

ISSN 2523-6806

Volumen 3, Número 12 — Octubre — Diciembre - 2019

Revista de Operaciones Tecnológicas



ECORFAN-Taiwán

Editor en Jefe

BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Revista de Operaciones Tecnológicas, Volumen 3, Número 12, de Octubre a Diciembre 2019, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: www.ecorfan.org/taiwan, revista@ecorfan.org. Editor en Jefe: BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD. ISSN: 2523-6857. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 2019.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

Revista de Operaciones Tecnológicas

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas de sistemas de producción, propiedades mecánicas, transmisión de datos, estandarización de procesos, ingeniería industrial, materiales compuestos, análisis cinemático, estudio cinético, generador de energía, procesos industriales y tecnológicos.

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Revista de Operaciones Tecnológicas es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de sistemas de producción, propiedades mecánicas, transmisión de datos, estandarización de procesos, ingeniería industrial, materiales compuestos, análisis cinemático, estudio cinético, generador de energía, procesos industriales y tecnológicos con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias de Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

MAYORGA - ORTIZ, Pedro. PhD
Institut National Polytechnique de Grenoble

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD
Centro de Microelectrónica de Barcelona

CASTILLO - LÓPEZ, Oscar. PhD
Academia de Ciencias de Polonia

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD
Universidad Central del Ecuador

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD
Center of Research in Mathematics

NAZARIO - BAUTISTA, Elivar. PhD
Centro de Investigacion en óptica y nanofisica

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD
Université des Sciences et Technologies de Lille

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD
University of Southampton

Comité Arbitral

CORTEZ - GONZÁLEZ, Joaquín. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

CRUZ - BARRAGÁN, Aidee. PhD
Universidad de la Sierra Sur

CASTILLO - TOPETE, Víctor Hugo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Samuel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

CASTAÑÓN - PUGA, Manuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

BARRON, Juan. PhD
Universidad Tecnológica de Jalisco

ARREDONDO - SOTO, Karina Cecilia. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD
Universidad de Guanajuato

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Operaciones Tecnológicas emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

Detección de Plagio

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandara a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de sistemas de producción, propiedades mecánicas, transmisión de datos, estandarización de procesos, ingeniería industrial, materiales compuestos, análisis cinemático, estudio cinético, generador de energía, procesos industriales y tecnológicos y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

Presentación del Contenido

En el primer artículo se presenta *Modelado Matemático de un Controlador PID de Ganancia Variable dependiente del Punto de Consigna en la Salida de un PID Convencional* por GARCÍA-CORTÉS, Julio Zenón, CARRILLO-GARCÍA, Francisco Javier, TAMAYO-LOEZA, Erick del Jesus y MAY-CEN, Ivan de Jesus con adscripción Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Norte e Instituto Tecnológico Superior Progreso como siguiente artículo está *Análisis de un sistema eléctrico industrial o comercial* por GONZÁLEZ-ARAGÓN-BARRERA, Enrique, MARQUEZ-CASTILLO, Juan Bautista y ROLÓN-SALAZAR, José Trinidad con adscripción Universidad Tecnológica de Tijuana, como siguiente artículo está *Análisis teórico de una chimenea solar con tres canales de flujo de aire* por TLATELPA-BECERRO, Ángel, RICO-MARTÍNEZ, Ramiro, URQUIZA-BELTRÁN, Gustavo y REYNOSO-JARDÓN, Elva Lilia con adscripción en Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla, UAEM, Universidad Politécnica de Atlautla, UPA, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UAEM, Instituto Tecnológico de Celaya, TECNM y Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UACJ., como siguiente artículo está *Análisis de capas PML en una región de campo electromagnético utilizando el Método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo* por CRUZ-ORDUÑA, María Inés, MORALES-MENDOZA, Luis Javier, CORTEZ-DOMINGUEZ, Cristóbal y LAGUNA-CAMACHO, Juan Rodrigo con adscripción Universidad Veracruzana.

Contenido

Artículo	Página
Modelado Matemático de un Controlador PID de Ganancia Variable dependiente del Punto de Consigna en la Salida de un PID Convencional GARCÍA-CORTÉS, Julio Zenón, CARRILLO-GARCÍA, Francisco Javier, TAMAYO-LOEZA, Erick del Jesus y MAY-CEN, Ivan de Jesus <i>Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Norte</i> <i>Instituto Tecnológico Superior Progreso</i>	1-6
Análisis de un sistema eléctrico industrial o comercial GONZÁLEZ-ARAGÓN-BARRERA, Enrique, MARQUEZ-CASTILLO, Juan Bautista y ROLÓN-SALAZAR, José Trinidad <i>Universidad Tecnológica de Tijuana</i>	7-12
Análisis teórico de una chimenea solar con tres canales de flujo de aire TLATELPA-BECERRO, Ángel, RICO-MARTÍNEZ, Ramiro, URQUIZA-BELTRÁN, Gustavo y REYNOSO-JARDÓN, Elva Lilia <i>Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla, UAEM.</i> <i>Universidad Politécnica de Atlautla, UPA.</i> <i>Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UAEM.</i> <i>Instituto Tecnológico de Celaya, TECNM.</i> <i>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UACJ.</i>	13-19
Análisis de capas PML en una región de campo electromagnético utilizando el Método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo CRUZ-ORDUÑA, Maria Ines, MORALES-MENDOZA, Luis Javier, CORTEZ-DOMINGUEZ, Cristobal y LAGUNA-CAMACHO, Juan Rodrigo <i>Universidad Veracruzana</i>	20-26

Modelado Matemático de un Controlador PID de Ganancia Variable dependiente del Punto de Consigna en la Salida de un PID Convencional

Mathematical Modeling of a Variable Gain PID Controller, Dependent of the set point in the output of a Conventional PID

GARCÍA-CORTÉS, Julio Zenón¹ †*, CARRILLO-GARCÍA, Francisco Javier¹, TAMAYO-LOEZA, Erick del Jesus² y MAY-CEN, Ivan de Jesus²

¹Departamento de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Norte, Río Grande, Zacatecas, México

²Departamento de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior Progreso, Progreso, Yucatán, México

ID 1^{er} Autor: Julio Zenón, García-Cortés / ORC ID: 0000-0003-2321-619X, Researcher ID Thomson: T-3638-2018, CVU CONACYT ID: 294610

ID 1^{er} Autor: Francisco Javier, Carrillo-García / ORC ID: 0000-0002-6071-0990, Researcher ID Thomson: T-4599-2018

ID 2^{do} Autor: Erick del Jesus, Tamayo-Loeza / ORC ID: 0000-0003-2763-0742, Researcher ID Thomson: T-4605-2018, CVU CONACYT ID: 298427

ID 3^{er} Autor: Ivan de Jesus, May-Cen / ORC ID: 0000-0003-4147-212X, Researcher ID Thomson: T-4598-2018, CVU CONACYT ID: 226576

DOI: 10.35429/JTO.2019.12.3.1.6

Recibido 22 de Octubre, 2019, Aceptado, 24 de Noviembre, 2019

Resumen

Se modificó la estructura de control PID mostrada en la literatura por K. Ogata. Se hace la propuesta de una estructura de control PID de ganancia variable, implementada mediante electrónica analógica. Se obtuvo un modelo matemático utilizando métodos convencionales. Se comprobó la validez del modelo obtenido comparando contra la respuesta del modelo planteado por K. Ogata. Se concluyó que la estructura propuesta es estable.

Modelado, Sistemas de Control no lineales, PID

Abstract

A PID control structure was modified proposed by K. Ogata. It is proposed a structure Nonlinear PID control, implemented using analogical electronics. A mathematical model was obtained using conventional methods. It was proved the validity of the model obtained comparing against the response of the model proposed by K. Ogata. It was concluded that the proposed structure is stable.

Modeling, Nonlinear control systems, PID

Citación: GARCÍA-CORTÉS, Julio Zenón, CARRILLO-GARCÍA, Francisco Javier, TAMAYO-LOEZA, Erick del Jesus y MAY-CEN, Ivan de Jesus. Modelado Matemático de un Controlador PID de Ganancia Variable dependiente del Punto de Consigna en la Salida de un PID Convencional. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2019 3-12: 1-6

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: profejulioz@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En este trabajo se muestra el modelo matemático obtenido para una estructura de control PID de ganancia variable implementada mediante amplificadores operacionales. Para lograr un comportamiento no lineal en el controlador, se añadió un transistor JFET de canal N en la entrada del amplificador operacional que ejecuta un algoritmo de control PID convencional. En este caso, se requiere controlar la temperatura interior de un horno eléctrico que calienta mediante 2 resistencias eléctricas conectadas en serie. Este sistema tiene una alta constante de tiempo térmica. El horno funciona a 127 Voltios, y consume 6 Amperios. Se ha estado trabajando realizando este tipo de modificaciones a los algoritmos de control convencionales con el objetivo de conseguir un control más rápido y preciso de la temperatura, para aplicaciones de tratamiento térmico de muestras metalográficas.

El controlador PID modificado que se considera en este trabajo, está diseñado para aumentar su ganancia conforme el punto de consigna se ajusta a un valor más grande. El Control PID No Lineal propuesto ha sido probado experimentalmente con éxito. Se conservan las ventajas de un control PID, con la novedad de que la ganancia del controlador será mayor cuando el punto de referencia se incremente, reforzando el nivel del voltaje de control (Vcon) haciendo que el punto de referencia de la variable se alcance más rápidamente que con la versión convencional, y manteniéndose en el valor deseado.

Metodología

La estructura de control PID implementada mediante amplificadores operacionales mostrada en la Figura 1 es la originalmente propuesta por K. Ogata en [1]. El autor explica que el segundo AO funciona como inversor de signo y como ajustador de ganancia.

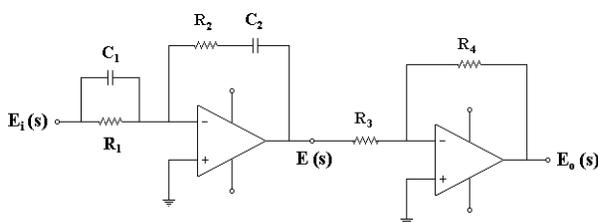


Figura 1 Estructura PID propuesta por K. Ogata. [1]

Tomando como referencia el circuito de la Figura 1, La función de transferencia que resulta de su análisis es la ecuación (1).

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{R_4(R_1C_1 + R_2C_2)}{R_3R_1C_2} \left[1 + \frac{1}{(R_1C_1 + R_2C_2)s} + \frac{R_1C_1R_2C_2}{R_1C_1 + R_2C_2} s \right] \quad (1)$$

La ecuación (2) es el esquema al que corresponde esta estructura, O'Dwyer lo llama: "controlador PID ideal" [2]. Cuando el controlador se expresa con la función de transferencia canónica de la ecuación (2), Kp se denomina ganancia proporcional, Ti tiempo integral y Td tiempo derivativo [1].

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = K_p \left(1 + \frac{T_i}{s} + T_d s \right) \quad (2)$$

A partir de la ecuación (1), se obtiene que la ganancia proporcional Kp, el tiempo integral Ti y el tiempo derivativo Td son:

$$K_p = \frac{R_4(R_1C_1 + R_2C_2)}{R_3R_1C_2} \quad (3)$$

$$T_i = \frac{1}{R_1C_1 + R_2C_2} \quad (4)$$

$$T_d = \frac{R_1C_1R_2C_2}{R_1C_1 + R_2C_2} \quad (5)$$

El esquema de control PID ideal, también puede expresarse mediante la función de transferencia canónica mostrada en (6), en este caso, Kp se denomina ganancia proporcional, Ki ganancia integral y Kd ganancia derivativa [1].

