2015; Aceptado Mayo 1, 2015

Resumen

Hoy en día las empresas cuentan con nuevas herramientas tecnológicas, pero muchas veces no las implementan porque no tienen noción de éstas. Gracias a la tecnología es posible implementar una bodega de datos, la cual es una herramienta que hoy en día es muy eficiente para la ayuda en la toma de decisiones. El personal que labora en el área gerencial y de recursos humanos, pueden contar con una bodega de datos donde se encuentre almacenada toda la información orientada a un área específica de la empresa. En este artículo se diseñó una bodega de datos con información relacionada a las asistencias del personal de una empresa, con el objetivo de servir como herramienta a un gerente, un jefe departamental o alguna persona de recursos humanos para tomar rápidamente decisiones en problemas que se tenga relacionados con el personal, sin necesidad de estar buscando en múltiples documentos para ver el record de dicho empleado. Para este caso de estudio, la base de datos que se utilizó consta de tres tablas (asistencia, departamentos y empleados), debido a que son las únicas que se requieren para realizar reportes de asistencias del área y considerando la problemática que se requiere resolver. La base de datos fuente utilizada para el desarrollo de la bodega de datos se encuentra en MS SQL Server 2008.

Bodega de datos, base de datos, tecnología

Abstract

Today companies have new technological tools, but often not implemented because they have no notion of them. Thanks to technology it is possible to implement a data warehouse, which is a tool that today is very efficient to aid in decision making. The personnel working in management and human resource area may have a data warehouse where it is stored throughout an area oriented company specific information.

In this paper a data warehouse with information related to the assistance of the staff of a company, in order to serve as a tool for a manager, a department head or someone from human resources to quickly make decisions on issues that have been designed -staff, without being searching multiple documents to see a record of that employee. For this case study, the database that was used consists of three tables (attendance, departments and employees), because they are the only ones required to make reports assists the area and considering the problems that need to be solved. The base font used for the development of the data warehouse data is in MS SQL Server 2008. To achieve the extraction, transformation and loading; the ETL function, a program was developed in C #.

Data warehouse, database, technology

Citación: VAZQUEZ-DE LOS SANTOS, Laura, VALDEZ-MENCHACA, Alicia, CORTES-MORALES, Griselda y HERNANDEZ-VILLAREAL, Rubén. Diseño de una bodega de datos con información relacionada a las asistencias de personal en una empresa. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2015, 1-1: 21-27

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico:lauracristina_vazquez@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En toda empresa se maneja un sin fin de información, la cual a veces se va almacenando en carpetas, conforme pasa el tiempo se van acumulando grandes cantidades de documentos físicos; los cuales, al almacenarse de esta manera, corren un riesgo muy grande de perderse, al igual que al querer acceder a ellos para hacer algún tipo de consulta tomaría mucho tiempo, por que desafortunadamente no se lleva un control de la información, esto quiere decir, que la información puede estar incompleta, duplicada, etcétera.

Por consiguiente, las decisiones tomadas en las empresas en ocasiones no son las idóneas debido a diversas circunstancias, entre ellas la falta de información o de herramientas que permitan el análisis de la información con la que se cuenta y faciliten la correcta toma de decisiones.

Una posible solución a la problemática anterior es diseñar y aplicar una bodega de datos (data warehouse) como estrategia que facilite y optime el proceso de toma de decisiones, mediante la consulta y análisis de la información.

Una bodega de datos es un sistema que recupera y consolida los datos periódicamente de los sistemas de origen en un almacén de datos dimensional o normalizado. Por lo general, mantiene años de historia y se consulta para la inteligencia de negocios u otras actividades de análisis. Normalmente se actualiza en lotes, cada vez que una transacción que ocurre en el sistema de origen (Rainardi, 2008).

Revisión de literatura

Una bodega de datos o data warehouse es un almacén de datos empresariales que fue diseñado para facilitar la toma de decisiones en administración. No sólo incluye datos, sino herramientas, procedimientos, capacitación, apoyo de personal y otras facilidades para el acceso a los datos para aquellos que toman decisiones. El objetivo del data warehouse es aumentar el valor de los activos de datos de la organización (Kroenke, 2003).

Curto (2010), define una data warehouse como un repositorio de datos que proporciona una visión global, común e integrada de los datos de la organización, independientemente de cómo se vayan a utilizar posteriormente por los consumidores o usuarios, con las propiedades siguientes: estable, coherente, fiable y con información histórica (Curto, 2010).

Las bodegas de datos son un refinamiento del concepto de base de datos que proporciona a los usuarios un recurso de datos mejorado y que permite a los usuarios manipular y usar los datos intuitivamente (McLeod, 2000). La bodega de datos suele ser muy grande, muy puro y muy recuperable. Algunas contienen hasta 200 gigabytes (McLeod, 2000).

El objetivo de las bodegas de datos (Data Warehouses) es el colocar en un solo lugar distintos datos operativos procedentes de fuentes internas y externas para que puedan ser utilizados en la toma de decisiones (Robles and Alcerreca, 2000).

Características de una bodega de datos

De acuerdo con Robles y Alcerreca (2000), las características de una bodega de datos son las siguientes:

- Utilizan metadatos (datamarts) para describir a los datos provenientes de los sistemas de información. Definen los formatos, significado y origen de los datos facilitando así el acceso, la navegación y la administración de los datos de la bodega de datos. Por ejemplo, un posible uso sería para la minería de datos o para la información de marketing. El datamart está pensado para cubrir las necesidades de un grupo de trabajo o de un determinado departamento dentro de la organización (Curto, 2010).
- Manejan grandes cantidades de información (actual e histórica).
- Almacenan la información en múltiples medios.
- Resumen y detallan la información.
- Integran y asocian la información procedente de distintas fuentes. Se requiere de software middleware que actúa como intermediario entre las aplicaciones y la infraestructura de red.
- Tabla de hecho: es la representación en el data warehouse de los procesos de negocio de la organización.
- Dimensión: es la representación en el data warehouse de una vista para un cierto proceso de negocio.
- Métrica: son los identificadores de un proceso de negocio. Aquellos conceptos cuantificables que permiten medir el proceso de negocio.

El data warehouse almacena los datos extraídos y también los combina, conjunta, transforma y pone a disposición de los usuarios mediante herramientas que están diseñadas para el análisis y la toma de decisiones, como por ejemplo OLAP (Kroenke, 2003).

En la base de cualquier sistema OLAP se encuentra también el concepto cubo OLAP, el cual, es conocido también cubo multidimensional o hipercubo. Éste se compone por hechos numéricos los cuales son llamados medidas que se clasifican por dimensiones.

Elementos de una bodega de datos o data warehouse

La estructura relacional de una base de datos operacional sigue las formas normales en su diseño. Un data warehouse no debe seguir ese patrón de diseño (Curto, 2010).

De acuerdo con Curto (2010), la idea principal es que la información sea presentada des normalizada para optimizar las consultas. Para ello se debe identificar, en el seno de la organización, los procesos de negocio, las vistas para el proceso de negocio y las medidas cuantificables asociadas a los mismos. Es necesario hablar de:

Metodología

Para el diseño de la bodega de datos es necesario obtener una base de datos con la información relacionada a las asistencias del personal de una empresa.

Para este caso de estudio, la base de datos que se utilizará es de tres tablas, las cuales son las siguientes: Asistencia, Departamentos y Empleados, debido a que son las únicas que se requieren para realizar reportes de asistencias del área y considerando la problemática que se requiere resolver.

La información que se requiere consultar es:

- Empleados (nombre, apellidos, uno, varios, todos).
- Fechas (Haciendo consultas por día, semana, mes y año).
- Departamentos (Considerando uno, varios o todos los departamentos).
- Faltas (Status de la asistencia: si, no, ambos).

En la siguiente figura, se muestra un diagrama de la bodega de datos diseñada en el área del caso de estudio.

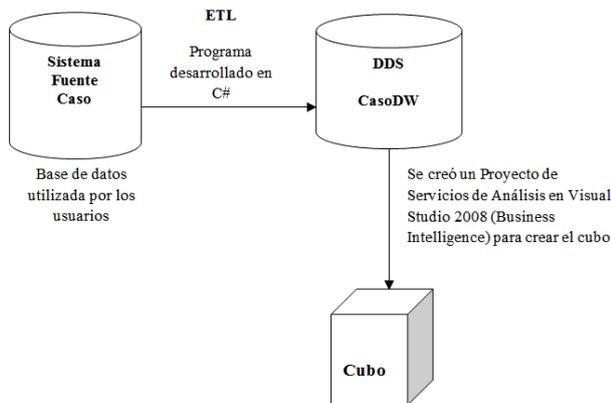


Figura 1 Diagrama de la bodega de datos

Como se observa en la figura anterior, la base de datos fuente considerada para el desarrollo de la bodega de datos, se encuentra en MS SQL Server 2008. Para lograr la extracción, transformación y cargar, es decir la función del ETL, se desarrolló un programa en C#.

Al ejecutar dicho programa, se creó en MS SQL Server 2008 Enterprise una base de datos llamada: CasoDW.

El data mart está formado por la información de la asistencia y registros relacionados de los empleados del área (es el DDS).

Posteriormente, para el diseño de la bodega de datos, se creó un Proyecto de Servicios de Análisis, herramienta que proporciona Visual Studio 2008 (Business Intelligence) para crear el cubo.

Una vez creado el proyecto, dentro del explorador de soluciones se creó un nuevo Data Source, permitirá determinar cuál es el origen de los datos a utilizar.

Después se selecciona el nombre del servidor (se colocó punto para indicar que es un servidor local) y se seleccionó el nombre de la base de datos que fue CasoDW (base de datos que se encuentra en MS SQL Server 2008).

A continuación se seleccionó cómo definir la conexión: LocalHost.CasoDW

En seguida se definió usar el servicio de cuenta que será utilizado para la conexión del Data Source.

Por último, el nombre asignado al Data Source es CasoDW. Una vez creado el Data Source, se creó un Data Source View.

En seguida se selecciona el Data Source que se creó anteriormente, llamado CasoDW.

Una vez seleccionado el Data Source, es necesario seleccionar las tablas y vistas que se van a utilizar, tal como se observa en la siguiente figura.

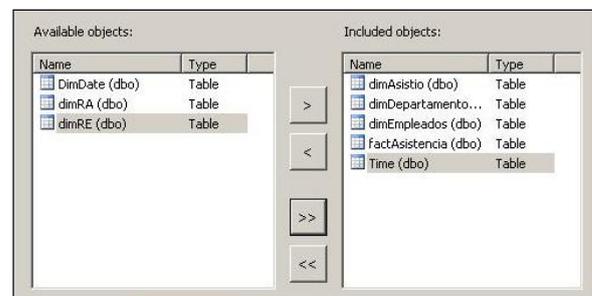


Figura 2 Muestra de las tablas y vistas utilizadas

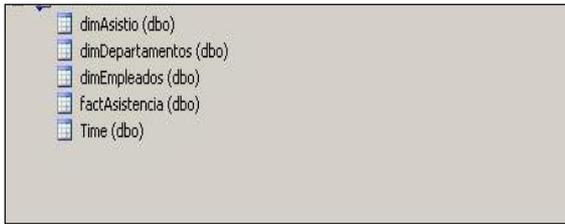


Figura 3 Muestra de las tablas y vistas utilizadas

En la siguiente figura se muestra la vista del Data Source. En ella se pueden observar las tablas que lo conforman y sus respectivos campos.

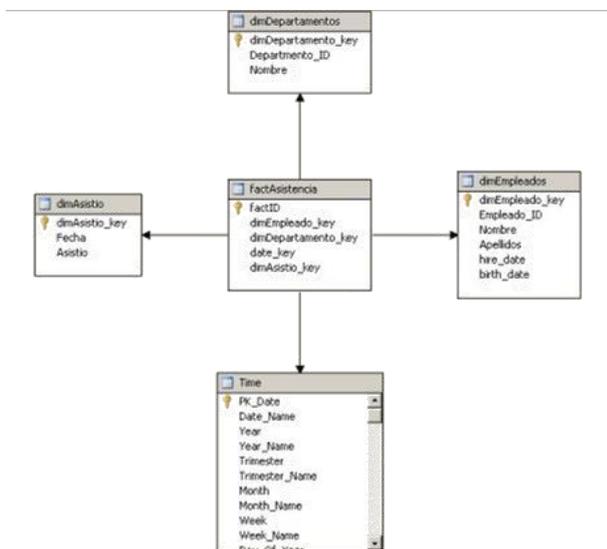


Figura 4 Vista del Data Source

Después se crean las dimensiones que se utilizarán en el cubo, considerando las tablas existentes.

Posteriormente se selecciona el Data Source View que se creó, y la tabla principal de la dimensión, que es desasistido. En esta parte del diseño, es necesario seleccionar los atributos de la dimensión que se está creando.

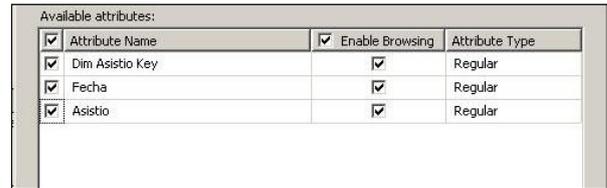


Figura 5 Selección de atributos de la dimensión

Para finalizar, se escribe el nombre de la dimensión, tal como se observa en la siguiente figura.



Figura 6 Nombre y atributos de la dimensión

De la misma forma, se crean las dimensiones departamento, empleados y time, considerando solo la información de cada uno de ellos que interesa.

Para finalizar, es necesaria la creación del Cubo, y se crea desde el explorador de soluciones de Visual Studio.

Se selecciona en seguida el método para la creación del cubo sea por medio de tablas existentes.

En seguida, se seleccionó como medida del grupo de tablas a factAsistencia, ya que es la que contiene la información que se necesita para la creación del cubo.



Figura 7 Selección de la medida del grupo de tablas

El siguiente paso es seleccionar las dimensiones que se quieren incluir en el cubo, en este caso son: dimAsistio, dimDepartamentos, dimEmpleados y Time.



Figura 8 Selección de las dimensiones

Para finalizar, se le da un nombre al cubo, que en este caso se consideró CasoDW, y en la parte inferior de la ventana, se muestran las dimensiones que forman el Cubo.

Resultados

Con la bodega de datos desarrollada, es posible realizar consultas específicas de las asistencias o faltas del personal que labora en la empresa, tomando en cuenta los respectivos departamentos que la conforman.

En la siguiente figura se observa una consulta que muestra un reporte de las faltas por mes, por departamento durante el año 2010.

Dimension	Hierarchy	Operator	Filter Expression
<Select dimension>			
Asistio			
False			
Month Name			
False			
Nombre	Fact Asistencia Count	Fact Asistencia Count	Fact Asistencia Count
Administracion	1	2	1
Ayuda, Estrategia	2	1	1
Ayuda, Homos	2	3	1
Ayuda, Jandem	3	3	3
CPA	1	1	1
Embarques	33	28	26
Human Resources	1	2	1
Marcto, Elec	19	20	23
Marcto, Mec	1	1	3
Planeacion	2	2	3
Sistemas	2	7	8
Grand Total	63	72	64

Figura 9 Ejemplo de reporte realizado con el cubo

Otra consulta realizada como resultado del desarrollo de la bodega de datos se muestra en la Figura 10. Esta consulta muestra las faltas durante el año 2010 de un empleado en particular.

Dimension	Hierarchy	Operator	Filter Expression
Dim Empleados	Apellidos	Equal	{Aguirre}
<Select dimension>			
Asistio			
False			
Month Name			
False			
Nombre	Fact Asistencia Count	Fact Asistencia Count	Fact Asistencia Count
Planeacion	1	2	
Grand Total	1	2	

Figura 10 Ejemplo de reporte anual realizado con el cubo

La siguiente figura muestra una consulta que permite indicar las faltas de los empleados que trabajan en los departamentos de: administración, planeación y sistemas durante los meses de febrero, enero, julio, mayo, noviembre y septiembre del 2010.

Dimension	Hierarchy	Operator	Filter Expression
Dim Empleados	Apellidos	Equal	{All}
<Select dimension>			
Asistio			
False			
Month Name			
False			
Nombre	Fact Asistencia Count	Fact Asistencia Count	Fact Asistencia Count
Administracion	3	1	1
Planeacion	8	1	2
Sistemas	8	2	1
Grand Total	19	4	4

Figura 11 Ejemplo de reporte mensual realizado con el cubo

La aplicación de la bodega de datos diseñada permitió facilitar el proceso de toma de decisiones, ya que la información que se muestra como resultado, se obtiene de forma rápida y precisa.

Conclusiones

En la actualidad la tecnología va progresando conforme transcurre el tiempo, al igual que la información de una empresa también va aumentando por ello; una bodega de datos es una herramienta muy eficaz y eficiente, ya que por medio de ella se pueden tomar decisiones rápidamente a una problemática con relación a la información que esta contendía en la bodega de datos.

En el caso de este trabajo, la información almacenada en la bodega de datos está relacionada al área de recursos humanos. Sin importar las grandes cantidades de datos almacenados, la bodega de datos diseñada y desarrollada permitió manejar de forma más segura y rápida la información.

La aplicación de la bodega de datos propuesta, facilitó el proceso de toma de decisiones, debido a que contiene la información relacionada a las asistencias y faltas de todo el personal del área antes mencionada.

Referencias

Curto, J. (2010). *Introducción al Business Intelligence* (1a. ed.). Barcelona: Editorial UOC.

