ISSN: 2448-9069

RevisTEC

Mi campo de estudio

5
Análisis de las propiedades ópticas de los sistemas nanoestructurados

16
Síntesis insitu de quitosano con nanopartículas de plata (Q-AgNPs) para el desarrollo de biopelículas

26
Diversas estrategias de modulación para inversores

Año 3 Vol.3 No. 4 ENE-JUN 2018 Publicación Semestral

CONTENIDO

Directorio 3

Mensaje de bienvenida

5 Análisis de las propiedades ópticas de los sistemas nanoestructurados

16 Síntesis insitu de quitosano con nanopartículas de plata (Q-AgNPs) para el desarrollo de biopelículas

26 Diversas estrategias de modulación para inversores

32 Aerotlaxco: generador eólico diseñado y adaptado a la región de Tlaxco

40 Agregando valor en los procesos de manufactura en la empresa

47 Diseño de rutas mediante la herramienta grafos

Investigación y Desarrollo

DIRECTORIO

Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco

C.P. Aníbal George Haro
Director General
C.P. Maricruz Vázquez Cruz
Subdirección de Servicios Administrativos
Lic. Ana Laura Hernández Márquez
Departamento de Planeación, Programación y Evaluación

Revista RevisTEC

Editor : Lic. Raúl Hernández Vera
Editor invitado: Dr. Fernando Díaz Monge
Coordinador editorial: Lic. Estephany Sánchez Flores
Redacción: L.E.M.A. Edgar Moreno Desampedro
Diseño Editorial: L.D.G. Ana Karen Pérez Minor

Consejo de Arbitraje: Dr. Luis Ernesto Irigoyen Arroyo
Dra. María de Lourdes Sánchez Gómez
M.A. Salvador Pérez Mejía

RevisTEC, Año 3, Volumen 3, Número 4, enero-junio 2018, es una publicación semestral, editada por el Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, a través de la Dirección General, Predio Cristo Rey, Exhacienda de Xalostoc Num. Ext. S/N, Localidad: Colonia Máximo Rojas Xalostoc, Tlaxco, Tlaxcala. C.P. 90271

Tel. (241) 41 2 31 15, http://www.itstlaxco.edu.mx. Editor responsable: Lic. Raúl Hernández Vera. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo 04-2016-122015104300-102, ISSN 2448-9069, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número el Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, Predio Cristo Rey, Exhacienda de Xalostoc Num. Ext. S/N, Localidad: Colonia Máximo Rojas Xalostoc, Tlaxco, Tlaxcala. C.P. 90271, fecha de última modificación, 24 de marzo de 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor en la publicación. Los artículos firmados son responsabilidad del autor por lo que el contenido de los mismos no refleja necesariamente el punto de vista del ITSTlaxco.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del editor.

MENSAJE DE BIENVENIDA

Estimado (a) lector (a) como Jefa de la División de Ingeniería en Logística del Instituto tecnológico Superior de Tlaxco es un honor presentar a todos ustedes la cuarta edición de RevisTEC. Cuya finalidad es conectar y divulgar diversas disciplinas científicas, por lo tanto se trata de cumplir con dos objetivos: investigación, y divulgación del conocimiento, en base a una visión multidisciplinar del mundo y la ciencia.

Un primer y fundamental rasgo que deseamos destacar de la RevisTEC es su grado de participación, ya que el desarrollo de sus contenido y sus diferentes artículos dependen del nivel de participación de los lectores quienes son los deciden hasta dónde puede llegar esta revista. Con esta se desea, fomentar la creatividad, buscando nuevas ideas y mundos de desarrollo al interior del campo disciplinar, así como obtener una buena sincronización en torno a las nuevas ideas que vayan surgiendo.

Para cumplir con los objetivos antes mencionados, la revista cuenta con seis artículos. En el artículo uno “Análisis de las propiedades ópticas de los sistemas nanoestructurados”, se expone una análisis de la influencia en el tamaño del comportamiento metálico en las micro y nanoestructuras periódicas modernas con la relación electromagnética

En el artículo “Sintesis insitu de quitosano con nanoparticulas de planta (Q-AgNPs) para el desarrollo de biopeliculas” el cual se realizaron bioparticulas de quitosano con nanoparticulas de plata mediante la técnica de dip-coating usando una solución de quitosano/nanoparticulas de plata que fue preparada mediante un proceso químico.

En el artículo “Diversas estrategias de modulación para inversores” se expone el uso de estrategias de modulación para reducir los problemas de distorsión en red eléctrica, este artículo se enfocó en las pérdidas de conmutación evitando los costos excesivos en los recibos que emite CFE (Comisión Federal de Electricidad).

Para el artículo “Aerotlaxco: generador eólico diseñado y adaptado a la región de Tlaxco” se propone el diseño de un sistema integral que consta de una microturbina, un generador de electricidad, un acumulador y un regulador de voltaje trabajando en conjunto para la generación de energía eléctrica a partir de la energía dinámica del viento.

Para el artículo “Agregando valor en los procesos de manufactura en la empresa” este pretende dar a conocer como se agrega valor en los procesos de manufactura en la empresa automotriz, y asi proponer acciones especificad en los procesos.

En el artículo “Diseño de rutas mediante la herramienta grafos” se basa en el estudio realizado en una purificadora de agua donde se caracteriza el diseño e implementación de la herramienta de teorías de redes, mediante el software grafos con el fin de identificar las mejores decisiones de enrutamiento.

Es por ello que agradecemos a todos los colaboradores que hicieron posible está cuarta edición contenga actividades de investigación, divulgación y por la comunidad estudiantil, el personal administrativo y docentes comprometidos por el desarrollo económico y social de la región y del Estado de Tlaxcala.

Espero que esta revista sea de tu agrado y aporte conocimientos a tu área profesional.

Te invitamos a esperar la próxima edición de la Revista RevisTEC.

“

Ing. Norma Belem Reyes Díaz

JEFA DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN LOGÍSTICA
belemnrd@hotmail.com

Análisis de las propiedades ópticas de los sistemas nanoestructurados

[1] División de Ingeniería en Materiales, Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, Predio Cristo Rey Ex Hacienda de Xalostoc S/N, Carretera Federal Apizaco-Tlaxco Km. 16.8, C. P. 90271, Tlaxcala, México.
[2] Instituto Politécnico Nacional, CIBA-Tlaxcala, Ex Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km. 1.5, C.P. 90700, Tlaxcala, México.
[3] Universidad Politécnica de Puebla. Ingeniería en Mecatrónica; Tercer carril del Ejido Serrano S/N, San Mateo Cuanalá, Juan C. Bonilla, C. P. 72640. Puebla México.

Fernando Díaz Monge*[1], Alejandro Rodríguez Juárez *[1], Fernando Roberto Vélez-Tenorio*[1], Orlando Zaca Moran[2] y Gabriel Linares García***[3]**

Recibido 27/07/2017.
Revisado 10/08/2017.
Aceptado 25/ 08/2017.

RESUMEN

Presentamos un análisis de la influencia en el tamaño del componente metálico en las micro y nanoestructuras periódicas modernas con la radiación electromagnética. El tratamiento que se sigue es el de la determinación de las constantes ópticas a incidencia normal en términos de la función dieléctrica. Primero consideramos el modelo de Drude para la función dieléctrica, la cual presenta limitaciones para el análisis de este tipo de sistemas, debido a que la relación entre el campo eléctrico y la función de respuesta no es simple, por la in-homogeneidad del campo eléctrico dentro de la región de penetración de la radiación, lo que lleva a desarrollar un nuevo enfoque que tome en cuenta el fenómeno del efecto pelicular anómalo y los efectos no locales en la función de respuesta para una descripción correcta de sus propiedades ópticas, principalmente en la región de los Terahertz.

Palabras Clave: Microestructuras, Nanoestructuras, Efecto pelicular, Teoría no local, Propiedades ópticas.

ABSTRACT

We present an approximation of the influence on the size of the metallic element in the modern micro and nanostructures with the electromagnetic radiation. The approach that follows is determination of the optical constants to normal incidence, in terms of the dielectric function. We first consider the Drude model for the dielectric function, which presents limitations for the analysis of this type of systems due to the relationship between the electric field and response function is not simple, because of the inhomogeneity of the electric field within the region of radiation penetration, which leads to develop a new approach that takes into account the anomalous skin effect and nonlocal effects in the response function for the correct description of its optical properties, mainly in the region of the Terahertz.

Keywords: Microstructures, Nanostructures, Skin effect, Non Local Theory, Optical properties.

Introducción 01

En las últimas tres décadas, la creación e investigación teórica de sistemas periódicos micro y nanoestructurados cuya celda elemental contenga componentes metálicos o semiconductores en calidad de uno de sus constituyentes, ha sido una dirección prioritaria de la ciencia y la tecnología, debido al enorme potencial de este tipo de estructuras para la generación de dispositivos con características únicas para su aplicación en la óptica, ya que ellos ofrecen la posibilidad de controlar el flujo de la luz (cristales fotónicos PC´s) (D. Joannopoulos, G. Johnson, N. Winn, & D. Meade, 2008). La manera en la cual este tipo de sistemas interactúa con la radiación electromagnética depende de la razón entre el parámetro de red del sistema (α), y la longitud de onda electromagnética (λ). Cuando la longitud de onda es mucho mayor que el periodo ($\lambda \gg \alpha$), los detalles de la estructura interna del sistema no se pueden distinguir y el sistema se comporta como si fuese homogéneo, por lo tanto, sus propiedades ópticas se describen empleando las ecuaciones de Maxwell para el promedio de los campos junto con las relaciones macroscópicas constitutivas (Landau & Mikhailovich, 2004; Jackson, 1975). Por otro lado cuando la longitud de onda es del orden o menor que el periodo del sistema ($\lambda \lesssim \alpha$), las características de la estructura interna son distinguibles para la radiación electromagnética incidente, por lo que la radiación experimenta el contraste dieléctrico de los diferentes materiales que lo constituyen, esto es, el material se comporta como un medio heterogéneo, por lo tanto, la descripción de sus propiedades ópticas, no es tan inmediata debido a que los efectos de tamaño comienzan a tomar relevancia, y deben ser considerados en su descripción.

Numerosas investigaciones teóricas, se han realizado para determinación de las propiedades ópticas este tipo de sistemas periódicos, en las cuales se han empleado diferentes métodos y enfoques, a saber, la aproximación de Maxwell-Garnet (Lamb, M. Wood, & W. Ashcroft, 1980), método de Clausius-Mossoti (A. Belov & R. Simovski, 2005), enfoque de Lorentz (Ishimaru, Woo-Lee, Kuga, & Jandhyala, 2003), los métodos de representación espectral y los estudios de líneas de transmisión. Adicionalmente, varias teorías de homogenización se han desarrollado para la descripción de estos sistemas con inclusiones metálicas (A. Krokhin, Reyes, & Gumen, 2007; T. Chui & Lin, 2008), o dieléctricas (Halevi, Arriaga, & A. Krokhin, 1999; Ruibao , Zhe, & Ping, 1990; Datta, T. Chan, M. Ho, & M. Soukoulis, 1993; A. Krokhin, Halevi, & Arriaga, 2002) de diferentes geometrías y fracciones de llenado en el régimen de grandes longitudes de onda ($\lambda \gg \alpha$) .

Otros enfoques de homogenización de mayor generalidad que se han empleado son el de la recuperación de parámetros efectivos (EPR), y el método de campo promedio (FA) (R. Smith , C. Vier, Koschny, & M. Soukoulis, 2005; Koschny, y otros, 2005; Xudong, Wu, Au Kong, & M. Grzegorczyk, 2005; R. Simovski & A. Tretyakov, 2007; Menzel , Rockstuhl, Paul, & Lederer, 2008; Plum, y otros, 2009; Romero & J. Garcia de Abajo , 2009). En el enfoque EPR, se determinan la permitividad y la permeabilidad efectiva del medio $(\epsilon(\omega),\mu(\omega))$, exigiendo que el espectro de dispersión del medio heterogéneo tenga una correspondencia con el del medio homogéneo, mientras que en el enfoque FA, los campos electromagnéticos se promedian en una celda unitaria del medio heterogéneo PC´s.

En cada una de las investigaciones teóricas mencionadas anteriormente, el componente metálico o semiconductor se describe en el marco de un modelo bastante burdo y simple, a saber, se supone que la permitividad dieléctrica es ya sea infinita o se describe mediante la fórmula clásica de “relajación” que se deriva de la teoría de Drude-Lorentz (B. Pendry, J. Holden, J. Robbins, & J. Stewart, 1999; Patanjali V., Wentao T., Plarenta, & Srinivas, 2003; Cubukcu, Aydin, Ozbay, Foteinopoulou, & Soukoulis, 2003; Kuzmiak & A. Maradudin, 1997; Soto Puebla, Xiao, & Ramos Mendieta, 2004). Este tipo descripción, toma en cuenta solo los efectos de la dispersión de frecuencia (temporal), y no considera en absoluto la dispersión espacial (efectos de tamaño), por lo que, es evidente que tal modelo es adecuado únicamente para sistemas lo suficiente masivos, y que, de ninguna manera se puede aplicar a los sistemas cuyas dimensiones se encuentran en el rango de los micrómetros y nanómetros.

En este artículo, se presenta un breve análisis teórico para el componente metálico de sistemas micro y nanoestructurados, cuyo tamaño es comparable con la longitud de onda de la radiación electromagnética. El esquema que se sigue es el de la descripción las constantes ópticas del componente metálico, cuya obtención se realiza en la sección dos, en donde las expresiones son estándar en numerosos libros de texto de teoría electromagnética, óptica y física del estado sólido (M. Ziman, 1999; Born & Wolf, 1999; W. Ashcroft & Mermin, 1976). En la sección tres, se analiza el modelo de Drude para un sistema masivo y sus implicaciones para un sistema metálico, en la cuarta sección se trata la consecuencia directa del efecto de tamaño en este tipo de estructuras con la radiación electromagnética, siendo el efecto pelicular anómalo determinante para las propiedades ópticas, y en la última sección se dan las conclusiones.

[1]Autor corresponsal
e-mail: fdiazlev@hotmail.com,
Teléfono: +01 241 412 31 25,
Fax: +241 412 31 25
[2] Autor corresponsal
e-mail: orlandozaca@hotmail.com,
Teléfono: Fax:
[3] Autor corresponsal
e-mail: jefry_g@hotmail.com,
Teléfono: Fax:

Constantes ópticas N,ê 02

La interacción de cualquier medio con la radiación electromagnética en donde no existan fuentes externas, $\rho_{ext} = j_{ext} = 0$ esta descrita por las ecuaciones de Maxwell (Jackson, 1975),

(2.1 a) $$\nabla \cdot E = 0,$$

(2.1 b) $$\nabla \cdot H = 0,$$

(2.1 c) $$\nabla \times H = \frac{4\pi\sigma}{c} E + \frac{\epsilon}{c}\frac{\partial E}{\partial t},$$

(2.1 d) $$\nabla \times E = -\frac{\mu}{c}\frac{\partial E}{\partial t}.$$

Donde **E,H** son los campos eléctrico y magnético, asociados a la onda electromagnética, ϵ, μ, σ, son la función dieléctrica, permeabilidad magnética y la conductividad del medio, c es la velocidad de la luz. Combinando las ecuaciones (2.1), se obtiene la ecuación de onda plana que se propaga en un medio no magnético disipativo

(2.2) $$\nabla^2 E = \frac{\epsilon}{c^2}\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} + \frac{4\pi\sigma}{c^2}\frac{\partial E}{\partial t},$$

la conductividad eléctrica σ, en (2.2), toma el nombre de conductividad óptica, ya que la absorción de la energía surge de las transiciones electrónicas que acompañan a la absorción de los fotones en el medio. Las soluciones de (2.2), están restringidas a ondas planas transversales por la condición dada por (2.1 a). Si consideramos una onda plana monocromática que se propaga dentro del medio isotrópico, esta debe tener la siguiente forma

(2.3) $$E = E_0 \exp i\,(q \cdot r - \omega t),$$

donde $\mathbf{E_0}$, es la amplitud de la onda y es perpendicular al vector de onda **q**, el cual en general es complejo (**q**=n+ik), la frecuencia **ω** se ha tomado como un número real, esta elección representa una onda evanescente que decae cuando penetra en el medio.

De (2.3) y (2.2), se encuentra que

(2.4) $$q^2=\left(\frac{\omega}{c}\right)^2\left(\epsilon+i\frac{4\pi\sigma}{\omega}\right).$$

Se define el índice de refracción complejo $\hat{n}$, tal que

(2.5) $$q=\left(\frac{\omega}{c}\right)\hat{n}=\left(\frac{\omega}{c}\right)(n+ik),$$

n, es el índice de refracción y k es el coeficiente de extinción, con esta definición (2.3) se reescribe de la siguiente manera

(2.6) $$E=E_0\left[\exp-\left(\frac{\omega}{c}k\cdot r\right)\right]\left[\exp i\left(\frac{\omega}{c}n\cdot r-\omega t\right)\right].$$

El primer factor de (2.6) describe la atenuación de la amplitud de la onda con la distancia, mientras que el segundo factor describe una onda viajera. De (2.4) y (2.5), se obtienen las expresiones para ϵ y σ en términos de n y k, es decir.

(2.7 a) $$\epsilon=(n^2-k^2),$$

(2.7 b) $$\sigma=\left(\frac{nk\omega}{2\pi}\right).$$

Definiendo la función dieléctrica compleja $\hat{\varepsilon}$ tal que

(2.8) $$\hat{\varepsilon}=\varepsilon_1+i\varepsilon_2=\hat{n}^2,$$

donde ε_1 es ϵ, que aparece en la ecuación de Maxwell (2.1 c), cuando las propiedades del medio se incluyen

(2.9 a) $$\varepsilon_1=(n^2-k^2),$$

(2.9 b) $$\varepsilon_2=2nk=\left(\frac{4\pi\sigma}{\omega}\right).$$

Las partes real e imaginaria de $\hat{n}$ se determinan de (2.9), en términos de las partes real e imaginaria de $\hat{\varepsilon}$, las cuales están dadas por

(2.10 a) $$2n^2=(\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2)^{1/2}+\varepsilon_1,$$

(2.10 b) $$2k^2=(\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2)^{1/2}-\varepsilon_1.$$

Si consideramos incidencia normal, la reflectividad del medio tiene la siguiente forma.

(2.11) $$R=\frac{(n-1)^2+k^2}{(n+1)^2+k^2}.$$

Las ecuaciones (2.9, 2.10, 2.11), determinan el comportamiento óptico de cualquier medio a incidencia normal, pero se necesita conocer explícitamente la función dieléctrica $\hat{\varepsilon}$, la cual depende de la naturaleza del medio.

Modelo de Drude 03

El modelo de Drude se ha empleado para explicar las propiedades ópticas y de transporte de los conductores. La función dieléctrica que se deriva de este modelo tiene la siguiente forma simple.

(3.1) $$\hat{\varepsilon}=1-\frac{\omega_p^2}{\omega(\omega+i\nu)},$$

Donde ω_p, es la frecuencia de plasma, la cual está dada por $\omega_p=(4\pi Ne^2/m^*)^{1/2}$, siendo N la densidad efectiva de portadores de carga y m* su masa efectiva. El parámetro ν, es la frecuencia de relajación electrónica, cuyo reciproco $\tau=1/\nu$, da tiempo de colisión. Esta es una manera fenomenológica para la descripción del tiempo promedio de electrón-electrón, electrón-fonon, electrón-defecto con la red cristalina (impureza, vacancia, dislocaciones), etc. Para $\nu=0$, la función dieléctrica desaparece en $\omega=\omega_p$, es decir $\hat{\varepsilon}(\omega_p)=0$. La correspondiente conductividad eléctrica asociada al modelo de Drude, tiene la siguiente forma

(3.2) $$\sigma(\omega)=\frac{\sigma_0}{1-i\omega\tau}=\frac{\omega_p^2}{4\pi(\omega-i\omega)}$$

donde $\sigma_0=Ne^2\tau/m^*$ es la conductividad estática o d.c. Este resultado se puede obtener fácilmente de la ecuación para la fuerza total que actúa sobre un electrón en un campo eléctrico homogéneo.