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (6)$$

Para éste controlador:

$$K_p = \frac{R_4(R_1C_1 + R_2C_2)}{R_3R_1C_2} \quad (7)$$

$$K_i = \frac{R_4}{R_3R_1C_2} \quad (8)$$

$$K_d = \frac{R_4R_2C_1}{R_3} \quad (9)$$

Para obtener las ganancias de la estructura originalmente propuesta por K. Ogata se utilizan los valores comerciales determinados en un trabajo previo [3]. El circuito se muestra en la Figura 2. Las ganancias resultan:

$$K_p = 56.21 \quad \text{según (7)}$$

$$K_i = 21276.59 \quad \text{según (8)}$$

$$K_d = 5.6 \times 10^{-4} \quad \text{según (9)}$$

Sustituyendo estos valores en (6) se escribe:

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = 56.21 + \frac{21276.59}{s} + 0.00056 \cdot s \quad (10)$$

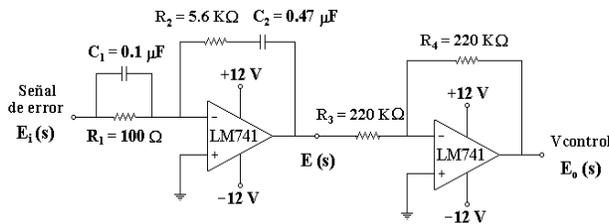


Figura 2 Valores determinados luego de una sintonía fina en el sitio para la estructura PID propuesta por K. Ogata. [3].

Desarrollo

El circuito PID Normal propuesto por Ogata, se modifica para hacerlo PID de Ganancia Variable dependiendo del punto de referencia, con el lazo de retroalimentación ajustado en la salida del controlador PID convencional. Para ello, se añade un Transistor JFET como se muestra en la Figura 3.

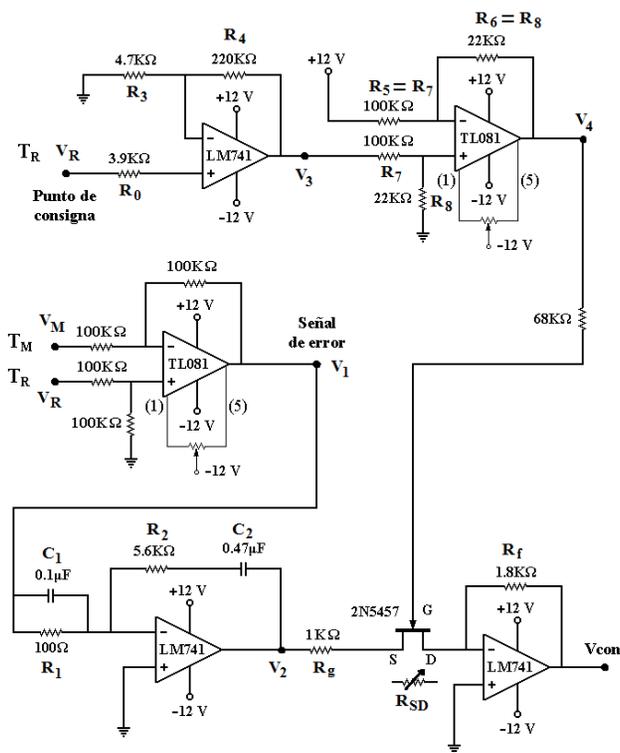


Figura 3 Estructura PID No Lineal obtenida al agregar un Transistor JFET

La idea consiste en adecuar la señal electrónica que representa el punto de consigna para excitar la terminal Gate del transistor JFET y hacerlo funcionar como una resistencia variable de Source-Drain (RSD).

El valor de RSD dependerá de la magnitud al cual se ajuste el punto de referencia deseado y actúe para ajustar la ganancia del controlador PID y hacer que su comportamiento sea no lineal, similar a lo presentado en [4].

Éste voltaje primero se amplifica en el AO configurado como amplificador no inversor multiplicándolo por 46.8, luego en el AO configurado como restador se realizan dos operaciones simultáneamente, primero se resta de -12 volts y luego se divide entre 4.54. De esta forma, dependiendo del valor del voltaje de referencia el voltaje de salida del AO configurado como restador tendrá un valor de entre 0 a 0.7 voltios positivo con lo cual el transistor JFET se comportará como resistencia variable, aproximadamente de 100Ω a 1000Ω.

Continuando con la explicación de la Figura 3, el voltaje que representa la señal de error se ingresa al Amplificador operacional donde se configuró el control PID normal; Luego en la etapa de inversión de signo, la resistencia Rg se conecta en serie a la terminal Source del Transistor JFET, con lo cual la resistencia interna RSD del 2N5457, se suma en serie con la resistencia Rg. Lo anterior, en conjunto con el valor de Rf es lo que hará que la ganancia del controlador varíe en función de la magnitud del valor de referencia seleccionado.

Los valores comerciales mostrados en la Figura 3, se obtuvieron experimentalmente, consiguiendo un buen desempeño en la aplicación requerida.

Las ecuaciones que describen el control PID No Lineal mostrado en la Figura 3, se establecen a partir del método de las impedancias descrito por K. Ogata en [1].

Definiendo:

$$V_1 = V_R - V_m \quad (11)$$

$$V_2 = -\frac{R_2}{R_1} \left[\frac{(R_1 C_1 S + 1)(R_2 C_2 S + 1)}{R_2 C_2 S} \right] V_1$$

Simplificando

$$V_2 = -\left(R_2 C_1 S + \frac{1}{R_1 C_2 S} + \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{R_1 C_2} \right) V_1 \quad (12)$$

Sustituyendo V1 en V2 se tiene:

$$V_2 = -\left(R_2 C_1 S + \frac{1}{R_1 C_2 S} + \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{R_1 C_2} \right) (V_R - V_m) \quad (13)$$

Análisis del punto de consigna

$$V_3 = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_R \quad (14)$$

$$V_4 = \frac{R_6}{R_5} (V_3 - 12) \quad (15)$$

Sustituyendo V_3 en V_4 se tiene:

$$V_4 = \frac{R_6}{R_5} \left[\left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_R - 12 \right]$$

$$V_G = V_4 \quad \text{Por lo tanto}$$

$$V_G = \frac{R_6}{R_5} \left[\left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_R - 12 \right] \quad (16)$$

Analizando el JFET

$$\frac{V_{\text{control}}}{V_2} = - \left[\frac{R_f}{R_g + R_{SD}} \right]$$

$$V_{\text{control}} = - \left[\frac{R_f}{R_g + R_{SD}} \right] V_2 \quad (17)$$

Sustituyendo V_2 en V_{control} se obtiene:

$$V_{\text{control}} = - \frac{R_f}{(R_g + R_{SD})} \left[- \left(R_2 C_1 S + \frac{1}{R_1 C_2 S} + \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{R_1 C_2} \right) (V_R - V_m) \right]$$

Simplificando y debido al efecto del inversor de signo resulta:

$$V_{\text{control}} = \frac{R_f}{(R_g + R_{SD})} \left[\left(R_2 C_1 S + \frac{1}{R_1 C_2 S} + \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{R_1 C_2} \right) (V_R - V_m) \right] \quad (18)$$

Resultados

Con el propósito de comprobar la validez del modelo matemático, se decidió comparar los análisis de estabilidad del modelo estudiado por K. Ogata en [1] contra la modificación propuesta en este trabajo.

Primero se obtienen los gráficos para el modelo indicado por K. Ogata. Para trabajar con Matlab (10) se escribe:

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{0.00056 \cdot s^2 + 56.21 \cdot s + 21276.59}{s} \quad (19)$$

La función obtenida del modelo es impropia, por ello se decidió determinar la estabilidad mediante la obtención y análisis de los diagramas de Bode.

En la Figura 4, se muestran las trazas de Bode de (19) obtenidas con ayuda de MatLab, su análisis indica que la estructura es estable, puesto que la curva de fase ni siquiera cruza los -180 grados.

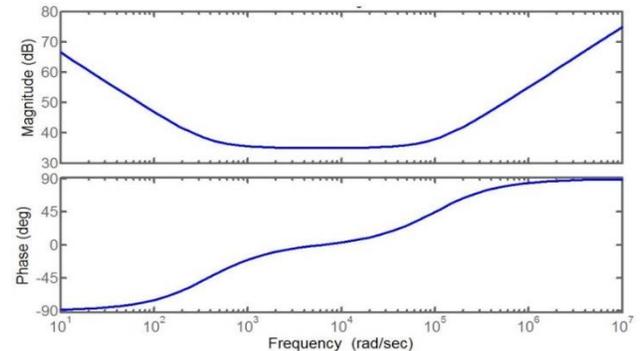


Figura 4 Trazas de Bode para la estructura original de K. Ogata

Por otra parte, para la estructura PID de ganancia variable propuesta, se considera un momento intermedio del proceso de control. Lo anterior dado que la ganancia RSD es variable. En la Tabla I se muestra una correspondencia de los valores que adquiere RSD conforme el punto de consigna cambia. Nótese que conforme el valor de referencia se incrementa, el valor de RSD disminuye, esto ocasionará que a mayores puntos de consigna, la ganancia del controlador sea más grande. Para calcular RSD se realizaron mediciones in situ y luego se aplicó la fórmula:

$$R_{SD} = \frac{V_{SD}}{I_{SD}} \quad (20)$$

T_R (V)	R_{SD} (Ω)
0.021	875
0.0405	785.7143
0.05	744.186
0.0758	645.3382
0.101	567.9443
0.126	500
0.1503	451.6129
0.1756	417.3228
0.2	406.25
0.2508	395.3488

Tabla I Valores de R_{SD} en diferentes puntos de referencia

Para obtener la función de transferencia basta reconocer que $(V_R - V_m)$ es el voltaje que representa la señal de error, y por lo tanto es la señal de voltaje que en este caso se considera como la entrada. Ahora bien, si el punto de referencia se establece en 200° ; según la Tabla I, se puede suponer un valor para RSD de 406.25Ω . Sustituyendo éste y los valores mostrados en la Figura 3, en (18), se puede escribir:

GARCÍA-CORTÉS, Julio Zenón, CARRILLO-GARCÍA, Francisco Javier, TAMAYO-LOEZA, Erick del Jesus y MAY-CEN, Ivan de Jesus. Modelado Matemático de un Controlador PID de Ganancia Variable dependiente del Punto de Consigna en la Salida de un PID Convencional. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2019

$$\frac{V_{\text{control}}}{(V_R - V_m)} = 1.28 \left(0.00056 \text{ s} + \frac{21,276.5957}{\text{s}} + 56.21 \right)$$

Simplificando en MatLab se obtiene:

$$\frac{V_{\text{control}}}{(V_R - V_m)} = \frac{0.00001491\text{s}^2 + 1.497\text{s} + 566.5}{\text{s}} \quad (21)$$

Cabe destacar que por cuestiones de espacio los coeficientes de (21) se han redondeado, sin embargo, en los cálculos en Matlab si se consideraron las cantidades completas.

En la Figura 5 se muestra el diagrama de Bode para el caso considerado. Analizando el gráfico se observa que el sistema es estable, puesto que la curva de fase ni siquiera cruza el eje de -180 grados.