Hammergren, T. y Simon, A. (2009) *Data Warehousing For Dummies* (2a. ed.).

Kroenke, D. (2003). *Procesamiento de bases de datos: fundamentos, diseño e implementación* (8a. ed). México: Pearson Educación.

McLeod, R. (2000). *Sistemas de información gerencial* (7a. ed). México: Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.

Rainardi, V. (2008). *Building a Data Warehouse with examples in SQL Server*. United States of America: Apress.

Data Warehousing Fundamentals: A Comprehensive Guide for IT Professionals Robles G. y Alcerreca C. (2000). *Administración: un enfoque interdisciplinario*. Pearson Educación de México, México.

Wrembel, R. y Koncilia, C. (2007). *Data Warehouses and OLAP: Concepts, Architectures, and Solutions*. United States of America: IRM Press Idea Group Inc.

Características acústicas de la madera de *Swietenia humilis* y *Alnus acuminata*

SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier*† y VILLASEÑOR-AGUILAR, José

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Francisco J. Múgica S/N. Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

Recibido Enero 6, 2015; Aceptado Junio 10, 2015

Resumen

La densidad, la velocidad del ultrasonido, el módulo de elasticidad, el factor de calidad y la impedancia acústica, son los parámetros más significativos para la determinación de la calidad de la madera para aplicaciones acústicas. El objetivo de esta investigación fue determinar las características acústicas de las maderas de *Swietenia humilis* y *Alnus acuminata*, realizando pruebas de ultrasonido. El experimento comparó las medias de la densidad, velocidad del ultrasonido, módulo de elasticidad, coeficiente de radiación acústica y la impedancia acústica, como las variables de respuesta. La especie fue considerada el factor de variación. Los principales resultados son: la densidad de las dos especies es diferente. La velocidad del ultrasonido, de *S. humilis*, es menor comparativamente con la de *A. acuminata*. Los módulos de elasticidad son numéricamente similares. La velocidad es un predictor del módulo de elasticidad. Los descriptores impedancia acústica y coeficiente de radiación se distinguen bien entre sí siendo mayores los de *S. humilis*, que los de *A. acuminata*.

Velocidad del ultrasonido, módulo de elasticidad, factor de calidad, impedancia acústica

Abstract

The density, the ultrasound speed, the modulus of elasticity, the quality factor and the acoustic impedance, are the more significant parameters to determine the wood quality for acoustic applications. The goal of the present research was to determine the wood acoustic characteristics of *Swietenia humilis* and *Alnus acuminata* by means of using ultrasonic testing. The research compared the means of the density, the ultrasound speed, the modulus of elasticity, the coefficient of acoustic radiation and the acoustic impedance as the response variables. The wood species was considered to be the variation factor. The main results are: the wood density of the two species is different, the ultrasound speed of the *S. humilis* is slower compared to the ultrasound speed of the *A. acuminata*. The moduli of elasticity are numerically similar, the speed is a good predictor of the modulus of elasticity. The acoustic impedance and the coefficient of radiation descriptors are well distinguished within them, being greater those of *S. humilis* than of *A. acuminata*.

Ultrasound speed, modulus of elasticity, quality factor, acoustic impedance

Citación: SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier y VILLASEÑOR-AGUILAR, José. Características acústicas de la madera de *Swietenia humilis* y *Alnus acuminata*. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2015, 1-1: 28-33

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: madera999@yahoo.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Para una adecuada evaluación de la madera en aplicaciones acústicas, por ejemplo su calidad de tono para instrumentos musicales, son necesarios entre otros parámetros, la densidad, la velocidad del ultrasonido, el módulo de elasticidad, el factor de calidad y la impedancia acústica (Wegst, 2008 y Spycher et al. 2008).

La velocidad del ultrasonido y el módulo de elasticidad derivado, son parámetros de utilidad en la clasificación mecánica de la madera para usos específicos (Bucur, 2006). El coeficiente de radiación acústica (R) (Spycher et al., 2008) y la impedancia acústica (z) (Wegst, 2008) son los parámetros más significativos para la determinación de la calidad de la madera para aplicaciones acústicas. Valores altos de R y z en una madera, indican una buena calidad acústica comparativa, es decir, una vocación para “madera de resonancia” (Bucur, 2006).

La madera es un componente que compete con otros materiales y tecnologías propias de la industria de fabricación de instrumentos musicales. Con el objeto de mejorar la productividad industrial, es necesario el conocimiento fundamental de los atributos relativos a su aptitud para fabricar con este material. Igualmente, es recomendable contar con información técnica de materiales para su incorporación en el proceso de elaboración de artículos donde las características acústicas son relevantes, por ejemplo, la incorporación de la madera en elementos estructurales con funciones aislantes de ruido.

La caracterización mecánica-acústica de la madera ha sido posible gracias a la aplicación de métodos de evaluación de carácter no destructivo en el estudio de especies con vocación acústica y constructiva (Bucur, 2006; Pellerin y Ross, 2002). Particularmente, la técnica que utiliza ondas mecánicas para determinar la velocidad del ultrasonido en la madera y así estimar su módulo de elasticidad, está documentada recientemente, entre otros, por Sandoz et al. (2000).

En México existen publicaciones que proponen maderas mexicanas para su estudio y promoción en aplicaciones acústicas. Entre otros autores se pueden citar: Gutiérrez-Carvajal y Dorantes-López (2007) y Tamarit-Urias y López-Torres (2007). Para recomendar el uso y/o la promoción de ciertas especies mexicanas, los trabajos citados parten del análisis de la estructura anatómica de las maderas. Como complemento, los autores retoman la opinión de fabricantes de instrumentos musicales.

El objetivo de esta investigación fue determinar las características acústicas de las maderas de *S. humilis* y *A. acuminata*, realizando pruebas de ultrasonido en la dirección longitudinal del plano leñoso. Los parámetros estudiados son: densidad, velocidad del ultrasonido, módulo de elasticidad, coeficiente de radiación acústica y la impedancia acústica.

Materiales y métodos

Se recolectó madera de las especies *Swietenia humilis* Zucc. y *Alnus acuminata* arguta (Schlecht.) Furlow, en el Estado de Michoacán, México y se recortaron barras de 0.05 m x 0.05 m x 0.5 m en las direcciones radial, tangencial y longitudinal, correspondientes al plano leñoso.

La madera se acondicionó en una cámara cerrada con una temperatura de 20 °C (± 1 °C) y con una humedad relativa del aire de 65 % (± 3 %) durante 48 meses, hasta que el peso de la madera fue constante. Posteriormente, para cada especie, se recortaron 17 probetas con dimensiones de 0.02 m x 0.02 m x 0.50 m en las direcciones radial, tangencial y longitudinal. Para el caso de la madera de *S. humilis*, la longitud de las probetas fue de 0.32 m.

Pruebas de ultrasonido

Las pruebas de ultrasonido (us) consistieron en suministrar un impulso ultrasónico en transmisión directa a lo largo de la probeta (Dirección longitudinal) con el aparato *Sylvatest*[®] (Figura 1) posicionado en un dispositivo para pruebas no destructivas desarrollado por Sotomayor-Castellanos *et al.* (2011). De esta forma, se midió el tiempo de transmisión de la onda en la dirección longitudinal. Con la longitud de las probetas y el tiempo de transmisión del ultrasonido, se calculó la velocidad de transmisión del ultrasonido.

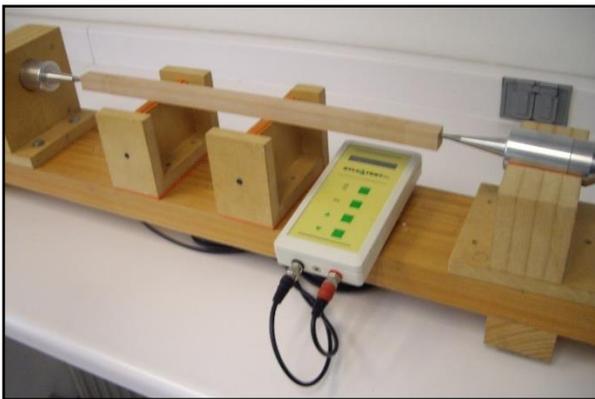


Figura 1 Dispositivo para pruebas de ultrasonido y aparato *Sylvatest*[®]. (Sotomayor-Castellanos *et al.*, 2011).

A partir de la ecuación de onda:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

Dónde:

u = Vector desplazamiento.

x = Coordenada espacial.

t = Coordenada temporal.

v = Velocidad de onda

Se calculó el módulo de elasticidad con la fórmula (Pellerin y Ross, 2002):

$$E_{us} = V_{us}^2 \rho_{CH} \quad (2)$$

Dónde:

E_{us} = Módulo de elasticidad por ultrasonido (Pa)

V_{us} = Velocidad del ultrasonido (m/s)

ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad H (kg/m^3)

La impedancia acústica en ultrasonido se calculó con la fórmula (Wegst, 2008):

$$Z_{us} = V_{us} \rho_{CH} \quad (3)$$

Dónde:

Z_{us} = Impedancia acústica ($\text{kg/s} \cdot \text{m}^2$)

V_{us} = Velocidad del ultrasonido (m/s)

ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad H (kg/m^3)

El coeficiente de radiación acústica se calculó con la fórmula (Wegst, 2008):

$$R_{us} = \sqrt{\frac{E_{us}}{\rho_{CH}^3}} \quad (4)$$

Dónde:

R_{us} = Coeficiente de radiación acústica de la madera por ultrasonido ($\text{m}^4/\text{s} \cdot \text{kg}$)

E_{us} = Módulo de elasticidad de la madera (Pa)

ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad CH (kg/m^3).

El contenido de humedad (CH) de la madera se determinó por el método de diferencia de pesos, con un grupo complementario de probetas. El contenido de humedad promedio fue de 10.65%. En cada prueba de ultrasonido se midieron las dimensiones radial, tangencial y longitudinal y el peso de cada probeta. De esta forma se calculó el volumen de la probeta y la densidad de la madera correspondiente al momento del ensayo (ρ_{CH}).

Diseño experimental

Se diseñó un análisis siguiendo las recomendaciones de Gutiérrez-Pulido y de la Vara-Salazar (2012). Los cálculos estadísticos fueron realizados con el programa *Statgraphics*®. El experimento comparó las medias de la densidad, velocidad del ultrasonido, módulo de elasticidad, coeficiente de radiación acústica y la impedancia acústica, como las variables de respuesta evaluadas para cada una de las dos especies de madera. La especie de madera fue considerada el factor de variación. El contenido de humedad de la madera se considera una variable fija. Se efectuaron 3 pruebas con 17 réplicas en cada especie. El promedio de las 3 pruebas se consideró como valor particular para cada probeta.

Suponiendo una distribución normal con media cero ($\bar{x} = 0$) y varianza constante (σ^2) e independientes entre sí, para cada prueba de diferencia de medias se verificó la hipótesis nula $H_0: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$, y se contrastó con la hipótesis alterna $H_A: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \neq 0$. El método empleado para discriminar entre las medias fue una prueba de *Fisher* con una diferencia mínima significativa de 95%.

Resultados y discusión

La Tabla 1 presenta la densidad, la velocidad del ultrasonido, el módulo de elasticidad, la impedancia acústica y el coeficiente de radiación de la madera de *S. humilis* y *A. acuminata*.

	ρ_{CH}	V_{us}	E_{us}	z_{us}^*	R_{us}
	kg/m ³	m/s	MPa	kg/s • m ²	m ⁴ /s kg
<i>Swietenia humilis</i>					
\bar{x}	757	4,135	12,998	3,122	5.49
σ	31.3	403	2,347	258	0.68
CV	4.14	9.76	18.06	8.26	12.38
<i>Alnus acuminata</i>					
\bar{x}	567	4,778	12,969	2,705	8.45
σ	22.7	318	1,584	177	0.76
CV	4.00	6.67	12.21	6.53	8.93

ρ_{CH} : Densidad; v_{us} : Velocidad del ultrasonido; E_{us} : Módulo de elasticidad; z_{us} : Impedancia acústica; R_{us} : Coeficiente de radiación; \bar{x} = Media; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación (%); * 10^{-3} .

Tabla 1 Características acústicas.

La densidad de las dos especies es diferente. Su clasificación es media para *S. humilis* y alta para *A. acuminata*, de acuerdo con Sotomayor-Castellanos y Ramírez-Pérez (2013). Respecto a la velocidad del ultrasonido, es menor la de *S. humilis*, comparativamente con la de *A. acuminata*. Los módulos de elasticidad son numéricamente similares. Las velocidades y los módulos correlacionan bien (Figura 2), siendo la velocidad un buen predictor del módulo de elasticidad.

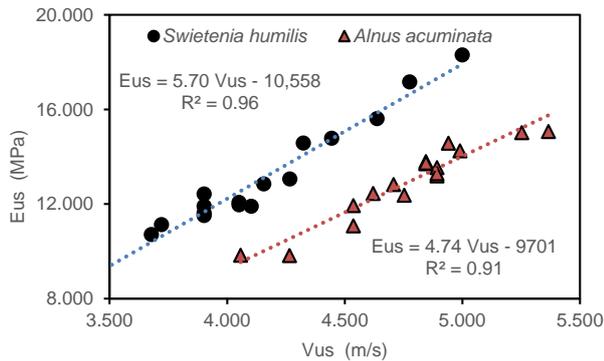


Figura 2 Correlación entre el módulo de elasticidad por ultrasonido (Eus) y la velocidad del ultrasonido (Vus).

Estos resultados son comparables con los determinados por Sotomayor-Castellanos et al. (2010). Para *S. humilis* con un contenido de humedad de 10.7% y con densidad de 705 kg/m³, determinaron una velocidad del ultrasonido en la dirección longitudinal de 4,991 m/s y un módulo de elasticidad de 15,970 MPa; y para *A. acuminata*, con densidad de 496 kg/m³ y un contenido de humedad de 10.7%, una velocidad del ultrasonido de 5,234 m/s y un módulo de elasticidad de 25,319 MPa. La desigualdad entre los valores de Sotomayor-Castellanos et al. (2010) y los de esta investigación, pueden ser explicados entre otros factores por el hecho de que los autores citados examinaron madera de probetas de xiloteca, madera de excelente calidad que se encuentra difícilmente en el mercado. En comparación esta investigación, examinó madera que proviene de una muestra de madera comercial.

Los descriptores impedancia acústica y coeficiente de radiación se distinguen bien entre sí (Figura 3), siendo mayores los de *S. humilis*, de tal forma que se confirma la propuesta de Tamarit-Urias y López-Torres (2007), acerca de que las características mecánicas de la madera son función de su densidad.

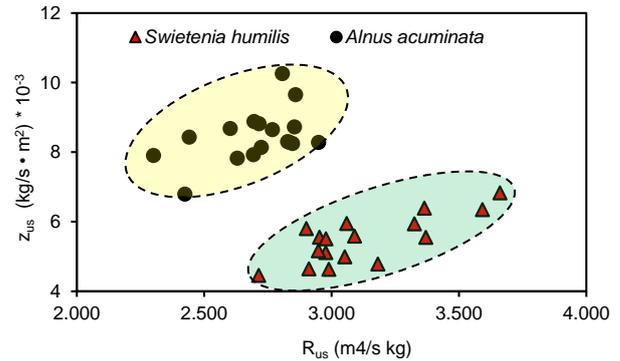


Figura 3 Distribución de la impedancia acústica (Z_{us}) en función del coeficiente de radiación (R_{us}) de la madera, ambos en ultrasonido.

Los resultados de impedancia acústica y coeficiente de radiación son igualmente comparables con los presentados por Spycher et al. (2008) y Sotomayor-Castellanos (2015), quienes encontraron para madera de *Acer pseudoplatanus* (Densidad de 530 to 630 kg/m³ y CH = 10.5%) un coeficiente de radiación de 6 m⁴/s kg y para *Picea abies* (Densidad de 360 to 490 kg/m³ y CH = 10.5%) de 12.3 m⁴/s kg.

Por su parte, Wegst et al. (2008) presentan valores de impedancia acústica similares para maderas de densidades parecidas a las de *S. humilis* y *A. acuminata* aquí estudiadas.

Para el caso de la densidad, la velocidad del ultrasonido, la impedancia acústica y el coeficiente de radiación de la madera de *S. humilis* y *A. acuminata*, la prueba de diferencias de medias entre estas variables de respuesta, indicó que el intervalo de confianza con un nivel de confianza del 95%, no contiene el valor 0, es decir existe una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras, de cada una de estas variables. Asimismo, la prueba de hipótesis mostró que el valor *P* calculado es menor que 0.05, por consiguiente, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

Conclusiones

La densidad de la madera es diferente para cada especie y permite diferenciarlas para fines de cálculo y diseño de estructuras y productos de madera.

Los módulos de elasticidad de *S. humilis* y *A. acuminata* son estadísticamente similares, pero no lo son sus características acústicas. Para fines de diseño estructural, estas dos maderas pueden ser consideradas mecánicamente equivalentes, pero, para aplicaciones acústicas, son dos especies distintas.