(3.3) $$m^*\frac{dv}{dt}=-eE-m^*\frac{v}{\tau},$$

el segundo término del lado derecho, corresponde a la fuerza de amortiguamiento sobre un electrón que se mueve con una velocidad de arrastre **v**. Las partes real e imaginaria de la función dieléctrica se pueden obtener de (3.1), a saber

(3.4 a) $$\varepsilon_1=1-\frac{\omega_p^2}{\omega^2+\nu^2},$$

(3.4 b) $$\varepsilon_2=\frac{\omega_p^2\nu}{\omega(\omega^2+\nu^2)},$$

con estas ecuaciones el análisis del comportamiento óptico de un sólido metálico se puede efectuar en función de la frecuencia. En la (Figura 1), se grafican ε_1 y ε_2. Los grandes valores negativos de ε_1 y su cambio de signo en $\omega\simeq\omega_p$, son características del comportamiento metálico. La frecuencia de plasma típicamente se encuentra en la región del visible o del ultravioleta, que corresponde a frecuencias ω: 10^{15}-10^{16} s^{-1}, que por mucho excede las radio frecuencias.

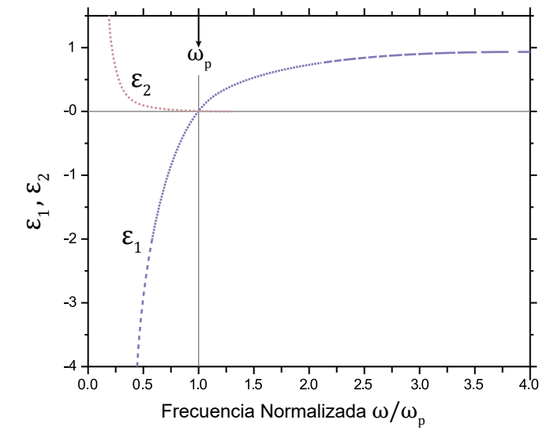


Figura 1. Dependencia espectral de ε_1 y ε_2 para un metal con electrones libres. En el cálculo se tomó $\nu=0.01\omega_p$. La magnitud de ε_1 es mucho más grande que ε_2 para el intervalo de frecuencia mostrado.
Fuente: elaboración propia.

El tiempo libre medio de colisión para los electrones en los metales puros a temperatura ambiente típicamente son del orden $\tau\approx10^{-14}$ s^{-1} o $\nu\approx0.01\omega_p$ ($\omega_p\tau=100$). Esta frecuencia, usualmente se toma como la línea que divide la región de bajas frecuencias ($\omega\ll\nu$), y la región de altas frecuencias ($\omega\gg\nu$). En la frecuencia de plasma $n\approx0$ (Figura 2), que indica que se tiene una velocidad de fase v_p infinita y en consecuencia una longitud de onda infinita, esto se sigue de su definición $v_p=c/n$. Una longitud de onda infinita indica que todos los electrones se encuentran oscilando en fase, no obstante, no existe una densidad de carga de polarización como sucedería con una verdadera oscilación de plasma (Kittel, 1996).

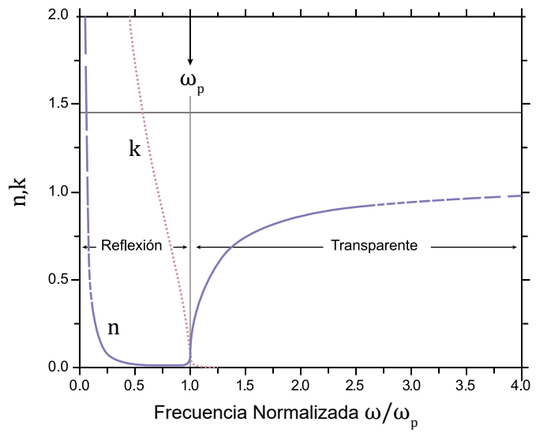


Figura 2. Dependencia espectral de n y k para un metal con electrones libres. Las curvas se calcularon de los valores obtenidos de ε_1 y ε_2 de la Figura 1.

Fuente: elaboración propia.

En la región de bajas frecuencias por debajo de ω_p, el metal exhibe una reflectividad que se aproxima a la unidad. Por arriba de la frecuencia de plasma, el metal es transparente y la reflectividad disminuye rápidamente con el incremento de la frecuencia (Figura 3)

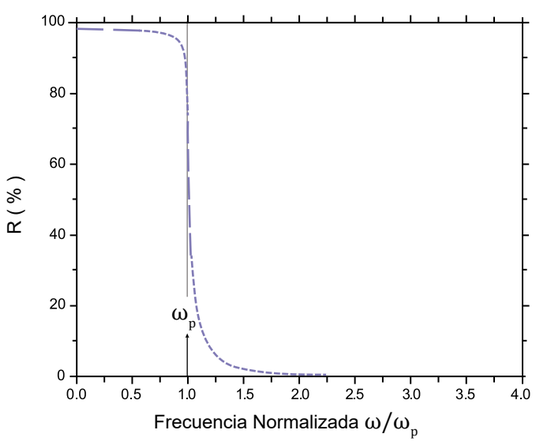


Figura 3. Dependencia espectral de la reflectividad para un metal con electrones libres. La curva se calculó tomando los valores de n y k de la Figura 2.

Fuente: elaboración propia.

De la sección dos, la porción de la onda que penetra en la región de bajas frecuencias $\omega \ll \nu$ ($\omega\tau \ll 1$), la función dieléctrica de Drude toma la siguiente forma

(3.5) $$\hat{\varepsilon} = 1 - \frac{4\pi\sigma_0}{\omega\tau}\frac{1}{(\omega + i/\tau)} \approx 1 - \frac{4\pi\sigma_0\tau}{\omega}\left(\omega - \frac{i}{\tau}\right),$$

cuyas partes real e imaginaria son

(3.6 a) $$\varepsilon_1 = 1 - 4\pi\sigma_0\tau,$$

(3.6 b) $$\varepsilon_2 = \frac{4\pi\sigma_0}{\omega}.$$

En modulo, $|\varepsilon_1| \ll |\varepsilon_2|$ en el intervalo de frecuencia $\omega\tau \ll 1$. Estas restricciones conducen a

(3.7) $$n = k, \quad \omega\tau \ll 1,$$

Las cuales se siguen de (2.10). De (2.7 b), (3.7), y (2.6) la magnitud del campo eléctrico que decae con la distancia dentro de un metal no magnético está dada por

(3.8) $$E = E_0 \exp\left[-\left(\frac{2\pi\sigma_0\,\omega}{c^2}\right)^{1/2} \cdot r\right] = E_0 \exp\left(-\frac{r}{\delta_n}\right),$$

donde la distancia $\delta_n = (c^2/2\pi\sigma_0\,\omega)^{1/2}$ se le conoce como profundidad pelicular. El valor de esta profundidad de penetración, disminuye apreciablemente si el valor de la frecuencia o de la conductividad aumentan. Cuando disminuye la temperatura de un metal puro, el valor de la trayectoria libre media de los electrones ℓ se incrementa y en consecuencia también la conductividad. A temperaturas suficientemente bajas y frecuencias altas se puede tener que δ_n sea menor que ℓ, bajo estas condiciones la suposición de que un metal es homogéneo ya no es válida, ya que δ_n (A. Kaner, A. Krokhin, & M. Makarov, 1992), juega el papel de la variación espacial del campo electromagnético en el metal, y por lo tanto el movimiento de los portadores ya no se realiza bajo la influencia de un campo eléctrico constante y la ley de Ohm $j = \sigma E$, tiene una forma más complicada.

Modelo no local 04

Los efectos del movimiento de los portadores de carga en un campo eléctrico no constante, en la región de penetración de la onda electromagnética incidente, se describe mediante los efectos de la dispersión espacial (o efectos no locales), los cuales se manifiestan en el efecto pelicular anómalo (A. Kaner, A. Krokhin, & M. Makarov, 1992) . Este efecto debe ser tomado bajo ciertas condiciones en las modernas micro y nanoestructuras, ya que su tamaño puede ser comparable con la profundidad de penetración pelicular de la onda electromagnética, la cual se caracteriza por la profundidad de penetración δ y por la ley de distribución del campo electromagnético en el conductor, que a su vez son determinadas por las características específicas de la dispersión espacial y temporal de la conductividad σ. La dispersión temporal está determinada por la relación de la frecuencia electrónica ν y la frecuencia de la onda ω. En la región de bajas frecuencias $\omega \ll \nu$ la dispersión espacial se determina por la relación entre la profundidad de penetración δ y la trayectoria libre media $\ell = v_F/\nu$, donde v_F es la velocidad característica del electrón sobre la superficie de Fermi. A altas frecuencias $\omega \gg \nu$ la trayectoria del electrón v_F/ω en un periodo de la onda $2\pi/\omega$ toma el papel de la trayectoria libre. Entonces el efecto pelicular depende de los valores relativos de las tres longitudes, δ, ℓ, v_F/ω. La longitud más pequeña de las dos trayectorias $\ell = v_F/\nu$ y v_F/ω se determina combinando ambas, es decir

(4.1) $$\ell_\omega = \frac{v_F}{\nu - i\omega},$$

a la que comúnmente se le llama trayectoria libre media efectiva. Con esta definición, las características de la dispersión espacial dependerán de la comparación del valor absoluto $|\ell_\omega|$ de ℓ_ω y de la profundidad pelicular δ.

Cuando $|\ell_\omega| \ll \delta$, $\omega \ll \delta$, la dispersión espacial y temporal son débiles. Debido a que la distancia en la cual el campo electromagnético cambia fuertemente excede a $|\ell_\omega|$, la relación entre el campo eléctrico **E**(x) y **j**(x) puede ser considerada como local, es decir su valor solo depende del punto donde se evalúa, ya que el movimiento de los electrones se realiza prácticamente bajo la acción de un campo eléctrico constante. En un metal con superficie de Fermi esférica o red cubica, el tensor de conductividad se reduce a un escalar y la ley de Ohm es válida

(4.2) $$j(x) = \sigma E(x).$$

Combinando esta ecuación en (2.2), la solución para el campo eléctrico en el metal tiene la siguiente forma

(4.3) $$E_\alpha(x) = E_\alpha(0)\exp\left(-\frac{x}{\delta}\right), \quad E_x = 0, \quad \alpha = y,z,$$

Para su obtención se ha despreciado la densidad de corriente de desplazamiento con respecto a la de conducción, debido a la pequeñez de la frecuencia, y se ha supuesto que el campo eléctrico tiene la forma $E(x,t) = E(x)\exp - i\omega t$. La longitud δ, que aparece en (4.3), tiene la siguiente forma

(4.4) $$\delta^2 = \frac{ic^2}{4\pi\omega\sigma}, \qquad \mathrm{Re}\,\delta > 0.$$

Es importante que δ sea compleja no solo por el amortiguamiento, sino también por el cambio de fase de la onda en el metal. Para que la electrodinámica del metal a dispersión espacial débil se determine completamente es necesario conocer la expresión de la conductividad. A temperatura ambiente, la frecuencia de relajación electrónica ν es del orden de $10^{13}\ s^{-1}$, por lo tanto, la desigualdad $\omega \ll \nu$ (bajas frecuencias) es válida hasta la banda de frecuencias del infrarrojo, y los efectos de la dispersión temporal son despreciablemente pequeños, por lo que la conductividad σ es real y coincide con su expresión estática σ_0

(4.5) $$\sigma_0 = \frac{\omega_p^2}{4\pi\nu},$$

por lo que el campo eléctrico dentro del metal genera una gran corriente disipativa (4.2), en este caso la solución de (4.4) para δ es

(4.6) $$\delta=\frac{\delta_n}{\sqrt{2}}\exp\left(\frac{i\pi}{4}\right)=\frac{\delta_n}{1\text{-}i},\quad \delta_n=\frac{c}{\sqrt{2\pi\omega\sigma_0}}=\frac{c}{\omega_p}\left(\frac{2\nu}{\omega}\right)^{1/2}.$$

De esta última expresión se puede observar que la onda electromagnética incidente sobre la superficie del metal es amortiguada en la distancia δ_n al interior del metal, de igual forma la variación de la fase con la distancia es caracterizada por el mismo valor de δ_n y el efecto pelicular es clásico o normal.

Cuando $\omega\gg\nu$ (altas frecuencias, región del infrarrojo), $v_F/\omega\ll\ell$, la conductividad metálica σ toma la siguiente forma

(4.7) $$\sigma_{cl}=\frac{Ne^2\ell_\omega}{p_F}=\frac{\omega_p^{\,2}}{4\pi(\nu\text{-}i\omega)}\simeq\frac{\omega_p^{\,2}}{4\pi\omega}\left(i+\frac{\nu}{\omega}\right),$$

la cual es principalmente imaginaria, donde p_F es el momentum de Fermi del electrón, bajo esta consideración la profundidad de penetración

(4.8) $$\delta=\delta_{ir}\left(1+\frac{i\nu}{2\omega}\right),\qquad \delta_{ir}=\frac{c}{\omega_p}.$$

De esta expresión, la profundidad de penetración δ_{ir} es constante e independiente de ω y ν. Para metales típicos $\omega_p\sim10^{15}\text{-}10^{16}\ s^{-1}$, de lo cual de deduce que $\delta_{ir}\sim10^{-6}\text{-}10^{-5}$ cm, por lo que en esta región del espectro electromagnético la profundidad de penetración es pequeña. Dado que la trayectoria libre media efectiva ℓ_ω y la profundidad de penetración son funciones de la frecuencia de la onda ω, es claro que la dispersión espacial débil impone restricciones sobre ω, ya que ellas resultan ser diferentes dependiendo del carácter del efecto pelicular. A altas frecuencias $\omega\gg\nu$, la desigualdad $|\ell_\omega|\ll\delta$ es equivalente a $\omega\gg\omega_p v_F/c$ cuando v_F/ω juega el papel de trayectoria libre media y (4.8) tiende a la constante c/ω_p. Por lo tanto el efecto pelicular infrarrojo tiene lugar en el intervalo

(4.9) $$\max[\nu,\omega_{ir}]\ll\omega\ll\omega_p,\qquad \omega_{ir}={}^{\omega_p v_F}/_{c}.$$

El orden de magnitud de la frecuencia límite $\omega_{ir}=10^{13}\ s^{-1}$ y coincide con la frecuencia de relajación electrónica a temperatura ambiente. Si $\omega\ll\nu$, la longitud $|\ell_\omega|$ es igual a $\ell=v_F/\nu$, y la profundidad de penetración está dada por (4.6), la desigualdad $|\ell_\omega|\ll\delta$ es equivalente a $\omega\ll\nu^3/\omega_{ir}^{\,2}$. Esto es porque las frecuencias más bajas corresponden al efecto pelicular normal.

(4.10) $$\omega\ll\min[\omega_n,\nu],\qquad \omega_n={}^{\nu^3}/_{\omega_{ir}^{\,3}}.$$

De las condiciones (4.9) y (4.10) se concluye que a altas temperaturas, cuando

(4.11) $$\omega_{ir}\lesssim\nu\lesssim\omega_n,$$

solo la dispersión espacial débil ($\ell_\omega\ll\delta$) toma lugar y todos los mecanismos posibles de la interacción del campo electromagnético con los electrones de conducción se limitan a los efectos peliculares normales e infrarrojos.

A bajas temperaturas y altas frecuencias, la distancia de penetración $\delta\ll|\ell_\omega|$. En este caso la relación (4.2) ya no es válida porque está fórmula sólo aplica bajo la suposición de un campo homogéneo. En el caso general, la densidad de corriente **j** en un punto dado en el conductor es determinado por el campo eléctrico **E** no solo en este punto, sino también en la vecindad de este, dentro de una región de longitud $\sim\ell_\omega$. Dicho de otro modo, la relación entre **j** y **E** es no local. En este caso, la conductividad σ no tiene una forma simple y en su lugar debe encontrarse un operador integro-diferencial, es decir, la relación debe ser de la forma

(4.12) $$j_i(r,t)=\int_{\infty}^{t}dt'\int_{-\infty}^{\infty}dr'\sigma_{ij}(r\text{-}r',t\text{-}t')\,E_j(r',t'),$$

para los metales, y en los dieléctricos como en los semiconductores, el valor del desplazamiento eléctrico

(4.13) $$D_i(r,t)=\int_{\infty}^{t}dt'\int_{-\infty}^{\infty}dr'\,\varepsilon_{ij}(r\text{-}r',t\text{-}t')\,E_j(r',t').$$

Donde los núcleos $\sigma(r\text{-}r',t\text{-}t')$, $\varepsilon_{ij}(r\text{-}r',t\text{-}t')$ son los tensores de conductividad y función dieléctrica no local del medio. El intervalo de no localidad de estas funciones es la distancia $|r\text{-}r'|$, y la integración con respecto a t' se determina por la causalidad ya que t' es el tiempo en el cual actúa el campo eléctrico y t es el tiempo en el cual la respuesta surge, es decir el medio sufre un retraso en su respuesta (dispersión temporal) debido a la excitación.

Estas relaciones se determinan a partir de una teoría microscópica, que para el caso de electrones libres, se puede encontrar con ayuda de la teoría cinética para la función de distribución (H. Reuter & H. Sondheimer, 1948; B. Pippard, 1947; B. Pippard, 1954), y las ecuaciones de Maxwell. En donde la conductividad tiene la siguiente forma

(4.14) $$\sigma_{ef}=\frac{N\delta e^2}{p_F}=\frac{\sigma_0\,\delta}{\ell},$$

La no dependencia de la trayectoria $|\ell_\omega|$ en (4.14), indica que el efecto pelicular anómalo de la dispersión temporal no es relevante. Lo único importante es que el valor de σ_{ef} está determinado por la profundidad de penetración δ, en donde

(4.15)

$$\delta=\delta_\alpha\exp\left(\frac{i\pi}{6}\right),\quad \delta_\alpha=\left(\frac{c^2\ell}{4\pi\sigma_0\omega}\right)^{1/3}=\left(\frac{c^2v_F}{\omega_p^{\,2}\omega}\right)^{1/3}=\delta_n\left(\frac{\ell}{2\delta_n}\right)^{1/3}.$$

En la aproximación principal, δ_a es independiente de la trayectoria libre media ℓ, y en consecuencia de la temperatura, en contraste con δ_n. Entonces bajo la condición de baja temperatura y en muestras suficientemente puras, la dispersión espacial fuerte (efecto pelicular anómalo), toma lugar en un intervalo de frecuencias que van desde unas fracciones de Hertz hasta la región del infrarrojo.

No obstante, en el intervalo de altas frecuencias $\nu<\omega\ll\omega_p$, la situación cambia radicalmente si el espesor del componente metálico es comparable o es ligeramente mayor que la profundidad pelicular, es decir $d_m\gtrsim\delta$ y esta última resulta ser menor que la longitud de recorrido libre, $\delta<\pi|\ell_\omega|\approx\pi v_F/\omega$, es decir

(4.16) $$\delta={}^{c}/_{\omega_p}\lesssim d_m,\qquad \nu<\omega<\frac{\pi\omega_p v_F}{c}\ll\omega_p.$$

Ya que en esta situación los efectos no locales son apreciablemente fuertes para el componente metálico que forme parte de las micro o nanoestructuras a temperatura ambiente (Díaz Monge, Paredes Juárez, A. Iakushev, M. Makarov, & Pérez Rodríguez, 2015).