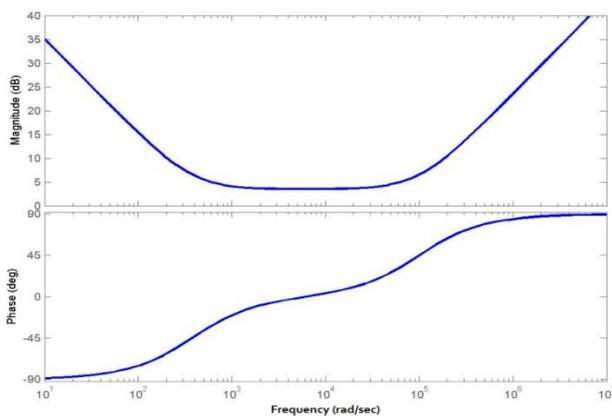


Figura 5 Trazas de Bode para la estructura PID No Lineal de (21)

Por otra parte, en la Figura 6 se muestran los resultados de un caso de prueba con el valor de referencia ajustado a 200°C. Se incluye la curva de la respuesta que tendría un controlador ideal, lo cual se obtuvo realizando un modelado empírico del sistema de control en sitio; este modelo ideal está ajustado para alcanzar el punto de consigna en un tiempo muy cercano al que lo haría en lazo abierto, lo cual sería muy difícil de lograr sin tener un sobreimpulso considerable, pero proporciona una idea de que tan eficientes son los controladores reales bajo estudio. Entonces, comparando el comportamiento del controlador PID convencional con el comportamiento del controlador PID de ganancia variable propuesto, se comprueba que existe una ligera mejora en el funcionamiento deseado.

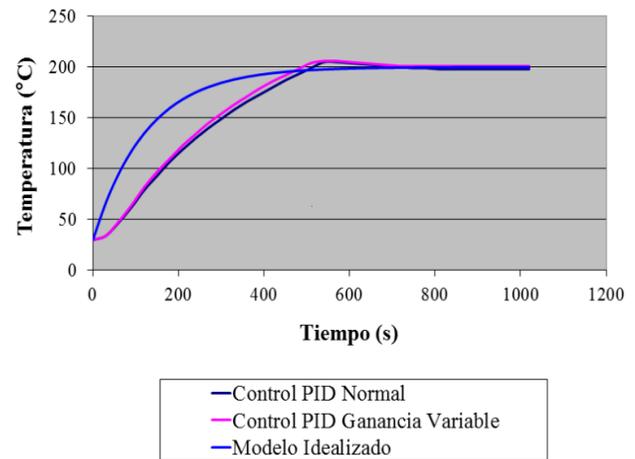


Figura 6 Grafica de resultados de pruebas reales a 200°C

Conclusiones

Se obtuvo un modelo matemático para un controlador PID con ajuste de ganancia implementado con Amplificadores Operacionales.

El modelo brinda una aproximación del comportamiento real del circuito propuesto y hace posible efectuar análisis de estabilidad, mediante los cuales se determinó que la estructura implementada es estable.

El modelo servirá de base para futuros trabajos, donde se pretende utilizar la estructura para controlar sistemas SISO que tengan tiempos de retardo grandes o que presenten un comportamiento no lineal.

Referencias

- [1] K. Ogata, "Ingeniería de Control Moderna," Ed. Pearson Educación S.A., 4ª ed., España, 2003.
- [2] A. O'Dwyer, "HandBook of PI and PID Controller Tuning Rules", Ed. Imperial College Press, 2ª ed., Irlanda, 2006.
- [3] J. Z. García, "Ensayo experimental sobre 2 estructuras de control PID proyectadas mediante amplificadores operacionales, en una aplicación de control de temperatura," en *memorias de 5º Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas*, pp. 262-267, México, D.F., 2008, ISBN: 978-607-414-049-1

- [4] J. Z. García, A. Rodríguez, and J. H. Caltenco, "Controlador Proporcional-Integral No Lineal Aplicado a un Sistema de Alta Inercia Térmica, Utilizando el Método de Control por Paquetes con base de Tiempo Variable". en memorias de XII Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, pp. 253-258, México, D.F., 2010.
- Rashid, M., *Electrónica de Potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*, Ed. Pearson Educación de México, S. A. De C.V., 3ª ed., México, pp. 500-502, 1994.
- [5] Rashid, M., *Electrónica de Potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*, Ed. Pearson Educación de México, S. A. De C.V., 3ª ed., México, pp. 500-502, 1994.
- [6] Dorf, R. C. y Bishop, R. H., *Sistemas de Control Moderno*, Ed. Pearson Educación S. A., 10ª ed., España, pp 696, 2005.

Análisis de un sistema eléctrico industrial o comercial

Analysis of an electrical system, industrial or commercial

GONZÁLEZ-ARAGÓN-BARRERA, Enrique†*, MARQUEZ-CASTILLO, Juan Bautista y ROLÓN-SALAZAR, José Trinidad

Universidad Tecnológica de Tijuana

ID 1^{er} Autor: *Enrique, González-Aragón-Barrera* / ORC ID: 0000-0003-0883-7481, CVU CONACYT ID: 340204

ID 1^{er} Coautor: *Juan Bautista, Marquez-Castillo* / ORC ID: 0000-0001-8123-9707, CVU CONACYT ID: 880296

ID 2^{do} Coautor: *José Trinidad, Rolón-Salazar* / ORC ID: 0000-0003-4246-8683, CVU CONACYT ID: 342893

DOI: 10.35429/JTO.2019.12.3.7.12

Recibido 29 de Octubre, 2019, Aceptado, 10 de Diciembre, 2019

Resumen

Todo sistema eléctrico, sea de pequeña o gran demanda, ocupa ser diagnosticado para determinar su grado de eficiencia, costo y calidad en cuanto a energía eléctrica se refiere. Para ello, se requiere de varias variables y condiciones en los equipos para verificar su desempeño. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar un sistema eléctrico industrial y determinar áreas de mejora en dicho sistema abordando parte de esas variables. La metodología a llevar a cabo para poder medir dichas variables es a través del uso de un equipo analizador de redes eléctricas monitoreando el perfil de consumo de tal instalación durante un período de 24 horas, para luego hacer un análisis de los datos medidos y así tener un buen diagnóstico de dicho sistema. Cabe mencionar que existen también otros equipos como la cámara termográfica para hacer análisis de puntos calientes que puedan orientar a predecir una posible falla a futuro, pero en este caso, se enfocará exclusivamente en el uso del equipo analizador de redes eléctricas. De esta manera se planea contribuir al mantenimiento de los dispositivos eléctricos y a la mejora de la eficiencia energética, teniendo así ahorros económicos y ayudando a reducir la huella de carbón.

Sistema eléctrico, monitoreo, mantenimiento

Abstract

Every electrical system, either with small or big demand, needs to be diagnosed in order to determine its efficiency and quality degree as far as electric energy is concerned. Wherefore several variables and conditions are required about the equipment in order to verify its performance. The present work has the objective to evaluate an industrial electrical system in order to determine improvement areas in such system addressing part of these variables. The methodology used to measure such variables, is with the use of an electrical network analyzer, monitoring the consumption profile of such installation during a period of 24 hours, thereafter, making an analysis of the measured data in order to diagnose such a system. It is important to mention that there exist also other equipment such as the thermo-graphic camera in order to detect hot spots in the electrical installation that may lead to predict a possible failure in the future, but in this particular case, it will be focused on the electrical network analyzer equipment only. In this way, it is planned to contribute in the maintenance of the electrical devices and to the improvement of the energetic efficiency, having this way economic savings and helping to reduce the carbon footprint as well.

Electrical system, monitoring, maintenance

Citación: GONZÁLEZ-ARAGÓN-BARRERA, Enrique, MARQUEZ-CASTILLO, Juan Bautista y ROLÓN-SALAZAR, José Trinidad. Análisis de un sistema eléctrico industrial o comercial. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2019 3-12: 7-12

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: eglzab@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Un Sistema eléctrico puede constar de varios componentes dependiendo del tipo de sistema que se esté hablando y que puede ir desde una subestación eléctrica, que las hay de varios tipos y tamaños, hasta una instalación de un edificio. Cualquiera que sea dicho sistema, se requiere mantener el servicio sin interrupciones ni fallas, por lo que es imprescindible monitorear varios parámetros que servirán como indicativos de su desempeño. Dado que, si no se conoce el comportamiento de operación de cualquier sistema eléctrico, nunca se podrá identificar los parámetros que se encuentren fuera de rango y consecuentemente hacer un diagnóstico que permita realizar acciones preventivas o correctivas en el mantenimiento de los mismos. Esto permite aumentar la disponibilidad y continuidad de la energía eléctrica, disminuyendo el costo de reparación en caso de presentarse alguna falla.

Se presentará un caso de estudio donde con la simple observación de las tendencias en potencias real, aparente y reactiva dadas en kW, kVA y kVAR respectivamente, se obtendrá un espectro del comportamiento y perfil de consumo del sistema eléctrico. Con lo cual es posible detectar oportunidades de mejora o simplemente la detección de fallas dentro de dicho sistema. Para lo cual se usará un equipo analizador de redes, el cual se describe en el apartado de metodología. Con la información recabada, se pueden trazar patrones de potencia del sistema de alimentación eléctrica de una planta industrial, el porcentaje de carga del transformador principal y sobre todo el comportamiento en cualquier instante del famoso “factor de potencia”, el cual puede generar multas por parte del proveedor de la energía eléctrica. Que, en el caso de la Comisión Federal de Electricidad, este tiene un límite del 90%, y para calcular dicho cargo, usa las fórmulas de la figura 1.

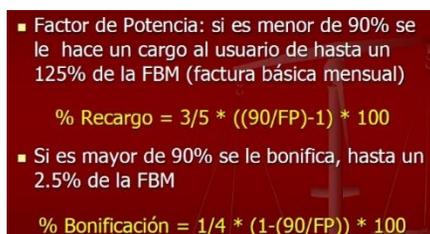


Figura 1 Fórmulas de recargo y bonificación del factor de potencia normalizada por C.F.E

El equipo monitoreado es un transformador de 2MVA, tipo pedestal con voltajes primarios y secundarios de alimentación de 13.2kV -0.480/0.277kV en conexión Delta-Estrella.

Metodología

El equipo por utilizar para este estudio será el analizador de calidad de la energía eléctrica trifásica Power Pad modelo 3945 del fabricante AEMC. El cual cuenta con transformadores de corriente cuyas características básicas son su capacidad de medición de corriente en Amperes. Y pueden ser de tipo flexible o de tipo gancho teniendo un rango de 5 a 3000 Amperes. Así mismo tiene puntas de prueba para voltaje con capacidad de 15 a 960 volts. Con esto se permite hacer configuraciones para poder monitorear sistemas en delta a tres hilos o sistemas estrella a cuatro hilos.

Otra capacidad básica del equipo es que permite programar los tiempos de monitoreo, desde varios segundos hasta días, semanas o meses de funcionamiento una vez instalado en el devanado secundario del transformador.

El primer paso es la medición de variables eléctricas conectando el equipo analizador de la energía eléctrica al devanado secundario del transformador y programándolo para grabar datos de corriente, potencia, factor de potencia cada minuto durante 24 horas.

El segundo paso, es descargar la información grabada por el equipo y hacer el análisis de los datos comenzando con el perfil de consumo de corriente eléctrica, luego el de las potencias para luego seguir con el factor de potencia, la energía consumida, el comportamiento del voltaje de línea, la tendencia del factor K del transformador y la carga máxima del transformador basado en el valor de dicho factor.