Referencias

- Bucur, V. (2006). Second Edition. *Acoustics of Wood*. Springer Series in Wood Science. Springer Berlin Heidelberg. 393 p.
- Gutiérrez-Carvajal, L., & Dorantes-López, J. (2007). Especies forestales de uso tradicional del Estado de Veracruz. Comisión Forestal Nacional - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Universidad de Veracruz. México.
- Gutiérrez-Pulido, H., & de la Vara-Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México. McGraw Hill. 564 p.
- Pellerin, R.F., & Ross, R.J. Editors. (2002). *Nondestructive Evaluation of Wood*. Forest Products Society. USA. 210 p.
- Sandoz, J.L., Benoit, Y., & Demay, L. (2000). Wood testing using Acousto-ultrasonic. In: Proceedings of the WCTE 2000 World Conference on Timber Engineering. Canada. pp:136-142.
- Sotomayor-Castellanos, J.R. (2015). *Banco FITECMA de características físico-mecánicas de maderas mexicanas*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 65 p.
- Sotomayor-Castellanos, J.R., & Ramírez-Pérez, M. (2013). Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 9(3), 3-29.
- Sotomayor-Castellanos, J.R., García-Mariscal, L.J., Hernández-Maldonado, S.A., Moya-Lara, C.E., & Olguín-Cerón, J.B. (2011). Dispositivo de usos múltiples para pruebas no destructivas en madera y materiales compuestos de madera. Ultrasonido, Ondas de esfuerzo y Vibraciones transversales. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 7(3), 20-33.
- Sotomayor-Castellanos, J.R., Guridi-Gómez, L.I., & García-Moreno, T. (2010). Características acústicas de la madera de 152 especies mexicanas. Velocidad del ultrasonido, módulo de elasticidad, índice material y factor de calidad. Base de datos. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 6(1), 3-32.
- Spycher, M., Schwarze, F.W.M.R., & Steiger, R. (2008). Assessment of resonance wood quality by comparing its physical and histological properties. *Wood Science and Technology*, 42, 325-342.
- Tamarit-Urias, J.C., & López-Torres, J.L. (2007). *Xilotecnología de los principales árboles tropicales de México*. Libro técnico No. 3. INIFAP-CIR Golfo Centro, Campo experimental San Martinito. Tlahuapan, Puebla, México. 264 p.
- Wegst, U.G.K. (2008). Bamboo and Wood in Musical Instruments. *Annual Review of Materials Research*, 38, 323-349.

Velocidad de ondas de esfuerzo y módulos de elasticidad de 4 maderas mexicanas

SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier*† y VILLASEÑOR-AGUILAR, José

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Francisco J. Múgica S/N. Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

Recibido Enero 22, 2015; Aceptado Junio 11, 2015

Resumen

En ingeniería de la madera, el módulo de elasticidad es necesario para el cálculo de la rigidez de elementos estructurales. Igualmente, la densidad y la velocidad de onda son propiedades empleadas en el diseño de productos de madera con vocación para aplicaciones acústicas. El objetivo de la investigación fue determinar la velocidad de transmisión de onda y el módulo de elasticidad que caracterizan a la madera de *Swietenia humilis*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus americana* y *Fraxinus uhdei*, empleando el método de evaluación no destructivo de ondas de esfuerzo. El experimento realizó un análisis de varianza de la densidad, de la velocidad de las ondas de esfuerzo y del módulo de elasticidad de la madera como las variables de respuesta. La especie fue considerada el factor de variación. Los resultados mostraron que existe una diferencia significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95% de confianza. Este resultado sugiere que las cuatro especies deben ser consideradas como diferentes para fines de diseño y cálculo estructural.

Métodos no destructivos, *Swietenia humilis*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus americana*, *Fraxinus uhdei*

Abstract

In the wood engineering field, the modulus of elasticity is needed to calculate the rigidity of the structural elements. Similarly, the density and the wave speed are properties used in the design of wood products minded for acoustic applications. The goal of the research was to determine the wave transmission speed and the modulus of elasticity that characterize the *Swietenia humilis*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus americana* and *Fraxinus uhdei* woods by means of using the non-destructive stress wave evaluation method. In the research it was performed an analysis of variance of the wood density, the stress wave speed and the wood modulus of elasticity as response variables. The wood species was considered to be the variation factor. Results showed that exist a statistically significant difference within the means of the four variables with a significant level of 95%. This result suggests that the four species must be considered as different for design purposes and structural calculations.

Non-destructive methods, *Swietenia humilis*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus americana*, *Fraxinus uhdei*

Citación: SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier y VILLASEÑOR-AGUILAR, José. Velocidad de ondas de esfuerzo y módulos de elasticidad de 4 maderas mexicanas. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2015, 1-1: 34-42

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: madera999@yahoo.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Para contribuir a la utilización correcta de la madera empleada en la industria que incorpora este material como elemento estructural, es deseable desarrollar métodos simples de caracterización de sus propiedades mecánicas.

En Ingeniería de la madera, el módulo de elasticidad de la madera es necesario para el cálculo de su rigidez estructural, independientemente de la especie y de las características tecnológicas de la madera que modifiquen su respuesta estructural, tales como el contenido de humedad y su distribución, así como la presencia y localización de nudos y de fisuras en el plano leñoso.

Entre las características mecánicas de la madera necesarias para el diseño de productos de madera, el módulo de elasticidad determinado en condiciones dinámicas es el parámetro de referencia (Íñiguez et al. 2007).

Igualmente, la densidad y la velocidad de onda son propiedades empleadas en el diseño de productos de madera con vocación para aplicaciones acústicas (Brémaud et al. 2011).

Una opción para la determinación del módulo de elasticidad de elementos estructurales es la aplicación de métodos de evaluación no destructivos. Los métodos de evaluación no destructivos se caracterizan principalmente por su rapidez, bajo costo y por no afectar la estructura física del material en estudio. Entre otros métodos, las ondas de esfuerzo han demostrado su habilidad para determinar la velocidad de onda y el módulo de elasticidad de la madera (Kawamoto y Williams, 2002).

Matthews et al. (1994) estudian el efecto del contenido de humedad en las ondas de esfuerzo en madera de *Araucaria angustifolia*.

Los investigadores concluyen que el tiempo de transmisión de las ondas de esfuerzo en la madera se incrementa linealmente con el contenido de humedad del material. Es decir, la velocidad de las ondas de esfuerzo disminuye recíprocamente con el aumento del contenido de humedad. Además, los autores proponen que el módulo de elasticidad por ondas de esfuerzo presenta un valor mínimo alrededor del punto de saturación de la fibra. De esta manera Matthews et al. Concluyen que el contenido de humedad en la madera influye significativamente en los parámetros derivados de la medición de ondas de esfuerzo en la madera.

Kang y Booker (2002) estudian la variación de la velocidad de ondas de esfuerzo en relación al contenido de humedad de la madera de *Pinus radiata*. Entre sus principales conclusiones los autores proponen que la velocidad de ondas de esfuerzo es independiente del largo de la probeta. Así mismo la velocidad disminuye fuertemente cuando el contenido de humedad de la madera se incrementa del estado anhidro al punto de saturación de la fibra y a partir de este punto la velocidad decrece a una tasa menor respecto al incremento de contenido de humedad.

Han et al. (2006) estudian el efecto de la humedad en la velocidad de las ondas de esfuerzo en tableros de madera y madera sólida de *Pinus palustris* usando la tecnología *Metriguard®*. Entre sus conclusiones los autores encuentran para compósitos de madera que la velocidad de las ondas de esfuerzo decrece cuando aumenta el contenido de humedad en la madera y proponen que un análisis de regresiones entre la velocidad y el módulo de elasticidad de los materiales puede ser útil para predecir sus propiedades de resistencia.

Grabianowski et al. (2006) estudian árboles, troncos y madera aserrada de *Pinus radiata* utilizando ondas de esfuerzo. Entre sus principales conclusiones los autores encuentran fuertes correlaciones entre los valores de la velocidad de transmisión de ondas de esfuerzo entre árboles, troncos y madera aserrada. De esta manera los investigadores muestran que es posible predecir características mecánicas de madera aserrada a partir del estudio de ondas de esfuerzo en árboles en pie. En el mismo contexto, Ross et al. (2005) utilizan ondas de esfuerzo longitudinales para evaluar las correlaciones entre las propiedades mecánicas de la madera y la de trozas de *Pseudotsuga menziesii*. Los investigadores encuentran que los resultados de pruebas de ondas de esfuerzo efectuados sobre trozas, son útiles para predecir los módulos de elasticidad dinámicos y estáticos de la madera aserrada.

El objetivo de la investigación fue determinar la velocidad de transmisión de onda y el módulo de elasticidad que caracterizan a la madera de *Swietenia humilis*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus americana* y *Fraxinus uhdei*, empleando el método de evaluación no destructivo de ondas de esfuerzo.

Materiales y métodos

El material experimental consistió en madera de *Swietenia humilis* Zucc., *Alnus acuminata* arguta (Schlecht.) Furlow, *Fraxinus americana* L. y *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh., recolectada en terrenos forestales de Estado de Michoacán, México. Las especies fueron identificadas en el Laboratorio de Mecánica de la Madera, de la Facultad de Ingeniería de la Madera, UMSNH.

A partir de varios árboles, para cada especie se prepararon 32 probetas con dimensiones de 0.02 m x 0.02 m x 0.32 m, orientadas respectivamente en las direcciones radial, tangencial y longitudinal del plano leñoso, de acuerdo a las recomendaciones de la norma de la Organización Internacional para la Estandarización (International Organization for Standardization, 2014). La madera se almacenó durante 6 meses en una cámara de acondicionamiento con una temperatura de 20 °C (± 1 °C) y una humedad relativa de 60% (± 2 %), hasta que alcanzó un peso constante.

Contenido de humedad y densidad.

El contenido de humedad se determinó por el método de diferencia de pesos con grupos complementarios de probetas. Para cada probeta se calculó la densidad correspondiente al contenido de humedad de la madera en el momento de las pruebas.

El contenido de humedad de la madera se calculó con la fórmula (Sotomayor-Castellanos y Ramírez-Pérez, 2013):

$$CH = \frac{P_H - P_A}{P_A} (100) \quad (1)$$

Dónde:

CH = Contenido de humedad de la madera al momento del ensayo (%)

P_H = Peso de la probeta a un contenido de humedad H (kg)

P_A = Peso de la probeta en estado anhidro:
CH = 0% (kg)

La densidad de la madera se calculó con la fórmula (Fuentes-Salinas, 2000):

$$\rho_{CH} = \frac{P_{CH}}{V_{CH}} \quad (2)$$

Dónde:

ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad CH (kg/m^3)

P_{CH} = Peso de la barra a un contenido de humedad CH (kg)

V_{CH} = Volumen de la barra a un contenido de humedad CH (m^3)

Pruebas de ondas de esfuerzo

Las pruebas de ondas de esfuerzo consistieron en medir el tiempo de transmisión de una onda a través de la longitud de la probeta. Para las pruebas se empleó el aparato *Metriguard*[®] (Figura 1) posicionado en un dispositivo para pruebas no destructivas desarrollado por Sotomayor-Castellanos et al. (2011). Con la longitud de las probetas y el tiempo de transmisión de las ondas de esfuerzo, se calculó la velocidad de transmisión de las ondas de esfuerzo.

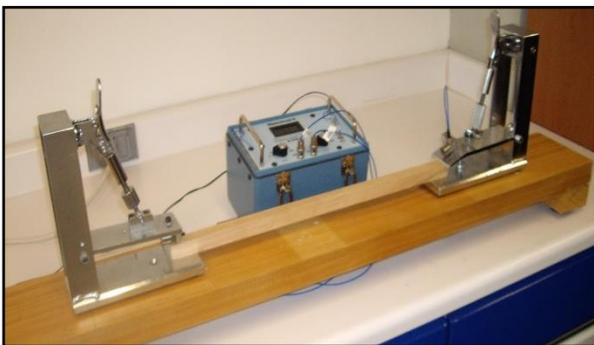


Figura 1 Dispositivo para pruebas de ondas de esfuerzo y aparato *Metriguard*[®] (Sotomayor-Castellanos et al. 2011).

A partir de la ecuación de onda:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (3)$$

Dónde:

u = Vector desplazamiento.

x = Coordenada espacial.

t = Coordenada temporal.

v = Velocidad de onda.

Se determinó el módulo de elasticidad con la fórmula (Pellerin y Ross, 2002):

$$E_{oe} = V_{oe}^2 \rho_{CH} \quad (4)$$

Dónde:

E_{oe} = Módulo de elasticidad de la madera en ondas de esfuerzo (Pa)

V_{oe} = Velocidad de las ondas de esfuerzo (m/s)

ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad CH (kg/m^3)

Diseño experimental

Se diseñó un análisis siguiendo las recomendaciones de Gutiérrez-Pulido y de la Vara-Salazar (2012). Los cálculos estadísticos fueron realizados con el programa *Statgraphics*[®]. El experimento realizó un análisis de varianza (ANOVA) de la densidad, de la velocidad de las ondas de esfuerzo y del módulo de elasticidad de la madera como las variables de respuesta evaluadas para cada una de las especies *S. humilis*, *A. acuminata*, *F. americana* y *F. uhdei*. La especie de madera fue considerada el factor de variación. El contenido de humedad de la madera se estima como una variable fija. Se efectuaron 3 pruebas con 32 réplicas en cada especie. El promedio de las 3 pruebas se consideró como valor particular para cada probeta.

Resultados y discusión

La Tabla 1 presenta la densidad, la velocidad de las ondas de esfuerzo y el módulo de elasticidad de la madera de *S. humilis*, *A. acuminata*, *F. americana* y *F. uhdei*.

Los valores promedio de los parámetros ρ_{CH} , V_{oe} y E_{oe} son congruentes con la magnitud de características físicas y mecánicas para maderas de densidades similares, propuestas por Sotomayor-Castellanos (2015). Los valores de los coeficientes de variación son próximos a los encontrados en investigaciones anteriores con maderas tropicales mexicanas (Tamarit-Urias y López-Torres, 2007).

La densidad resultó ser un predictor de la velocidad de onda con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.51, para un nivel de confianza de 95% (Figura 2). Para el módulo de elasticidad, en relación a la densidad, la Figura 3 explica que los resultados de *A. acuminata*, *F. americana* y *F. uhdei*, se agrupan y los de *S. humilis* se distinguen. En efecto, para fines de diseño de productos de madera, este resultado sugiere que las tres especies se pueden agrupar. En contraste, *S. humilis* debe considerarse como una madera diferente. Estos corolarios, deducidos a partir de la observación de la Figura 3 coinciden numéricamente, como se muestra en la Tabla 1. De tal forma, que pruebas estadísticas se hace necesarias para esclarecer el significado de los resultados.

	ρ_{CH} (kg/m ³)	V_{oe} (m/s)	E_{oe} (MPa)
<i>Swietenia humilis</i>			
\bar{x}	807	3,433	9,556
Σ	33.40	331.12	1,710
CV	4.14	9.65	17.89
<i>Alnus acuminata</i>			
\bar{x}	589	4,240	10,607
Σ	23.57	214.43	1,071
CV	4.00	5.06	10.09
<i>Fraxinus americana</i>			
\bar{x}	656	4,132	11,212
Σ	35.49	198.05	1,172
CV	5.41	4.79	10.46
<i>Fraxinus uhdei</i>			
\bar{x}	651	3,939	10,122
σ	30.96	132.76	978.83
CV	4.76	3.37	9.67

ρ_{CH} = Densidad; V_{oe} = Velocidad de ondas de esfuerzo; E_{oe} = Módulo de elasticidad; \bar{x} = media aritmética; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación (%).

Tabla 1 Densidad, velocidad de ondas de esfuerzo y módulo de elasticidad.

Análisis estadístico

Los resultados del análisis de varianza para cada una de las variables de respuesta se presentan en las Tablas de la 2 a la 7.

La Tabla 2 presenta los resultados ANOVA de los datos de la densidad en dos componentes: un componente entre grupos y un componente al interior de grupos. La razón F , es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado al interior de grupos. Puesto que el valor P del análisis de varianza es menor que 0.05, existe una diferencia significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95% de confianza.

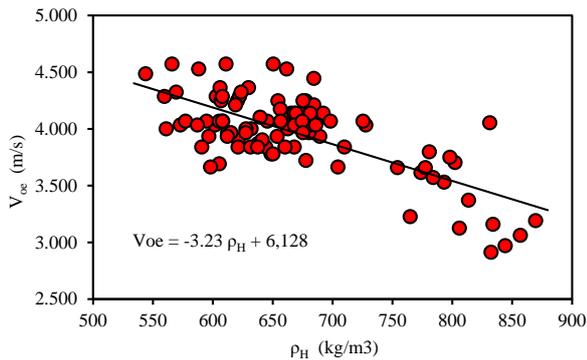


Figura 2 Dispersión y correlación de la velocidad de las ondas de esfuerzo (v_{oe}) en función de la densidad (ρ_H) de la madera de *Swietenia humilis*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus americana* y *Fraxinus uhdei*.

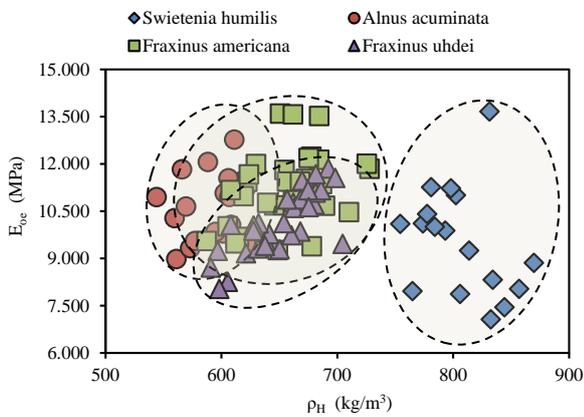


Figura 3 Dispersión del módulo de elasticidad (E_{oe}) en función de la densidad (ρ_H).