Conclusiones 05

Hemos demostrado que los efectos de tamaño en las modernas micro y nanoestructuras se hacen especialmente importante cuando sus dimensiones son comparables con la profundidad de penetración pelicular de la onda electromagnética dentro del medio, en donde el efecto pelicular anómalo toma relevancia debido a la in-homogeneidad del campo eléctrico. La ley de Ohm (función de respuesta) bajo estas condiciones toma la forma de una ecuación integro-diferencial cuyo núcleo "conductividad" debe hallarse ya que se encuentra relacionado directamente con la función dieléctrica, la cual es necesaria para la determinación del comportamiento óptico y electrónico de estos sistemas desde unas fracciones de Hertz hasta la región del infrarrojo. Si el tamaño de estas estructuras es mucho mayor que la profundidad de penetración, los efectos no locales son despreciables y el análisis es el usual para los sistemas en bulto, tal como se muestra en la primera sección de este artículo, en donde explícitamente se pone de manifiesto la alta reflectividad de los metales por debajo de la frecuencia de plasma y su transparencia por arriba de esta frecuencia (región del ultravioleta), cuyo comportamiento es el usual para un metal.

Referencias

A. Belov, P., & R. Simovski, C. (2005). Homogenization of electromagnetic crystals formed by uniaxial resonant *scatterers. Physical Review E*, 72(2), 026615-026630.

A. Kaner, E., A. Krokhin, A., & M. Makarov, N. (1992). *Spatial dispersion and surface electromagnetic absortion in metals* (1 ed., Vol. 1). (P. Halevi, Ed.) Amsterdan: Elsevier.

A. Krokhin, A., Halevi, P., & Arriaga, J. (2002). Long-wavelength limit (homogenization) for two-dimensional photonic crystals. *Physical Review* B, 65(11), 115208-115225.

A. Krokhin, A., Reyes, E., & Gumen, L. (2007). Low-frequency index of refraction for a two-dimensional metallodielectric photonic crystal. *Physical Review* B, 75(4), 045131-045136.

Agranovich, V., & Ginzburg, V. (2009). *Crystal optics with spatial dispersion, and exitons*. Germany: Springer-Verlag.

B. Pendry, J., J. Holden, A., J. Robbins, D., & J. Stewart, W. (1999). Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena. *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, 47(11), 2075-2084.

B. Pippard, A. (1947). The surface impedance of superconductors and normal metals at high frequencies. II. The anomalous skin effect in normal metals. *Proceedings of the Royal Society A*, 191(1026), 385-399.

B. Pippard, A. (1954). The anomalous skin effect in anisotropic metals. *Proceedings of the Royal Society A*, 224(1157), 273-282.

Born, M., & Wolf, E. (1999). *Principles of optics* (7 ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Cubukcu, E., Aydin, K., Ozbay, E., Foteinopoulou, S., & Soukoulis, C. (2003). Subwavelength resolution in a two-dimensional photonic-crystal-Based superlens. *Physical Review Letters, 9*1(20), 207401-207405.

D. Joannopoulos, J., G. Johnson, S., N. Winn, J., & D. Meade, R. (2008). *Photonic Crystals, Molding the Flow Light.* Princeton New Jersey: Princeton University press.

Datta, S., T. Chan, C., M. Ho, K., & M. Soukoulis, C. (1993). Effective dielectric constant of periodic composite structure. *Physical Review B, 48*(20), 14936-14943.

Díaz Monge, F., Paredes Juárez, A., A. Iakushev, D., M. Makarov, N., & Pérez Rodríguez, F. (2015). Thz photonic bands of periodic stacks composed of resonant dielectric and non local metal. *Optical Materials Express, 5*(2), 361-372.

Guey Wu, C., Feng Tzeng, L., Ting Kuo, Y., & Hsien Shu, C. (2001). Enhancement of the photocalytic activity of TiO2 film via surface modification of the sustrate. *Applied Catalysis A, 226*, 199-211.

H. Reuter, G. E., & H. Sondheimer, E. (1948). The theory of the anomalous skin effect in metals. *Proceedings of the Royal Society A, 195*(1042), 336-364.

Halevi, P., Arriaga, J., & A. Krokhin, A. (1999). Photonic crystal optics and homogenization 2D periodic composites. *Physical Review Letters, 82*(4), 719-722.

Ishimaru, A., Woo-Lee, S., Kuga, Y., & Jandhyala, V. (2003). Generalized constitutive relations for metamaterials based on the quasi-static Lorentz theory. *IEEE Transactions on antenas and propagation, 51*(10), 2550-2557.

Jackson, J. D. (1975). *Classical Electrodynamics.* New York: John Wiley & Sons.

Kittel, C. (1996). *Introduction to solid state physics* (6 ed.). New York: John Wiley.

Koschny, T., Markos, P., N. Economou, E., R. Smith, D., C. Vier, D., & M. Soukoulis, C. (2005). Impact of inheret periodic structure on effective medium descriptionof left-handedand related metamaterials. *Physical Review B*, 71(24), 245105-245127.

Kuzmiak, A., & A. Maradudin, A. (1997). Photonic band structures of one- and two-dimensional periodic systems with metallic components in the presence of dissipation. *Physical Review B, 55*(12), 7427-7444.

Lamb, W., M. Wood, D., & W. Ashcroft, N. (1980). Long-wavelength electromagnetic propagation in heterogeneous media. *Physical Review B, 21*(6), 2248-2266.

Landau, L. D., & Mikhailovich, E. L. (2004). *Electrodynamics of Continuous Media*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.

M. Ziman, J. (1999). *Principles of the theory of solids* (segunda ed.). Cambridge US.: Cambridge Univesity Press.

Menzel , C., Rockstuhl, C., Paul, T., & Lederer, F. (2008). Retriving effective parameters for metamaterials at oblique incidence. *Physical Review B, 77*(19), 195238-195236.

Patanjali V., P., Wentao T., L., Plarenta, V., & Srinivas, S. (2003). Photonic crystals: Imaging by flat lens using negative refraction. *Nature, 426*(11), 404.

Plum, E., Zhou, J., Dong, J., A. Fedotov, V., Koschny, T., M. Soukoulis, C., & I. Zheludev, N. (2009). Metamaterial with negative index due to chirality. *Physical Review B, 79*(3), 035407-035413.

R. Simovski, C., & A. Tretyakov, S. (2007). Local constitutive parameters of metamaterials from an effective-medium perspective. *Physical Review B, 75*(19), 195111-195121.

R. Smith , D., C. Vier, D., Koschny, T., & M. Soukoulis, C. (2005). Electromagnetic parametres retrieval from inhomogeneous metamaterials. *Physical Review E, 71*(3), 036617-036628.

Romero, I., & J. Garcia de Abajo , F. (2009). Anisotropy and particle-size effects in nanoestructured plasmonic metamaterials. *Optics Express, 17*(24), 22012-22022.

Ruibao , T., Zhe, C., & Ping, S. (1990). First-principles Fourier approach of the calculation of the effective dielectric constant of periodic composites. *Physical Review B, 41*(4), 2417-2420.

Soto Puebla, D., Xiao, M., & Ramos Mendieta, F. (2004). Optical properties of a dielectric-metallic superlattice: the complex photonics bands. *Physics Letters A, 326*(3-4), 273-280.

T. Chui, S., & Lin, Z. (2008). Long-wavelength behavior of two-dimensional photonic crystals. *Physical Review E, 78*(6), 065601-065605.

W. Ashcroft, N., & Mermin, N. D. (1976). *Solid state physics* (1 ed.). México: Thomson Learning.

Xudong, C., Wu, B.-I., Au Kong, J., & M. Grzegorczyk, T. (2005). Retrieval of the effective constitutive parameters of bianisotropic metamaterials. *Physical Review E, 71*(4), 046610-046619.

Síntesis insitu de quitosano con nanopartículas de plata (Q-AgNPs) para el desarrollo de biopelículas

Recibido 25/07/2017,
Revisado 23/08/2017,
Aceptado 29/08/2017.

[1]División de Ingeniería en Materiales, Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, Predio Cristo Rey Ex Hacienda de Xalostoc S/N, Carretera Federal Apizaco-Tlaxco Km. 16.8, C. P. 90271, Tlaxcala, México.
[2] Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Ex Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km. 1.5, C.P. 90700, Tlaxcala, México

Verónica Carmona-Álvarez*[1], Orlando Zaca-Moran[2], Fernando Diaz-Monge**[1], Fernando Roberto Vélez-Tenorio***[1], Alejandro Rodríguez-Juárez****[1].**

RESUMEN

Se realizaron biopelículas de quitosano con nanopartículas de plata mediante la técnica de dip-coating usando una solución de quitosano/nanopartículas de plata (Q-AgNps) que fue preparada mediante un proceso químico de forma isitu donde, se utilizó quitosano de peso molecular medio y como reductor se usó el boro hidruro de sodio ($NaBH_4$). El composito de Q-AgNPs y las biopelícula fueron estudiados por espectroscopia de UV-Vis, FTIR y TGA-DSC, los resultados previos indican que se obtuvieron nanopartículas recubiertas de quitosano, además que los grupos funcionales amino ($-NH_2$) e hidroxilo (-OH) de la macromolécula del quitosano son los que participan en la estabilización de las nanopartículas de plata, asimismo la biopelícula obtenidas mediante la técnica de Dip-Coating presenta una alta estabilidad térmica.

Palabras Clave: Quitosano, Nanopartículas, Plata, biopelícula.

ABSTRACT

Chitosan biofilms with silver nanoparticles were made by dip-coating technique using a solution of chitosan/silver nanoparticles (Q-AgNps) which it was prepared by insitu chemical process, where we used chitosan of medium molecular weight and sodium borohydride ($NaBH_4$) was used as redactor agent. The composite of Q-AgNPs and biofilm were studied by UV-Vis, FTIR and TGA, DTA y DSC analysis. The previous results indicate that nanoparticles were coated with chitosan, in addition the amino ($-NH_2$) and Hydroxyl (-OH) groups of the macromolecule Chitosan are involved in the stabilization of silver nanoparticles, and biofilms obtained by the Dip-Coating technique have high thermal stability.

Keywords: Chitosan, nanoparticles, Silver, Biofilm.

**** 1 Autor corresponsal
e-mail: alexrj3@hotmail.com,
Teléfono: 2464631417.

Introducción 01

Existen una gran cantidad de polímeros y entre ellos los biopolímeros que poseen gran importancia debido a sus distintas aplicaciones tales como: fibras, adhesivos, y principalmente en materiales de ingeniería genética, entre muchas otras. Las principales categorías de los biopolímeros son polisacáridos (almidón, quitina, quitosano, celulosa y sus derivados), proteínas (aminoácidos, enzimas y péptidos) y polinucleótidos (poliésteres de ácido fosfórico y nucleótidos). Al contar con una gran diversidad de aplicaciones, los biopolímeros han atraído la atención, particularmente en bioquímica e ingeniería de materiales, lo cual incentiva el estudio a profundidad de estos compuestos (Pielichowski & Njunguna, 2005). El interés permanente de la humanidad por encontrar en los recursos naturales nuevos beneficios a favor de la nutrición y la salud, la ha llevado a indagar acerca de la posibilidad de utilizar algunos desechos de la industria pesquera, tal es el caso de los exoesqueletos de crustáceos y escamas de pescados. Estos son considerados contaminantes ambientales, sin embargo, constituyen la fuente principal de dos biopolímeros de alto valor agregado establecidos a nivel mundial: la quitina y el quitosano (Heller, Claus, & Zeit, 1959).

El quitosano (Q) como un polisacárido natural de compuesto β-(1-4) glucosamina -y N-acetil glucosamina (Daniel & Astruc, 2004), ha sido un tema de principal interés en la investigación debido a sus excelentes propiedades como: agente quelatante, facilidad de conformar fibras, buena biocompatibilidad, biodegradabilidad, no toxico, antibacteriano y actividad antihemostática (Kimura & Okuda, 1999; Kimura, Umehara, & Horikoshi, 2002; Alzate, Cuervo, & Valencia, 2014), por lo tanto su uso hace que se haya extendido en el campo de la clarificación y limpieza de agua, en la industria textil, en medicina, en sistema de liberación controlada y agricultura (United States Patente nº 5,932,107, 1999; United States Patente nº 5,900,408, 1999; Kimura & Okuda, 1999; Genta, Perugini , & Pavanetto, 1998), por ejemplo: en la industria farmacéutica, utilizan los derivados del quitosano como un componente de los productos de belleza debido a sus propiedades de acondicionamiento, hidratación en la zona de aplicación y estimulación en el crecimiento de las células de la piel dañada (Rinaudo, 2006).

Por otro lado, las nanopartículas de cobre (CuNPs), Oro (AuNPS), platino (PtNPs) y paladio (PdNPs) han despertado el interés de la comunidad científica debido a que se pueden diseñar compositos de polímeros que permiten la preparación de materiales médicos, catalíticos y ópticos (Kuchibhatla, Karakoti, Bera, & Seal, 2007; Suryanarayana, 2002) donde, el tamaño de las nanopartículas metálicas está siendo controlado a partir de la naturaleza de estabilidad seleccionada, el agente reductor y la condición del proceso y así mismo se puede determinar su campo de aplicación (Fang, Zhong , & Mu, 2005; Braydich, Hussain, Schlager, & Claude, 2005).

Una de las nanopartículas con muchas propiedades son las nanopartículas de plata (AgNPs), ya que son utilizadas en la elaboración de compositos estabilizados, biosensores, actividad antibacterial y administración de fármacos (Gleiter , 1991; Hiramatsu & Osterloh, 2004), además, en recientes estudios estas AgNPs están siendo utilizadas en el tratamientos de cáncer, pero una de las desventajas es que cuando se utilizan nanopartículas de tamaño menor a 20 nm se observa efectos tóxicos en células sanas (Boisselier & Astruc, 2009; Halim, El-Rafie, & Al-Deyab, 2011). Por tal situación las AgNPs están siendo recubiertas por Q con el fin de disminuir su toxicidad e incrementar la actividad antibacterial (Akmaz, Dilaver, Yasar, & Erguven, 2013; Murugan, y otros, 2017; Humbatova, Zeynalov, Taghiyev, Tapdiqov, & Mammedova, 2016).

Por esto, en este trabajo se realiza la síntesis y la aplicación de AgNPS en una matriz de quitosano para el diseño de películas delgadas con el fin de analizar el cambio de sus propiedades térmicas y ópticas y así poder determinar alguna aplicación como agente retardante a la flama.

Metodología 02

2.1 MATERIALES

Para la síntesis Q-AgNPs se utilizaron los siguientes reactivos; quitosano al 97% de peso molecular medio, nitrato de plata ($AgNO_3$) como precursor de Ag al 99.999%, boro-hidruro de sodio ($NaBH_4$) al ≥ 98.0%, ácido acético (CH_3COOH) al 84% y agua desionizada, todos los reactivos se adquirieron por Sigma Aldrich.

2.2 ANÁLISIS INSTRUMENTAL

Las muestras se analizaron mediante un espectrofotómetro de Uv-Vis (perkin Elmer), FTIR (Bruker tensor 27) y un equipo de análisis termogravimétrico (TGA) con DSC simultáneo SDT Q 600 TA Instruments. Las películas se realizaron mediante Dip- Coating (Junray, QPI-128 Dip-Coating).

2.3 SÍNTESIS IN-SITU DE NANOCOMPOSITO Q-AgNPs

Para la síntesis de Q-AgNPs se disolvieron 0.2 gr de quitosano en una solución de 10 ml 1% de ácido acético durante 15 minutos. Posteriormente se agrega 2 ml de una solución de $AgNO_3$ 2.5×10^{-2} M y se mezcla durante 2 horas a temperatura ambiente y se añade a la solución 4 ml de una solución de $NaBH_4$ a 4 mM. Una vez agregado la solución de $NaBH_4$ instantáneamente cambia de color amarillo a marrón oscuro.

Posteriormente, las películas del composito Q-AgNPs fueron preparadas sobre sustratos de vidrio mediante el equipo dip coating utilizando una velocidad de inmersión 020.00 mm/min, velocidad de emersión 001.000 mm/min y un tiempo de permanencia de secado de 15 minutos. Se analizaron películas con número de inmersiones de 3, 5, 7 y 10.

Resultados 03

La multifuncionalidad del quitosano es el motivo por el cual se debe de estudiar sus diferentes propiedades ópticas y térmicas y es por lo que se realiza la síntesis Q-AgNPs para observar cómo se afectan estas propiedades cuando las AgNPs son incorporadas en una matriz de quitosano.

Como se observa en la figura 1, la coloración de la disolución de quitosano con nitrato de Ag y ácido acético cambia de amarillo a marrón oscuro debido a la formación de AgNPs, que son contenidas en una solución coloidal. Esto puede ser corroborado mediante espectroscopia de Uv-vis (figura 1) donde se observa la presencia de una banda de absorción en 420 nm debido a la resonancia del plasmon de superficie de las AgNPs indicando la presencia de AgNPs (Humbatova, Zeynalov, Taghiyev, Tapdiqov, & Mammedova, 2016).

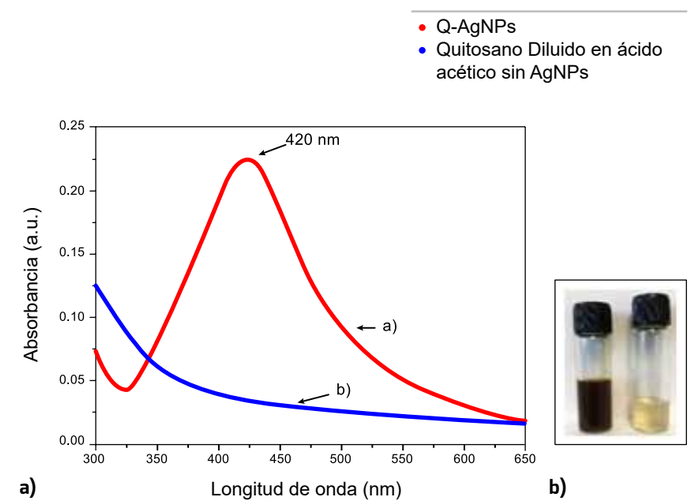


Figura 1. a) Espectro de UV-vis de la muestra de Q-AgNPs, b) espectro de UV-Vis del quitosano diluido en una solución de 1 % de ácido acético. En la imagen se observa el cambio el cambio de color de la solución de color amarillo a un color marrón.

En la figura 2 se muestra el espectro FTIR del quitosano (banda de color negro) y del Q-AgNPs (banda color rojo) donde se puede observar las bandas características de los grupos funcionales de la molécula de quitosano. Para el espectro de IR del quitosano se aprecian las bandas correspondientes a movimiento de tensión del O-H y N-H (3200-3600 cm^{-1}), característicos del agua, alcoholes, aminas y amidas presentes en la estructura del quitosano. Se observa que esta banda está centrada en 3170 cm^{-1} producto de la sobreposición de las bandas originadas por los alargamientos y tensiones de los grupos O-H y N-H presentes (Cocoletzi, Almanza , Augustin, Nava, & Casselis, 2009). La banda presente en 1641 cm^{-1} corresponde al movimiento de vibración del C=O del grupo amino (Bien conocido como banda amida 1) de la unidad acetil del quitosano (Coimbra, y otros, 2010), también se observan pequeñas bandas en 1417, 1157 y 1078 cm^{-1} correspondientes al enlace del N-H del grupo amida y el grupo éter, al grupo hidroxilo secundario (pico característico de -CH-OH en alcoholes cíclicos, tensión de C–O) y al grupo hidroxilo primario (pico característico de $–CH_2–OH$ en alcoholes primarios, tensión de C–O) (Nanda, Sasmal, & Nayak, 2011).