Finalmente, en base al análisis de los datos, hacer una propuesta.

Resultados

Con fecha de 29 de junio de 2009 se procedió a monitorear por un tiempo aproximado de 24 horas un transformador de 2MVA, perteneciente a una planta industrial.

De acuerdo a la figura 2, donde se presenta la tendencia de corriente en amperes, el usuario puede verificar en pantalla el valor del amperaje en cualquier hora desde las 3:10pm del 29 de junio hasta las 3:04pm del 30 de junio del año en cuestión.

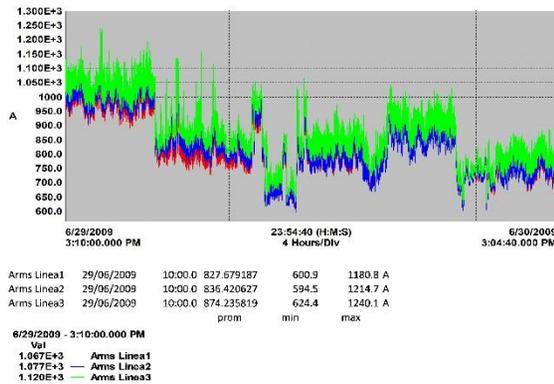


Figura 2 Comportamiento de la corriente en función del tiempo en secundario del transformador de 2MVA

Se tiene aquí un dato muy importante para poder observar el comportamiento del sistema y saber el desbalanceo de fase que fue calculado en el diseño eléctrico preliminar de la planta industrial. Este dato es importante ya que al tener programado un estudio de termografía se debe tomar la lectura en el tiempo donde se observa el mayor incremento en la demanda de energía eléctrica.

El segundo parámetro en observación son las potencias principales del sistema, que son:

- Potencia real [kW]
- Potencia reactiva [kVAR]
- Potencia aparente [kVA]

Los datos anteriores según la figura 3 auxiliará para saber la demanda máxima consumida y tener un valor comparable con el recibo mensual que presenta la Comisión Federal de Electricidad, recordando que el sistema se encuentra bajo una tarifa horaria en media tensión de consumo de energía eléctrica. Aquí la máxima demanda que se registró es de 814.4 kW representando un 45.2% de la capacidad del transformador.

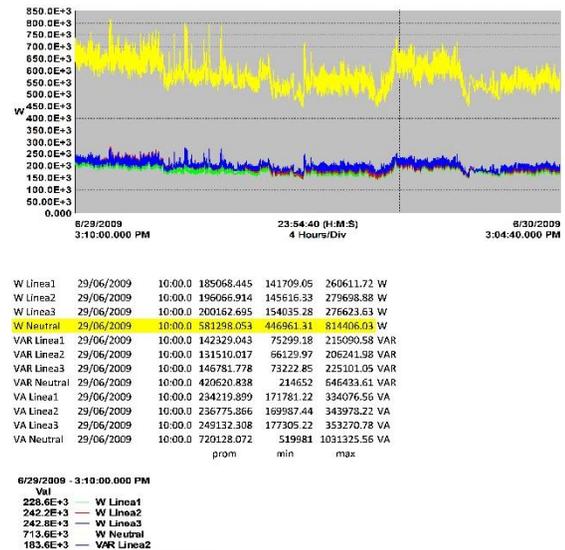


Figura 3 Tendencia de potencias en el secundario del transformador de 2MVA

En la figura 4 se está representando el comportamiento del sistema en cuanto al factor de potencia, que debe ser revisado por la empresa de suministro de energía eléctrica teniendo el usuario que mantenerlo mayor del 90%

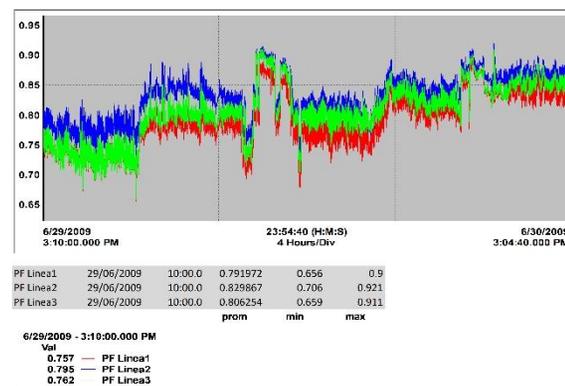


Figura 4 Tendencia del factor de potencia en el alimentador principal

Se observa en la figura 4 que el factor de potencia promedio es de:

- Fase 1 = 0.79
- Fase 2 = 0.82
- Fase 3 = 0.80

Aquí se deberán tomar medidas para la corrección correspondiente del bajo factor de potencia de acuerdo con las diferentes técnicas de compensación de energía reactiva. Se mencionarán a continuación los efectos en un sistema eléctrico industrial cuando se tiene un bajo factor de potencia:

- Se utiliza más combustible para generar la energía eléctrica en las plantas de generación de CFE.
- Los equipos eléctricos son más grandes, por lo tanto, más costosos, como interruptores, transformadores, cables, tuberías, tableros, etcétera.
- Se incrementa las pérdidas por I^2R , por concepto de pérdidas por calor en la instalación eléctrica.
- Se paga multa a la compañía suministradora.

Para obtener el factor de potencia real durante las 24 horas de monitoreo se requiere realizar un cálculo muy sencillo que se muestra en la figura 5.

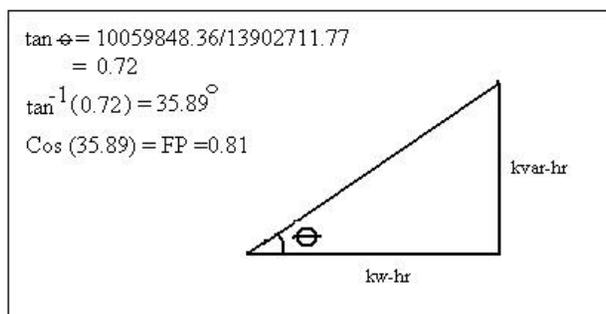


Figura 5 Cálculo del factor de potencia real

De acuerdo con los datos obtenidos de la gráfica de la figura 6 (energía consumida), los datos necesarios serán los siguientes:

13,902.71kWh
10,059.84kVARh

Por lo que se encuentra por debajo del 90%, de acuerdo con las fórmulas de CFE en la figura uno.

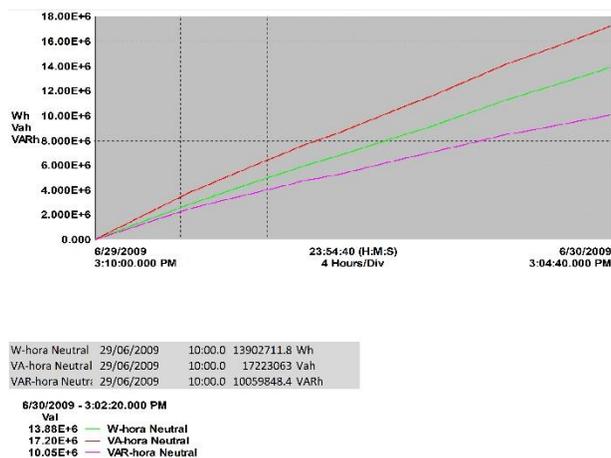


Figura 6 Energía consumida en kWh, kVAh, kVARh

La tendencia observada en la figura 7 describe la variación del voltaje de línea en el transformador de 2MVA, por lo que se deberá poner atención en no tener un desbalanceo cercano al 5%, (IEEE Std 141-1993, Red Book, Cap. 3), ya que se afectarían equipos eléctricos como los motores de inducción (ver figura 8).

Por lo general, según el espectro, el voltaje se reduce al nominal al inicio de cada jornada de trabajo. Por lo que es importante conocer en cualquier instante de tiempo la fluctuación de esta principal variable.

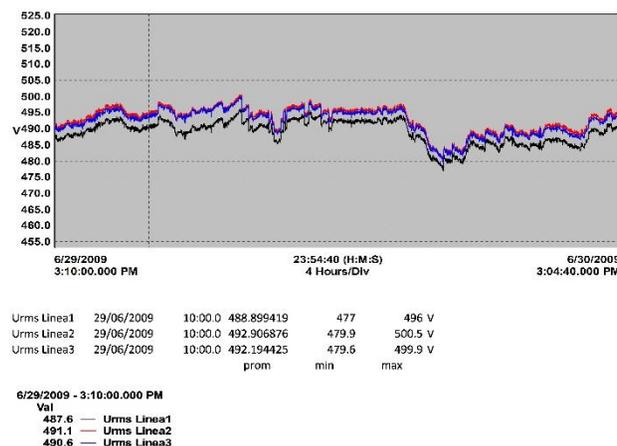


Figura 7 Tendencia del voltaje de línea (480V) en el secundario del transformador

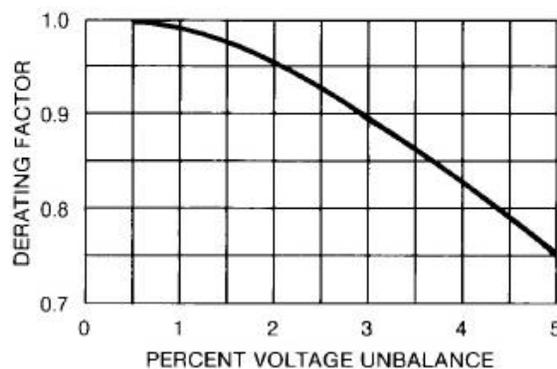


Figura 8 Factor de reducción de potencia por desbalance de voltaje en motores de inducción trifásicos
Fuente: IEEE Std. 141-1993, Red Book

Por último, se tiene el factor K, esta variable indica la máxima carga que soporta un transformador en función del factor K, el cual aumenta con el incremento de las corrientes armónicas inyectadas al sistema eléctrico. Para comprender mejor su comportamiento se puede observar la curva representada en la figura 9, en donde a modo de ejemplo, la gráfica muestra que, si el valor de K es 15, entonces la máxima corriente que soporta un transformador es 0.6 veces la nominal.

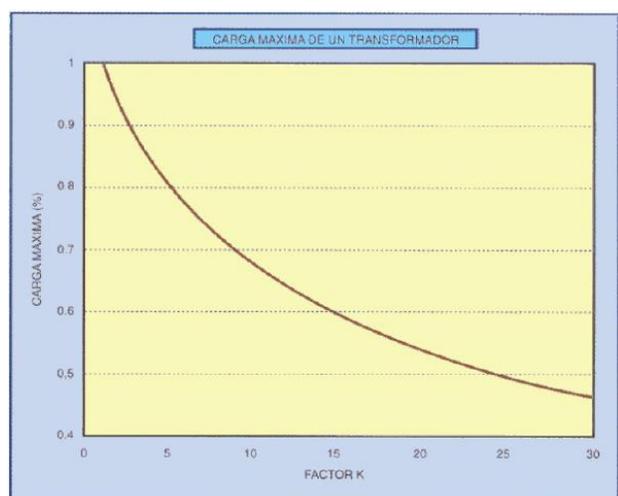


Figura 9 Carga máxima de un transformador en función del factor K

En el caso del transformador monitoreado (figura 10), se indica un factor K aproximado de uno, por lo que se puede trabajar arriba del 98% de la capacidad sin que el transformador tenga aumento de temperatura.