Densidad

El análisis de Pruebas de Múltiples Rangos (Tabla 3), determinó cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El método empleado para discriminar entre las medias, fue el procedimiento de diferencia mínima significativa de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. Este tipo de análisis estadístico se aplicó igualmente a las variables velocidad de ondas de esfuerzo y módulo de elasticidad.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	448,318	3	149,439	146.97	< 0.0
Intra grupos	95,581	94	1,017		
Total	543,899	97			

GL = Grados de libertad.

Tabla 2 Resultados del análisis de varianza para la densidad.

ρ_H	Media	Grupos homogéneos
<i>A. acuminata</i>	589	X
<i>F. uhdei</i>	651	X
<i>F. americana</i>	656	X
<i>S. humilis</i>	807	X

Contraste	Sig.	Diferencia +/-	Límites
<i>S. humilis</i> - <i>A. acuminata</i>	*	217.9	21.71
<i>S. humilis</i> - <i>F. americana</i>	*	151.1	19.00
<i>S. humilis</i> - <i>F. uhdei</i>	*	156.0	19.00
<i>A. acuminata</i> - <i>F. americana</i>	*	-66.8	19.00
<i>A. acuminata</i> - <i>F. uhdei</i>	*	-61.9	19.00
<i>F. americana</i> - <i>F. uhdei</i>		4.9	15.83

* indica una diferencia significativa (Sig.) de 95%.

Tabla 3 Pruebas de múltiple rangos para la densidad.

En la parte superior de la Tabla 3, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's, es decir se pueden agrupar los resultados de *F. uhdei* y *F. americana*. La mitad inferior de la Tabla 3, muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias significativas con un nivel del 95% de confianza, resultado que verifica la deducción anterior.

Velocidad de onda

La Tabla 4 presenta los resultados del ANOVA de los datos de la velocidad de onda en dos componentes: un componente entre grupos y un componente al interior de grupos.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	7.02×10^6	3	2.34×10^6	51.74	< 0.0
Intra grupos	4.25×10^6	94	45,227		
Total	1.13×10^7	97			

GL = Grados de libertad.

Tabla 4 Resultados ANOVA para la velocidad de ondas de esfuerzo.

Para el caso de la variable de respuesta velocidad de ondas de esfuerzo, la Tabla 4 explica que el valor P del ANOVAF fue menor que 0.05, en consecuencia, existe una diferencia significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95% de confianza. Es decir, los valores de las velocidades de onda son diferentes para cada especie estudiada.

En la parte superior de la Tabla 5, se han identificado las especies *F. americana* y *A. acuminata* como grupos homogéneos, lo cual significa que no existen diferencias significativas entre estas maderas con lo que respecta a sus parámetros elásticos. Efectivamente, en la parte inferior de la Tabla 5, se identifican las especies *A. acuminata* - *F. americana* como maderas con módulos de elasticidad sin diferencias significativas.

V_{oe}	Media	Grupos Homogéneos		
<i>S. humilis</i>	3,432	X		
<i>F. uhdei</i>	3,939		X	
<i>F. americana</i>	4,132			X
<i>A. acuminata</i>	4,240			X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/-	Límites
<i>S. humilis</i> - <i>A. acuminata</i>	*	-807.9	144.83	
<i>S. humilis</i> - <i>F. americana</i>	*	-699.2	126.73	
<i>S. humilis</i> - <i>F. uhdei</i>	*	-506.4	126.73	
<i>A. acuminata</i> - <i>F. americana</i>		108.7	126.73	
<i>A. acuminata</i> - <i>F. uhdei</i>	*	301.5	126.73	
<i>F. americana</i> - <i>F. uhdei</i>	*	192.8	105.56	

V_{oe} = Velocidad de las ondas de esfuerzo; * indica una diferencia significativa (Sig.) de 95%.

Tabla 5 Pruebas de múltiples rangos para la velocidad de las ondas de esfuerzo.

Módulos de elasticidad

La Tabla 6 presenta un valor P de del ANOVA que es menor que 0.05. De tal forma, que se puede proponer que existe una diferencia significativa entre las medias de los 4 módulos de elasticidad observados.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.601×10^7	3	1.200×10^7	8.21	0.0001
Intra grupos	1.374×10^8	94	1.462×10^6		
Total (Corr.)	1.73×10^8	97			

GL = Grados de libertad.

Tabla 6 Resultados ANOVA para el módulo de elasticidad.

En la parte superior de la Tabla 7, se han identificado 3 grupos homogéneos, identificados por las columnas que comparten las X's en las columnas. La mitad inferior de la Tabla 7, muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que los pares *S. humilis* - *A. acuminata*, *S. humilis* - *F. americana* y *F. americana* - *F. uhdei* muestran diferencias significativas.

E_{oe}	Media	Grupos Homogéneos		
<i>S. humilis</i>	9,556	X		
<i>F. uhdei</i>	10,122	X	X	
<i>A. acuminata</i>	10,607		X	X
<i>F. americana</i>	11,212			X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/-	Límites
<i>S. humilis</i> - <i>A. acuminata</i>	*	-1,051	823.49	
<i>S. humilis</i> - <i>F. americana</i>	*	-1,656	720.56	
<i>S. humilis</i> - <i>F. uhdei</i>		-566	720.56	
<i>A. acuminata</i> - <i>F. americana</i>		-604	720.56	
<i>A. acuminata</i> - <i>F. uhdei</i>		485	720.56	
<i>F. americana</i> - <i>F. uhdei</i>	*	1,089	600.22	

E_{oe} = Módulo de elasticidad; * indica una diferencia significativa (Sig.) de 95%.

Tabla 7 Pruebas de múltiples rangos para el módulo de elasticidad.

Conclusiones

Las ondas de esfuerzo, fueron de utilidad en la caracterización mecánica de la madera.

La densidad, la velocidad de onda y el módulo de elasticidad de las especies de *S. humilis*, *A. acuminata*, *F. americana* y *F. uhdei*, son diferentes. Particularmente, el módulo de elasticidad de *S. humilis*, se distingue de las otras especies.

Las cuatro especies deben ser consideradas como diferentes para fines de diseño y cálculo estructural.

Referencias

- Brémaud, I., Gril, J., & Thibaut, B. (2011). Anisotropy of wood vibrational properties: dependence on grain angle and review of literature data. *Wood Science and Technology*, 45, 735-754.
- Fuentes-Salinas, M. (2000). Estimación del Punto de Saturación de la Fibra (PSF) de las maderas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 6(1), 79-81.
- Grabianowski, M., Manley, B., & Walker, J.C.F. (2006). Acoustic measurements on standing trees, logs and green lumber. *Wood Science and Technology*, 40, 205-216.
- Gutiérrez-Pulido, H., & de la Vara-Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México. McGraw Hill. 564 p.
- Han, G., Wu, Q., & Wang, X. (2006). Stress-wave velocity of wood-based panels: Effect of moisture, product type, and material direction. *Forest Products Journal*, 56(1), 28-33.
- International Organization for Standardization. (ISO). (2014). ISO 13061-1:2014. Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests. ISO Catalog 79 Wood technology; 79.040 Wood, sawlogs and saw timber. International Organization for Standardization (ISO). Geneva, Switzerland.
- Íñiguez, G., Arriaga, F., Barrett, J.D., & Esteban, M. (2007). Visual grading of large structural coniferous sawn timber according to Spanish Standard UNE 56544. *Forest Products Journal*, 57, 45-50.
- Kang, H., & Booker, R.E. (2002). Variation of stress wave velocity with MC and temperature. *Wood Science and Technology*, 36, 41-54.
- Kawamoto, S., & Williams, R.S. (2002). Acoustic Emission and Acousto-Ultrasonic Techniques for Wood and Wood-Based Composites – A Review. Gen. Tech. Rep. FPL-GRT-134. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. USA. 16 p.
- Matthews, B., Zombori, B., & Divós, F. (1994). The effect of moisture content and temperature on the stress wave parameters. In: Proceedings of the first European symposium on nondestructive evaluation of wood. Hungary. pp: 261-269.
- Pellerin, R.F., & Ross, R.J. Editors. (2002). *Nondestructive Evaluation of Wood*. Forest Products Society. USA. 210 p.
- Ross, R.J., Zerbe, J.I., Wang, X., Green, D.W., & Pellerin, R.F. (2005). Stress wave nondestructive evaluation of Douglas-fir peeler cores. *Forest Products Journal*, 55(3), 90-94.
- Sotomayor-Castellanos, J.R. (2015). *Banco FITECMA de características físico-mecánicas de maderas mexicanas*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 65 p.
- Sotomayor-Castellanos, J.R., & M. Ramírez-Pérez. (2013). Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 9(3), 3-32.

Sotomayor-Castellanos, J.R., García-Mariscal, L.J., Hernández-Maldonado, S.A., Moya-Lara, C.E., & Olgún-Cerón, J.B. (2011). Dispositivo de usos múltiples para pruebas no destructivas en madera y materiales compuestos de madera. Ultrasonido, Ondas de esfuerzo y Vibraciones transversales. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 7(3), 20-33.

Tamarit-Urias, J.C., & López-Torres, J.L. (2007). *Xilotecnología de los principales árboles tropicales de México*. Libro técnico No. 3. INIFAP-CIR Golfo Centro, Campo experimental San Martinito. Tlahuapan, Puebla, México. 264 p.

Caracterización dinámica de la madera de *Fraxinus americana* y *Fraxinus uhdei*

VILLASEÑOR-AGUILAR, José*† y SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Francisco J. Múgica S/N. Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

Recibido Enero 12, 2015; Aceptado Mayo 19, 2015

Resumen

La frecuencia natural de vibración, el módulo de elasticidad dinámico, el factor de calidad y el índice material de la madera, encuentran su utilidad como indicadores de calidad y parámetros de diseño. El objetivo de la investigación fue determinar estas características de la madera de *Fraxinus americana* y *Fraxinus uhdei* empleando vibraciones transversales. Las pruebas mecánicas consistieron en medir la frecuencia natural de vibración perpendicular de 32 probetas normalizadas de cada especie. El experimento comparó las medias de la densidad, de la frecuencia natural, del módulo de elasticidad, del factor de calidad y del índice material como las variables de respuesta. La especie de madera fue considerada el factor de variación. Los resultados de las pruebas estadísticas demostraron que no hay diferencia significativa entre las medias de cada una de las dos muestras de datos, con excepción de la variable frecuencia natural. Así, se concluye que la madera de *F. americana* y *F. uhdei* pueden ser consideradas, con cierta reserva, como mecánicamente equivalentes.

Frecuencia natural, el módulo de elasticidad dinámico, factor de calidad, índice material

Abstract

The natural frequency vibration, the dynamic modulus of elasticity, the quality factor and the wood material index, find their usefulness as quality indicators and design parameters. The goal of the research was to determine these characteristics in the *Fraxinus americana* and *Fraxinus uhdei* woods by means of using transversal vibrations. The mechanical tests consisted of measuring perpendicularly the natural frequency vibration of 32 standardized specimens of each wood species. The research compared the means of the density, the natural frequency, the modulus of elasticity, the quality factor and the material index as the response variables. The wood species was considered to be the variation factor. Results from the statistical analyses showed that there are not statistically significant differences within the means of the two data groups, with exception of the natural frequency variable. In this way it is concluded that the *F. americana* and *F. uhdei* woods can be considered with a certain reserve as mechanically equivalents.

Natural frequency, modulus of elasticity, quality factor, acoustic impedance

Citación: VILLASEÑOR-AGUILAR, José y SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier. Caracterización dinámica de la madera de *Fraxinus americana* y *Fraxinus uhdei*. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2015, 1-1: 43-53

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: osmavia@yahoo.com.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los métodos de evaluación no destructivos que emplean la capacidad de la madera para almacenar y disipar energía para caracterizar su comportamiento mecánico han confirmado su utilidad para predecir, entre otros parámetros mecánicos del material, su frecuencia natural de vibración y el módulo de elasticidad dinámico.

Respecto a la utilización de tecnologías de carácter no destructivo y de su aplicación en el estudio de la madera Ilic (2001) realizaron pruebas de flexión en vibraciones transversales y de flexión estática sobre probetas normalizadas. Más información sobre la aplicación de métodos no destructivos en la caracterización mecánica de la madera se encuentra en Pellerin y Ross (2002).

El desarrollo de productos fabricados con madera, requiere además información normalizada y confiable de las propiedades de este material. Una de las características mecánicas más necesarias en Ingeniería de la madera es el módulo de elasticidad, el cual encuentra su utilidad como parámetro de diseño, cálculo e indicador de calidad.

El módulo de elasticidad dinámico de la madera es determinado empleando métodos de evaluación de carácter no destructivo, Una aplicación práctica es en la verificación de los métodos de laboratorio referentes a la calidad de resultados obtenidos en ensayos mecánicos, de acuerdo con el Manual de Construcción con Madera del Instituto Americano de Construcción con Madera (American Institute of Timber Construction, 2012).

La madera es un material ampliamente usado en Ingeniería que se comporta mecánicamente como un sólido elástico y que obedece las leyes de la Resistencia de Materiales. Sin embargo, los elementos estructurales de madera sometidos a cargas dinámicas como en el caso de impactos, vibraciones y sismos, sufren cargas más fuertes que las predichas por el diseño estructural tradicional (American Institute of Timber Construction, 2012). Este comportamiento depende, entre otros factores, de la intensidad y duración de la carga y de la rigidez del miembro estructural. Con el objeto de asegurar la fiabilidad de la estructura, es necesario anticipar un comportamiento conjunto que resulta de la respuesta elástica y dinámica de la madera.

La caracterización del comportamiento mecánico de la madera en condiciones dinámicas y los métodos de laboratorio desarrollados son de carácter no destructivo y han utilizado la hipótesis fundamental en mecánica de la madera propuesta por Jayne (1959): la madera y los productos fabricados con ella pueden almacenar y disipar energía, por ejemplo, la propiedad de la madera de almacenar energía es manifestada por la velocidad a la cual una onda mecánica viaja a través de ella.

En contraste, la capacidad de la madera para atenuar una onda mecánica denota su capacidad para disipar energía. Jayne propuso así la hipótesis de que estas propiedades de la madera para almacenar y disipar energía, están controladas por los mismos mecanismos que determinan su comportamiento mecánico en condiciones estáticas. Es decir, la estructura molecular y anatómica del material es la base del comportamiento mecánico de la madera.

Como consecuencia, es posible relacionar estadísticamente estas propiedades utilizando métodos de análisis numéricos como las correlaciones estadísticas. Esta proposición ha sido verificada experimentalmente en los trabajos de De Oliveira y Sales (2006) y de Chan et al. (2011).

Por otra parte, a partir de la teoría propuesta por Timoshenko et al. (1937), sobre la resistencia de materiales aplicada al estudio de vigas en Ingeniería, Hearmon (1966) estudió el comportamiento anisotrópico de la madera y la relación de esbeltez de las probetas en un ensayo de flexión en vibración transversal. A partir de sus resultados empíricos, el autor formuló el procedimiento experimental, utilizado posteriormente por diferentes autores en estudios sobre el comportamiento elástico de la madera. Sus valores de laboratorio del módulo de elasticidad para *Fraxinus excelsior* a un contenido de humedad del 12% determinado en un ensayo de flexión en vibración transversal fue de 14,000 MPa y para el módulo de elasticidad en flexión estática fue de 10,000 MPa, es decir una diferencia de 40%.

Con el propósito de confirmar la utilidad de la teoría de análisis de vigas, propuesta por Goens (1931) y Timoshenko et al. (1994), Perstorper (1992) comparó el módulo de elasticidad en vigas de dimensiones estructurales de *Picea excelsa*, aplicando ensayos de vibración transversal y de flexión estática.

Los resultados encontrados por Perstorper (1992) en *Picea excelsa* a un contenido de humedad del 12% para el módulo de elasticidad dinámico fue de 9,000 MPa y para el módulo de elasticidad estático fue de 8,000 MPa, es decir una diferencia del 12.5%. Además, el autor encontró regresiones entre los valores dinámicos y estáticos con coeficientes de correlación en promedio de 0.94, confirmando de esta manera la relación entre los dos parámetros calculados con métodos donde varía la velocidad de la aplicación de la carga.

Respecto a la utilización de tecnologías de carácter no destructivo y de su aplicación en el estudio de la madera, Görlacher (1984) realizó pruebas de flexión en vibración transversal sobre probetas normalizadas, utilizando la tecnología Grindosonic® y la metodología desarrollada anteriormente por Kollmann y Krech (1960) y Hearmon (1966). El autor comprobó la utilidad de este método experimental para la determinación del módulo de elasticidad en flexión transversal por vibración en la madera. Los datos del módulo de elasticidad dinámico de 15,000 MPa fueron superiores en 7% comparados al módulo de elasticidad estático de 14,000 MPa.

Haines et al. (1996) determinaron el módulo de elasticidad en flexión para un contenido de humedad del 12%, en vibración transversal para la madera de *Picea excelsa* que resultó en 11,000 MPa y *Abies amabilis* el cual fue de 13,000 MPa. Sus resultados demostraron que el módulo de elasticidad dinámico calculado para madera estructural fue 6% superior al módulo de elasticidad estático y para probetas de pequeñas dimensiones la diferencia respectiva fue de 3%. Los autores hacen notar que las propiedades visco elásticas de la madera influyen en la diferencia de valores entre los módulos de elasticidad dinámicos y estáticos.