Por otro lado, para el espectro de FTIR del Q-AgNPs se analizó usando como base agua para verificar los picos característicos del quitosano, donde se observan picos en 3338 cm^{-1} y 3209 cm^{-1} asociados a movimiento de enlace de grupos funcionales de O-H y N-H, respectivamente (Humbatova, Zeynalov, Taghiyev, Tapdiqov, & Mammedova, 2016). El pico ancho localizado entre 2600 y 3100 cm^{-1} presenta dos bandas correspondientes a la tensión del C-N y O-H (Govindan , Nivethaa, Saravanan, Narayanan , & Stephen, 2012); el pico localizado en 1641 sufre un pequeño corrimiento a 1634 cm^{-1}, además de presentar un decaimiento en intensidad debido a la interacción con las AgNPs esto concuerda con los resultado reportados por Wazed Ali el al. (Ali, Rajendranb, & Joshi, 2011). *La deformación angular* en el plano del CO–NH en 1548 cm^{-1} también se presenta en el composito del Q-AgNPs. Se puede ver el corrimiento de los picos 1417, 1157 y 1078 cm^{-1} a 1411, 1157 y 1082 cm^{-1} junto con un incremento de la intensidad debido a la tensión del C-O lo cual concuerda con los reportes en la literatura por Govindan et al. (Govindan , Nivethaa, Saravanan, Narayanan , & Stephen, 2012) *y An et al.* (An, Luo, Yuan, Wang, & Li, 2010).

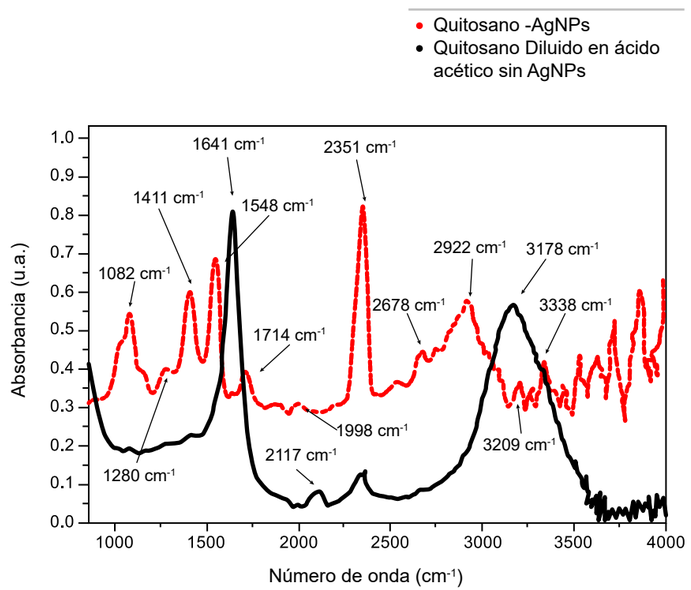
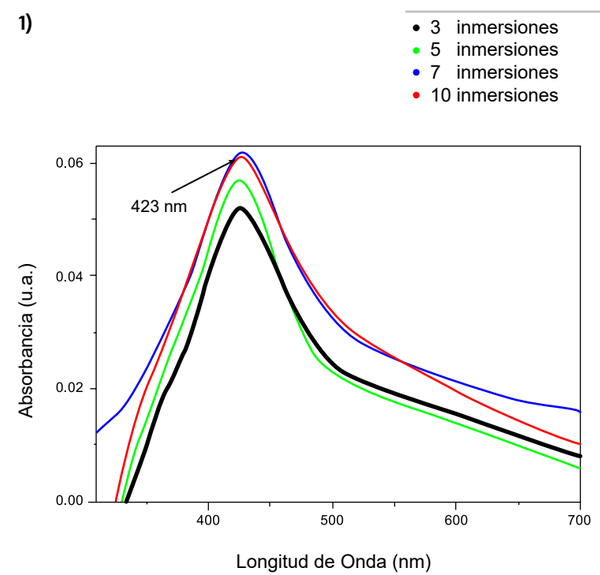


Figura 2 Espectro de FTIR del quitosano (línea continua) y del composito Q-AgNPs (línea discontinua).

Las películas del composito preparadas en sustratos de vidrio mediante la técnica de Dip-Coating se analizaron mediante espectroscopia de UV-Vis (Figura 3) y en la figura 3-1 se muestran los espectros de UV-Vis correspondientes a 3, 5, 7 y 10 inmersiones los cuales se puede observar la banda característica a la resonancia del plasmon de superficie de la AgNPS (420 nm), además se ve que la concentración de nanopartículas se incrementa con el número de inmersiones, sin embargo a la inmersión número 10 la intensidad del espectro disminuye indicando que la concentración de nanopartículas disminuye, esto se puede deber a que el espesor de la película decrece ya que se alcanza el punto de saturación de adherencia, este efecto se observa también por la coloración de las películas que van desde un color marrón claro a un café claro (figura 3-2).

1)



2)

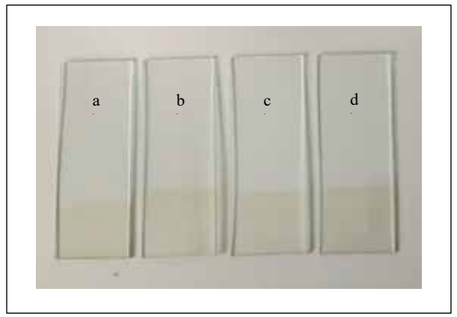


Figura 3. 1) Espectro de UV-vis de películas de quitosano con nanopartículas de Ag. 2) Sustratos con películas de quitosano con nanopartículas de Ag a) 3 inmersiones, b) 5 inmersiones, c) 7 inmersiones y d) 10 inmersiones.

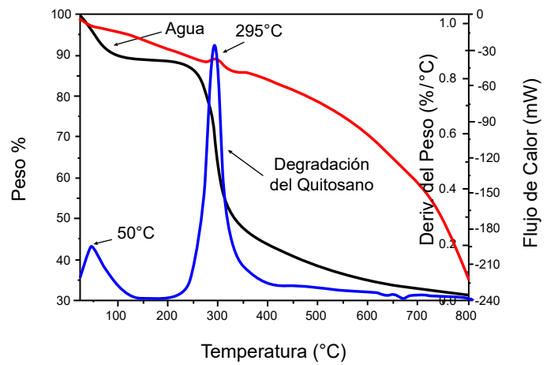
El análisis termogravimétrico (TGA) del quitosano de peso medio molecular, de la película del quitosano simple y la película del composito Q-AgNPs se realizaron en ambiente de nitrógeno (50 mL/min) con una rampa de calentamiento de 10 °C/min y los termogramas se muestran en la figura a. En el TGA del quitosano de medio peso molecular (figura 4a) se observan dos caídas de pérdida de peso, la primera pérdida es del 10 % y empieza en 50 °C y termina en 150 °C esto se debe a la perdida de agua adsorbida de la muestra. La pérdida del 50 % de peso se observa en el rango de 220-400 °C y se debe a la degradación del quitosano, con esto la pérdida total de peso hasta 800 °C es del 70 % (El-Hefian, Elgannoudi, Mainal, & Yahaya, 2010).

Por otro lado, el TGA de las películas preparadas tanto del quitosano simple (figura 4b) como del Q-AgNPs (figura 4c) presentan un efecto parecido. En este aspecto la pérdida de peso se divide en cuatro etapas, la primera se debe la adsorción del agua por el quitosano mientras que la segunda es al agua y el ácido acético que está fuertemente anclado al quitosano. La degradación parcial del 35 % de la película del quitosano inicia en 230 °C en tanto la película con AgNPs se presenta a 240 °C, este resultado concuerda con Jin An et al (An, Luo, Yuan, Wang, & Li, 2010) donde menciona que la alta estabilidad es debido a la alta energía superficial de las nanopartículas de Ag y por último, la caída que se encuentra entre 649-715 °C y 620-780 (11 % masa perdida) para la película del quitosano y película Q-AgNPs, respectivamente, se debe tanto a la descomposición de los anillos sacáridos como a la despolimerización y la descomposición de las unidades acetiladas y desacetiladas (Raghavendra, Jung, kim, & Seo, 2016). El porcentaje de masa total perdida para la película del quitosano (74 %) es mayor que la de la película de quitosano con nanopartículas de plata (77 %) debido a la presencia de las AgNPs.

Quitosano de Medio Peso Molecular

a)

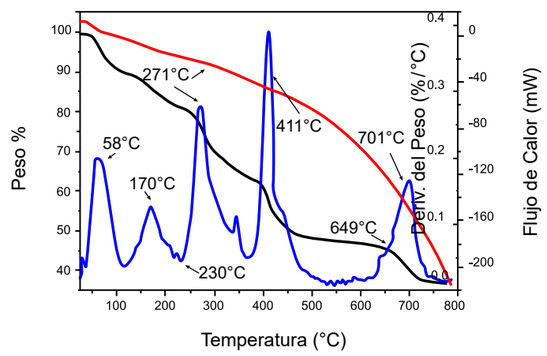
- Peso
- Flujo de Calor
- Deriv. del Peso



Película de Quitosano

b)

- Peso
- Flujo de Calor
- Deriv. del Peso



Quitosano con Nanopartículas de Plata

c)

- Peso
- Flujo de Calor
- Deriv. del Peso

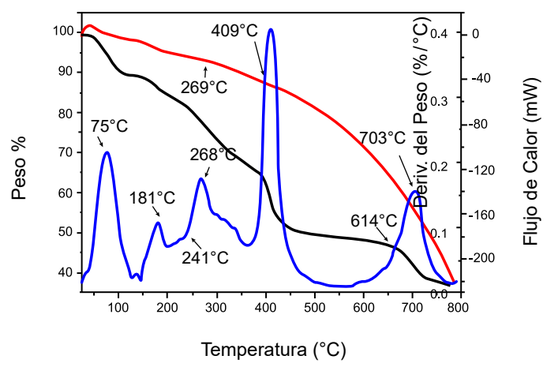


Figura 4. a) TGA-DTA-DSC de quitosano de medio peso molecular. b) TGA-DTA-DSC de la película de quitosano simple c) TGA-DTA-DSC de la biopelícula de Q-AgNPs.

Los datos del análisis térmico diferencial (DTA) (figura 4a) del quitosano simple muestra dos picos donde los máximos están localizados en 50 y 290 °C y que corresponden a la evaporación de agua presente en la muestra y la descomposición del quitosano, estos picos están correlacionados con el termograma de calorimetría diferencial de barrido (DSC) indicando que la evaporación se da mediante una reacción endotérmica en tanto que la degradación del quitosano se da mediante una reacción exotérmica.

Por otro lado, los DTA de la película de quitosano y de la película con AgNPs muestran 5 picos principales localizados en 58, 170, 271, 411 y 701 °C para la película de quitosano y 75, 181, 268, 409 y 703 °C para la biopelícula con AgNPs; el primer pico está asociado a la evaporación de agua mientras que el segundo muestra la fuerte interacción del agua/ácido acético/quitosano donde ambos procesos son de forma endotérmica (figura 4b y c), este fenómeno también se presenta en biopeliculas preparadas a partir de glicerina con quitosano (Kurek , y otros, 2012); los picos exotérmicos localizados en 271 y 268 °C para cada película se deben al proceso de disociación de los enlaces de hidrógeno entre cadenas del quitosano afectados por el ácido acético (Chuang , Young , Yao, & Chiu , 1999; Kurek , y otros, 2012). A más altas temperaturas (≈ 410 °C) se presenta un pico endotérmico indicando la degradación pirolítica del quitosano este resultado concuerda con lo reportado en la literatura (Raghavendra, Jung, kim, & Seo, 2016; Corazzari, y otros, 2015; de Britto & Campana-Filho, 2007) *y finalmente el pico presente en 701 °C se asocia un proceso de* deshidrogenación de los anillos sacáridos y a la descomposición de las unidades acetiladas y desacetiladas. La diferencia en la posición y ancho del pico indica la fuerte interacción del agua-ácido acético/quitosano con las AgNPs (Raghavendra, Jung, kim, & Seo, 2016).

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco y el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo.

Conclusión 04

La síntesis insitu del composito de quitosano con nanopartículas de plata se pudo realizar mediante un método simple en el cual se muestra buena dispersión de las AgNPs. La presencia de las nanopartículas de Ag dentro de la matriz de quitosano se pudo comprobar mediante espectroscopia de UV-Vis debido a que la muestra presenta una banda de absorción correspondiente a la resonancia del plasmon de superficie de las AgNPs. El coloide presenta una alta dispersión y estabilidad de las nanopartículas dentro del quitosano posiblemente a que las nanopartículas son recubiertas por el quitosano esto se confirmó mediante espectroscopia de IR debido a que existe un corrimiento de los picos característicos del quitosano. Se pudieron realizar biopelículas de Q-AgNps mediante la técnica de Dip-Coating donde la alta estabilidad térmica de las biopelículas se pudo comprobar mediante la técnica de TGA-DSC.

Referencias

Agranovich, V., & Ginzburg, V. (2009). *Crystal optics with spatial dispersion, and exitons*. Germany: Springer-Verlag.

Akmaz, S., Dilaver, E. A., Yasar, M., & Erguven, O. (2013). The Effect of Ag Content of the Chitosan-Silver Nanoparticle Composite Material on the Structure and Antibacterial Activity. *Advances in Materials Science and Engineering, 2013*, 1-6.

Ali, S. W., Rajendranb, S., & Joshi, M. (2011). Synthesis and characterization of chitosan and silver loaded chitosan nanoparticles for bioactive polyester. *Carbohydrate Polymers, 83*, 438.

Alzate, L. F., Cuervo, R. A., & Valencia, M. E. (2014). EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE QUITOSANO FÚNGICO EXPERIMENTAL Y COMERCIAL, COMO POTENCIAL BIOMATERIAL PARA APLICACIONES EN INGENIERÍA DE TEJIDOS. *Revista Iberoamericana de Polímeros, 16*(2), 112.

An, J., Luo, Q., Yuan, X., Wang, D., & Li, X. (2010). Preparation and Characterization of Silver-Chitosan Nanocomposite Particles with Antimicrobial Activity. *Journal of Applied Polymer Science, 120*, 3180.

Block, L. H., & Sabnis, S. S. (1999). *United States Patente nº 5,900,408.*

Boisselier, E., & Astruc, D. (2009). Gold nanoparticles in nanomedicine: preparations, imaging, diagnostics, therapies and toxicity. *Chemical Society Reviews, 38*, 1759.

Braydich, L., Hussain, S., Schlager, J. J., & Claude, M. (2005). In Vitro Cytotoxicity of Nanoparticles in Mammalian Germline Stem Cells. *TOXICOLOGICAL SCIENCES, 88*(2), 412.

Chuang , W. Y., Young , T. H., Yao, C. H., & Chiu , W. Y. (1999). Properties of the poly (vinylalcohol)/chitosan blend and its effect on the culture of fibroblast in vitro. *Biomaterials, 20*, 1479.

Cocoletzi, H. H., Almanza , E. A., Augustin, O. F., Nava, E. L., & Casselis, E. R. (2009). Obtención y caracterización de. *Superficies, 22*(3), 57.

Coimbra, P., Ferreira, P., de Sousa, H. C., Batista, P., Rodrigues, M. A., Correia, I. J., & Gil, M. H. (2010). Preparation and chemical and biological characterization of a pectin/chitosan polyelectrolyte complex. *International Journal of Biological Macromolecules, 48*, 112.

Corazzari, I., Nisticó, R., Turci, F., Faga, M. G., Franzoso, F., Tabasso, S., & Magnacca, G. (2015). Advanced physico-chemical characterization of chitosan by means of TGA coupled on-line with FTIR and GCMS: Thermal degradation and water adsorption capacity. *Polymer Degradation and Stability, 112*, 1.

Daniel, M. C., & Astruc, D. (2004). Gold Nanoparticles: Assembly, Supramolecular Chemistry, Quantum-Size-Related Properties, and Applications toward Biology, Catalysis, and Nanotechnology. *Chemical Reviews*, 293.

De Britto, D., & Campana-Filho, S. P. (2007). Kinetics of the thermal degradation of chitosan. *Thermochimica Acta, 465,* 73.

Domard, A., Piron, E., Federici, V., & Berton, Y. (1999). *United States Patente nº 5,932,107*. doi:5,932,107

EL-HEFIAN, E. A., ELGANNOUDI, E. .., MAINAL, A., & YAHAYA, A. H. (2010). Characterization of chitosan in acetic acid: Rheological and thermal studies. *Turkish Journal of Chemistry, 47,* 34.

Fang, J., Zhong , C., & Mu, R. (2005). The study of deposited silver particulate films by simple method for efficient SERS. *Chemical Physics Letters, 401*, 271.

Genta, I., Perugini , P., & Pavanetto, F. (1998). Different Molecular Weight Chitosan Microspheres: Influence on Drug Loading and Drug Release. *Drug Development and Industrial Pharmacy, 24*(8), 779.

Gleiter , H. (1991). Nanocrystalline Solids. *Journal of Applied Crystallography, 24*, 79.

Govindan , S., Nivethaa, E. A., Saravanan, R., Narayanan , V., & Stephen, A. (2012). Synthesis and characterization of chitosan–silver nanocomposite. *Applied Nanoscience, 2*, 299.

Guey Wu, C., Feng Tzeng, L., Ting Kuo, Y., & Hsien Shu, C. (2001). Enhancement of the photocalytic activity of TiO2 film via surface modification of the sustrate. *Applied Catalysis A, 226*, 199-211.

Halim, E. A., El-Rafie, M. H., & Al-Deyab, S. S. (2011). Polyacrylamide/guar gum graft copolymer for preparation of silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers, 85*, 692.

Heller, k., Claus, J., & Zeit. (1959). Zur Identität von pflanzlichem und tierischem chitin. *Naturforsch, 14,* 476.

Hiramatsu , H., & Osterloh, F. E. (2004). A Simple Large-Scale Synthesis of Nearly Monodisperse Gold and Silver Nanoparticles with Adjustable Sizes and with Exchangeable Surfactants. *Chemistry of Materials, 16*(13), 2509.

Humbatova, S. F., Zeynalov, N. A., Taghiyev, D. B., Tapdiqov, S. Z., & Mammedova, S. M. (2016). CHITOSAN POLYMER COMPOSITE MATERIAL CONTAINING. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, 11*(1), 39.

Kimura , Y., & Okuda, H. (1999). Prevention by chitosan of myelotoxicity, gastrointestinal toxicity and immunocompetent organic toxicity induced by 5-fluorouracil without loss of antitumor activity in mice. *Japanese Journal of Cancer Research, 90*, 765.

Kimura, A., Umehara, T., & Horikoshi, M. (2002). Chromosomal gradient of histone acetylation established by Sas2p and Sir2p functions as a shield against gene silencing. *Nature genetics, 32*, 370.

Kuchibhatla, S. V., Karakoti, A. S., Bera, D., & Seal, S. (2007). One dimensional nanostructured materials. *Progress in Materials Science, 52*, 699.

Kurek , M., Brachais, C. H., Nguimjeu, C. M., Bonnotte, A., Voilley, A., Galic, K., . . . Debeaufort, F. (2012). Structure and thermal properties of a chitosan coated polyethylene bilayer film. *Polymer Degradation and Stability, 97*, 1232.

Murugan, K., Anitha, J., Suresh, U., Rajaganesh, R., Panneerselvam, C., Thabiani, A., . . . Kalimuthu, K. (2017). Chitosan-fabricated Ag nanoparticles and larvivorous fishes: a novel route to control the coastal malaria vector Anopheles sundaicus? *Hydrobiologia, 797*, 335.

Nanda, R., Sasmal, A., & Nayak, P. L. (2011). Preparation and characterization of chitosan–polylactide composites blended with Cloisite 30B for control release of the anticancer drug paclitaxel. *Carbohydrate Polymers, 83,* 988.

Pielichowski, K., & Njunguna, J. (2005). *Thermal Degradation of Polymeric Materials*. Rapra.

Raghavendra, G. M., Jung, J., kim, D., & Seo, J. (2016). Microwave assisted antibacterial chitosan–silver nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules, 84*, 281.

Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science, 31*, 603.

Suryanarayana, C. (2002). The structure and properties of nanocrystalline materials: Issues and concerns. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, 54*, 24.

Diversas estrategias de modulación para inversores

Angélica Moreno Garibaldi*[1] y Alfonso López Juárez[1]**

[1] Ingenieria en Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, Predio Cristo Rey ExHacienda de Xalostoc S/N Km16.8, Carr.Fed. C.P. 90271 Apizaco-Tlaxcala.

Recibido 20/07/2017.
Revisado 15/01/2018.
Aceptado 22/ 03/2018.