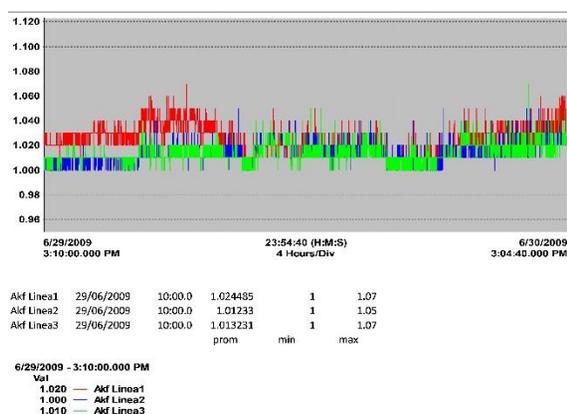


Figura 10 Tendencia del factor K en el transformador de 2MVA

Conclusión

Con las mediciones anteriormente descritas se conoce con más detalle la operación del transformador de 2MVA, y se puede saber cuál es el horario donde la demanda máxima llega al punto más alto durante el día laboral, por lo cual se recomienda programar en un futuro un estudio de termografía en esos horarios con la finalidad de detectar puntos calientes y, por ende, posibles riesgos de seguridad.

Se corroboró que el factor de potencia atrasado se encuentra por debajo de los límites permitidos por la CFE, por lo tanto, se recomienda realizar un estudio más detallado por tableros eléctricos para la compensación de energía reactiva.

Con los datos de desbalance de corrientes se encontró una oportunidad de mejora para poder balancear las cargas monofásicas en los tableros secundarios y disminuir el desbalanceo de cargas eléctricas, además de conocer el desbalanceo de voltajes para tomar acciones preventivas y evitar el daño en los equipos eléctricos.

Con el dato obtenido de $K=1$, prácticamente está mostrando la habilidad total del transformador para manejar las cargas de corrientes no lineales sin calentamiento anormal.

Referencias

Ávila, M. S. S., Carrillo, J. A. T., Rocha, F. N., García, G. E., de Ávila Armenta, E., López, V. C.,... & Gutiérrez, A. L. H. (2019). Análisis para el Procesamiento y Control de un Ventilador Industrial.

Chico, A. J. A., Galarza, J. O., Monar, C. C., & Rendón, E. J. (2019). Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo para un interruptor de media tensión utilizando LabVIEW. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*.

Francisco Rey Sacristán (1976), *Manual de mantenimiento de máquinas y equipos eléctricos*, Ediciones CEAC, S.A.

IEEE Recommended practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, ISBN 1-55937-333-4, 1994, "Red book, IEEE".

Mark W. Earley, P.E. (2005), *National Electrical Code Handbook, Tenth Edition*, NFPA.

Navarro Chávez, J. C. L., Ortega, D., Odette, V., & Díaz Pulido, A. (2019). La Eficiencia del Sector Eléctrico en México 2008-2015. *Análisis económico*, 34(85), 71-94

Paul Gill (2009), *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing*, CRC Press LLC.

Prof. Mack Grady (2007), *Fundamentals of Electric Power Systems*, Dept. of Electrical & Computer Engineering, University of Texas at Austin.

Roger C. Dugan, Mark F., McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty (2004), 2nd. Edition "Electrical Power Systems Quality. Ed. McGraw-Hill.

Ropero, L. N., García, P. I. A. P., & Díaz, M. J. L. (2019). Diseño y Construcción de un Sistema Domótico Controlado por el PLC Logo V8! E InTouch Design And Construction Of a Domotic System Controlled By The Logo Plc V8! E InTouch.

The Electrical Engineering Handbook (2000), CRC Press LLC.

Villanueva, P., & Francisco, J. (2019). Evaluación del comportamiento de voltajes y corrientes armónicas para la mejora del control en un alimentador de media tensión-casa de concesionaria de un sistema de distribución.

Análisis teórico de una chimenea solar con tres canales de flujo de aire

Theoretical analysis of a solar chimney with three air flow channels

TLATELPA-BECERRO, Ángel^{1,2,†*}, RICO-MARTÍNEZ, Ramiro³, URQUIZA-BELTRÁN, Gustavo⁴ y REYNOSO-JARDÓN, Elva Lilia⁵

¹ Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla, UAEM.

² Universidad Politécnica de Atlautla, UPA.

³ Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UAEM.

⁴ Instituto Tecnológico de Celaya, TECNM.

⁵ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UACJ.

ID 1^{er} Autor: Angel, Tlatelpa-Becerro / ORC ID: 0000-0002-4891-4405, CVU CONACYT ID: 264442

ID 2^{do} Coautor: Ramiro, Rico-Martínez/ ORC ID: 0000-0001-7033-7432, CVU CONACYT ID: 12424

ID 3^{do} Coautor: Gustavo, Urquiza-Beltrán / CVU CONACYT ID: 5222

ID 4^{to} Coautor: Elva Lilia, Reynoso-Jardón / ORC ID: 0000-0002-0729-2822, CVU CONACYT ID: 264446

DOI: 10.35429/JTO.2019.12.3.13.19

Recibido 26 de Octubre, 2019, Aceptado, 02 de Diciembre, 2019

Resumen

Se propone una configuración de chimenea solar, que consiste en tres canales de flujo de aire divididos por dos placas metálicas, colocadas al centro de la chimenea entre dos cubiertas acrílicas, conduciendo al flujo de aire simétrico, como una alternativa para el diseño de sistemas de ventilación natural en edificios para zonas climáticas tropicales y subtropicales. Las dimensiones de chimenea solar son 2.0 m de altura, 1.0 m de ancho, y el hueco entre canales de 0.30 m. Estas dimensiones son apropiadas para el diseño de sistemas de ventilación natural para viviendas residenciales en el centro de México. Una simulación numérica aplicando balances globales de masa y energía en estado estacionario fue utilizada para evaluar la eficiencia de la configuración propuesta. Los perfiles de temperaturas, calculados para un día típico caluroso en una región tropical, revelan que la configuración es más eficiente que la configuración de un solo canal, alcanzando valores de eficiencia térmica cercanos al 75 %. La configuración de la chimenea solar propuesta puede ser utilizada con mejores resultados que el diseño tradicional de un solo canal como alternativa de ventilación natural para viviendas residenciales sin un incremento sensible en la inversión de la residencia.

Chimenea solar, Ventilación natural, Energía solar

Abstract

A solar chimney configuration consisting of three air flow channels divided by two metallic plate, placed in the center of the chimney between two acrylic covers, leading to symmetric air flow, is proposed as an alternative for the design of natural ventilation systems for buildings in tropical and subtropical climatic zones. The solar chimney dimensions are 2.0 m height, 1.0 m width, and gap between channels of 0.30 m. These dimensions are appropriate for the design of ventilation systems for residential buildings in central México. A Numerical simulation using the global mass and energy balances in steady state was utilized to evaluate the efficacy of the proposed configuration. The temperature profiles, calculated for a typical hot day in a tropical region, reveal that the configuration is more efficient than the single channel chimney, achieving thermal efficiency values near 75%. This solar chimney configuration can be used with better results than the traditional design as an alternative for natural ventilation systems in residential buildings without a significant increase in the cost of the residence investment.

Solar chimney, Natural ventilation, Solar energy

Citación: TLATELPA-BECERRO, Ángel, RICO-MARTÍNEZ, Ramiro, URQUIZA-BELTRÁN, Gustavo y REYNOSO-JARDÓN, Elva Lilia. Análisis teórico de una chimenea solar con tres canales de flujo de aire. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2019 3-12: 13-19

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: angel.tlatelpa@uaem.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Hoy en día, la ventilación natural se considera un de los requerimientos en el diseño de edificios para un consumo eficiente de energía. La ventilación natural es un sistema de acondicionamiento pasivo utilizado para la comodidad y el bienestar humano. Este sistema se caracteriza por ser independiente del suministro de energía convencional. De esta manera, su contribución para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero está ganando importancia. El desafío es buscar diseños y alternativas para reducir el consumo de energía convencional. El uso de fuentes de energía renovable, por ejemplo, como la energía solar a través de diferentes sistemas de ventilación pasiva para los edificios es una de las vías para enfrentar este desafío (Awbi, 2003).

Algunos estudios han sido explorados durante los últimos 25 años, entre ellos (Bansal et al., 1993) han analizado una habitación acoplada a un colector solar con propósitos de ventilación, logrando una buena variación de condiciones de enfriamiento para la habitación. (Ong, 2003 y Hirunlab et al., 1999) propusieron el uso de la metodología de balances globales para análisis similares. (Lee and Strand, 2009) determinaron el impacto energético de una chimenea solar a través de simulación numérica con datos para condiciones climatológicas y flujos máxicos diferentes. Desde estos estudios pioneros, se han utilizado varios modelos y software de simulación para el análisis de los sistemas de ventilación natural. Por ejemplo, (Imran et al., 2015) estudiaron el efecto de la incidencia de la radiación solar directa sobre una chimenea solar inclinada; (Ghalamchi et al., 2015) uso la simulación en busca de una configuración óptima. Otros autores han abordado la geometría y la configuración para mejorar la eficiencia de los sistemas (Sandeep et al., 2014; Gholamalizadeh and Kim, 2016; Zhongting et al., 2018, Saifi et al., 2012; Karima et al., 2012). Sin embargo, todavía faltan directrices claras para el diseño eficiente y la selección de chimeneas solares.

En esta contribución, se desarrolla un modelo matemático para una chimenea solar con tres canales de flujo de aire en flujo unidimensional. La eficiencia térmica del sistema se examina bajo diferentes condiciones de irradiancia solar, temperatura y velocidad del aire.

Los datos utilizados corresponden para un horario de 10:00 a 17:00 hrs, estos fueron registrados para un día despejado del 3 de junio de 2010 en Tlaquiltenango Morelos, México. Con latitud y longitud de 18.370001° LN y -99.029999 LW, respectivamente.

Modelo Físico

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de la chimenea solar, ubicada en la parte más soleada del edificio. En la figura 2 se muestra la sección transversal de la chimenea solar. Los elementos principales de la configuración son dos placas metálicas (1 y 2) colocadas en el centro entre dos cubiertas acrílicas que forman simétricamente tres canales de flujo de aire (C_1 , C_2 y C_3). Las placas metálicas están pintadas en negro mate, para la absorción de radiación solar durante el día. La placa debe colocarse de tal manera que reciba radiación solar en una de sus caras (cara este) hasta el mediodía; después del mediodía se recibe radiación solar en la otra cara (cara oeste), para aprovechar la máxima captación de radiación solar durante el día. Las dimensiones de la chimenea solar son: $d_1 = d_2 = d_3 = 0.30m$ espacio entre cada canal de aire, $L = 2.0 m$ alto de la chimenea, ver Fig. 3.