Por su parte, Ilic (2001) estudió la relación entre los valores dinámicos y estáticos provenientes de ensayos de flexión transversal en probetas de pequeñas dimensiones a un contenido de humedad del 12% de *Eucalyptus delegatensis* y encontró que el módulo de elasticidad dinámico de 16,000 MPa es mayor que el módulo de elasticidad estático de 14,000 MPa en 14 %.

De la revisión de autores sobre el tema en estudio se puede sintetizar que los métodos de flexión en vibración transversal y flexión estática se han utilizado con éxito para determinar el módulo de elasticidad de la madera, y que el valor dinámico es generalmente mayor al estático.

El factor de calidad (Radiation ratio R en Spycher et al. 2008) es el parámetro más significativo para la determinación de la calidad de la madera para aplicaciones acústicas. Un valor alto del factor de calidad de una madera indica una buena calidad acústica comparativa, es decir, una vocación para “madera de resonancia”, de acuerdo con Müller (1986) y Ono y Norimoto (1983).

Un índice material es la combinación de las propiedades físico-químicas de un material, las cuales caracterizan su rendimiento para una aplicación específica. Un significativo índice material de una madera propone una mejor resistencia en relación a su densidad y una buena apreciación como material de ingeniería (Ashby, 2010). Por ejemplo, un buen diseño de estructuras de madera puede contribuir a mejorar el ambiente sonoro en construcciones, gracias a las propiedades acústicas del material. Entre otros indicadores de calidad de los materiales de construcción, el índice material que relaciona su módulo de elasticidad con su densidad es un indicador de la calidad de la madera para usos específicos (Sotomayor-Castellanos et al. 2010).

El objetivo de la investigación fue determinar las características dinámicas y los indicadores de calidad de la madera de *F. americana* y *F. uhdei* empleando vibraciones transversales.

La investigación se fundamenta en la teoría de la resistencia de materiales y en la teoría de vibraciones. Además, la proposición se concreta a su comportamiento en sollicitaciones de flexión dinámica en vibración transversal sobre apoyos simples, en condiciones de invariabilidad térmica y sin variación espacial del contenido de humedad en las probetas de la madera.

Materiales y métodos

El material experimental consistió en madera de *Fraxinus americana* L. y *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh., recolectada en terrenos forestales de Estado de Michoacán, México. Las especies fueron identificadas en el Laboratorio de Mecánica de la Madera, de la Facultad de Ingeniería de la Madera, UMSNH. A partir de piezas de madera aserrada, para cada especie se prepararon 32 probetas con dimensiones de 0.02 m x 0.02 m x 0.32 m, orientadas respectivamente en las direcciones radial, tangencial y longitudinal del plano leñoso, de acuerdo a las recomendaciones de la norma de la Organización Internacional para la Estandarización (International Organization for Standardization, 2014). La madera se almacenó durante 6 meses en una cámara de acondicionamiento con una temperatura de 20 °C (± 1 °C) y una humedad relativa de 60% (± 2 %), hasta que su peso fue constante.

Contenido de humedad y densidad

El contenido de humedad se determinó por el método de diferencia de pesos con grupos complementarios de probetas. Para cada probeta se calculó la densidad correspondiente al contenido de humedad de la madera en el momento de las pruebas. Igualmente, se midió la frecuencia natural en vibraciones transversales. El análisis estadístico de los resultados se realizó con el programa de análisis estadístico *Statgraphics*®.

El contenido de humedad de la madera se calculó con la fórmula (Sotomayor-Castellanos y Ramírez-Pérez, 2013):

$$CH = \frac{P_{CH} - P_A}{P_A} (100) \quad (1)$$

Dónde:

CH = Contenido de humedad de la madera al momento del ensayo (%)

P_{CH} = Peso de la probeta a un contenido de humedad H (kg)

P_A = Peso de la probeta en estado anhidro:
CH = 0% (kg)

La densidad de la madera se calculó con la fórmula (Fuentes-Salinas, 2000):

$$\rho_{CH} = \frac{P_{CH}}{V_{CH}} \quad (2)$$

Dónde:

ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad CH (kg/m³)

P_{CH} = Peso de la barra a un contenido de humedad CH (kg)

V_{CH} = Volumen de la barra a un contenido de humedad CH (m³)

Pruebas de vibraciones

Las pruebas de vibraciones transversales (vt) consistieron en medir la frecuencia natural de vibración perpendicular a la dirección longitudinal de la probeta. Con tal propósito, se utilizó el aparato *Grindosonic*®. La figura 1 muestra el montaje de laboratorio y el sensor con el cual se registró la vibración de la viga y se midió la frecuencia natural del sistema. La Figura 2 presenta la configuración de las pruebas de vibraciones transversales.

El impulso elástico inicial fue aplicado en el centro geométrico de la cara superior de la probeta, en la dirección transversal a la misma, apoyada sobre dos soportes rígidos de tipo simples a una distancia nodal de 0.224 L, siguiendo los protocolos de (Sotomayor-Castellanos et al. 2007).



Figura 1 Dispositivo para pruebas no destructivas de vibraciones transversales y aparato *Grindosonic*® (Sotomayor-Castellanos et al. 2007).

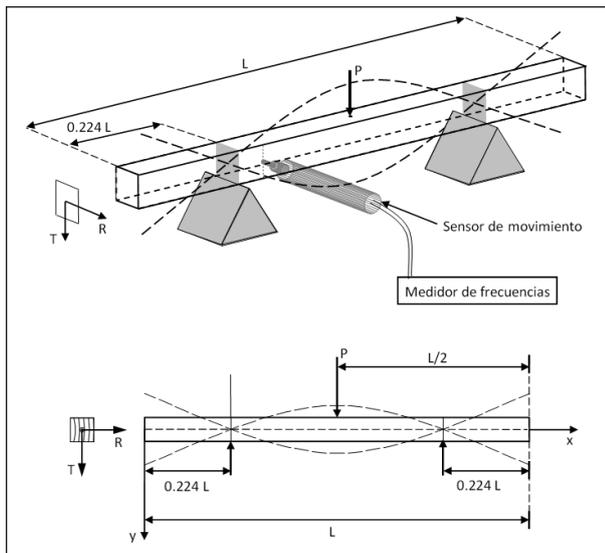


Figura 2 Configuración de las pruebas de vibraciones transversales. P = Impacto; R = Dirección radial; T = Dirección tangencial (Sotomayor-Castellanos et al. 2007).

El ensayo dinámico en cada probeta fue repetido tres veces y el promedio de valores fue considerado para su análisis posterior. Durante la prueba se calculó el momento de inercia de la sección transversal de la probeta correspondiente al ensayo.

A partir de la ecuación de movimiento de una viga en vibraciones transversales:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m_l \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \left(m_l r^2 + \frac{EI m_l}{K' AG} \right) \frac{\partial^4 y}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{m_l^2 r^2}{K' AG} \frac{\partial^4 y}{\partial t^4} = 0 \quad (1)$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad de la madera (Pa)

I = Momento de inercia de la sección transversal de la probeta (m⁴)

m_l = Masa por unidad de longitud de la probeta (kg/m)

A = Área de la sección transversal de la probeta (m²)

G = Módulo de Rigidez de la madera (Pa)

y = Desplazamiento en la dirección transversal de la probeta (m)

x = Distancia en la dirección longitudinal de la probeta (m)

t = Tiempo (s)

K' = Factor de forma en cortante. (0.833 para probetas prismáticas)

r = Radio de giro de la sección transversal de la probeta (m²), con: $r = \sqrt{I/A}$

Se calculó el módulo de elasticidad en vibraciones transversales con la fórmula (Machek et al. 2001):

$$E_{vt} = \frac{4 \pi^2 L_{vt}^4 f_{vt}^2 \rho_H}{m^4 r^2} \left(1 + \frac{r^2}{l_{vt}^2} K \right) \quad (2)$$

Dónde:

E_{vt} = Módulo de elasticidad en vibraciones transversales (Pa)

L_{vt} = Largo de la probeta (m)

l_{vt} = Distancia entre apoyos (m)

f_{vt} = Frecuencia natural de la probeta (Hz)

ρ_H = Densidad de la madera a un contenido de humedad H (kg/m³)

m, K = Constantes adimensionales (12.65, 49.48)

r = Radio de giro de la sección transversal de la probeta (m²)

Con: $r = \sqrt{I/A}$

I = Momento de inercia de la sección transversal de la probeta (m⁴)

A = Área de la sección transversal de la probeta (m²)

El factor de calidad en vibraciones transversales se calculó con la fórmula (Spycher et al. 2008):

$$F_{vt} = \sqrt{\frac{E_{vt}}{\rho_{CH}^3}} \quad (3)$$

Dónde:

F_{vt} = Factor de calidad de la madera en vibraciones transversales ($m^4/s \times kg$)

E_{vt} = Módulo de elasticidad de la madera en vibraciones transversales (Pa)

ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad H (kg/m^3)

El índice material en vibraciones transversales se calculó con la fórmula (Ashby, 2010):

$$I_{vt} = \frac{E_{vt}}{\rho_{CH}} \quad (4)$$

Dónde:

I_{vt} = Índice material de la madera en vibraciones transversales (m^2/s^2)

E_{vt} = Módulo de elasticidad de la madera en vibraciones transversales (Pa)

ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad CH (kg/m^3)

Diseño experimental

Se diseñó un análisis siguiendo las recomendaciones de Gutiérrez-Pulido y de la Vara-Salazar (2012). Los cálculos estadísticos fueron realizados con el programa *Statgraphics®*. El experimento comparó las medias de la densidad, de la frecuencia natural, del módulo de elasticidad, el factor de calidad y el índice material de la madera como las variables de respuesta evaluadas para cada una de las especies de *F. americana* y *F. uhdei*. La especie de madera fue considerada el factor de variación.

El contenido de humedad de la madera se estima una variable fija. Se efectuaron 3 pruebas con 32 réplicas en cada especie. El promedio de las 3 pruebas se consideró como valor particular para cada probeta.

Suponiendo una distribución normal con media cero ($\bar{x} = 0$) y varianza constante (σ^2) e independientes entre sí, para cada prueba de diferencia de medias se verificó la hipótesis nula $H_0: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$, y se contrastó con la hipótesis alterna $H_A: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \neq 0$. El método empleado para discriminar entre las medias fue una prueba *t* de *student* con nivel de significancia de 95%.

Resultados y discusión

La Tabla 1 presenta la densidad, la frecuencia natural, el módulo de elasticidad, el factor de calidad y el índice material de la madera de *F. americana* y *F. uhdei*.

La magnitud de los parámetros ρ_{CH} , f_{vt} , E_{vt} , F_{vt} e I_{vt} , así como sus respectivos coeficientes de variación, indicados en la Tabla 1, son coherentes con la información para maderas mexicanas de densidad comparable, presentada por Silva-Guzmán et al. (2007), Tamarit-Urias y López-Torres (2007) y Sotomayor-Castellanos (2015).

Al mismo tiempo, sus valores numéricos son similares, resultado que dificulta su diferenciación como especies diferentes, de acuerdo con sus características físico-mecánicas. De tal forma, que es necesario realizar un análisis estadístico detallado.

	ρ_{CH}	f_{vt}	E_{vt}	F_{vt}	I_{vt}
	(kg/m ³)	(Hz)	(MPa)	(m ⁴ /s x kg)	(m ² /s ²)
<i>Fraxinus americana</i>					
x	631	370	10,901	6.61	17.36
σ	34.14	24.64	1,840	0.85	3.22
CV	5.41	6.67	16.88	12.84	18.55
<i>Fraxinus uhdei</i>					
x	625	343	10,607	6.59	16.96
σ	29.72	16.68	1,268	0.44	1.77
CV	4.76	4.86	11.96	6.64	10.41

ρ_{CH} : Densidad; f_{vt} : Frecuencia natural; E_{vt} : Módulo de elasticidad; F_{vt} : Factor de calidad; I_{vt} : Índice material; x = Media; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación (%).

Tabla 1 Características dinámicas.

La magnitud de los parámetros ρ_{CH} , f_{vt} , E_{vt} , F_{vt} e I_{vt} , así como sus respectivos coeficientes de variación, indicados en la Tabla 1, son coherentes con la información para maderas mexicanas de densidad comparable, presentada por Silva-Guzmán et al. (2007), Tamarit-Urias y López-Torres (2007) y Sotomayor-Castellanos (2015). Al mismo tiempo, sus valores numéricos son similares, resultado que dificulta su diferenciación como especies diferentes, de acuerdo con sus características físico-mecánicas. De tal forma, que es necesario realizar un análisis estadístico detallado.

Análisis estadístico

Las pruebas *t* de *student* para evaluar la hipótesis específica acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras y construida para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0, *versus* la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0, resultó, para todas las variables de respuesta y con excepción de la frecuencia natural, que el valor *P* calculado no es menor que 0.05, de tal forma, que no se puede rechazar la hipótesis nula (Tabla 2).

Parámetro	Valor <i>P</i>	Diferencia
ρ_{CH}	0.453388	nds
f_{vt}	0.00000433426	*
E_{vt}	0.459493	nds
F_{vt}	0.933833	nds
I_{vt}	0.542949	nds

ρ_{CH} = Densidad; f_{vt} = frecuencia natural; E_{vt} = Módulo de elasticidad; F_{vt} = Factor de calidad; I_{vt} = Índice material; * = diferencia significativa para un nivel de confianza del 95%; nds = no diferencia significativa.

Tabla 2 Pruebas de comparación de medias.

Estos resultados sugieren que para fines de cálculo y diseño estructural, las especies de *F. americana* y *F. uhdei*, pueden ser consideradas como equivalentes, ponderando siempre su contenido de humedad y el proceso de estabilización al cual fuesen sometidos para un empleo específico.

Para el caso específico de la frecuencia natural, esta variable resultó un buen predictor del módulo de elasticidad. El coeficiente de determinación (R^2), para correlaciones simples $E_{vt} = f(f_{vt})$, es superior para *F. americana* (Figura 3), en comparación con el de *F. uhdei* (Figura 4).

Para las dos especies, resultados similares fueron encontrados para la frecuencia natural como predictor del factor de calidad (F_{vt}) y del índice material (I_{vt}) (Figuras 3 y 4). En efecto, una vez que los valores del módulo de elasticidad de la madera son ponderados por su densidad, son los índices de calidad los que homogenizan criterios para la caracterización mecánica de la madera de acuerdo con Ashby (2010).

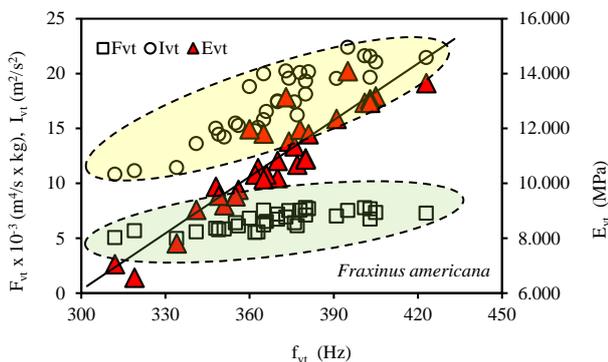


Figura 3 Dispersión del factor de calidad (F_{vt}) y del índice material (I_{vt}) de la madera de *F. americana*, en función de la frecuencia natural (f_{vt}) y la correlación entre el módulo de elasticidad (E_{vt}) y la frecuencia natural (f_{vt}): $E_{vt} = 68.7 f_{vt} - 14,497$ con $R^2 = 0.85$.

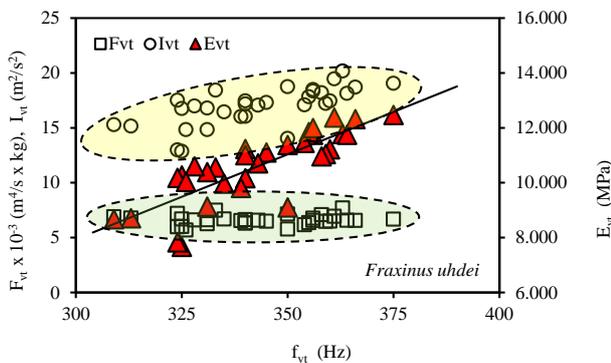


Figura 4 Dispersión del factor de calidad (F_{vt}) y del índice material (I_{vt}) de la madera de *F. uhdei*, en función de la frecuencia natural (f_{vt}) y la correlación entre el módulo de elasticidad (E_{vt}) y la frecuencia natural (f_{vt}): $E_{vt} = 61.87 f_{vt} - 10,617$ con $R^2 = 0.66$

Conclusiones

La densidad y la frecuencia de la madera de *F. americana* y *F. uhdei* son diferentes. Sin embargo, el módulo de elasticidad, el factor de calidad y el índice material, pueden ser considerados, bajo cierta reserva, como mecánicamente equivalentes.

La frecuencia natural es predictor del factor de calidad y del índice material.