RESUMEN

Las estrategias de modulación son muy importantes para el desempeño de los inversores multinivel ya que definen su desempeño, los inversores son utilizados en control de motores, en sistemas de alimentación ininterrumpibles (UPS; por sus siglas en inglés) y en general, en aquellas aplicaciones que necesiten de una caída de tensión de salida en CA controlada. Los inversores también pueden ser utilizados para resolver problemas de distorsión en la red eléctrica como: contaminación armónica, mala regulación, bajo factor de potencia etc.

Se conoce que las técnicas de modulación más aplicadas en la implementación del CMLI (Inversor multinivel en cascada) son la PWM (modulación por ancho de pulso) sinusoidal, la eliminación selectiva de armónicos y la vectorial.

El uso de las estrategias de modulación es para reducir los problemas de distorsión en el red eléctrica, esté artículo se enfocará en las pérdidas de conmutación evitando los costos excesivos en los recibos que emite CFE (Comisión Federal de Electricidad) o también conocido como THD (Total Harmonic Distortion).

Palabras Clave: inversor, técnicas de modulación, disposición de fase, disposición opuesta de fase y dispositivos semiconductores de potencia.

ABSTRACT

Modulation strategies are very important for the performance of multi-level investors since they define their performance, investors are used in motor control, in uninterruptible power supply systems (UPS) and in general, in those applications that need a controlled AC output voltage drop. The inverters can also be used to solve problems of distortion in the electrical network such as: harmonic pollution, poor regulation, low power factor etc.

It is known that the most applied modulation techniques in the implementation of the CMLI (Cascade Multilevel Inverter) are the PWM (pulse width modulation) sinusoidal, the selective elimination of harmonics and the vector.

The use of modulation strategies is to reduce the problems of distortion in the electrical network, this article will focus on the switching losses avoiding excessive costs in the receipts issued by CFE (Comisión Federal de Electricidad) or also known as THD (Total Harmonic Distortion)

Keywords: inverte, technisch of modulations, phase nanordnung, opposite disposition of phase and semiconductor power devices.

Introducción 01

Los convertidores (DC/AC) tienen por objetivo la transformación de la tensión de corriente continua a corriente alterna de amplitud y/o frecuencia variable dependiendo de la aplicación. El proceso de conversión de voltaje se logra mediante la implementación de las diferentes aplicaciones de las técnicas de modulación las cuales actúan sobre un puente inversor monofásico o trifásico. Según las características de cada una de las técnicas, las propiedades de eficiencia en la conversión contenido armónica de la señal de salida y pérdidas en el puente del inversor cambian.

Los circuitos de conversión DC/AC tienen amplia aplicación debido a que son muy utilizados en variadores de velocidad, sistemas de alimentación ininterrumpidas, filtros activos, etc. Los conversores DC/AC se clasifican como VSI (Inversores con Fuente de Voltaje) e CSI (Inversores con Fuente de Corriente) los cuales se utilizan en sistemas de potencia. Los VSI son comúnmente utilizados en aplicaciones de baja y mediana potencia. Dentro de esta aplicación existen varias configuraciones de convertidores que dependen de su aplicación final.

Algunas de las estrategias de modulación que por su aplicación tienen en la industria son las siguientes: Técnicas de modulación escalera o PWM, Modulación (SPWM o CB-SPWM) y Modulación SPWM con tercera armónica, modulación por eliminación de armónicas, modulación trapezoidal, modulación por pasos, modulación por inyección de armónica y modulación delta, La importancia de este tema radica en que una gran parte del desempeño de un inversor se debe a la técnica de modulación utilizada (Rashid, 1993).

Desarrollo 02

Hoy en día las estrategias de modulación son muy importantes para el desempeño de los inversores multinivel, existen varias estrategias de conmutación para los inversores multinivel y son clasificadas en dos grupos importantes, uno de ellos es la conmutación a frecuencia fundamental de 60 Hz donde el inversor tiene pocas conmutaciones y el otro grupo es la conmutación de alta frecuencia donde el inversor tiene varias conmutaciones por ciclo.

La figura (1) muestra un esquema de la clasificación de las estrategias de modulación para los inversores multinivel.

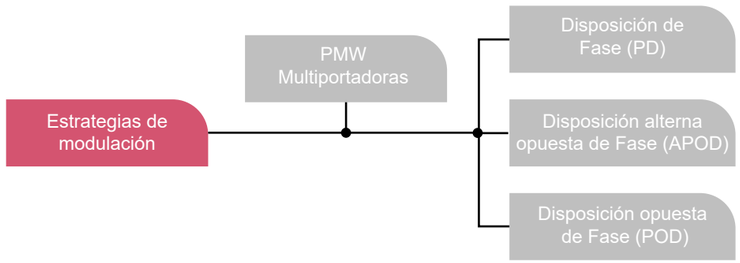


Figura 1. Clasificación de las estrategias de modulación

MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO SINUSOIDAL (PWM)

La técnica PWM sinusoidal se forma de la comparación de una señal moduladora con varias señales portadoras (triangulares), para reducir el contenido armónico del voltaje de salida.

MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO SINUSOIDAL (SPWM) BASADA EN PORTADORAS

La estrategia de modulación basada en multiportadoras es de fácil implementación por lo cual es la técnica más usada en la familia de convertidores multinivel. Esta estrategia también se emplea en los ACMLI (Inversores Multinivel en Cascada Asimétricos) con algunas modificaciones. Para un inversor de *N* niveles, esta estrategia requiere de *N-1* portadoras triangulares a la misma frecuencia y amplitud. De aquí que, la idea básica es la de comparar una onda sinusoidal con cada portadora para obtener los pulsos necesarios para cada interruptor (Garibaldi, 2014).

La técnica de modulación PWM sinusoidal se divide en:

1) Corrimiento de fase de portadoras PSPWM (Phase Shifted Pulse Width Modulation).
2) Disposición de portadoras PWM, que a su vez se dividen en:
a) Disposición de fase PD *(Phase Disposition)*: todas las portadoras están en fase.
b) Disposición opuesta de fase POD *(Phase Opposition Disposition)*: Todas las portadoras arriba del punto de referencia cero están 180° desfasadas con respecto a las portadoras por debajo del nivel cero.
c) Disposición alterna opuesta de fase APOD *(Alternative Phase Oppositio Disposition)*: cada portadora está desfasada 180° con respecto a su portadora adyacente.

NIVELES DE INVERSORES

En los inversores se puede obtener más niveles en la tensión de salida con el mismo número de elementos. Una de las ventajas con mayor importancia de los inversores multinivel asimétricos es el uso de distintas tensiones de alimentación en las celdas.

En la figura (2), (3) y (4) se muestran las estructuras de los niveles que pueden tener los inversores, en la selección de un inversor influye el tipo de conexión como: convencional, cascada, entre otras, cada inversor multinivel tiene como estructura un puente H, también está constituido por una fuente de alto voltaje y el otro por una de menor voltaje. La configuración más simple es la de dos puentes H conectados en serie.

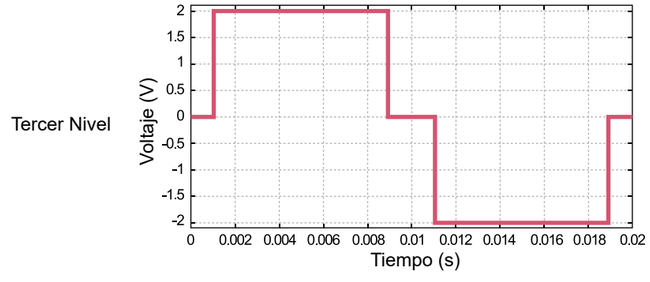


Figura 2. Inversor de tres niveles.

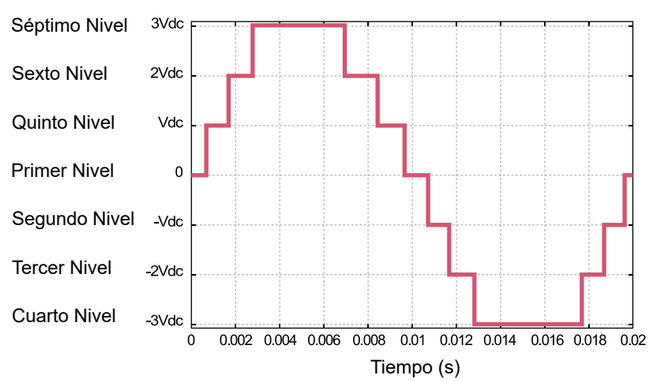


Figura 3. Inversor de siete niveles.

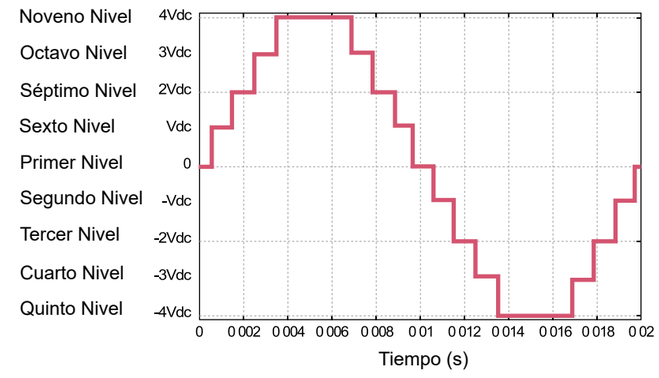


Figura 4. Inversor de 9 niveles.
Fuente: Garibaldi (2014).

La figura (5), (6) y (7) muestra la comparación de la onda moduladora con respecto a las ondas portadoras, para generar los 7 niveles en la estructura asimétrica de potencia 2:

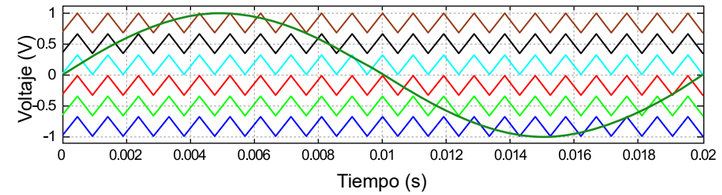


Figura 5. Estrategia PD.

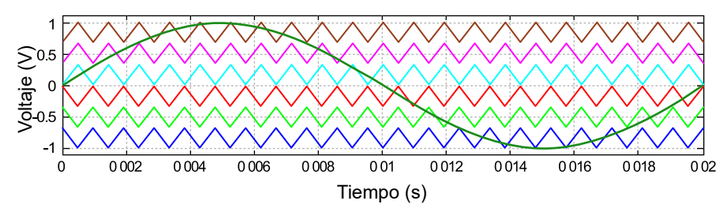


Figura 6. Estrategia POD.

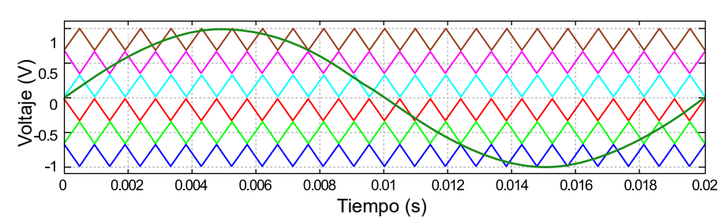


Figura 7. Estrategia APOD.
Fuente: Garibaldi (2014).

Una *onda moduladora* es una forma de onda, que es modulada por una señal que se quiere transmitir, en la figura 7 está representada por color verde.

Una *onda portadora* es la señal que contiene la información a transmitir, en la figura 7 la onda moduladora son las triangulares que también nos dan como resultado de los niveles de los convertidores.

En la figura (8), (9) y (10) se muestra los tipos de estrategias de modulación en un inversor de 9 niveles o también conocidos como inversor de potencia 3, como resultado se obtiene la onda moduladora con respecto a las ondas portadoras (Atunez, 2012).

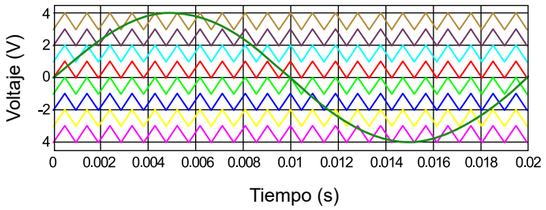


Figura 8. Estrategia PD.

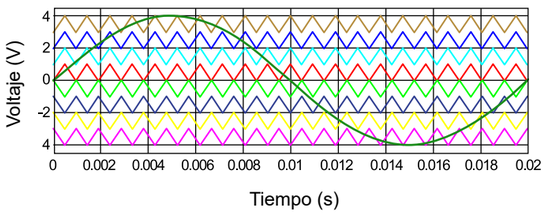


Figura 9. Estrategia POD.

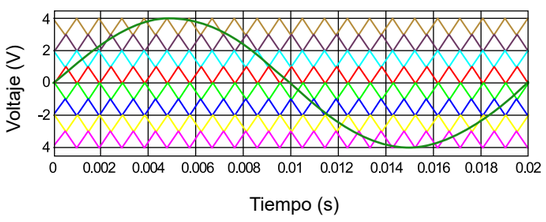


Figura 10. Estrategia APOD.
Fuente: Garibaldi (2014).

En muchas aplicaciones industriales, el voltaje de salida de los inversores debe ser controlado para superar los cambios de voltaje de entrada y cumplir con la necesidad de control voltaje/ frecuencia. Las armónicas del voltaje a la salida del inversor dependen de la estrategia de modulación seleccionada (Farokhnia, 2012).

Un número más elevado de dispositivos semiconductores, trae por consiguiente un nivel más elevado de complejidad en la topología multinivel, comparado con el inversor de dos niveles.

Sin embargo, esta complejidad se puede utilizar para mejorar algunos criterios de las técnicas de modulación, tales como: reducir la frecuencia de conmutación y reducir los $\frac{dv}{dt}$.

Hoy en día, existen varias estrategias de conmutación para los inversores multinivel y pueden ser clasificadas en dos grupos importantes, dependiendo de su frecuencia de conmutación (Franquelo, 2008):

Conmutación a frecuencia fundamental: donde el inversor tiene pocas conmutaciones por ciclo.

Conmutación a alta frecuencia: donde el inversor tiene varias conmutaciones por ciclo (Cautiño, 2013).

ELIMINACIÓN SELECTIVA DE ARMÓNICAS

En esta técnica, los ángulos de conmutación se calculan dependiendo de las armónicas que se desean eliminar, usualmente armónicas de bajo orden, hasta *m-1* armónicos donde, m es el número de ángulos necesarios por cuarto de ciclo. Esta modulación opera a muy baja frecuencia para reducir las pérdidas de conmutación y lograr una amplitud ajustable de la componente fundamental, donde las armónicas de baja frecuencia más significativos se escogen para eliminarse seleccionando apropiadamente los ángulos (Zhong, 2009).

MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO SINUSOIDAL

Esta técnica altamente convencional se basa en la comparación de una referencia sinusoidal con señales portadoras (La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0, según una señal sea mayor o menor que la otra) que son generalmente triangulares y desplazadas en fase o en niveles, para reducir el contenido armónico del voltaje de salida (Ding, 2012).

Conclusión 03

Los inversores de potencia no solo permiten controlar la energía transferida entre dos sistemas eléctricos, sino reducir el costo de la energía. De las estrategias de modulaciones mencionadas anteriormente, donde modulación por ancho de pulso sinusoidal y la técnica de desfasamiento de fase es considerada como la estrategia de modulación basada en multiportadoras debido a su fácil implementación para inversores de 7 niveles y 9 niveles los cuales se analizaron y se observó que tiene menos contenido de distorsión armónica por lo que permite obtener un mejor ahorro energético.

Referencias

Atunez, O. L. (2012). *Estudio de Técnicas de Modulación para el Inversor Multinivel en Cascada*. CUERNAVACA: CENIDET.

Cautiño, J. L. (2013). *Análisis de Técnicas de Modulación en Convertidores Multinivel en Cascada Asimétrico*. Cuernavaca: CENIDET.

Ding, K. W. (2012). Analysis of an asymmetric modulation method for cascaded multilevel inverters. *Power Electronics,* IET, 74-85.

Farokhnia, S. H. (2012). Minimisation of total harmonic distortion in cascaded multilevel inverter by regulating voltage the source. *Power Electronics*, 106-114.

Franquelo, J. R. (2008). The age of multilevel converters arrives. *Industrial Electronics Magazine, IEEE*, 28-39.

Garibaldi, A. M. (2014). *Relación Entre el Número de Conmutaciones y la Calidad de la Forma de Onda de Tensión en Inversores Multinivel Asimétricos.* Cuernavaca: CENIDET.

Rashid, M. H. (1993). *Electrónica de Potencia*. México: Prenticehall.

Zhong, L. M. (2009). Fundamental frequency switching strategies of a seven-level hybrid cascaded h-bridge multilevel inverter. *Power Electronics, IEEE* Transactions on, 25-33.

Aerotlaxco
generador eólico diseñado y adaptado a la región de Tlaxco

René Pérez Martínez*[1], José Juan Hernández Medina[1]**

RESUMEN

En este artículo se propone el diseño de un sistema integral que consta de una microturbina, un generador de electricidad, un acumulador y un regulador de voltaje – todo en conjunto para generar electricidad a partir de la energía dinámica del viento - a fin de recargar un acumulador que pueda utilizarse de manera sustentable como cargador de baterías de dispositivos electrónicos móviles. El diseño de la microturbina, se debe adaptar a las condiciones locales de velocidad del viento de la región de Tlaxco, Tlaxcala y fabricarse con recursos accesibles, además de cumplir las necesidades eléctricas y electrónicas. Para lograr que la energía generada sea de calidad se utilizan dispositivos electrónicos de regulación de voltaje y almacenamiento. La energía eólica puede producir electricidad sustentable, con polución nula en términos de emisiones de carbono y con niveles de bajo ruido, aunque pudiera perturbar algunas especies de aves y el paisaje.

Palabras Clave: Energía eólica, sustentabilidad, microturbina, dispositivos electrónicos.

ABSTRACT

This project proposes the design of an integral system consisting of microturbine, an electricity generator, an accumulator and a voltage regulator - a whole set to generate electricity out the dynamic energy of the wind in order to recharge an accumulator which can be used sustainably as a battery charger for mobile electronic devices, such as cell phones. The proposal is a microturbine, whose design adapts to local wind speed conditions, as well as meet the electrical and electronic needs. In order to ensure that the energy generated is of good quality, electronic voltage regulation and storage devices are used. Wind power can produce electricity with zero pollution in terms of low noise carbon emissions, although it may disturb some bird species and the landscape.

Keywords: Wind Power, Sustainability, Microturbine, Electronics Devices.

Recibido 19/07/2017,
Revisado 04/09/2017,
Aceptado 22/03/2018.

* [1]René Pérez Martínez
e-mail: reneperezm1@gmail.com,
Teléfono: +01 241 4123125 ext.137
** [1]José Juan Hernández Medina
e-mail: jjhmedina@yahoo.com.mx,
Teléfono: +01 241 4123125 ext.137

[1]División de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, Predio Cristo Rey Ex Hacienda de Xalostoc S/N Km. 16.8. Carretera Federal Apizaco- Tlaxco, C. P. 90271, Tlaxcala, México.

Introducción 01

El viento es una masa de aire en movimiento dotada de energía cinética, dicha masa de aire es provocada por la diferencia de presiones del aire debido a la radiación solar sobre la tierra (Álvarez, 2006). El viento puede ser considerado como una fuente de energía gratuita, limpia e inagotable, aunque intermitente. Desde hace siglos se ha usado como tal: para impulsar barcos, mover molinos, regar los campos, ventilado de las semillas, entre otros usos.