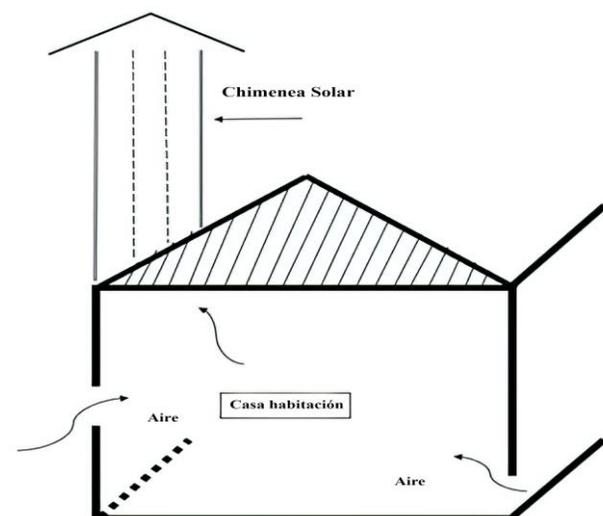


Figura 1 Diagrama esquemático de la chimenea solar
Fuente: Elaboración Propia

Las cubiertas acrílicas se utilizan para disminuir las pérdidas por convección e irradiación. Se consideran transparentes, y de 4 mm de espesor. La cubierta acrílica absorbe, transmite y refleja la radiación solar incidente. Las placas metálicas absorben la mayor parte de la energía solar incidente, donde la energía restante sufre otros procesos de transferencia de calor: radiación, convección y conducción, como se muestra en la Figura 3.

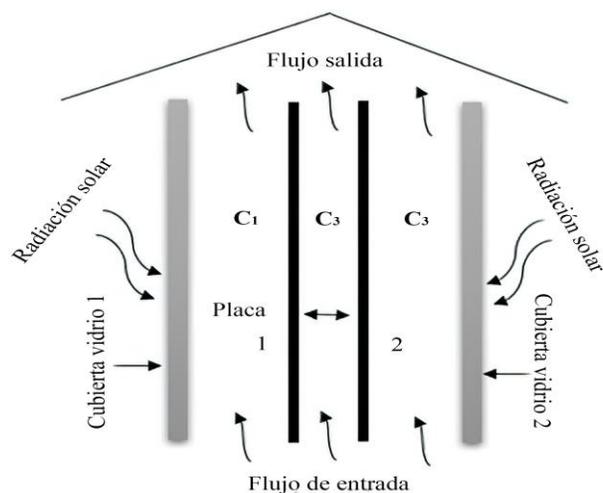


Figura 2 Sección transversal de la chimenea solar
Fuente: Elaboración Propia

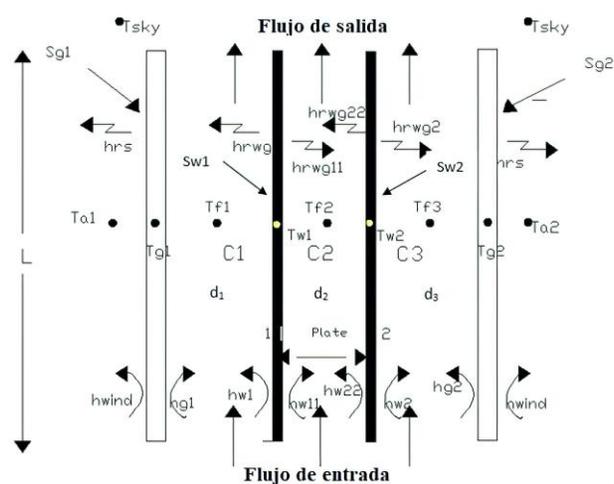


Figura 3 Modelo Físico
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3, S_{g1} y S_{g2} representan la irradiancia solar.

Modelo Matemático

La metodología de balances globales se aplica para estudiar esta configuración, y está descrita por (Ong, 2003). Se consideran las siguientes suposiciones:

- Estado estable. No hay variaciones de tiempo.
- Todos los procesos de transferencia de energía a través de la cubierta acrílica, la placa absorbente y el canal de aire son unidimensionales.
- Las placas metálicas y las cubiertas acrílicas son paralelas y orientadas verticalmente.
- La temperatura de entrada del aire en el canal de flujo es igual a la temperatura ambiente.

- Las pérdidas por fricción en el colector son despreciables debido a la muy baja velocidad de flujo.
- Todas las propiedades termofísicas se consideran constantes y se evalúan a una temperatura promedio.

La Figura 4 muestra una red térmica análoga a los circuitos resistivos para los componentes de la chimenea solar.

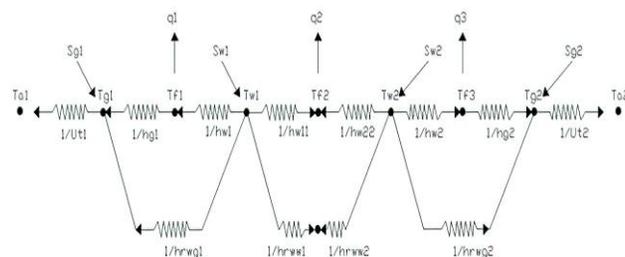


Figura 4 Red térmica de la chimenea solar.
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta las suposiciones anteriores y la red térmica que se muestra en la Figura 4, y siguiendo la primera ley de la Termodinámica, la ecuación de conservación de energía se puede escribir como (Yunus y Michael, 2015), ecuación (1):

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{st} \tag{1}$$

Las ecuaciones de balance de energía se expresan directamente en forma de matriz dado el sistema de 7 ecuaciones algebraicas, y se expresan en la ecuación (2):

$$\begin{bmatrix} U_{t1}T_{a1} + S_{g1} \\ M_1T_{f1,i} \\ S_{w1} \\ M_2T_{f2,i} \\ S_{w2} \\ M_3T_{f3,i} \\ U_{t2}T_{a2} + S_{g2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{g1} \\ T_{f1} \\ T_{w1} \\ T_{f2} \\ T_{w2} \\ T_{f3} \\ T_{g2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{t1} + h_{rwg1} + h_{g1} & -h_{g1} & & & & & -h_{rwg1} \\ & -h_{g1} & h_{g1} + h_{w1} + M_1 & & & & -h_{w1} \\ & -h_{rwg1} & -h_{w1} & h_{w1} + h_{w11} + h_{rwg1} + h_{rww1} & & & \\ & 0 & 0 & & & & -h_{w11} \\ & 0 & 0 & & & & -h_{rww2} \\ & 0 & 0 & & & & 0 \\ & 0 & 0 & & & & 0 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Donde la columna $T_{g1}, T_{g2}, T_{w1}, T_{w2}, T_{f1}, T_{f2}, T_{f3}$, es el vector de temperatura desconocido. Incluye las temperaturas de la cubierta acrílica, las temperaturas de las placas metálicas y las temperaturas del aire en cada uno de los tres canales, respectivamente. El vector de temperatura se calcula resolviendo el sistema matricial.

La irradiación solar absorbida por la cubierta, en ambos lados, viene dada por la ecuación (3):

$$S_g = \alpha_1 G \quad (3)$$

La irradiación solar transmitida que cubre la placa metálica, en ambos lados, se define mediante la ecuación (4):

$$S_w = \alpha \tau G \quad (4)$$

El coeficiente de pérdida para la parte superior de la chimenea y el coeficiente de transferencia de calor del viento se evalúan mediante las ecuaciones (5) y (6):

$$U_t = h_{wind} + h_{rs} \quad (5)$$

$$h_{wind} = 5.7 + 3.8 V \quad (6)$$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación desde la cubierta acrílica a la bóveda celeste (Duffie y Beckman, 1991) se evalúa mediante la ecuación (7), donde T_s es la temperatura de la bóveda celeste, que se define mediante la ecuación (8).

$$h_{rs} = \frac{\sigma \varepsilon_1 (T_g + T_s)(T_g^2 + T_s^2)(T_g - T_s)}{(T_g + T_a)} \quad (7)$$

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{3/2} \quad (8)$$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la placa absorbente y la cubierta acrílica también se evalúa según (Duffie y Beckman, 1991), como se indica a continuación, la ecuación (9):

$$h_{rwg} = \frac{\sigma (T_g^2 + T_w^2)(T_g + T_w)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1\right)} \quad (9)$$

Los coeficientes de transferencia de calor por convección para la convección natural se determinan después de aplicar la correlación de Nusselt, para flujo laminar, ecuación (10), para flujo turbulento, ecuación (11), con el número de Rayleigh $R_a \leq 10^9$ and $R_a \geq 10^9$, respectivamente. (Incropera and Witt, 2002), ecuación. (10) and (11).

$$Nu = 0.68 + (0.67 Ra^{1/4}) / [1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{4/9} \quad (10)$$

$$Nu = \{0.825 + (0.67 Ra^{1/6}) / [1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{8/27}\}^2 \quad (11)$$

Donde los números de Rayleigh y Prandtl están dados por las ecuaciones (12) y (13):

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu \alpha} \quad (12)$$

$$Pr = \frac{c_f \mu_f}{k_f} \quad (13)$$

Las siguientes correlaciones matemáticas fueron obtenidas para las propiedades termofísicas y que fueron calculadas usando la temperatura promedio del fluido (Incropera y Witt, 2002):

Viscosidad dinámica, ecuación. (14):

$$\mu_f = [2.2078 [T_f^{0.7756}]] \times 10^{-7} \quad (14)$$

Densidad, ecuación. (15):

$$\rho_f = -0.0021 [T_f] + 1.7511 \quad (15)$$

Conductividad térmica, ecuación. (16):

$$k_f = [0.1723 [T_f^{0.8812}]] \times 10^{-3} \quad (16)$$

Calor específico, ecuación. (17):

$$C_f = [0.9125 [T_f^{0.0174}]] \times 10^3 \quad (17)$$

El coeficiente de expansión volumétrico se define mediante la ecuación (18) y se evalúa a una temperatura media utilizando la ecuación (19) y M mediante la ecuación (20).

$$\beta_f = \frac{1}{T_m} \quad (18)$$

$$T_m = \frac{T_g + T_w}{2} \quad (19)$$

$$M = \frac{\dot{m} C_f}{W \Delta x y} \quad (20)$$

El flujo másico se evalúa usando la fórmula sugerida por (Bansal et al., 2005), ecuación. (21).

$$\dot{m} = C_d \frac{\rho_{air,o} A_o}{\sqrt{1+A_r^2}} \sqrt{\frac{2gL(T_{f,i}-T_r)}{T_r}} \quad (21)$$

Donde la relación de aspecto se define mediante la ecuación (22):

$$A_r = \frac{A_o}{A_i} \quad (22)$$

La eficiencia térmica se determina utilizando la siguiente ecuación (23):

$$\eta = \frac{\dot{m}c_f(T_{f,o}-T_{f,i})}{W \cdot L \cdot G} \times 100 \quad (23)$$

Este modelo matemático está dispuesto en forma matricial y codificado en FORTRAN. Se utiliza un algoritmo iterativo para predecir los valores de la cubierta, T_g , placa absorbente, T_w , las temperaturas del fluido del aire, T_f y el caudal másico de aire, \dot{m} . Los valores de las propiedades ópticas de los materiales se muestran en la Tabla 1.

Material	Emisividad	Absortividad	Transmisividad
Cubierta acrílica	0.83	0.06	0.84
Cubierta acrílica	0.83	0.06	0.84
Pintura negra	0.91	0.95	0
Pintura negra	0.91	0.95	0

Tabla 1 Propiedades ópticas de los materiales
Fuente: Modest, 2003; Mills, 1999

Resultados y discusiones

Los datos meteorológicos utilizados para este estudio se obtienen en la Estación Meteorológica ubicada en la ciudad de Tlaquiltenango, estado de Morelos, México, a 18°37 " msnm. Los datos fueron registrados para un día claro correspondiente al 3 de junio de 2010.

La Figura 5 muestra la radiación solar (global, difusa y directa) y la velocidad del aire, mientras que en la Figura 6 se puede observar la irradiación solar máxima para ambas orientaciones, este y oeste, así como la temperatura del aire. Estos datos, se registran durante las 24 horas del día.