Referencias

- American Institute of Timber Construction. (2012). Sixth Edition. *Timber Construction Manual*. John Wiley & Sons, Inc. USA. 904 p.
- Ashby, M.F. (2010). *Materials selection in mechanical design*. Fourth Edition. Butterworth Heinemann. England. 640 p.
- Chan, J.M., Walker, J.C. & Raymond, C.A. (2011). Effects of moisture content and temperature on acoustic velocity and dynamic MOE of radiata pine sapwood boards. *Wood Science and Technology*, 45, 609-626.
- De Oliveira, F.G.R., & Sales, A. (2006). Relationship between density and ultrasonic velocity in Brazilian tropical woods. *Bioresource Technology*, 97, 2443-2446.
- Fuentes-Salinas, M. (2000). Estimación del Punto de Saturación de la Fibra (PSF) de las maderas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 6(1), 79-81.
- Goens, E. (1931). Determination of Young's modulus from flexural vibrations. *Annalen der Physik*, 11(6), 649-678.
- Görlacher, R. (1984). Ein neues Messverfahren zur Bestimmung des E-modulus von Holz. *Holz als Roh-und Werkstoff*, (42), 212-222.
- Gutiérrez-Pulido, H., & de la Vara-Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México. McGraw Hill. 564 p.

- Haines, D.W., Leban, J.M., & Herbé, C. (1996). Determination of Young's modulus for spruce, fir and isotropic materials by the resonance flexure method with comparisons to static flexure and other dynamic methods. *Wood Science and Technology*, (30), 253-263.
- Hearmon, R.F.S. (1966). Theory of the Vibration Testing of Wood. *Forest Products Journal*, 16(8), 29-40.
- Ilic, J. (2001). Relations among the dynamic and static elastic properties of air-dry *Eucalyptus delegatensis* R. Baker. *Holz als Roh- und Werkstoff*, (59), 169-175.
- International Organization for Standardization. (ISO). (2014). ISO 13061-1:2014. Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests. ISO Catalog 79 Wood technology; 79.040 Wood, sawlogs and saw timber. International Organization for Standardization (ISO). Geneva, Switzerland.
- Jayne, B.A. (1959). Vibrational properties of wood as indices of quality. *Forest Products Journal*, 9(11), 413-416.
- Kollmann, F. & Krech, H. (1960). Dynamische Messung der Elastischen Holzeigenschaften und der Dämpfung. *Holz Roh-Werkstoff*, (18), 41-54.
- Machek, L., Militz, H., & Sierra-Alvarez, R. 2001. The use of an acoustic technique to assess wood decay in laboratory soil-bed tests. *Wood Science and Technology*, 34(6), 467-472.
- Müller, H.A. (1986). How violinmakers choose wood and what this procedure means from a physical point of view. Paper presented at Catgut Acoustical Society International Symposium on musical Acoustics. USA.
- Ono, T. & Norimoto, M. (1983). Study on Young's modulus and internal friction of wood in relation to the evaluation of wood for musical instruments. *Japan Journal of Applied Physics*, 22(4), 611-614.
- Pellerin, R.F., & Ross, R.J. Editors. (2002). *Nondestructive Evaluation of Wood*. Forest Products Society. USA. 210 p.
- Perstorper, M. (1992). Predicting the stiffness of structural timber using dynamic modal tests. In Proceedings of IUFRO S5.02 Timber Engineering 1992 Conference. France. pp: 305-324.
- Silva-Guzmán, J.A., Fuentes-Talavera, F.J., Rodríguez-Anda R., Torres-Andrade, P.A., Lomelí-Ramírez, M.A., Ramos-Quirarte, J., Waitkus, C., & Richter, H.G. (2010). Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara y Comisión Nacional Forestal, México. 208 p.
- Sotomayor-Castellanos, J.R. (2015). *Banco FITECMA de características físico-mecánicas de maderas mexicanas*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 65 p.
- Sotomayor-Castellanos, J.R., & Ramírez-Pérez, M. (2013). Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 9(3), 3-29.
- Sotomayor-Castellanos, J.R., Guridi-Gómez, L.I., & García-Moreno, T. (2010). Características acústicas de la madera de 152 especies mexicanas. Velocidad del ultrasonido, módulo de elasticidad, índice material y factor de calidad. Base de datos. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 6(1), 3-32.

Sotomayor-Castellanos, J.R., Villaseñor-Aguilar, J.M., & I. Aoi. (2007). Módulos de elasticidad evaluados por métodos no destructivos y ruptura de la madera de *Pinus douglasiana*: Vibraciones transversales, ultrasonido, ondas de esfuerzo y flexión estática. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 3(2), 3-17.

Spycher, M., Schwarze, F.W.M.R., & Steiger, R. (2008). Assessment of resonance wood quality by comparing its physical and histological properties. *Wood Science and Technology*, 42, 325-342.

Tamarit-Urias, J.C., & López-Torres, J.L. (2007). *Xilotecnología de los principales árboles tropicales de México*. Libro técnico No. 3. INIFAP-CIR Golfo Centro, Campo experimental San Martinito. Tlahuapan, Puebla, México. 264 p.

Timoshenko, S. (1937). Second Edition. *Vibration problems in Engineering*. New York: D Van Nostrand Company. USA. 470 p

Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores

ARROYO-ALMAGUER, Marisol*†, RICO-MORENO, José, BARRON-ADAME, José y AGUIRRE-PUENTE, José

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Carretera Valle de Santiago-Huamimaro Kilómetro 1.2, 20 de Noviembre, 38400 Valle de Santiago, Gto., México

Recibido Mayo 13, 2015; Aceptado Agosto 31, 2015

Resumen

Las instituciones educativas diariamente generan una gran cantidad de información y documentos, siendo absolutamente necesario disponer de un sistema que contribuya a mejorar y optimizar los procesos de control y administración de documentos digitales, convirtiéndolos en conocimiento y recursos valiosos para la institución. Se presenta el desarrollo del Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores, que permite no solo gestionar documentos digitales (en diferentes formatos), sino también, registrar la información referente a cada documento que se concentra en el sistema (metadatos); considerando distintos criterios de clasificación y diferentes perfiles de usuario, así como la opción de búsquedas o exploración de archivos, haciendo uso de un repositorio digital diseñado para tal fin. Para el desarrollo de la propuesta se llevaron a cabo las siguientes fases: revisión de literatura, evaluación del proceso, análisis de requerimientos, selección de la arquitectura, modelado y diseño, desarrollo y pruebas del sistema, puesta en marcha y obtención de resultados. El uso del sistema, resultó ser una herramienta muy útil que da soporte y sirve como insumo principal de los procesos, facilitando la disponibilidad de la información, preservar documentos digitales, y reducir el tiempo y esfuerzo destinados a concentrar y organizar los documentos generados.

Proceso de Acreditación, Gestión de Documentos, Metadatos, Evidencias Digitales, Sistema Web.**Abstract**

The educational institutions generate a great quantity of data, information and documents, being absolutely necessary to have a system of documental administration that contributes to improve and to optimize the control processes and digital documents administration, turning them into knowledge and valuable resources for the institution. Document Management Web System for Accreditation Organisms not only allows to manage digital documents (in different formats); but also, to register the information with respect to each document that is concentrated on the system (metadata); considering different classification criteria and different user profiles and the option to search or scan files, making use of a digital repository designed for that purpose. For the development of the proposal they were carried out the following steps: literature review, evaluation of the process, requirements analysis, selection of architecture, modelling and design, development and system testing, commissioning and delivering results. The use of system, turned out to be a very useful tool that supports and serves as main input of the process, facilitating the availability of information, preserve digital documents, and reduce time and effort intended to focus and organize the documents that are required in each one of the categories and approaches of defined accreditation by the accreditation organism.

Accreditation Process, Document Management, Metadata, Digital Evidences, Web System.

Citación: ARROYO-ALMAGUER, Marisol, RICO-MORENO, José, BARRON-ADAME, José y AGUIRRE-PUENTE, José. Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2015, 1-1: 54-65

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: marroyoal@utsoe.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Una universidad es generadora y receptora de documentos e información que sirven para conocer la evolución académica y administrativa de ésta, pero en dependencia de su gestión, dependerá su acceso y disponibilidad. Se debe recurrir con frecuencia a los documentos que se han producido o recibido para verificar proyectos, llevar a cabo investigaciones, tomar decisiones, mantener las evidencias y conservar la memoria para el futuro (Font Aranda, Ruiz Rodríguez, & Mena Mugica, 2012).

Por tanto es evidente la necesidad de integrar un sistema de gestión de documentos que permita organizar, controlar y mantener estas evidencias de forma tal que se puedan recuperar con facilidad, optimizando el tiempo, recursos y esfuerzo invertidos en el proceso.

La Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato (UTSOE), forma parte del Subsistema de Universidades Tecnológicas (SUT). La UTSOE es una institución comprometida con la calidad de su oferta educativa y con los procesos estratégicos de gestión. Dentro de los programas académicos que ofrece a la sociedad se encuentra el de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación.

Actualmente, dicho programa educativo se encuentra en proceso de acreditación ante un organismo acreditador a nivel nacional. Este proceso es clave para seguir elevando la calidad en la formación de profesionales de informática y computación, incentivar la mejora continua y mejorar los procesos administrativos.

El proceso de acreditación involucra la autoevaluación de todas las áreas y servicios de la institución (que incluye el análisis y las evidencias del cumplimiento de las funciones académicas y administrativas), así como una evaluación en detalle que realiza un grupo de especialistas externos, que se encarga de comprobar que el informe de autoevaluación es real y certero.

El proceso de evaluación y acreditación de un programa educativo de nivel superior es complejo, ya que requiere la participación de diferentes instancias en la organización y diversos recursos de ésta.

Por lo anteriormente expuesto, se seleccionó este proceso de autoevaluación para realizar las pruebas al Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores.

Justificación

El disponer de un sistema de gestión de documentos resulta vital para controlar, manipular y dar seguimiento a los documentos digitales de cualquier proceso en una organización, a fin de preservar y proteger las evidencias que se generan en cada actividad y operación que se llevan a cabo.

La cantidad de información que se maneja, y el control que se debe tener sobre ésta, así como la accesibilidad a la misma, hacen necesaria la implementación del Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores.

En un proceso de acreditación, durante la etapa de evaluación, la comisión técnica de la instancia de acreditación, realiza un cruce de información de todos los procesos institucionales. Estos procesos deben estar soportados por un sistema que permita tener un control de la información de dichos procesos, no solo por el objeto de la acreditación en sí, sino para que los sistemas de información institucionales tengan el nivel de acoplamiento y cohesión óptimos.

En la actualidad las empresas manejan grandes volúmenes documentales y su principal necesidad es el control y la consulta permanente, todo en el menor tiempo posible, por lo que los problemas que se generan son constantes cuando se desea recuperar algún documento o integrar un conjunto de documentos como evidencias probatorias de la realización de un proceso, actividad u operación organizacional en particular (Narváez Ospina, 2014).

Al respecto, se debe considerar lo siguiente:

- La disponibilidad de la información es indispensable. Se deben considerar mecanismos adecuados de recolección de información existente y de generación de la nueva información que se estime necesaria. Dicha información usualmente existe en las distintas áreas de la institución, aunque generalmente se encuentra dispersa y desordenada.
- Las fuentes de donde proviene la información son diversas así como el tipo de documentos que se solicitan. Esto provoca problemas al momento de realizar búsquedas o clasificar la información.

- Se requiere la participación de diferentes actores involucrados en cada proceso (Directores de área, profesores, personal administrativo de diferentes departamentos, entre otros). Por lo que se requiere organizar las actividades y los tiempos de cada involucrado.
- La generación de toda información y documentos que se requieren en los procesos, implica esfuerzo y tiempo invertidos por parte de los agentes que participan en los mismos.

El equipo de trabajo ha realizado una revisión de plataformas actualmente disponibles en el mercado dedicadas a la tarea de concentrar y compartir documentos, sin embargo, estas plataformas no contemplan en su totalidad, los requerimientos del proceso de autoevaluación del programa educativo con fines de acreditación.

El Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores, tiene por objeto el buen manejo y organización de la documentación producida y recibida por una Institución, para facilitar su registro, utilización y conservación. A diferencia de otras propuestas similares, este sistema considera las siguientes características:

- La descripción del documento incluye el documento digital (imagen, .pdf, .doc, etc.);
- permite la consulta mediante criterios diversos y de forma sencilla y avanzada;
- posibilita el almacenamiento y consulta de los metadatos de cada registro con la información del usuario que lo ha creado, la fecha, y quién lo ha modificado;
- permite la gestión de usuarios con diversos derechos de acceso;
-
-

- cada documento tiene establecidas ciertas condiciones de seguridad y accesibilidad para su consulta.

Además, los usuarios finales pueden:

- Realizar búsquedas simultáneas de descripciones, registros y otros objetos digitales;
- disponer de visualización, descarga, impresión y búsqueda de documentos;
- navegar de forma sencilla entre documentos digitales y sus descripciones.

Los documentos académicos y administrativos que se concentran en el repositorio de la aplicación Web, son de diversa índole. Entre otros, corresponden a:

- Evidencias de trabajo académico del personal docente (material didáctico, cursos, colaboración en proyectos de desarrollo tecnológico e investigación, participación en congresos, publicaciones, etc.);
- Seguimiento a estudiantes (estadías en empresas, asesorías académicas, tutorías, convocatorias, etc.);
- Actualizaciones al plan de estudios y programas de asignatura;
- Evidencias del proceso enseñanza-aprendizaje (prácticas, rúbricas, exámenes, etc.);
- Evidencias de vinculación con el sector productivo, privado y social.

Problema

La problemática que se presenta se describe en los siguientes puntos:

- El tiempo y esfuerzo invertidos en recuperar evidencias digitales es considerable, debido a que no se encuentran organizados y no se mantienen adecuadamente, repercutiendo sobre la calidad en la toma de decisiones y cumplimiento de objetivos.
- Los registros de evidencias no están sistematizados y no corresponden a los códigos establecidos de los sistemas de información y de calidad correspondientes.
- Se presenta inconsistencia de información durante el seguimiento a procesos académicos y administrativos. La información consultada por las diferentes instancias no es la misma, de tal manera que las diferentes consultas e información de los catálogos de una misma entidad, arrojan diferentes resultados.
- No se tiene un nivel de confianza en la información entre los procesos así como en el flujo de ésta. La información usualmente existe en las distintas áreas de la institución, aunque generalmente se encuentra dispersa y desordenada.

El problema que aborda el presente proyecto se formula con la siguiente pregunta: ¿En los procesos institucionales orientados a la calidad académica, el flujo de información y la consistencia de ésta, se pueden optimizar y a su vez, asegurar un nivel de confiabilidad utilizando un Sistema de Gestión de Documentos?

Hipótesis

Con la implementación de un Sistema de Gestión de Documentos en una institución educativa, se dispondrá de información oportuna y organizada, y se reducirán los tiempos de búsqueda y recuperación de documentos digitales requeridos en los procesos que se realizan, además de que se asegurará la consistencia y veracidad de la información consultada en diferentes áreas de la organización.

Objetivos**Objetivo General**

El objetivo general de este proyecto es el desarrollo de una aplicación Web que habilite el registro en línea de documentos de evidencia de trabajo académico en diversos formatos (.pdf, .doc, .xls, .ppt, entre otros) con sus respectivos metadatos, a fin de lograr su concentración en un repositorio que pueda ser accedido mediante la autenticación por parte de diferentes perfiles de usuario.

Objetivos específicos

- Revisión del procedimiento y reglas de operación actuales de recolección, almacenamiento, organización y consulta de documentos digitales.
- Detección de fallas y/o inconvenientes de dicho proceso.
- Diseño de propuesta de un sistema que brinde solución a las deficiencias detectadas considerando el levantamiento de requerimientos.
- Desarrollo de la aplicación Web.
- Inclusión de las propuestas de solución en el desarrollo de la aplicación.
- Realización de pruebas de verificación y funcionamiento.

Marco Teórico**Proceso de Acreditación**

En México, a finales del año 2000, con la creación del Consejo para la Acreditación de la Educación Superior, A. C. (COPAES), se inició la construcción de un sistema para la acreditación de los programas educativos que las instituciones ofrecen. El COPAES es la instancia capacitada y reconocida por el Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Educación Pública (SEP), para conferir reconocimiento formal a favor de organizaciones cuyo fin sea acreditar programas académicos de educación superior que ofrezcan instituciones públicas y particulares, previa valoración de su capacidad organizativa, técnica y operativa, de sus marcos de evaluación para la acreditación de programas académicos, de la administración de sus procedimientos y de la imparcialidad del mismo

La acreditación de un programa académico de nivel superior es el reconocimiento público que otorga un organismo acreditador, no gubernamental y reconocido formalmente por el COPAES, en el sentido de que cumple con determinados criterios, indicadores y parámetros de calidad en su estructura, organización, funcionamiento, insumos, procesos de enseñanza, servicios y en sus resultados.

La acreditación de un programa académico conlleva varios beneficios a la institución. Algunos de estos beneficios son la jerarquización, el financiamiento para atender las observaciones del organismo acreditador, un referente para los usuarios y la toma de decisiones de la institución, pero la razón principal es la de reconocer la calidad del programa para propiciar su mejoramiento (COPAES, 2015).

Gestión de Documentos

La implementación de un sistema de gestión de documentos que permita el control y manipulación eficaz de documentos digitales, ofrece consistencia en el registro, consulta, actualización, búsqueda y preservación de evidencias, que respaldan las actividades que llevan a cabo las áreas funcionales de las organizaciones.

Para lograr una adecuada organización de los documentos, surge la gestión documental, “como área de gestión responsable de un control eficaz y sistemático de la creación, la recepción, el mantenimiento, el uso y disposición de documentos de archivo, incluidos los procesos para incorporar y mantener en forma de documentos la información y prueba de las actividades y operaciones de la organización” (AENOR, 2006).