La turbina eólica o aerogenerador es un dispositivo utilizado para aprovechar la energía cinética del viento y convertirla en energía mecánica, que posteriormente se convertirá en energía eléctrica por medio de un generador eléctrico (Moragues & Rapallini, 2003). Los aerogeneradores comerciales están dotados con turbinas de viento que operan con un régimen de viento de entre 3 a 24 metros por segundo, lo que resulta poco factible para utilizarlas en regiones donde la velocidad del viento sólo alcanza los 0.8 metros por segundo, como es el caso de la región de Tlaxco, Tlaxcala y que no supere los 65 Km/h. La energía del viento es una de las más baratas con un costo de 64.5 dólares estadounidenses por cada MWh (Beltrán Telles, Morera Hernández, López Monteagudo, & Villela Varela, 2017). La presente propuesta tiene como finalidad el diseño, cálculo y/o construcción de un prototipo de turbina eólica que pueda funcionar con un régimen de viento más bajo, con respecto al nivel al que opera un aerogenerador comercial, ya que existen regiones que además de ser poco pobladas y aisladas tienen bajo régimen de vientos. Dichas regiones se pueden beneficiar de una electrificación limitada gracias al viento con inversiones financieras menores que las que implica tender una red eléctrica.

En México existen al menos 31 parques eólicos con más de 1 500 aerogeneradores, con 6 000 MW en el 2017, de potencia generada, lo que es testimonio de su rápido incremento, dado que esta tecnología hizo su arribo en el año 2007 (Toledo & Fraga, 2016).

El uso de aerogeneradores en regiones con un régimen de viento muy bajo ha sido limitado, porque no se alcanzan las velocidades críticas de operación para obtener un valor de voltaje significativo, además de otras consideraciones técnicas, económicas y prácticas. Así pues, tiene sentido el cálculo y la construcción de un prototipo de generador eólico el cual tenga como objetivo el aprovechamiento de la fuerza del viento en la región de Tlaxco, Tlaxcala (que es baja para los estándares de los aerogeneradores convencionales) y producir energía eléctrica sustentable desde el punto de vista ecológico, y brindando un servicio de electrificación aunque de baja potencia y limitado a las comunidades aisladas, en las que sería muy caro tender redes eléctricas para proveerlas con este servicio.

Problemática a resolver 02

La comunidad de Tlaxco tiene como base de su economía la agricultura y cuenta con 39,939 habitantes; con 9,356 hogares (CONEVAL, 2010). Además, Tlaxco cuenta con poco más de un centenar de comunidades de menos de 500 habitantes a las que no en todos los casos es rentable tender una red eléctrica. Así pues, la intención es generar energía limpia y renovable para lugares remotos, optimizando en la medida de lo posible los costos y contando con energía limpia, en contraste con la que se obtiene de los combustibles fósiles.

2.1 EL RÉGIMEN DE VIENTO EN LA COMUNIDAD DE TLAXCO

Se debe tener en cuenta que para utilizar la energía eólica con eficacia, se tiene que ubicar la microturbina en un sitio adecuado, en el que se tenga la velocidad de viento suficiente para su funcionamiento. La velocidad del viento varía con la altura debido principalmente a las turbulencias causadas por las irregularidades de la superficie del terreno, como las ocasionadas por el gradiente de temperatura del aire que provoca algunas corrientes convectivas en sentido vertical (Arbeloa & Zurita, 2012).

Para determinar el régimen de viento en esta región se ha elaborado una tabla de velocidades de viento promedio, de acuerdo a datos climatológicos del estado [H. Ayuntamiento de Tlaxco], (ver. Tabla No. 1). La tabla No.1 solamente tiene valores promedio que, en otros periodos de tiempo, podrían variar significativamente, además, pueden ser intermitentes.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer los vientos en términos de sus variaciones diurnas, nocturnas y estacionales. Otro punto importante a considerar es la velocidad del viento que varía conforme se aumenta la altura sobre el suelo. Es también importante conocer la velocidad máxima del viento en al menos un periodo de 20 años.

La propuesta es implementar un generador eólico adaptado a las condiciones de viento de la región de Tlaxco, en el estado de Tlaxcala, tipo combinado *Darrieus – Savonius* para bajas velocidades de viento. El trabajo incluye instalaciones de dispositivos electrónicos y mecánicos para lograr tres objetivos: generar, regular y almacenar.

En la comunidad de Tlaxco, Tlaxcala no existe este tipo de dispositivos y además, en virtud del bajo régimen de vientos de la región, no funcionarían de manera adecuada los aerogeneradores comerciales. Así pues, la turbina tiene que ser modificada en su ángulo de ataque, contar con un área calculada –parámetro que es proporcional a la potencia que se quiera generar- y debe contar con una altura de ubicación también determinada, pero sin olvidar la geometría de la turbina, que es sumamente importante y que para este caso sería tipo *Darrieus – Savonius.*

En la tabla 1, se muestra el régimen de viento en Tlaxco, región para la que está adaptado el generador propuesto.

Mes	Año	Velocidad Viento Km/h	Velocidad del Viento m/s
Enero	2009	2.6	0.72
Febrero	2009	3.06	0.84
Marzo	2009	3.08	0.85
Abril	2009	4.07	1.13
Mayo	2009	3.5	0.97
Junio	2009	3.020	0.83
Julio	2009	4.94	1.37
Agosto	2009	3.14	0.87
Septiembre	2009	2.96	0.82
Octubre	2009	2.4	0.66
Noviembre	2009	3.2	0.88
Diciembre	2009	2.7	0.74
Enero	2010	4.42	1.22
Febrero	2010	2.7	0.74
Marzo	2010	3.53	0.98
Total		**49.32**	**13.69**
		Promedio en m/s	**0.913**

Tabla 1. Régimen de viento en Tlaxco

2.2 MERCADO OBJETIVO

Las condiciones propias de la región de Tlaxco, son propicias para el uso de una microturbina de bajas revoluciones por minuto de eje vertical. A los aerogeneradores de eje vertical el viento los impacta en ángulo recto respecto al eje de rotación de la microturbina. La turbina de eje vertical, Darrieus, es así llamada en honor de Georges Darrieus, quien la patentó en 1931. La geometría Darrieus tiene palas en forma de “C”, por lo que tiene el mismo concepto que una batidora de masa. Pero eso no basta: de hecho, se trata de hacer un modelo híbrido entre ambas concepciones, por lo que se lograrán resultados mejores que solamente explotando alguna de dichas geometrías.

El dispositivo se adaptará al entorno, y se instalará a una altura calculada, con un área de aspas determinada, con su ángulo de ataque calculado y con su geometría adaptada de otras experiencias en otras partes del mundo de condiciones similares. El impacto social es a largo plazo, ya que se espera electrificar comunidades aisladas a bajo costo, aunque sea de manera parcial, así como para reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera, abatir costos y beneficiar a los habitantes de Tlaxco, Tlaxcala. En la industria sin chimeneas de la energía eólica, los fabricantes de aerogeneradores perciben alrededor del 75% del costo de inversión de una central eólica (Díaz, 2013), por lo que se puede suponer un buen nivel de ahorro para el usuario final.

Propuesta de solución 03

De acuerdo a (Sánchez, 2011): Cuando se considera un cuerpo de forma arbitraria las acciones que el fluido ejerce sobre éste son una fuerza y un momento resultante, ambos con componentes según las tres direcciones espaciales perpendiculares. El análisis se simplifica si se considera la aerodinámica de aquellos cuerpos que poseen una sección en un plano que contiene al vector de la velocidad de aproximación, (también denominada de la Corriente Libre) dicha sección se repite indefinidamente en la dirección perpendicular al mencionado plano.

La novedad que se presenta es el diseño de construcción de tres palas, para aprovechar que cuando una pala está siendo impactada en la totalidad de su área por el viento, otra estará a la “sombra del viento”, lo que hará girar al conjunto de manera más homogénea.

Este artículo propone la aplicación de energía eólica para la recarga de una pila de un teléfono celular. La energía generada se obtiene convirtiendo la energía dinámica del aire a energía eléctrica utilizando dispositivos electrónicos de regulación de voltaje y aparatos mecánicos para dicha conversión. La energía eólica es uno de los recursos que genera energía no convencional. Otras fuentes de energía alternas son la energía del sol y la energía de las olas del mar. De acuerdo a (Gómez, 2017), los proyectos de generación eléctrica a través del uso de energía eólica, representa una alternativa “limpia” a la generación eléctrica tradicional, a base de combustibles fósiles, además de reducir los costos de producción de la misma. Una turbina eólica, como ya se sabe, convierte la energía cinética del viento en energía mecánica misma que está disponible en un eje. Dicho eje se considera como el primo motor de un generador que convierte la energía mecánica en energía eléctrica a final de cuentas (Ahrtz, Fernández, & Munnemann, 2011).

Las principales ventajas esperadas de la elección de este tipo de turbina contra una horizontal son:

1) Se puede situar el generador, el multiplicador, y otros elementos en el suelo, y puede no tener que necesitar una torre para la máquina.
2) No necesita un mecanismo de orientación para girar el rotor en contra del viento.

Por otra parte, sus principales desventajas son:

1) La turbina no siempre arranca con un golpe del viento, es decir, una máquina Darrieus necesitará un empuje inicial antes de arrancar. Se tiene la intención de utilizar el generador para arrancar la microturbina.

Esta situación se puede mejorar mediante la hibridación con la geometría Savonius.

2) La velocidad del viento a una baja altura es también más baja, por lo que tiene que montar a una altura dada en alguna estructura resistente.
3) La eficiencia promedio de las microturbinas de eje vertical no es muy elevada, pero se pueden mejorar mediante optimizar el campo magnético del generador y aumentando su área útil.
4) Su mantenimiento, sobre todo cuando se reemplazan componentes, suele requerir el desmontaje del rotor.

3.1 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DEL AEROGENERADOR

El mejor uso de la energía contenida en el viento ocurre con mayores alturas, ya que el viento es más fuerte y menos turbulento a mayor altura (Gama & Bittencourt, 2017).

La torre de un aerogenerador puede tener una altura de hasta 100 m, y es de gran importancia ya que debe ser diseñada de manera tal que debe sostener toda la estructura, para soportar los esfuerzos que se producen en la torre por consecuencia del viento, de manera tal que se debe determinar además de la altura, el diámetro, el espesor, el peso del aerogenerador, así como los materiales que se van a utilizar. Además, dicha torre tiene que cumplir requisitos indispensables para ser funcional: Debe ser lo más ligera posible, de fácil construcción, manejo e instalación. En las zonas templadas del planeta por lo general los vientos de día son más fuertes que los nocturnos. En contraste, los vientos de verano son más débiles que los de invierno. Además, el consumo de electricidad es mayor en invierno que en verano, en las mismas zonas. En las zonas frías y templadas del globo terrestre, la calefacción eléctrica puede “sincronizarse” con la energía eólica ya que la producción de electricidad en los aerogeneradores varía de manera directamente proporcional con las velocidades del viento.

3.2 LA POTENCIA DEL VIENTO Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

La potencia del viento es el parámetro que determina el límite para la potencia de un aerogenerador, pero no es el único. Para calcularla, se debe determinar la energía cinética (**EK**) de la masa

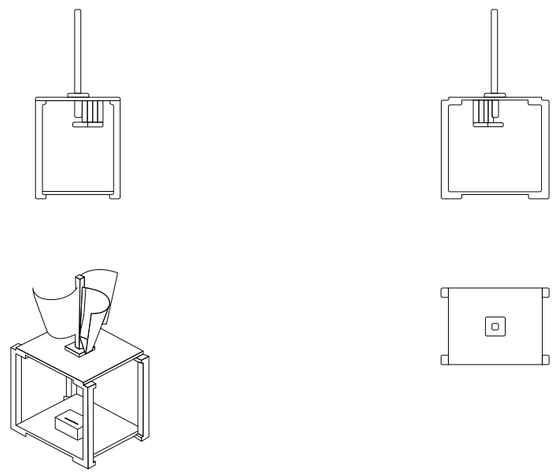


Figura 1. Diseño del prototipo.

El dibujo representa un cilindro de aire que atraviesa el rotor en un tiempo t (el disco de la figura). El volumen es:

(3.2 1) $$Vol = A \cdot d$$

La Potencia eólica se puede determinar mediante la ecuación:

(3.2 2) $$P_{eólica} = \frac{1}{2}\rho A V^3$$

Una característica importante es que la potencia depende del cubo de la velocidad del generador, por tanto, se vuelve un parámetro crítico y debe tener el aspecto más aerodinámico posible.

3.3 CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

A continuación se describen algunas características del prototipo:

TURBINA DE VIENTO. Es una turbina de baja velocidad que permite aprovechar la energía dinámica de los vientos, que debería además, tener un aspecto que armonice con el entorno y ser de baja vibración.

- Diseño armónico, fácil instalación, mantenimiento y reparación.
- Aspas moldeadas con precisión, diseño optimizado en virtud de la estructura aerodinámica.
- Aspas pintadas con multicolores vivos para evitar colisiones a las aves.

A continuación, se muestran las especificaciones del prototipo, Tabla 2.

Rubro	Datos
Modelo	Darrieus Savonius
Potencia nominal	12.5 W
Potencia máxima	25 W
Tensión nominal	5 V
Velocidad del viento para puesta en marcha	2.5 m/s
Velocidad nominal del viento	11.5 m/s
Velocidad del viento Survival	55 m/s
Peso neto del generador	2 Kg
Diámetro de la rueda	50 cm
Número de aspas	3/5
Material de las aspas	Fibra de Nylon
Generador	Generador 90 V DC
Sistema de control	Auto orientable
Modo de regulación	Ajuste automático ángulo de barvolento

Tabla 2. Especificaciones del prototipo.

3.4 MODALIDAD DE OPERACIÓN

La modalidad de operación de la microturbina debe estar de acuerdo a la zona y se toman en cuenta la facilidad en el mantenimiento, la instalación y los materiales accesibles.

Puesta en marcha a baja velocidad del viento, con freno electromagnético, también se pueden instalar múltiples aspas según las zonas de velocidad del viento.

- Fácil instalación, conectada por la brida o tubo.
- Generador de imanes permanentes y de acero NdFeB.

3.5 VIABILIDAD DE LA SOLUCIÓN

A causa del problema global de calentamiento como resultado de la quema de combustibles fósiles, es importante el uso de alternativas de ingeniería basadas en energía renovables incluso obviando situaciones como la eficiencia o la intermitencia que muchas veces comporta este tipo de recursos.

Las instalaciones de dispositivos electrónicos deben cumplir tres etapas: generar, regular y almacenar la energía eléctrica producida, a pesar de la intermitencia y de las limitaciones por falta de viento y de una ubicación idónea, con suficiente viento. En este sentido, en la figura 2 se muestran el diagrama técnico de las etapas del aerogenerador propuesto.

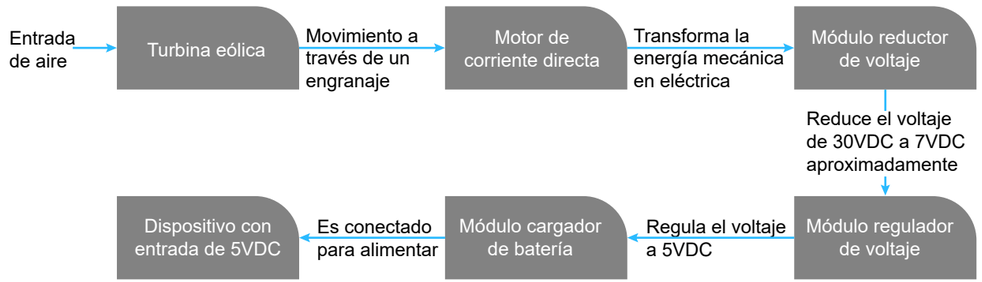


Figura 2. Diagrama de bloques del generador propuesto.

3.5 MÓDULO REGULADOR DE VOLTAJE

Esta etapa tiene como objetivo el mantener un valor estable de voltaje para asegurar la calidad y continuidad del mismo, lo anterior pese a los cambios que puedan ocurrir en la etapa de generación de voltaje. La figura 3 muestra el diagrama correspondiente a la etapa del módulo regulador de voltaje.

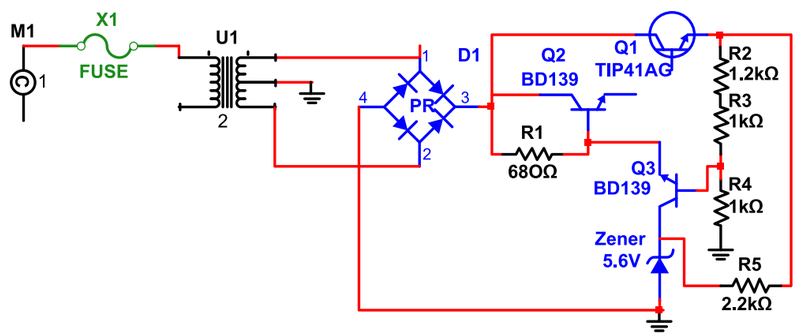


Figura 3. Módulo de reducción y regulación de voltaje.

3.6 IMPACTO AMBIENTAL

Cuando el generador está en funcionamiento se produce ruido, sin embargo éste es pequeño, el equivalente al que se produce en una oficina, por lo que podría sostenerse una conversación sin esfuerzo en la base de un aerogenerador. El ruido aumenta en proporción directa con la intensidad del viento, pero nunca alcanza una intensidad mayor a la de un camión en movimiento.

Puede existir cierto impacto negativo para algunas especies de aves, pero de hecho, la cantidad de aves muertas es menor que la producida por líneas de corriente eléctrica, por edificaciones o automotores. Una torre bien diseñada puede minimizar el problema, así como aplicar pintura llamativa en las palas del aerogenerador, para evitar los impactos de las aves.

La cizalladura del viento puede provocar situaciones peligrosas para los árboles y las estructuras hasta el punto de dañarlas o destruirlas, por lo que es necesario prever esta situación con los vientos más fuertes característicos de la región en los últimos años.

Conclusión 03

Es imposible subestimar la importancia de implementar fuentes alternativas de energía sustentables a fin de garantizar el restablecimiento del equilibrio en la ecología y armonizarlo con el desarrollo humano. Desgraciadamente, las fuentes de energía alterna como el viento, la solar, entre otras, son intermitentes y sujetas a fuertes variaciones. El uso e implementación de los aerogeneradores convencionales en regiones con un régimen de viento muy bajo y discontinuo, se ve dificultado debido a la baja potencia que logran generar y a las variaciones de voltaje ocasionadas por la intermitencia mencionada. Para resolver el problema de velocidad e intermitencia de esta fuente de energía, se plantea el uso de un regulador de voltaje en conjunto con un sistema para almacenar la energía producida. En todo caso, la investigación está basada en el cálculo y construcción de un prototipo de generador eólico, a fin de aprovechar la fuerza del viento en la región (que es relativamente baja para los aerogeneradores convencionales) y producir energía eléctrica limpia, contribuyendo a la ecología y ayudando a las comunidades aisladas en las que, debido al alto costo que implica tender redes eléctricas, no cuentan con dicho servicio eléctrico.

Referencias

Ahrtz, G., Fernández, R., & Munnemann, A. (2011). Diseño de una turbina eólica de baja potencia adecuada a la *agresividad del clima patagónico. Tercer Congreso Iberoamericano Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía - HYFUSEN.*

Álvarez, C. (2006). *Energía eólica*. Madrid. Expaña: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Arbeloa, L. S., & Zurita, J. G. (2012). *DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL TIPO SAVONIUS PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL*. Pamplona: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN.

Beltrán Telles, A., Morera Hernández, M., López Monteagudo, F. E., & Villela Varela, R. (2017). Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. *CienciaUAT vol.11 no.2*, 105-117.

CONEVAL. (2010). *Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social*. Tlaxco: Secretaria de Desarrollo Social.

Díaz, M. A. (2013). *Energía eólica*. México: Boletín IEEE.

Gama, P., & Bittencourt, T. (2017). Economic viability of ultra high-performance fiber reinforced. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 10 (1)*, 1-14.

Gómez, D. (2017). *Islas sustentables: cómo transitar de los combustibles fósiles a las energías renovables*. Chicago: Chicago Policy Review (Online).

Moragues, J., & Rapallini, A. (2003). *Energía eólica*. Argentina: Instituto Argentinon de la Energía "General Mosconi".