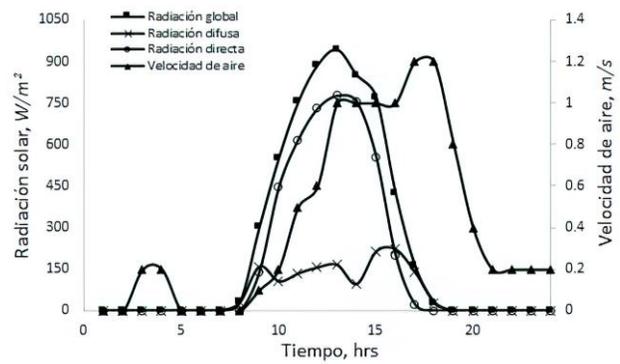


Figura 5 Radiación solar y velocidad del aire para 24 hrs del día

Fuente: Elaboración Propia

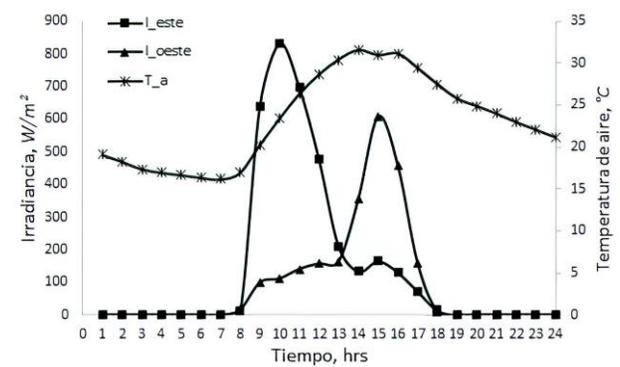


Figura 6 Irradiación solar y temperatura del aire para 24 hrs del día

Fuente: Elaboración Propia

Datos registrados de irradiación solar, temperatura y velocidad del aire de 10:00 a 17:00 hrs. del día se utilizan para ejecutar las simulaciones y predecir los flujos másicos y las eficiencias.

Las curvas de la temperatura de las cubiertas acrílicas, la temperatura de las placas metálicas y la temperatura del aire se representan en función de la irradiación solar, como se muestra en la Figura 7.

Todas las temperaturas promedio aumentan con respecto a la irradiación solar observada.

Las temperaturas medias más altas obtenidas corresponden a las placas metálicas, Figura 7, b). Además, en la Figura 7, a), b) y c) se puede observar que todas las temperaturas promedio de los elementos de la chimenea solar presentan un punto de inflexión a las 13:00 h, debido a la baja irradiación solar registrada (186 $\frac{W}{m^2}$).

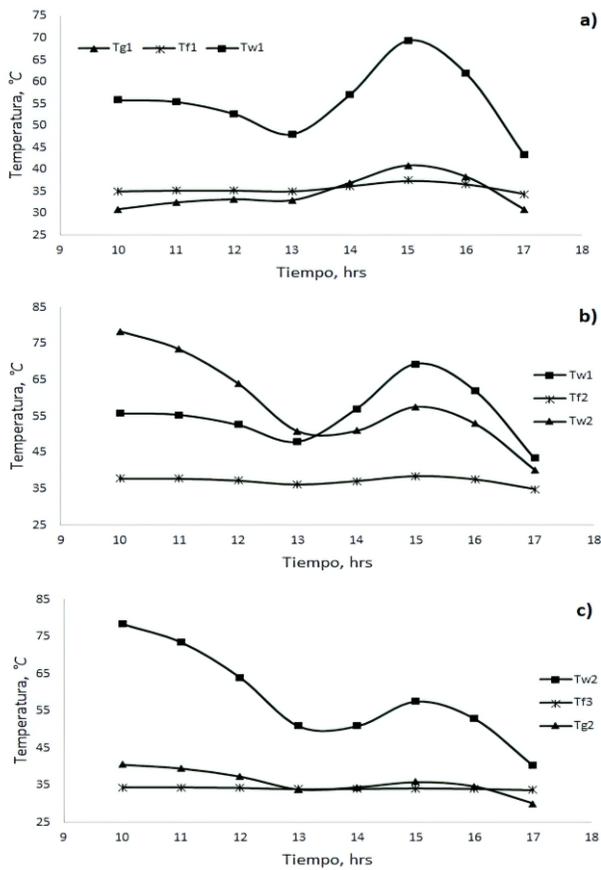


Figura 7 Temperaturas promedio vs tiempo. a) canal 1, b) canal 2 y c) canal 3. Se utiliza la relación de área de $A_0 / A_i = 1.0$ y el coeficiente de descarga de $C_d = 0.52$
Fuente: *Elaboración Propia*

La eficiencia térmica promedio y el caudal másico que sale de la chimenea solar en función de la radiación solar incidente se presenta en la Figura 8. Como se puede ver, el caudal másico alcanza su valor máximo a las 10:00 y a las 15:00 horas. Mismo comportamiento que el previsto para la eficiencia térmica.

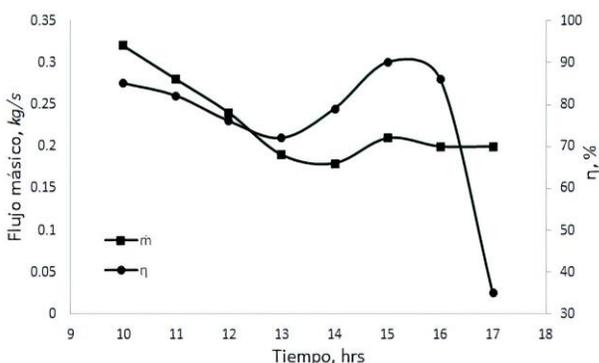


Figura 8 Caudal másico promedio (\dot{m}) y eficiencia térmica (η). Se utilizaron la tasa de área de $A_0/A_i = 1.0$ y el coeficiente de descarga de $C_d = 0.52$
Fuente: *Elaboración Propia*

Conclusiones

Se ha desarrollado un modelo matemático de una chimenea solar con tres canales de flujo de aire unidimensionales. Los resultados mostraron que las temperaturas de las placas metálicas (T_{w1}, T_{w2}), las temperaturas del fluido del air (T_{f1}, T_{f2}, T_{f3}), y las temperaturas de las cubiertas acrílicas (T_{g1}, T_{g2}) incrementan con la radiación solar.

El flujo máximo promedio y la eficiencia térmica se predijeron en $0.23 \frac{kg}{s}$ y 75 %, respectivamente, considerando la variación de la irradiación solar durante el día. Esta configuración exhibe un rendimiento mucho mejor que las chimeneas de un solo canal.

La configuración parece ser una alternativa viable para el diseño de sistemas de ventilación natural para reducir el consumo de energía convencional en edificios y puede aplicarse también a edificios industriales.

Para futuras investigaciones, es recomendable realizar un estudio paramétrico realizando cambios de dimensiones en la longitud, profundidad y entre el canal de hueco de la chimenea, para obtener los rendimientos de cada configuración, para propuestas de construcción experimental. Así mismo, realizar una simulación numérica en 3D con el uso de software ANSYS Fluent de la chimenea solar con acoplamiento a una casa habitación de características reales.

Referencias

Awbi H.B. (2003). Ventilation of building. London: Spon press.

Bansal N.K., Mathur R., and Bhandari M.S. (1993). Solar chimney for enhanced stack ventilation. Building and environment, 28, 373-377.

Ong K.S. (2003). A mathematical model of a solar chimney. Renewable energy, 28, 1047-1060.

Hirunlabh J., Kongduang W., Namprakai P., and Khedari J. (1999). Study of natural ventilation of houses by a metallic solar wall under tropical climate. Renewable energy, 18, 109-119.

- Lee, K.H. and Strand, R.K. (2009). Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney. *Solar energy*, 41, 615-621.
- Imran A. A., Jalil J. M., and Ahmed S. T. (2015). Induced flow for ventilation and cooling by a solar chimney. *Renewable energy*, 78, 236-244.
- Ghulamchi M., Kasaeian A., and Ghulamchi M. (2015). Experimental study of geometrical and climate effects on the performance of a small solar chimney. *Renewable and sustainable energy reviews*, 43, 425-431.
- Sandeep K. P., Deepak P., and Ahmed M. R. (2014). Computational studies on the effect of geometric parameters on the performance of a solar chimney power plant. *Energy conversion and management*, 77, 424-431.
- Gholamalizadeh E., and Kim M. H. (2016). CFD (computational fluid dynamics) analysis of a solar-chimney power plant with inclined collector roof. *Energy*, 107, 661-667.
- Zhongting H., Bingqing L., Wei H., Dengyun H., Jie J., and Jinwei M. (2018). Performance study of a dual-function roof solar collector for chinese traditional buildings application. *Applied thermal engineering*, 128, 179-188.
- Saifi N., Settou N., Dokkara B., Negrou B., and Chennouf N. (2012). Experimental study and simulation of airflow in solar chimneys. *Energy procedia*, 18, 1289-1298.
- Karima E. A., and Saif W. M. (2012). Experimental and numerical studies of solar chimney for natural ventilation in iraq. *Energy and buildings*, 47, 450-457.
- Yunus A.C. and Michael A.B. (2015). *Thermodynamics*. Mexico: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Duffie J.A., and Beckman, W.A. (1991). *Solar engineering of thermal processes*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Incropera F.P., and De WITT D. P. (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. U.S.A: John Wiley & Son.
- Bansal N.K., Mathur J., Mathur S., and Jain M. (2005). Modeling of window-sized solar chimneys for ventilation. *Building and Environment*, 40 (10), 1302-1308.
- Modest M.F. (2003). *Radiative Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- Mills A. F. (1999). *Heat Transfer*. U.S.A: Prentice Hall.

Análisis de capas PML en una región de campo electromagnético utilizando el Método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo

Analysis of PML layers in an electromagnetic field region using the Finite Differences in the Time Domain Method

CRUZ-ORDUÑA, Maria Ines†*, MORALES-MENDOZA, Luis Javier, CORTEZ-DOMINGUEZ, Cristobal y LAGUNA-CAMACHO, Juan Rodrigo

Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Región Poza Rica – Tuxpan

ID 1^{er} Autor: Maria Ines, Cruz-Orduña / ORC ID: 0000-0002-8771-0771, CVU CONACYT ID: 347038

ID 1^{er} Coautor: Luis Javier, Morales-Mendoza / ORC ID: 0000-0002-8580-2752, CVU CONACYT ID: 39020

ID 2^o Coautor: Cristóbal, Cortez-Domínguez / ORC ID: 0000-0002-5720-4405, CVU CONACYT ID: 972957

ID 3er Coautor: Juan Rodrigo, Laguna-Camacho / ORC ID: 0000-0003-0974-5204, CVU CONACYT ID: 100845

DOI: 10.35429/JTO.2019.12.3.20.26

Recibido 04 de Octubre, 2019, Aceptado, 27 de Noviembre, 2019

Resumen

El método de Diferencias Finitas en el Dominio del tiempo (FDTD) actualmente es uno de los métodos de electromagnetismo más utilizados en la simulación de campo electromagnético, sin embargo, para poder obtener resultados confiables de esta simulación es necesario contar con las condiciones de frontera óptimas. Las Capas Perfectamente Acopladas (PML) se caracteriza por la descomposición del campo transversal a la dirección de propagación en sus proyecciones rectangulares, y el empleo de conductividad tanto eléctrica como magnética en las capas numéricas para la absorción de los campos electromagnéticos. Las capas PML se caracterizan mediante valores de permitividad, permeabilidad y conductividad que se asignan a cada una de las ecuaciones según su posición en la región. Debido a que se trata del mismo conjunto de ecuaciones no hay necesidad de utilizar condiciones de conexión en la unión de la región de análisis con la región de absorción PML, lo que proporciona una transición natural en toda la región. En el trabajo se presenta el estudio de la diferencia entre la región de cálculo con capas PML y sin ellas.