La gestión de documentos regula las prácticas efectuadas tanto por los responsables de su gestión como por cualquier otra persona que cree o use documentos en el ejercicio de sus actividades.

Un sistema de gestión de documentos se convierte entonces, en una fuente de información indispensable sobre las actividades y operaciones de la organización que puede servir de apoyo a posteriores actividades y toma de decisiones (AENOR, 2006).

Metadatos para la Gestión de Documentos

La gestión de metadatos es una parte inseparable de la gestión de documentos, que tiene diversas funciones y objetivos. En el contexto de la gestión de documentos, los metadatos se definen como datos que describen el contexto, contenido y estructura de los documentos, así como su gestión a lo largo del tiempo (ISO 15489-1:2001, 3.12). Los metadatos para la gestión de documentos pueden usarse para identificar, autenticar y contextualizar tanto los documentos como los agentes, procesos y sistemas que los crean, gestionan, mantienen y utilizan, así como las políticas que los rigen. Inicialmente, los metadatos definen el documento en el mismo momento de su incorporación, fijándole en su contexto y estableciendo el control de su gestión (AENOR, 2008).

Software de Gestión Documental

Un software de gestión documental es una aplicación que permite el tratamiento, conservación, publicación y trabajo sobre documentos electrónicos (ya sean documentos escaneados o que se hayan creado originalmente en digital). En países hispanos, se utiliza el término “gestión documental”, aunque con las características actuales de las empresas, es más correcto usar el término anglosajón Enterprise Content Management - ECM-, dado que las empresas manejan un amplio tipo de activos digitales que no corresponden sólo con lo que se conoce como "documento" (Imágenes, vídeos, planos, etc.) (Athento, 2015).

Gestión de Archivos Digitales

Un archivo informático es un conjunto de bits que son almacenados en un dispositivo. Un archivo es identificado por un nombre y la descripción de la carpeta o directorio que lo contiene. A los archivos informáticos se les llama así porque son los equivalentes digitales de los archivos escritos en libros, tarjetas, libretas, papel o microfichas del entorno de oficina tradicional.

Se denomina documento digital a la información que está registrada en formato electrónico, sobre un soporte electrónico, y requiere para su consulta dispositivos informáticos. Su contenido puede ser texto, imágenes, gráficos, video, sonido, etc.

La Norma ISO15489 Internacional Standard on Records Management aprobada en el año 2001, es el marco normativo de este proceso de gestión de documentos, cuyo origen es la Norma Australiana AS 4390. Esta norma brinda una guía sobre cómo gestionar o administrar los documentos y su correspondencia con los sistemas electrónicos para la conservación de archivos en diferentes soportes. (Nayar, 2010)

Minería de Datos

La minería de datos se define como el conjunto de técnicas para la representación, análisis, manejo y descubrimiento de conocimiento a partir de diversas fuentes de datos (base de datos, Web, archivos, sensores, etc.). Incluye aspectos de estadística, manejo de conocimiento, computación de alto rendimiento, algoritmos genéticos, redes neuronales, sistemas de soporte a la toma de decisiones, sistemas de información, sistemas distribuidos y bases de datos. El conocimiento extraído se emplea en la toma de decisiones.

En la actual sociedad de la información, donde cada día a día se multiplica la cantidad de datos almacenados casi de forma exponencial, la minería de datos es una herramienta fundamental para analizarlos y explotarlos de forma eficaz para los objetivos de cualquier organización.

La minería de datos hace uso de todas las técnicas que puedan aportar información útil, desde un sencillo análisis gráfico, pasando por métodos estadísticos más o menos complejos, complementados con métodos y algoritmos del campo de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático que resuelven problemas típicos de agrupamiento automático, clasificación, predicción de valores, detección de patrones, asociación de atributos, etc. Es, por tanto, un campo multidisciplinar que cubre numerosas áreas y se aborda desde múltiples puntos de vista, como la estadística, la informática (cálculo automático) o la ingeniería. (López Arévalo, 2015)

Aplicaciones Web

Las aplicaciones Web automatizan parte de las actividades administrativas, almacenando y organizando la información de tal manera que se puedan realizar búsquedas eficientes y reportes concretos de acuerdo a las necesidades de cada uno de los perfiles, además de brindar el beneficio de acceso a la información oportuna desde cualquier lugar (Silva, Cruz, Méndez, & Hernández, 2013).

Metodología**Tipo de Investigación**

La investigación que se realizó fue de tipo exploratoria (diagnóstico), ya que se identificaron los problemas existentes en la labor de gestión de la documentación generada por las diferentes áreas funcionales de la universidad y se dio solución mediante el diseño de una propuesta de un sistema de gestión documental.

Las Fuentes utilizadas para el proyecto se fundamentaron en:

- Bibliografía acerca del tema de Gestión Documental
- Entrevista al Director de Carrera y Profesores involucrados en el proceso
- Entrevista al personal Administrativo (asistente y cuerpo administrativo)
- Observación directa de los ambientes donde se depositaban los documentos (para lo cual se visitaron las oficinas administrativas y académicas).
- Visita al archivo digital, que consiste en una serie de aproximadamente 200 carpetas organizadas alfabéticamente, con cientos de documentos de información muy diversa.

A través de las entrevistas, observación y visita de campo se corroboraron los problemas existentes con la gestión de documentos digitales con fines de acreditación.

También se consideró la investigación tipo experimental, mediante la cual se puso a prueba el sistema desarrollado.

Métodos Teóricos

A través del método analítico-sintético se pudo penetrar en la esencia del fenómeno objeto de estudio y realizar una síntesis de la información obtenida. Se analizan por partes los principales documentos y consideraciones al respecto, lográndose establecer los fundamentos teóricos metodológicos de la investigación, la fundamentación de la propuesta, el diagnóstico y su análisis.

El método inductivo-deductivo se utilizó en la búsqueda de la solución al problema a partir de la información y las situaciones que se fueron sumando, hasta llegar a generalizaciones y conclusiones.

Población y Muestra

La población abarca el cúmulo de documentos digitales que se generan en la Dirección de Tecnologías de la Información y Comunicación en UTSOE, ubicada en Valle de Santiago, Guanajuato.

La muestra se enfoca al proceso de autoevaluación con fines de acreditación del programa educativo de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación.

Metodología

Se definen las siguientes etapas para el desarrollo:

1. Revisión de literatura referente a Gestión Documental y plataformas existentes en el mercado.

2. Identificar el contexto y las necesidades específicas del proceso de acreditación del programa educativo, para realizar el modelado de procesos de negocio y definir la estructura que soportará el proceso. Esto incluye:

- Identificar los distintos tipos de documentos que se manejan en el proceso, quién los genera y cómo son utilizados por cada tipo de usuario.
- Definir la terminología que se va a utilizar para facilitar la búsqueda de documentos dentro del sistema.

3. Desarrollar e implementar el sistema Web propuesto. Determinar requerimientos específicos, realizar el diseño de la aplicación, implementar el repositorio digital, desarrollar y probar la aplicación Web.

4. Poner en marcha la aplicación Web para evaluar el desempeño y funcionalidad, evaluar resultados e identificar la viabilidad y eficiencia de la propuesta.

Resultados

El desarrollo de las TIC's provoca un mejoramiento en el uso, organización y recuperación de la información, lo cual incide en el proceso de la gestión de documentos, pues el control y administración de los documentos, se considera un elemento indispensable para el logro de los objetivos de la organización (Campillo Torres, y otros, 2012).

El Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores, contiene un repositorio digital de documentos e información referente a dichos documentos (metadatos). Dentro de la funcionalidad que el sistema realiza, se encuentra la siguiente:

- Manejo de niveles de seguridad. Se contempla la jerarquía de los usuarios con el fin de asignar privilegios en cuanto al manejo de los archivos.
- Página de autenticación (Login). Indispensable para acceder a la respectiva cuenta, siendo un usuario registrado o el administrador (Figura 1).



Figura 1 Página de Autenticación

- Página de registro. A la que sólo el administrador podrá acceder y registrar a los usuarios. Posteriormente ellos podrán acceder a la aplicación mediante un número de usuario (el número de empleado) o la matrícula que el administrador agregará y una contraseña proporcionada por este también (Figura 2).

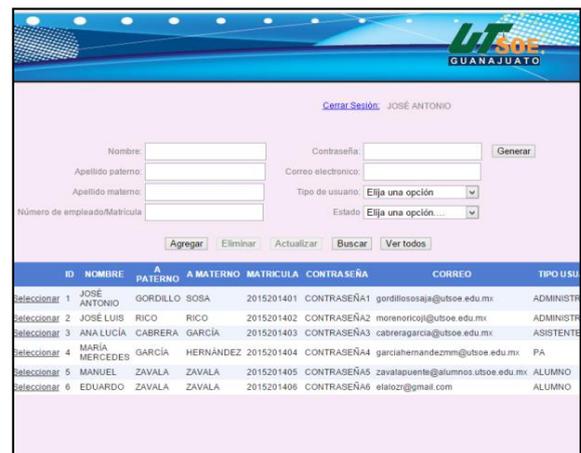


Figura 2 Página de Registro

La implementación de seguridad en la aplicación, para tener un correcto orden en el manejo de archivos y asignación de privilegios, se establece bajo los siguientes criterios:

- Usuarios (Profesores de Tiempo Completo y de Asignatura). Tienen acceso a los archivos, pueden visualizarlos y descargarlos, sin embargo, sólo pueden eliminar lo propio.

- Administrador. Puede manejar todas las evidencias y es el único que puede agregar evidencias y eliminarlas (Figuras 3, 4 y 5).



Figura 3 Menú del Administrador



Figura 4 Página de Registro de Evidencias Generales



Figura 5 Página de Consulta de Evidencias Generales

- Evidencias. Al ser agregadas, se debe insertar información básica, descriptiva e identificadora del documento como; fecha, curso, autor, etc. (metadatos)

- Categorías. Sus valores son fijos, acorde con los requisitos del organismo acreditador, y son la clasificación más general de las evidencias.
- Subcategoría. Sus valores son fijos, acorde con los requisitos del organismo acreditador, son clasificaciones inmediatas a los tipos de evidencias y, en conjunto, conforman categorías.
- Nombramiento de los archivos. El sistema considera un estándar para nombrar el archivo cargado (una vez alojado en el servidor) de manera descriptiva, acorde con una regla acordada.
- Opciones de búsqueda. Se deben ofrecer herramientas que faciliten la búsqueda de archivos con base en criterios adaptables a las necesidades de los usuarios o del administrador (generalmente con base en los datos de los registros).

Como resultado de las pruebas realizadas al sistema, en el proceso de autoevaluación del programa educativo, se encuentran los siguientes:

- Además de tener información oportuna, también se permite el registro, actualización, consulta y recuperación de documentos de evidencia de trabajo académico en diversos formatos y fuentes.
- Disminución del tiempo, esfuerzo y recursos destinados al control y mantenimiento de evidencias digitales. Existe organización de las mismas y se asegura la consistencia y veracidad de la información consultada en diferentes áreas. Esto permite la calidad en la toma de decisiones y cumplimiento de objetivos.

- Se dispone de un medio de colaboración en el que los diferentes actores involucrados en cada proceso proporcionan las evidencias de trabajo académico y administrativo requeridos.

Conclusiones

La gestión documental y de archivos debe verse desde la creación del documento y de todos los integrantes del departamento, o unidad organizativa, que están implicados; directivos, secretarías, técnicos, porque en todos los departamentos se manejan documentos, tanto en formato tradicional como electrónico, y dichos documentos son los que evidencian la realidad, dan prueba de lo hecho, y pueden llegar a tener determinados valores permanentes en el tiempo. (Font Aranda, Ruiz Rodríguez, & Mena Mugica, 2012)

La principal razón de ser de la gestión documental son los interminables volúmenes documentales que manejan hoy en día las empresas, la cantidad de papel a administrar, la frecuencia de su consulta y su importancia hacen que los sistemas tradicionales de archivo y de gestión de correspondencia vayan quedando cada vez más obsoletos y con ellos las empresas que aun los manejan. (Narváez Ospina, 2014)

El Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores descrito en el presente proyecto, contiene un repositorio digital que alberga todas las evidencias de los procesos académico y administrativos del programa educativo, los cuales son accesibles sin importar el formato de presentación, incrementando la visibilidad oportuna de resultados y producción académica, teniendo un mayor control, administración y actualización de la información, y mejora en la toma de decisiones y cumplimiento de objetivos.

Además, el sistema permite una mayor agilidad en el registro, consulta, actualización y recuperación de información concerniente a cualquier proceso, y una disminución considerable del tiempo y esfuerzo invertidos en el control y manipulación de documentos generados en el mismo. Sobre todo, se asegura la congruencia y confiabilidad de la información.

Referencias

AENOR. (2006). Información y Documentación. Gestión de Documentos. Proyecto UNE-ISO 15489-1. Parte 1. Generalidades. *Revista Española de Documentación Científica*.

AENOR. (2008). Información y documentación - Procesos de gestión de documentos - Metadatos para la gestión de documentos. Parte 1: Principios. ISO 23081-1:2006. *Revista Española de Documentación Científica*, 31(2), 273-301.

Athento. (14 de Junio de 2015). *Gestión Documental Inteligente*. Obtenido de <http://www.athento.com/gestion-documental-inteligente/>

Bustelo Ruesta, C. (2011). *Serie ISO 30300: Sistema de Gestión para los Documentos*. España: Asociación Española de Documentación e Información Científica.

Campillo Torres, I., Cabrera Morales, I., Legañoa Ferrá, D., Palomino Palomino, M., Cano Inclán, A., & Rosquete Martínez, R. (2012). Estructura del Sistema de Gestión Integral de Documentos de archivo [SiGeID 1.0]. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 35(2), 49-161.

COPAES. (Junio de 2015). *Consejo para la Acreditación de la Educación Superior, A.C.* Obtenido de <http://www.copaes.org.mx/>

Font Aranda, O., Ruiz Rodríguez, A., & Mena Mugica, M. (2012). Diagnóstico sobre la gestión documental y de archivos en la Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Cuba: Caso de estudio. *Revista Española de Documentación Científica*, 35(4), 573-598.

López Arévalo, I. (14 de Junio de 2015). *Línea de Investigación*. Obtenido de <http://www.tamps.cinvestav.mx/~ilopez/proyectos/lineaInvestigacion-mineria-datos.pdf>

Narvárez Ospina, N. (2014). *Desarrollo e implementación de un Software para los centros de correspondencia en la empresa Domesa SA*. Bogotá, Colombia.

Nayar, L. (Agosto de 2010). La Gestión Documental. (P. Allendez Sullivan, Ed.) *Consultora de Ciencias de la Información*(20).

Silva, R., Cruz, E., Méndez, I., & Hernández, J. Á. (Junio de 2013). Sistema de Gestión Digital para mejorar los procesos administrativos de Instituciones de Educación Superior: Caso de estudio en la Universidad Autónoma Metropolitana. *Perspectiva*

Revisión sistemática sobre los efectos de la crioterapia

GARCIA-HERNÁNDEZ, Ana María*†, SASIA-Karen, AMARO-Osvaldo

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Carretera Valle de Santiago-Huamimaro Kilómetro 1.2, 20 de Noviembre, 38400 Valle de Santiago, Gto., México

Recibido Enero 28, 2015; Aceptado Junio 24, 2015

Resumen

La crioterapia es una modalidad de termoterapia superficial que consiste en la aplicación local o sistémica de frío con fines terapéuticos; ésta es una de las modalidades físicas más usadas en fisioterapia y si bien es cierto es ampliamente utilizada para el alivio del dolor ésta es una de las modalidades más utilizadas para lesiones agudas, así como para alivio de dolor y su indicación se ha sustentado en mecanismos de acción, sin una base científica o estudios clínicos que avalen su efectividad. Determinar si existe evidencia científica que avale la efectividad de la crioterapia. Se hizo una revisión sistemática de artículos que analizaran la efectividad del uso de crioterapia. Se seleccionaron 6 estudios incluyendo revisiones sistemáticas y ensayos clínicos aleatorizados. Existe moderada evidencia sobre el uso de la crioterapia en la disminución de dolor, así como en la aplicación en deportistas y espasticidad.

Crioterapia, termoterapia, termorregulación, vasoconstricción.

Abstract

Cryotherapy is a type of thermotherapy surface consisting of local or systemic application of cold for therapeutic purposes; this is one of the physical methods frequently used in physiotherapy and if it is true is widely used for pain relief this is one of the methods most used for acute injuries as well as for pain relief and indications has been based on mechanisms action without a scientific basis or clinical studies to support its effectiveness. To determine if there is scientific evidence supporting the effectiveness of cryotherapy. A systematic review of articles that analyze the effectiveness of use of cryotherapy was made. 6 studios including systematic reviews and randomized clinical trials were selected. There is moderate evidence on the use of cryotherapy in reducing pain as well as in the application in sports and spasticity.

Cryotherapy thermotherapy, thermoregulation, vasoconstriction

Citación: GARCIA-HERNÁNDEZ, Ana María, SASIA-Karen, AMARO-Osvaldo. Revisión sistemática sobre los efectos de la crioterapia. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2015, 1-1: 66-72

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: amgarciah@utsoe.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la literatura existe abundante información con respecto a los efectos fisiológicos de la crioterapia, siendo la disminución de la temperatura (T) el efecto principal a partir del cual, se generan otros cambios en diferentes tejidos y/o sistemas. La disminución de la T depende de la capacidad de la modalidad para absorber y transferir calor a los tejidos, del tiempo de aplicación, el tipo de modalidad utilizada y la actividad efectuada después del enfriamiento. Sin embargo dicha información no proporciona la evidencia suficiente para arrojar resultados consistentes que nos oriente a elegir una modalidad de aplicación específica.