Sánchez, D. C. (2011). *Generador eólico para uso doméstico*. Mataró: Escola Universitària Politècnica de Mataró.

Toledo, E. Z., & Fraga, J. (2016). La política eólica mexicana: Controversias sociales y ambientales debido a su implantación territorial. Estudios de caso en Oaxaca y Yucatán. Trace. *Travaux et recherches dans les Amériques du Centre, no 69*, 65-95.

Agregando valor en los procesos de manufactura en la empresa

Fabiola Guadalupe Ortega Jiménez[*1], **Jorge Cervantes Esquivel**[**1], **Alfredo Márquez Solís**[***1] **y Margarito Manuel Desales**[****1].

Recibido 02/03/2018,
Revisado 05/03/2018,
Aceptado 23/03/2018.

[1]Departamento de Ingeniería en Gestión Empresarial, Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, Predio Cristo Rey Ex Hacienda de Xalostoc S/N Km. 16.8. Carretera Federal Apizaco- Tlaxco, C. P. 90271, Tlaxcala, México.

[*1] Autor corresponsal
e-mail: fabiolav@hotmail.com,
Teléfono: +01 241 412 31 25,
Fax: +241 412 31 25.
[**1] e-mail : jce1796@hotmail.com,
Teléfono: +00 241 412 33 25,
Fax: +241 412 33 25.
[***1] e-mail: alfredo.marquez7@outlook.es,
Teléfono: +00 241 412 31 25,
Fax: +241 412 31 25.
[****1] e-mail: desmar69@hotmail.com,
Teléfono: +00 241 412 31 25,
Fax: +241 412 31 25

RESUMEN

El presente artículo pretende dar a conocer como se agrega valor en los procesos de manufactura en la empresa automotriz, para mejorar los métodos y técnicas de los diversos componentes que se presentan en las líneas de producción y así obtener un producto terminado. Esta generación de desperdicios en ocasiones es por falta de capacitación al personal en cada proceso de producción, que impacta en los costos de fabricación, al detectar estos desperdicios se disminuyen y se obtiene mayor calidad en el control de la producción, es importante identificar los altos índices de merma de calidad para evitar tiempos muertos y retrabajos. Si se cuantifican por componente y área nos ayuda a identificar aquellos defectos que se presentan con más frecuencia, en que piezas y al mismo tiempo conocer en qué área de manufactura se requiere de mayor atención, y así proponer acciones específicas en los procesos.

Palabras Clave: Desperdicio, Sonotrodo, Calidad, Trazabilidad.

ABSTRACT

This article aims to present how value added in production processes in the automotive company, to improve the methods and techniques of the various components that are presented in the production lines and thus obtain a finished product. This generation of waste is sometimes due to lack of training for personnel in each production process, which impacts on production costs, when detecting these wastes are diminished and greater quality is obtained in the control of production, it is important to identify the high rates of waste of quality to avoid downtime and rework. If they are quantified by component and area, it helps us to identify those defects that occur more frequently, in which parts and at the same time know in which manufacturing area more attention is required, and thus propose specific actions in the processes.

Keywords: Waste, Sonotrode, Quality, Traceability.

Introducción 01

En un mundo cada vez más competitivo, las empresas para poder establecerse con éxito en los mercados tanto nacionales como internacionales, deben ofertar productos o servicios de excelencia que les permitan superar a la competencia.

CONCEPTOS DE CALIDAD

Es traducir las necesidades futuras de los usuarios en características medibles; solo así un producto puede ser diseñado y fabricado para dar satisfacción a un precio que el cliente pagará; la calidad puede estar definida solamente en términos del agente. (Deming, 1989).

La palabra calidad tiene múltiples significados. Dos de ellos son los más representativos 1) La calidad consiste en aquellas características de producto que se basan en las necesidades del cliente y que por eso brindan satisfacción del producto. 2) Calidad consiste en libertad después de las deficiencias (Juran, 1990).

“Es conformidad con los requerimientos. Los requerimientos tienen que estar claramente establecidos para que no haya malentendidos; las mediciones deben ser tomadas continuamente para determinar conformidad con esos requerimientos; la no conformidad detectada es una ausencia de calidad” (Crosby, 1988).

Veamos en qué consiste cada uno de estos costos.

En el Costo de Calidad, la palabra clave es costo, y, por tanto, su estudio le corresponde a la contabilidad de Costos y de gestión; pero tiene otra palabra clave calidad y normalmente en las empresas existe un departamento de calidad que asume esta responsabilidad. De esta forma, los costes de calidad según (Climent, 2003) son “los costes asociados con la obtención, identificación, reparación y prevención de fallos o defectos. Los costes de calidad pueden clasificarse en cuatro categorías: costes de prevención, costes de evaluación, costes de fallos internos y fallos externos”. (Climent, 2003).

Costos de prevención: Campanella los define como “los costes de todas las actividades tendientes específicamente a evitar una calidad deficiente de productos o servicios”. (Campanella, 1997).

Costos de evaluación: según Campanella son “los costes relacionados con la medición, evaluación o auditoría de productos

o servicios para asegurarse que se ajustan a las normas de calidad y a los requisitos de desempeño". (Campanella, 1997).

Costos de fallas internas: "ocurren antes de la entrega o envío al cliente sin ser estos partícipes directos de los mismos". (Campanella, 1997).

Costos de fallas externas: según ISO "son los costes resultantes de la incapacidad de un producto para cumplir los requisitos de calidad después de la entrega al cliente". (ISO9000, 2015).

En las empresas tienen un sobrenombre para todo aquel desperdicio que se genere en el proceso llamado **SCRAP** el que es igual a un KPI (key performance indicator), conocido también como indicador clave o medidor de desempeño o indicador clave de rendimiento. Es una medida del nivel del desempeño de un proceso.

Desperdicio. Es todo aquello que no agrega valor a un producto o servicio para los clientes. Desperdicio, pérdida o despilfarro, en este contexto, es toda mal utilización de los recursos y / o posibilidades de las empresas. Ejemplos: -horas de trabajo por mala programación y planificación de las tareas, -Perder nuevos mercados por productos de mala calidad o por altos costos de producción. (INTI, 2012)

Sonotrodo. Herramienta de soldadura o de corte por ultrasonidos. El sonotrodo representa la herramienta superior, mientras que el yunque sería la herramienta inferior. (Atienza, 1997) Es un proceso relativamente nuevo, el cual fue descubierto por Johan Arrendell. Consiste en una máquina con punta de base plana, donde se colocan los materiales uno encima de otro y después se baja la punta de la máquina, esta emite una onda ultrasónica que mueve las moléculas de ambos materiales provocando que estas se fundan. es la parte del conjunto oscilante que se apoya en una de las piezas a soldar, transmitiendo las vibraciones hasta conseguir la fusión entre las dos piezas. La soldadura no se produce por calor, si no, por la elevada vibración ejercida sobre la zona de apoyo, acompañado de una presión.

Manufactura. La palabra manufactura se deriva del latín manus, que significa 'manos', y de la palabra también latina factus, que significa 'hacer', de lo que se deduce el concepto de "hacer con las manos" (Durvan, 1989). La concepción del "hombre que hace cosas con sus manos" evolucionó hasta el concepto del artesano que aparece en la Edad Media, en la que las llamadas guildas constituyen las primeras organizaciones de manufactura. En ese tiempo se trataba de productos simples que no disponían de gran valor agregado, y en la actualidad ello ha cambiado de la mano de la forma de producción y entonces también se llama de esa manera a productos con un gran desarrollo tecnológico. Las manufacturas ya incluyen todos los procesos intermedios requeridos para su producción, esto gracias a que el sector industrial se encuentra sumamente asociado a la ingeniería.

Proceso de producción de la manufactura. En tanto, la producción de una manufactura puede realizarse de manera manual o bien a través del empleo de máquinas. Cuando se necesita obtener un mayor volumen de producción lo que se implementará es la división de trabajo, en esta modalidad, cada trabajador se ocupará especial y únicamente de una pequeña parte de la tarea.

En la fabricación de las mismas intervienen procesos que incorporan y transforman las materias primas. En el procedimiento inicia con el ingreso de diversos insumos básicos que se van trabajando y combinando de manera progresiva, hasta que se llega a la producción terminada.

Metrología. Es el conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones. (BIPM, 2008) Es la ciencia de las medidas, así como el estudio, el mantenimiento y la aplicación del sistema de pesos y medidas.

Calibración: según el VIM, es: "el conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores de magnitudes indicados por un instrumento o sistema de medición, o valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los correspondientes valores aportados por patrones". En otras palabras, el concepto de Calibración, se aplica única y exclusivamente a instrumentos de medida (de cualquier tipo de magnitud cuantificable: tensión, tiempo, resistencia, frecuencia, etc…), al compararlos con valores de un patrón previamente establecido. (BIPM, 2008)

La correcta calibración de los equipos proporciona la seguridad de que los productos o servicios que se ofrecen reúnen las especificaciones requeridas. Cada vez son más numerosas las razones que llevan a los fabricantes a calibrar sus equipos de medida, con el fin de:

1. Mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos
2. Responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad
3. Garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas

Trazabilidad. E trazabilidad está definida como: "propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, tal que éste puede ser relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres. (OIML, 2012)

La propiedad del resultado de una medida o del valor de un estándar donde éste pueda estar relacionado con referencias especificadas, usualmente estándares nacionales o internacionales, a través de una cadena continúa de comparaciones todas con incertidumbres especificadas.

Scrap: En el contexto industrial, scrap refiere a todos los desechos y/o residuos derivados del proceso industrial. Es una palabra inglesa que se traduce como chatarra o residuo. El problema básico de las industrias en relación a sus "scraps" radica en deshacerse de los mismos de un modo racional que además cumpla con las normativas existentes en materia de preservación del medioambiente.

Desarrollo 02

La empresa de estudio tiene como giro el ensamble y costura de vestiduras de freno de mano y palanca de velocidades estándar para la industria automotriz, se incorpora al mercado en el año de 1997 en ciudad Industrial Xicohténcatl I, en el municipio de Tetla, Tlaxcala, con una razón social distinta a la actual. En octubre de 2013 es comprada por grupo empresarial de origen alemán, además de cambiar de ubicación, ahora al norte del Estado siendo el Municipio de Tlaxco, específicamente en ciudad Industrial Xicohténcatl III. Actualmente laboran 90 personas de las cuales 16 son administrativos y el resto son operadores.

Básicamente los clientes de la empresa son cinco: Volkswagen México, Volkswagen América, Volkswagen Brasil, Luncomex (Puebla) y Power Cast (Alemania).

Para la fabricación de sus productos la empresa ha invertido en máquinas suajadoras para realizar el corte de vinil, máquinas de coser para el vinil, mesas industriales para la manipulación correcta de los freno de mano y el pegado de la funda de piel al plástico, hornos para la adherencia de la funda con la que son cubiertos los frenos de manos para ser un Producto terminado (PT), sonotrodo para el sellado del vinil al marco que se instala en las consolas de auto, tanto de las palancas como los frenos de mano y mesas industriales para el ensamble del módulo a la palanca y esto a su vez al vinil con el marco previamente preparado, así como con una máquina de inyección para algunos modelos de palancas.

Durante el proceso de fabricación los operadores de la planta generan un reporte diario de SCRAP y trazabilidad, posteriormente el área de calidad captura estos datos a un formato específico

para analizarlos y crear gráficas donde muestra la cantidad de mayores fallas que se ha dado en el proceso de manufactura, con ello se realizan cambios pertinentes para mejorar el proceso y generar menos desperdicio.

Es importante llevar a cabo el análisis de desperdicios que se han generado en la empresa para definir algunas acciones en el proceso de la manufactura para que ataquen directamente y disminuyan el desperdicio que se genera en cada actividad de la transformación de materia prima a producto terminado, con esto se busca obtener un ahorro del alto costo que actualmente se está generando, así como concientizar al resto del personal de la planta, externos al área de calidad.

Metodología 03

Las fases que comprende nuestra investigación son las siguientes:

3.1 EL MÉTODO

El método utilizado para el presente artículo de investigación es el Descriptivo, definido por (Ander-Egg, 1978), advierte que “Los estudios exploratorios y los estudios descriptivos son los dos niveles en los que habitualmente han de trabajar quienes están preocupados por la acción, puesto que permiten elaborar un marco de estudio a partir del cual se deduce una problemática ulterior, o bien formular un diagnóstico con el fin de conocer carencias esenciales y sugerir una acción posterior”.

3.2 LA TÉCNICA

Es a través de la revisión documental de acuerdo a (Sabino, 1992), a través de las técnicas se recaban datos para la investigación y conocer su procedencia, datos secundarios (análisis de documentos). Se lleva a cabo la codificación y análisis de los mismos.

Y la entrevista semiestructurada como menciona (Sabino, 1992), a través de las técnicas se recaban datos pertinentes para la investigación para conocer su procedencia, datos primarios (observación y entrevistas). Se codifican y se analizan desde la perspectiva SCRAP.

3.3 LOS INSTRUMENTOS

Se construyen categorías, a través de una matriz de revisión documental para caracterizar el SCRAP en hojas de cálculo (Excel), relacionados con la investigación; como paso dos se elabora un guion de entrevista con dos preguntas cerradas y tres abiertas para recabar información, aplicado a operarios involucrados en la manufactura y por último se determinan los espacios y condiciones donde se lleva a cabo la operación de costos y calidad (metrología), que es tema de investigación del presente artículo.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población es de 80 operarios que manejan las siguientes máquinas de suaje, costura, engrapado, sonotrodos, quemado y ensamble de freno, se considera una muestra no aleatoria intencional con 14 operarios, los cuales están involucrados en todas las áreas donde se presentan más desperdicios.

A continuación, se describen actividades realizadas con la finalidad de identificar los altos costos de calidad en la empresa automotriz y en lo posible proponer acciones para disminuirlos.

Para recabar información se analizó el Reporte de SCRAP (residuo industrial que posee un valor económico), los operadores involucrados en este proceso llevan a diario un registro de la falla encontrada que deriva en ocasiones un defecto, da como resultado el desperdicio de esta pieza, en cada línea de producción por mencionar: Suaje, costura, Freno de mano JNF, Freno de mano GLI, Palanca, Ultrasonido y engrapado.

Resultados 04

Los resultados obtenidos son los siguientes:

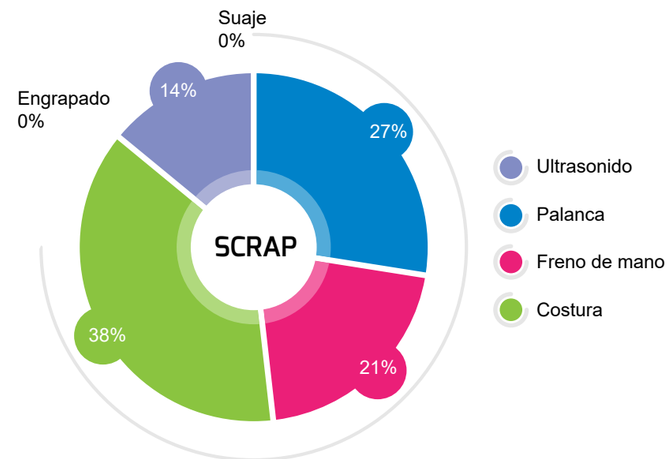


Figura 1. Resultados del 2015 sobre el SCRAP.

Es importante resaltar que de toda la materia prima que se utiliza en el proceso, los materiales que presentaron un alto desperdicio que a su vez origina un alto costo fueron los siguientes: el área de costura obtuvo el 38% de scrap siendo el más alto y el que se repitió durante diez de los doce meses que se contemplaron, en segundo lugar esta con un 27% en el área de palanca, posteriormente con un 21% el área de freno de mano, el 14% en el área de ultrasonido, el Suaje y engrapado obtuvieron un 0%.

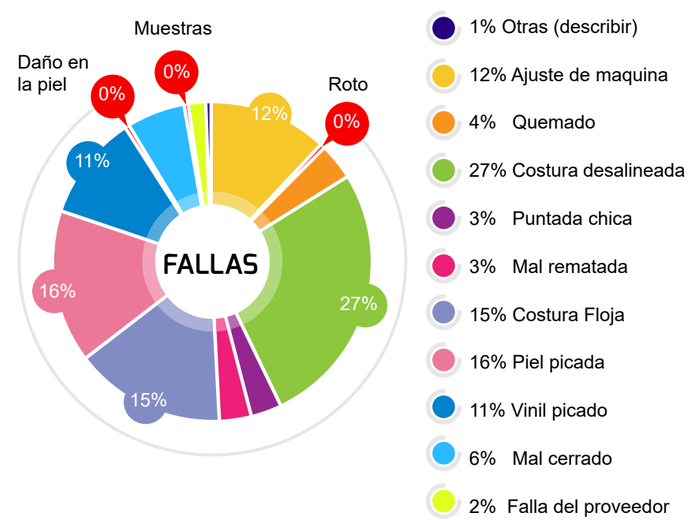


Figura 2. Fallas que origina el SCRAP en el área de costura.

Derivado a que en el área de costura se obtuvo el porcentaje más alto de desperdicios como se menciona en la Figura 1, se analizó a detalle del porqué de esta situación, por lo tanto nos dimos cuenta de que en la costura desalineada se obtuvo el 27% de fallas, el 16% se refiere a piel picada, el 15% a la costura floja, el 12% al ajuste de máquina, el 11% al vinil picado, el 6% a que se encuentra mal cerrado, el 4% esta quemado, el 3% tanto para la puntada chica y mal remate, el 2% a fallas del proveedor, el 1% en otras y el 0% tanto para muestras, daños en la piel y roto.

Falla	N° Falla
Ajuste de maquina	306
Roto	11
Quemado	118
Costura desalineada	398
Puntada chica	13
Mal remate	37
Costura floja	410
Piel picada	101
Vinil picado	319
Daño en la piel	2
Mal cerrado	16
Muestras	5
Falla de proveedor	17
Otras describir	15

Tabla 1. Fallas presentadas en el área de costura stulpe.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos después del análisis, por lo tanto, se puede identificar que las fallas que tuvieron un mayor número son la de costura floja con 410 y la de costura desalineada con 398.

Conclusiones 05

Derivado de los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Primera: La falla que radica mayormente en el área de costura es la de costura floja, en la fabricación de ambos productos (palanca y stulpe), y como este es el segundo proceso en la línea de producción origina un alto desperdicio y fallas en él, ya que sin abastecimiento las líneas de producción son más tardías.

Segunda: Otra razón por lo que surgen estos problemas es debido a la falta de capacitación del personal y al desconocimiento de la maquinaria que utilizan, se menciona esto debido a que en el momento de solicitar las hojas de trazabilidad se pudo identificar que la mayoría de los trabajadores lo desconocían, ya que únicamente el líder de cada proceso es el que tiene conocimiento del llenado de este documento.

Tercera: Es elemental llenar de forma adecuada las hojas de trazabilidad para poder identificar en qué máquina y persona fue la que realizó esa operación para establecer una acción de mejora, con esto los gerentes de calidad pueden determinar la acción pertinente para mejorar esas situaciones.

Referencias

Ander-Egg, E. (1978). *Métodos y técnicas de investigación social*. Buenos Aires, Argentina: Lumen. Recuperado el 2016.

Atienza, F. B. (1997). *Educalingo*. Recuperado el 2016, de educalingo.com/es/dic-es/ultrasonico.