Entre las variadas modalidades de crioterapia comercialmente disponibles para realizar aplicaciones terapéuticas se encuentran la compresa de hielo y el paquete de gel quines son las más frecuentemente utilizadas, siendo además unas de las modalidades de mayor uso general en la práctica clínica en terapia física, otras herramientas utilizadas son: masaje con hielo (críomasaje), bolsas de hielo, baños de agua fría, almohadas con agua fría circulante, unidades frías controladas por compresión, baño de contraste, sprays refrigerantes.

En el siguiente trabajo de investigación se recopilaron las evidencias científicas más actualizadas acerca del potencial efecto analgésico de las diferentes modalidades de crioterapia en el manejo del dolor referido a nivel muscular, para lo cual, se realizó una revisión sistemática de la literatura, desarrollando una cadena de búsqueda con diversos criterios de selección, con el fin de comparar las más recientes evidencias sobre los efectos fisiológicos de la crioterapia como modalidad terapéutica.

Metodología a Desarrollar

Crioterapia se clasifica como una modalidad de Termoterapia Superficial que se basa en la aplicación del frío como agente terapéutico, su indicación clínica tradicionalmente se ha sustentado en mecanismos de acción indirectos, sin embargo las recientes investigaciones demuestran que los efectos fisiológicos pueden producir acciones directas sobre el cuerpo.

La reducción de la temperatura del organismo tiene como finalidad aliviar el dolor así como la reducción del edema, generando una respuesta tisular, fundamentada en la transferencia térmica de energía calórica que producirá diversas respuestas fisiológicas en función del objetivo terapéutico buscado¹.

Las modalidades de enfriamiento varían en cuanto a sus características intrínsecas y propiedades termodinámicas (tamaño, calor específico, punto de fusión, etc.). Entre las más usadas están la inmersión en hielo, la inmersión en agua helada, el hielo húmedo, el paquete de agua y alcohol, el paquete de hielo, el paquete de gel, los aparatos de frío y el masaje con hielo. Se han realizado diversos estudios para comparar la eficacia de estas modalidades para disminuir la temperatura de la piel⁶.

La crioterapia es considerada un estrategias de tratamiento no farmacológicas para las lesiones musculo esqueléticas agudas⁴ y sus efectos giran en torno a la reducción del dolor y la promoción de la curación con el fin de facilitar el retorno a la función y la actividad normal.

Los efectos fisiológicos de la terapia de frío incluyen reducciones en el dolor, el flujo de sangre, edema, inflamación, espasmo muscular, y la demanda metabólica⁴

Efectos fisiológicos

El efecto analgésico de la crioterapia se fundamenta en algunos cambios que se demuestran a nivel de la electrofisiología neuromuscular; ya que se ve asociado a la disminución local de la temperatura cutánea y se produce un retraso, tanto en la apertura como en el cierre de los canales de sodio, produciéndose un enlentecimiento de las corrientes de sodio responsables de la despolarización de las fibras nerviosas y/o musculares, lo que se traduce finalmente en una reducción de la velocidad de conducción nerviosa del axón, el hecho de tener un periodo refractario más largo, ocasionará una disminución del potencial de acción, que sumado a la disminución de la frecuencia de descarga de los nociceptores, explicarían el aumento del umbral del dolor y el potencial efecto hipalgésico atribuido a la crioterapia¹.

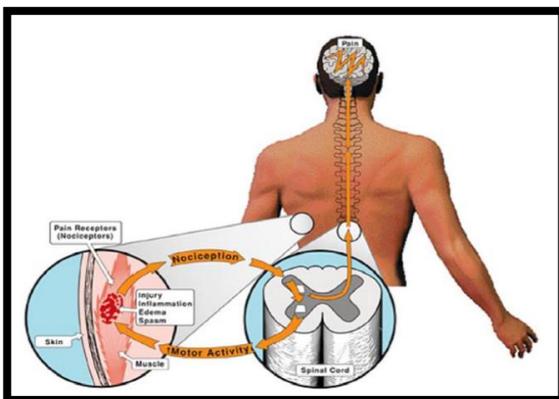


Figura 1 El ciclo dolor-espasmo-dolor

El intercambio de calor producido en la crioterapia se genera por varios mecanismos físicos: conducción, convección y evaporación, la respuesta inmediata a estos procesos es la activación directa de los receptores cutáneos del frío que estimulan la musculatura lisa de las paredes del vaso sanguíneo para contraerse produciendo una vasoconstricción ya que aumenta la producción de mediadores como serotonina y bradicinina quienes favorecen esta respuesta y a su vez disminuye la producción y liberación de vasodilatadores como la histamina y prostaglandina¹.

Indicaciones y contraindicaciones

La crioterapia es necesaria ante cualquier proceso patológico que se caracterice por un aumento del metabolismo celular, la presencia de edema, o dolor acompañado de espasmo muscular, sin embargo existen indicaciones y contraindicaciones específicas que nos permiten aplicar las modalidades con las precauciones pertinentes.

Indicaciones

- Cuadros traumáticos agudos de menos de 72 horas.
- Afecciones dolorosas
- Procesos inflamatorios
- Espasticidad
- Espasmo muscular

Contraindicaciones

- Hipersensibilidad al frío
- Intolerancia al frío
- Crioglobulinemia
- Hemoglobinuria paroxística
- Síndrome de raynaud

Método

Objetivo

El objetivo general de este estudio fue buscar evidencia científica que avale la aplicación clínica de la crioterapia como modalidad fisioterapéutica.

El estudio fue realizado mediante la revisión sistemática de artículos científicos que explicaran los efectos fisiológicos de la aplicación de crioterapia a nivel muscular para generar una respuesta analgésica.

Se consultaron 55 artículos sobre crioterapia como modalidad terapéutica de los cuales 10 fueron revisados minuciosamente para realizar la comparación y obtener resultados precisos sobre los efectos terapéuticos y fisiológicos que desarrollan esta investigación.

Los artículos fueron consultados a través de bases de datos reconocidas en el área de la salud como:

- Pubmed
- PEDro
- EBSCO
- Efdportes
- ELSEVIER
- Springer
- Wiley

Discusión

Una vez realizada la búsqueda sistemática y la categorización de los estudios en base a los criterios de selección, se advierte una insuficiente cantidad de publicaciones de buena calidad metodológica que respalde una aplicación fisioterapéutica tan frecuentemente usada como es la crioterapia.

Tiddus P. (2015) en su artículo cuyo objetivo era explicar la eficacia de tratamientos alternativos para la lesión muscular con masajes, crioterapia y el oxígeno hiperbárico, encontraron que la crioterapia o formación de hielo, tal como se practica actualmente, no es probable que tenga éxito suficiente en el enfriamiento del músculo como para tener una influencia significativa en la reparación muscular, independientemente del grado de la lesión. Ellos concluyeron que aún se necesita más investigación. Por otra parte Roberts LA, y cols; en 2015 concluyen en su estudio "Effects of cold water immersion and active recovery on hemodynamics and recovery of muscle strength following resistance exercise" que la recuperación de la fuerza después de ejercicio de resistencia es independiente de los cambios en la hemodinámica y el músculo de la temperatura.

Malanga G. (2015), realizó una revisión de Ensayos Clínicos Aleatorizados (ECA) encontrando que los efectos fisiológicos de la terapia de frío incluyen reducciones en el dolor, el flujo de sangre, edema, inflamación, espasmo muscular, y la demanda metabólica, aunque aún sigue existiendo una necesidad continua de ECA más suficientemente alimentados de alta calidad sobre los efectos de la terapia de frío en la recuperación de una lesión músculo esquelética aguda.

Dentro de los ensayos analizados se encontró el realizado por Sandoval M. y cols (2011); donde se realizó un estudio experimental con 36 sujetos sanos aleatorizados en tres grupos: paquete de hielo, inmersión en agua helada o criomasaaje. Las modalidades se aplicaron por 15 min en la pantorrilla; de este estudio se concluyó que las tres modalidades disminuyeron la temperatura de la piel, con un efecto mayor causado por el criomasaaje.

Si bien también se habla del uso de la crioterapia en la espasticidad se hizo una revisión sistemática de artículos que mencionaran la efectividad de la crioterapia en la espasticidad, Macías A, y col; llegaron a la conclusión que no hay unanimidad entre los investigadores al establecer el mecanismo a través del cual el frío puede disminuir la espasticidad. Un punto en común, en el que todos los investigadores coinciden, es que no debe ser considerado como una panacea, porque si bien, en la mayor parte de los pacientes, tras la aplicación de frío, aparece una disminución de la espasticidad, la duración de ésta no sobrepasa las 2 horas. Por lo tanto, la crioterapia debe ser considerada como un método coadyuvante a otras terapias cuya finalidad será facilitar la aplicación de las mismas. Además, hay que considerar que en una minoría de pacientes espásticos en los que aplica la crioterapia, no se producen cambios e incluso, hay descritos en la literatura casos de aumento de espasticidad debido a dicha aplicación

En el caso de la aplicación para el alivio del dolor musculoesquelético, Gutiérrez H. (2010), y cols; llegaron a la conclusión de que existe moderada evidencia que el uso de la crioterapia disminuye el dolor y mejora los tiempos de recuperación en esguince de tobillo y en lesiones de tejidos blandos asociados al deporte, y que también la evidencia es limitada para el uso en Osteoartritis de rodilla, Artritis Reumatoide y Síndrome de Dolor Lumbar.

Resultados

Los estudios han demostrado que la crioterapia mitiga el dolor y la inflamación dentro de los cuales se encuentran 3 modalidades terapéuticas, que durante estudio de revisiones sistemáticas se encontraron efectos fisiológicos que disminuyen la temperatura de la piel, con un efecto mayor causado por el criomasaaje (-27,6°C) seguidos de los que recibieron paquete de hielo (-24,4°C) e inmersión de agua helada (-18,3°C). La información de los efectos fisiológicos del frío a nivel sistémico aún es difusa principalmente por sus métodos de aplicación y tiempo de activación en el organismo.

Agradecimiento

Los autores desean agradecer a la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato UTSOE, por su apoyo financiero.

Conclusiones

Después de esta revisión sistemática, se encontró que la crioterapia ha logrado sus beneficios cuando se usa poco después de las lesiones mantenidas durante la fase aguda, de 24 a 72 horas. Después de este período otras modalidades de termoterapia son más adecuadas y más eficaces. El tiempo de aplicación puede variar de 15 a 30 minutos dependiendo de la situación y de la técnica utilizada, dando un intervalo de 2 horas entre cada aplicación.

Se concluyó que hay una necesidad de realizar nuevos estudios para los efectos conseguidos, especialmente en relación con la temperatura y técnica ya que es necesario que se desarrollen nuevos estudios sobre el tema para obtener mayores ventajas de sus beneficios. Como resultado, los profesionales pueden ofrecer a sus pacientes una mejor calidad en el tratamiento específico y la rehabilitación, permitiendo el retorno de los mismos a sus actividades diarias y/o deportivas.

Referencias

Gutiérrez E, Lavado I, Méndez S. *Revisión sistemática sobre el efecto analgésico de la crioterapia en el manejo del dolor de origen músculoesquelético.* RevSocEspDolor.2010;17(5):242–252

Kennet J,Hardaker N,Hobbs S,Selfe J. *Cooling efficiency of common cryotherapeutic agents.* JournalofAthleticTraining. 2007;42:343–8.

Macías A, Águila Maturana. *Efectos de la crioterapia en la espasticidad.*Fisioterapia 2003;25(1):15-22

Malanga GA, Yan N. *Mechanisms and efficacy of heat and cold therapies for musculoskeletal injury.* Postgrad Med. 2015; 127(1):57-65.

Roberts LA, Muthalib M. *Effects of cold water immersion and active recovery on hemodynamics and recovery of muscle strength following resistance exercise.* Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2015 Jun 10.

Instrucciones para Autores

A. Envío de artículos con las áreas de análisis y la modelación de los problemas en Comercio Internacional

B. La edición del artículo debe cumplir las siguientes características:

- Redactados en español o en inglés (preferentemente). Sin embargo, es obligatorio presentar el título y el resumen en ambos idiomas, así como las palabras clave.

- Tipografía de texto en Times New Roman #12 (en títulos- Negritas) y con cursiva (subtítulos- Negritas) #12 (en texto) y # 9 (en citas al pie de página), justificado en formato Word. Con Márgenes Estándar y espaciado sencillo.

- Usar tipografía Calibre Math (en ecuaciones), con numeración subsecuente y alineación derecha: Ejemplo;

$$\sigma \in \Sigma : H\sigma = \bigcap_{s < \sigma} Hs \quad (1)$$

- Comenzar con una introducción que explique el tema y terminar con una sección de conclusiones.

- Los artículos son revisados por los miembros del Comité Editorial y por dos dictaminadores anónimos. El dictamen será inapelable en todos los casos. Una vez notificada la aceptación o rechazo de un trabajo, su aceptación final estará condicionada al cumplimiento de las modificaciones de estilo, forma y contenido que el editor haya comunicado a los autores. Los autores son responsables del contenido del trabajo y el correcto uso de las referencias que en ellos se citen. La revista se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los textos a nuestra política editorial.

C. Los artículos pueden ser elaborados por cuenta propia o patrocinados por instituciones educativas ó empresariales. El proceso de evaluación del manuscrito no comprenderá más de veinte días hábiles a partir de la fecha de su recepción.

D. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de selección sea anónimo.

E. Los cuadros, gráficos y figuras de apoyo deberán cumplir lo siguiente:

- Deberán explicarse por sí mismos (sin necesidad de recurrir al texto para su comprensión), sin incluir abreviaturas, indicando claramente el título y fuente de consulta con referencia abajo con alineación izquierda en tipografía número 9 con negritas.

- Todo el material de apoyo será en escala de grises y con tamaño máximo de 8cm de anchura por 23cm de altura o menos dimensión, además de contener todo el contenido editable

- Las tablas deberán ser simples y exponer información relevante. Prototipo;

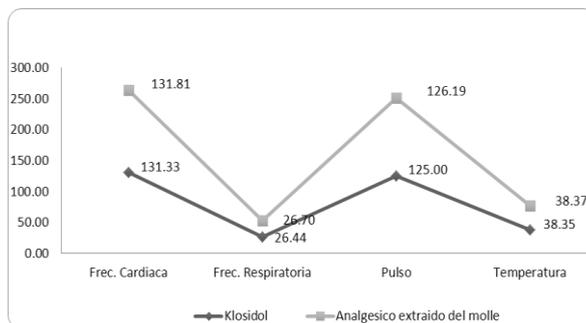


Gráfico 1 Relación de valores y porcentajes post-quirúrgicos entre medicamentos

F. Las referencias bibliográficas se incorporarán al final del documento con estilo APA.

La lista de referencias bibliográficas debe corresponder con las citas en el documento.

G. Las notas a pie de página, que deberán ser usadas sólo excepcionalmente para proveer información esencial.

H. Una vez aceptado el artículo en su versión final, la revista enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN-Spain únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del artículo. El autor tendrá un plazo máximo de 10 días naturales para dicha revisión. De otra forma, se considera que el (los) autor(es) está(n) de acuerdo con las modificaciones hechas.

I. Anexar los Formatos de Originalidad y Autorización, con identificación del Artículo, autor (es) y firma autógrafa, de esta manera se entiende que dicho artículo no está postulado para publicación simultáneamente en otras revistas u órganos editoriales.

Formato de Originalidad



Madrid, España a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Madrid, España a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Spain difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Spain to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Aplicación Científica y Técnica

Aplicación de elemento espectral a la ecuación de onda completa utilizando fronteras absorbentes

MUÑOZ-GONZALES, Sergio, SALDAÑA-CARRO, Cesar, BECERRA-DIAZ, Julio y SANCHEZ-GARCIA, Gustavo

Visualización y análisis de mapas temáticos de la actividad científica mexicana sobre cáncer (1977-2012)

HERRERA-MIRANDA, Israel y HERRERA-MIRANDA, Miguel

Diseño de una bodega de datos con información relacionada a las asistencias de personal en una empresa

VAZQUEZ-DE LOS SANTOS, Laura, VALDEZ-MENCHACA, Alicia, CORTES-MORALES, Griselda y HERNANDEZ-VILLAREAL, Rubén

Características acústicas de la madera de *Swietenia humilis* y *Alnus acuminata*

SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier y VILLASEÑOR-AGUILAR, José

Velocidad de ondas de esfuerzo y módulos de elasticidad de 4 maderas mexicanas

SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier y VILLASEÑOR-AGUILAR, José

Caracterización dinámica de la madera de *Fraxinus americana* y *Fraxinus uhdei*

VILLASEÑOR-AGUILAR, José y SOTOMAYOR-CASTELLANOS, Javier

Sistema de Administración Web de Evidencias Documentales para Organismos Acreditadores

ARROYO-ALMAGUER, Marisol, RICO-MORENO, José, BARRON-ADAME, José y AGUIRRE-PUENTE, José

Revisión sistemática sobre los efectos de la crioterapia

GARCIA-HERNÁNDEZ, Ana María, SASIA, Karen, AMARO, Osvaldo

ISSN-2444-4928