BIPM. (2008). *Todo metrologia*. Recuperado el 2016, de http://www.todometrologia.ucoz.com/mundometro/VIM3a.pdf

Campanella, J. (1997). Los costos de la calidad. Recuperado el 2016, de www.redalyc.org

Climent, S. (2003). Los costos de la calidad en la gestión de la calidad total. Recuperado el 2016, de http://www.redalyc.org

Crosby, P. (1988). La calidad no cuesta: El arte de cerciorarse de la calidad. Recuperado el 2016, de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81802505

Deming, W. (1989). La calidad como filosofía. Recuperado el 2016, de http://redalyc.org/articulo.oa?id=81802505

Durvan. (1989). *Nueva enciclopedia del mundo*. Recuperado el 2016, de latam.casadellibro.com

INTI. (2012). *Instituto Nacional de Tecnología Industrial*. Recuperado el 2016, de www.inti.gob.ar

ISO9000, F. (2015). *International Organization for Standardization*. Recuperado el 2016, de www.iso.org/iso-9001-quality-management.html

Juran, J. M. (1990). Filosofía de la calidad. Recuperado el 2016, de http://www.redalyc.org

OIML. (2012). *ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE*. Recuperado el 2016, de www.oiml.org/en/files/pdf_v/v002-200-e12.pdf

Sabino, C. (1992). El proceso de Investigación. Buenos Aires, Argentaina: Lumen. Recuperado el 2016, de https://metodoinvestigacion.wordpress.com/2008/02/25/el-proceso-de-investigacion-carlos-sabino/

Diseño de rutas mediante la herramienta grafos

Recibido 06/03/2018.
Revisado 07/03/2018.
Aceptado 23/03/2018.

Teresa Sanluis Romano*[1], Anel Sánchez Rojas[1], Verónica Avendaño Pérez***[1]**

[1] Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, Predio Cristo Rey Ex Hacienda de Xalostoc s/n C.P.90271 Tlaxco, Tlaxcala, México.

RESUMEN

Este artículo reúne los hallazgos de un estudio realizado en una purificadora de agua donde se caracteriza el diseño e implementación de la herramienta de teoría de redes, mediante el software grafos con el fin de identificar las mejores decisiones de enrutamiento. El área de interés está enfocada al tipo de decisiones afrontadas en la distribución de mercancías, las restricciones que tienen, los objetivos y las herramientas que maneja, con base en el análisis se identifican las oportunidades que existen para mejorar la distribución que impliquen mayores retribuciones a la empresa y además la satisfacción de sus clientes. Se utilizó una aplicación que genera la ruta de transporte de distribución, determinando la mejor forma de realizar el recorrido y tratando de reducir los costes de combustible del vehículo de reparto, agrupando datos de las rutas en función de ciertos parámetros y determina la ruta óptima de entregas.

Palabras Clave: Ruta, Grafos, Cliente, Tiempo.

* [1] Autor corresponsal
e-mail: terejsr94@hotmail.com ,
Teléfono: +52 241 135 3461
**[1] Autor corresponsal e-mail:
***[1] Autor corresponsal
e-mail: vero.avendao@gmail.com ,
Teléfono: +52 241 149 00 85.

ABSTRACT

This article gathers the findings of a study carried out in a water purifier where the design and implementation of the network theory tool is characterized, through the software graphs in order to identify the best routing decisions. The area of interest is focused on the type of decisions faced in the distribution of merchandise, the restrictions that they have, the objectives and the tools they handle, based on the analysis, the opportunities that exist to improve distribution that involve greater rewards are identified. the company and also the satisfaction of its customers. An application that generates the distribution transport route was used, so as to determinate the best way to travel and trying to reduce the fuel costs of the delivery vehicle, grouping route data according to certain parameters and determining the optimum route of deliveries.

Keywords: Route, graphs, customers, time.

Introducción 01

La Purificadora nació como un negocio familiar capaz de impulsar el desarrollo económico de sus miembros y la comunidad a través de la creación de nuevos empleos y oportunidades de desarrollo para la población. El producto principal de dicha empresa es la botella de agua de 600ml. El planteamiento del problema surge en la purificadora, debido a una mala planeación en sus rutas de distribución lo cual genera un gasto extra en el consumo de combustible en sus unidades móviles en el municipio San José Teacalco localizado en el estado de Tlaxcala México. El objetivo general es diseñar e implementar un diseño de rutas con apoyo de la teoría de con el fin de disminuir los costos de combustible de la Purificadora a partir de tres objetivos específicos, tales como conocer la situación actual en cuanto a las rutas establecidas de la empresa y analizar una herramienta útil para mejorar las rutas e implementar su diseño. El alcance que se pretende con la implementación de una ruta fija y factible es lograr que la empresa pueda expandirse a otras regiones y como consecuencia lograr que los puntos de venta aumenten considerablemente. Se implementará una herramienta capaz de permitir el diseño de rutas generadas a partir de las ya establecidas. Dicha herramienta será eficiente para alcanzar la disminución de costos de combustible. Una de las limitantes es el tiempo requerido para lograr la implementación de una ruta y sus resultados, debido a los horarios establecidos que tiene la purificadora y la disposición de los clientes podría afectar al diseño de rutas.

La logística busca administrar de forma eficiente toda la cadena de abastecimiento, minimizando los tiempos y costos involucrados, maximizando la utilidad y la satisfacción del cliente pues la distribución es una etapa crítica, ya que el diseño tecnológico y modal del transporte, la estructuración y diseño en rutas, redes y sistemas compatibles con la ciudad, la planeación y operación acorde a las necesidades de la población son factores que promueven un buen transporte (Molinero & Molinero, 1997). Se ha demostrado que el 90% del total del tiempo de ciclo de la cadena corresponde a tiempos de movimiento y/o espera, con lo que la reducción de este tiempo constituye el reto más importante de la función logística. De ahí resalta la importancia de administrar efectivamente el proceso de distribución o entrega a los clientes (Dickey, 1975).

El transporte es el responsable de mover los productos terminados, materias primas e insumos, entre empresas y clientes que se encuentran dispersos geográficamente, y agrega valor a los productos transportados cuando estos son entregados a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas. Igualmente el transporte es uno de los puntos clave en la satisfacción del cliente. Sin embargo, es uno de los costos logísticos más elevados y constituye una proporción representativa de los precios de los productos. Los costos asociados con el transporte son altamente representativos en la cadena de abastecimiento y están involucrados directamente con la relación que se tiene con proveedores, clientes y competidores. También se debe tener en cuenta que entre los diferentes modos de transporte de carga, en Colombia resulta particularmente importante la movilización por carretera. Por este medio se transporta alrededor del 80% de la carga del país. Adicionalmente, los costos del transporte son altamente representativos en la cadena de abastecimiento (se ha observado que el movimiento de carga equivale a 1/3 y 2/3 de los costos totales de logística) (Bermeo & Calderon, 2009).

Podemos identificar tres dimensiones para el cambio relevante de la transportación. El primero es el cambio en la demanda para el transporte, como la población y los ingresos. La segunda son los cambios tecnológicos, y la tercera se presenta como resultado de los cambios de valores, públicos y privados que son traídos para la toma de decisiones (Manheim, 1997). Inicialmente los estudios se enfocaban a aspectos puntuales del sistema, pero la complejidad de los factores y del funcionamiento del sistema de transporte hizo necesario que los estudios se hicieran más comprensivos en su naturaleza. Entre los enfoques que han adquirido mayor importancia se aprecia el relacionado con los conceptos de eficiencia, efectividad y calidad (Jiménez, 1996).

Una red logística puede verse como un grafo compuesto por nodos y arcos. Los nodos representan los agentes de una organización (factorías, almacenes, centros de distribución, clientes, etc.), y los arcos son los diferentes medios de transporte entre nodos, por ejemplo trenes, barcos, gasoductos, poliductos, etc. En términos muy generales se puede decir que una red logística adquiere productos primarios (energía, información, materias primas, etc.), los transforma en productos finales y los distribuye a sus clientes. La gestión de una red logística consiste en tomar las decisiones que optimizan su funcionamiento. La función de óptimo se corresponde generalmente con una función de coste (minimización de gasto y maximización de beneficios) aunque pueden existir términos en esta función relacionados con otros aspectos del funcionamiento, como por ejemplo la garantía de niveles de seguridad de los stocks (Gonzalez, 2016).

Muchos problemas de planificación de rutas de distribución han encontrado alternativas de solución en la teoría de grafos dado que se facilita su modelamiento por la semejanza conceptual de las estructuras. Al igual que las rutas de distribución, los grafos son estructuras discretas que constan de vértices conectados mediante arcos. Un grafo dirigido (Figura 1) se denota por G = (V, A), donde V es un conjunto no vacío de elementos denominados vértices y A es un conjunto de arcos. Cada arco tiene asociados dos vértices de V, i y j, i≠j; ai se le denomina origen del arco y a j, destino del arco. El arco también se denota por (i, j), de esta forma se hace referencia al vértice origen y al vértice destino del arco (Diestel, 2000).

Metodología 02

Para el diseño de esta investigación se observó el proceso de enrutamiento, proceso clave para el modelo y el sector de las rutas de reparto. La purificadora comprende dos rutas, y cada una tiene alrededor de 26 clientes, para realizar el modelo se tomaron las dos rutas ya que presentan problemas de organización.

Dando seguimiento al proyecto se realizó una investigación de campo para analizar de manera personal a cada una de las rutas, con la finalidad de recolectar datos como distancias, tiempos y verificar la metodología utilizada en las entregas de mercancía por cada repartidor.

2.1 INSTRUMENTOS Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

El instrumento utilizado para el diseño de rutas en el tratamiento de esta investigación fue el método Grafos, mediante un software denominado con el mismo nombre desarrollando la construcción, edición y análisis de grafo. El objetivo de este método fue obtener información precisa para responder el

objetivo planteado en la investigación. En la tabla 1, se muestran las variables que fueron consideradas clave para el análisis y diseño de rutas.

Variables	Definición conceptual	Indicadores
Tiempo	Es aquel que la unidad tarda en culminar el recorrido	• Paradas • Tráfico
Combustible	Cantidad que utiliza la unidad para el traslado de entregas	• Precio del combustible • Trayectoria • Carga del vehículo
Operador	Sujeto encargado de la unidad que evalúa las rutas según su criterio	• Motivación • Actitud • Horarios

Tabla 1. Variables de investigación.
Fuente. Elaboración propia.

2.2. PROCEDIMIENTO

El procedimiento que se llevó a cabo fue observar el proceso de enrutamiento, actividad clave para el modelo con lo cual se identificó que la asignación de rutas era realizada por los operadores con experiencia que organizan las entregas según la demanda, por lo tanto, no existía un criterio cuantitativo que permitiera asignar las entregas a los vehículos teniendo en cuenta el lugar, el tiempo, el costo, etc.

Posteriormente, se realizó el acompañamiento a cada una de las rutas con la finalidad de recolectar datos como distancias, tiempos y verificar la metodología utilizada para hacer las entregas y las recogidas de mercancía. Un factor predominante que se detectó en este acompañamiento fue la diferencia que existe en lo que se hace y lo que se planea, debido a que el operador planea el recorrido que debe realizar, pero este recorrido no se cumple debido a que cambia la asignación original que se planteó. Además, durante los recorridos se observó que la presencia de competencia en el sector no permite ubicar el vehículo cerca de los puntos de venta o el vehículo realiza un recorrido adicional hasta que pueda encontrar una zona de parqueo, lo cual ocasiona que se deban asignar puntos temporales de descarga de la mercancía en donde un estibador se encarga de las entregas y también cuida la mercancía. En algunas ocasiones los destinatarios no recibían la mercancía sin cita previa y por lo tanto la entrega no podía ser cumplida.

Así mismo, se detectó en el proceso de distribución de mercancía la inadecuada asignación de los siguientes tres factores: ruta, vehículo y operador, en este proceso se utilizan medios manuales y por su misma naturaleza se programa antes de la entrega, sin tener en cuenta una asignación habitual de operadores que puedan manejar más efectivamente la ruta, y periodos de descanso para el personal, de tal forma que eviten el levantamiento continuo de pesos elevados.

Finalmente, el tiempo para entregar la mercancía también se ve afectado por factores tales como la espera de llenado, los tiempos de espera en colas cuando se hacen entregas en tiendas, hogares y el tiempo destinado a los clientes cuando no reciben el producto.

De acuerdo al análisis obtenido, se procede a plantear las rutas mediante la herramienta Grafos para determinar la ruta óptima que pueda abastecer los puntos de distribución con un consumo de combustible mínimo.

Al finalizar la recolección de datos, fue necesario adaptar la información de manera que se procesara en la aplicación informática. Para ello se realizaron los siguientes pasos:

Paso 1: Consistió en la inserción de datos de la ruta uno y dos, tal como se observa en la figura 1 y figura 2, donde se muestran las localizaciones de los clientes representados en nodos para así poder identificar la ruta optima de acuerdo al software.

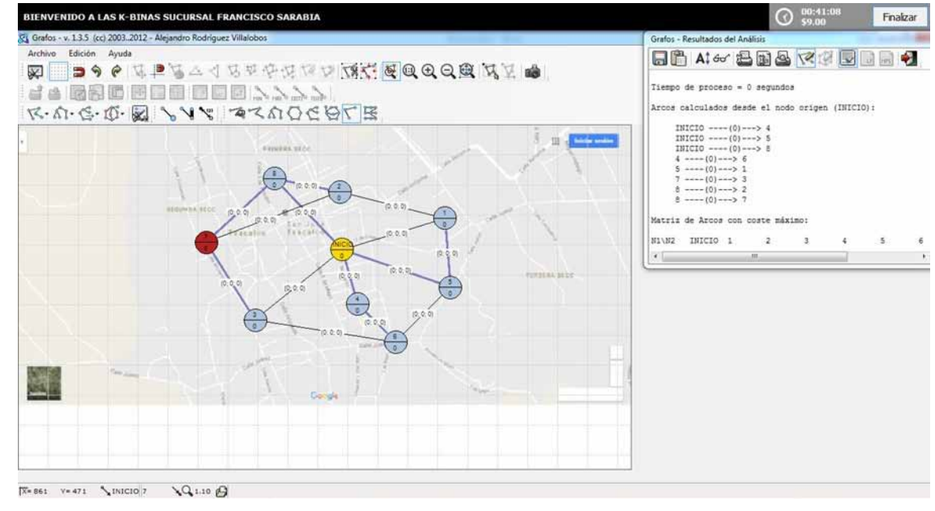


Figura 1 Inserción de datos de la ruta 1 en Grafos-v.1.3.5.

Paso 2: Lo siguiente fue realizar un análisis interpretativo de los datos, en ambas figuras 1 y 2, se puede observar que el nodo de inicio está marcado de color amarillo, de todas las rutas posibles selecciona una ruta que abarca todos los destinos y a su vez disminuye la distancia, la cual es marcada de azul intenso, mientras que las líneas grises representan las rutas no óptimas para el software, por lo tanto son ignoradas.

Paso 3: Se realizó un comparativo de la distancia actual de la ruta 1 y en la ruta 2, con la distancia calculada por el software en respectivas rutas.

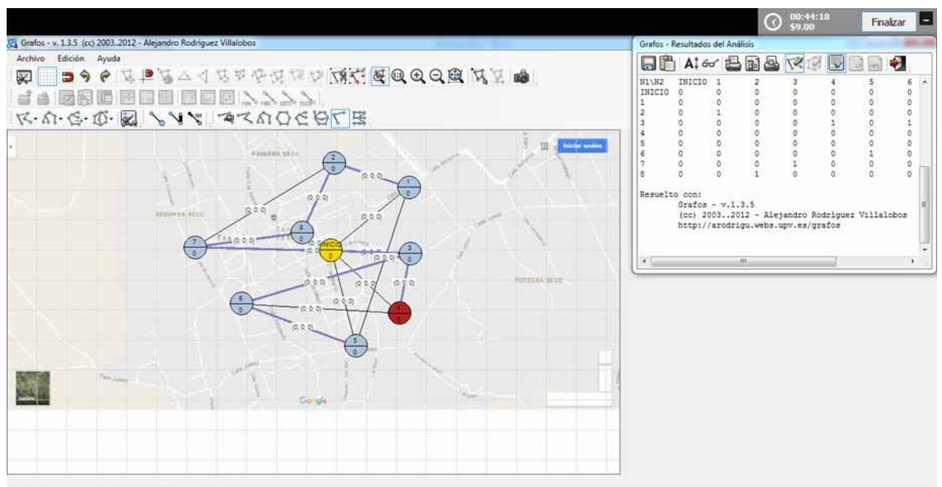


Figura 1 Inserción de datos de la ruta 1 en Grafos-v.1.3.5.

La figura 2, muestra el número de rutas requeridas para visitar a todos los clientes de la lista, en un solo viaje sin sobre pasar la capacidad del vehículo, mediante un criterio cuantitativo definido, posicionamiento de clientes en cada ruta, a una distancia mínima y aplicando los principios de Grafos.

Resultados 03

Este proyecto es sólo una pequeña parte de la aplicación que puede dársele a los sistemas de diseño de rutas; que derivan del proyecto "Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte" como la construcción de un modelo matemático de ruteo que utilice simultáneamente la variabilidad de demanda y clientes como parámetros. Igualmente desarrollar una solución que se aproxime al óptimo necesario.

La implementación de un sistema de diseño de rutas a un distribuidor extendido. Para cumplir esta investigación es necesario que la empresa esté dispuesta a participar en el proyecto, comprometida con la mejora y realizar un diagnóstico entre los operadores, en el que se describan diferentes herramientas que utilizan para la asignación de rutas.

Dada aplicación del software se logró optimizar la ruta 1, en donde se disminuyó la distancia total recorrida en un 8% (de 11,93 km a 10.98 km) mientras que en la ruta 2 se logró disminuir un 18% (de 17,56 km a 14,43 km).

La característica más importante de utilizar simulación es la evaluación de alternativas operativas, mediante técnicas de simulación que permiten recrear la actividad actual de cualquier organización y tomar decisiones no tan apresuradamente, como suele hacerse. Los ahorros de simulación se comprueban al identificar y eliminar problemas e ineficiencias que no podrían ser detectadas antes de la implementación, reduce costos al eliminar sobre diseños y factores excesivos de seguridad que son añadidos cuando algunos proyectos son inciertos. También es necesario que los operadores tomen una actitud competitiva, a su vez analizar y dar soluciones a los requerimientos de los clientes con un mínimo costo.

Referencias

Agranovich, V., & Ginzburg, V. (2009). *Crystal optics with spatial dispersion, and exitons*. Germany: Springer-Verlag.

Bermeo, E., & Calderon, J. H. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El Hombre y la Máquina*,(32), 52-67.

Dickey, W. J. (1975). Metropolitan Transportatión Planning. . *United States of America: Scripta Book Company*.

Diestel, R. (2000). Graph theory. *Springer-Verlag New York*, 322.

Gonzalez, N. (2016). Nuevas cadenas de transporte de mercancías generadas por las infraestructuras. *Revista Transporte y Territorio*, 81-108.

Guey Wu, C., Feng Tzeng, L., Ting Kuo, Y., & Hsien Shu, C. (2001). Enhancement of the photocalytic activity of TiO2 film via surface modification of the sustrate. *Applied Catalysis A, 226*, 199-211.

Jiménez, J. (1996). El Transporte de Autobuses Urbanos: Diseño y Aplicación de Indicadores de Productividad. *Universidad Autónoma del Estado de México.*

Manheim, L. M. (1997). Fundamentals of Transportation Systems Analysis. *Massachesetts: MIT Press Series Of Transportation Studies.*

Molinero, M., & Molinero, M. (1997). Transporte Público, Planeación de Diseño, Operación y Administración.

Montero, D. (2016). El consumo de agua embotellada en la Ciudad de México desde una perspectiva institucional. *Agua y territorio*(7), 35-45. Obtenido de http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma

Montero-Contreras, D. P. (2016). El consumo de agua embotellada en la Ciudad de México. *Agua y territorio*, 36.

Pacheco, R. (2015). Agua embotellada en México: de la privatización del suministro a la mercantilización de los recursos hídricos. *Espiral (Guadalaj.), 22*(63).

Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco

RevisTEC

Mi campo de estudio

Predio Cristo Rey
Ex hacienda Xalostoc S/N
Km. 16.8 Carretera Federal
Apizaco-Tlaxco, C.P. 90271.
revistec@itstlaxco.edu.mx

Año 3 Vol.3 No. 4
ENE-JUN 2018
Publicación Semestral
ISSN: 2448-9069