FDTD, PML, Electromagnetismo

Abstract

The Finite Difference in Time Domain (FDTD) method is currently one of the most used electromagnetism methods in electromagnetic field simulation, however, in order to obtain reliable results from this simulation it is necessary to have optimal boundary conditions. Perfectly Coupled Layers (PML) is characterized by the decomposition of the transversal field to the direction of propagation in its rectangular projections, and the use of both electrical and magnetic conductivity in the numerical layers for the absorption of electromagnetic fields. The PML layers are characterized by values of permittivity, permeability and conductivity that are assigned to each of the equations according to their position in the region. Because it is the same set of equations there is no need to use connection conditions at the junction of the analysis region with the PML absorption region, which provides a natural transition throughout the region. This paper presents the study of the difference between the calculation region with and without PML layers.

FDTD, PML, Electromagnetism

Citación: CRUZ-ORDUÑA, Maria Ines, MORALES-MENDOZA, Luis Javier, CORTEZ-DOMINGUEZ, Cristobal y LAGUNA-CAMACHO, Juan Rodrigo. Análisis de capas PML en una región de campo electromagnético utilizando el Método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2019 3-12: 20-26

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: inesorduna@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En los últimos años, se ha desarrollado la implementación del método de diferencias finitas en el dominio del tiempo para distintos modelados electromagnéticos, el método de diferencias finitas centrales en el dominio del tiempo es particularmente útil para problemas de propagación de ondas en dominios rectangulares. Su conveniencia sobre otras definiciones tiene que ver con su implementación computacional y sus expresiones matemáticas. Este trabajo es indispensable para poder realizar los análisis de forma correcta y sin reflexiones dentro de la región de cálculo, debido a que estas reflexiones generan interferencia con la propagación que se está generando continuamente.

Método de diferencias finitas en el dominio del tiempo

El método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo se basa en los principios del cálculo, donde existe una función $f(x)$ continua en un intervalo finito, el cual puede ser particionado en una sucesión de puntos discretos, su derivada puede ser aproximada numéricamente mediante el promedio de su variación ante un pequeño incremento dentro de un intervalo de longitud $2\Delta x$. (ecuación 1).

La figura 1 muestra la forma gráfica de la ecuación 1, donde la curva en color azul representa la función original, la línea punteada representa la derivada exacta y la línea color rojo representa la aproximación de la derivada mediante diferencias centrales. [Cruz, 2018]

$$f'(x) \approx \frac{f(x + \Delta x) - f(x - \Delta x)}{2\Delta x} \tag{1}$$

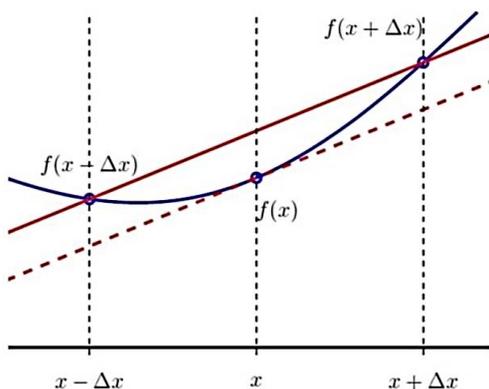


Figura 1 Aproximación de la derivada mediante diferencia central
Fuente: María Inés Cruz Orduña, 2018

En las siguientes figuras se muestra en forma de ejemplos las gráficas de las aproximaciones con una función trigonométrica (figura 2) y función exponencial (figura 3), así como el código de Matlab que se empleó para obtenerlo.

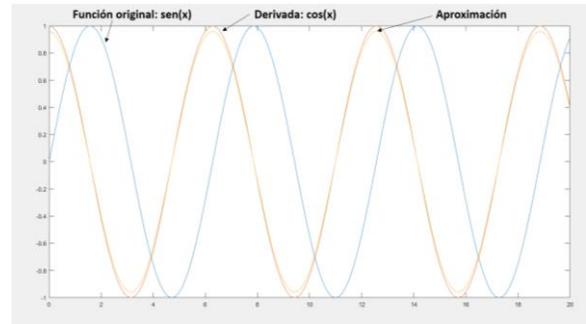


Figura 2 Ejemplo de la aproximación central con la función seno
Fuente: Elaboración Propia

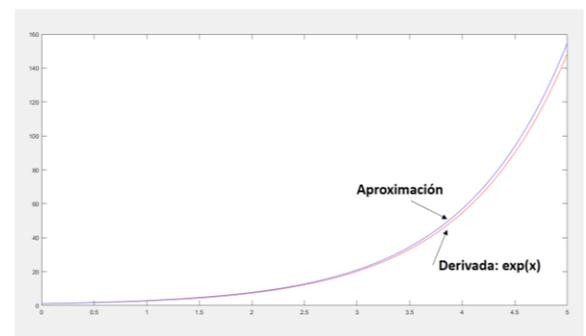


Figura 3 Ejemplo de la aproximación central con la función exponencial

Para poder implementar el algoritmo se debe describir la ecuación de onda, la cual se puede definir con la ecuación 2, donde $u(x, t)$ es la función con dependencia de espacio y tiempo y c la velocidad de la luz.

$$\nabla^2 u(x, t) = c^2 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} \tag{2}$$

Para definir numéricamente la función solución se realizan dos suposiciones, una es que la función existe y la segunda es que tiene n -ésima derivada continua en un intervalo finito $I = (x_i - \Delta x_i, x_i + \Delta x_i)$. Para desarrollar esta ecuación, utilizamos la expansión de Taylor (ecuación 3) en ambos lados a un tiempo constante t_n .

$$\begin{aligned} u(x_i + \Delta x_i, t_n) &= u(x_i, t_n) + \Delta x \frac{\partial u}{\partial x}(x_i, t_n) + \frac{(\Delta x)^2}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x_i, t_n) \\ &+ \frac{(\Delta x)^3}{6} \frac{\partial^3 u}{\partial x^3}(x_i, t_n) + \frac{(\Delta x)^4}{24} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4}(x_i, t_n) \\ &+ O(\Delta x^5) \end{aligned} \tag{3}$$

Después de ello, es necesario sumar y ordenar las expresiones para despejar el término espacial de segundo orden, tal como se muestra en la ecuación 4. [Benavides, 2012]

$$\frac{\partial^2 u(x_i, t_n)}{\partial x^2} = \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{\Delta x^2} + O(\Delta x^3) \quad (4)$$

La notación de subíndices y superíndices utilizados en la ecuación anterior, es la forma tradicional de escribir una ecuación en Diferencias Finitas, sabiendo que $u_i^n = u(x_i, t_n)$, donde se define el valor de la función u en el punto discreto X_i al instante t_n . Si se desarrolla la expansión temporal para la variable t igual que el realizado en las derivadas espaciales se obtiene la siguiente ecuación.

$$\frac{\partial^2 u(x_i, t_n)}{\partial t^2} = \frac{u_i^{n+1} - 2u_i^n + u_i^{n-1}}{\Delta t^2} + O(\Delta t^2) \quad (5)$$

Discretización de las Ecuaciones de Maxwell con modo de propagación transversal magnético

Las Ecuaciones de Maxwell representan las leyes de la Electricidad y el Magnetismo, éstas pueden predecir la existencia de ondas electromagnéticas (patrones de recorrido de campos eléctricos y magnéticos), las cuales viajan con una rapidez $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8$ m/s, la rapidez de la luz. Además, la teoría muestra que dichas ondas son radiadas por cargas aceleradas.

Por simplicidad se presentan las ecuaciones de Maxwell como se aplican en el espacio libre, es decir, en ausencia de cualquier material dieléctrico o magnético. Las cuatro Ecuaciones son las mencionadas de la ecuación 6 a 9.

$$\oint_s E \cdot dA = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (6)$$

$$\oint_s B \cdot dA = 0 \quad (7)$$

$$\oint E \cdot ds = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (8)$$

$$\oint B \cdot ds = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (9)$$

Donde la ecuación 6 se refiere a la Ley de Gauss para campo Eléctrico, y la cuál describe que, el flujo eléctrico total a través de cualquier superficie cerrada es igual a la carga neta dentro de esa superficie dividida por ϵ_0 ; la ecuación 7 es la Ley de Gauss para campo Magnético y establece que el flujo magnético neto a través de una superficie cerrada es cero; la ecuación 8 es la Ley de Faraday, ésta describe la creación de un campo eléctrico por un flujo magnético variable y por último, la ecuación 9, es la Ley de Ampere (también conocida como Ley de Ampere-Maxwell) la cuál describe la creación de campo magnético a partir de campos y corrientes eléctricas.

Sin embargo, estas mismas ecuaciones, se pueden transformar para el caso en el que se analiza una región de cálculo sin fuentes de corriente eléctrica ni magnética, pero que puedan hallarse materiales que absorban energía de campos eléctricos y magnéticos. Las ecuaciones, por lo tanto, se convierten a la forma de las ecuaciones 10 a 13.

$$\nabla \cdot \vec{D} = 0 \quad (10)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \vec{B} = -\nabla \times \vec{E} - \vec{M} \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \vec{D} = \nabla \times \vec{H} - \vec{J} \quad (13)$$

Donde, \vec{E} representa la intensidad de campo eléctrico (volts/metro), \vec{D} a la densidad de flujo eléctrico (coulomb/metro²), \vec{H} la intensidad de campo magnético (amperes/metro), \vec{B} la densidad de flujo magnético (webers/metro²), \vec{J} la densidad de corriente eléctrica (amperes/metro), \vec{M} es la densidad de corriente magnética equivalente (volts/metro).

Una vez establecidas las consideraciones anteriores, se obtienen las ecuaciones rotacionales de Maxwell para medios lineales, isotrópicos y no dispersivos con pérdidas. La descomposición de estas ecuaciones en sus componentes vectoriales, en este caso cartesianos, forman la base para la construcción del algoritmo FDTD y de las condiciones de absorción de frontera PML que se muestran en las ecuaciones 14 y 15. [Calderón, 2015]

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{E} - \frac{1}{\mu} (\vec{M}_{fuente} + \sigma^* \vec{H}) \quad (14)$$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \nabla \times \vec{H} - \frac{1}{\varepsilon} (\vec{J}_{fuente} + \sigma \vec{E}) \quad (15)$$

Se puede notar que para el algoritmo FDTD no se muestran la Ley de Gauss para campo eléctrico ni para campo magnético; esto se debe a que estas relaciones son una consecuencia teórica directa de las ecuaciones rotacionales. Para este propósito las celdas espaciales FDTD deben estar estructuradas de tal manera que las relaciones de la Ley de Gauss se encuentren implícitas en las posiciones de los componentes vectoriales \vec{E} y \vec{H} y en las derivadas espaciales numéricas sobre estos componentes que modelan la acción del operador rotacional.

Para realizar el modelado de la región del algoritmo, se emplea la celda de Yee, en esta celda las componentes \vec{E} y \vec{H} están centrados en el espacio de tal manera que cada componente \vec{H} está rodeado por cuatro componentes de \vec{E} circulantes, tal como lo muestra la figura 4.

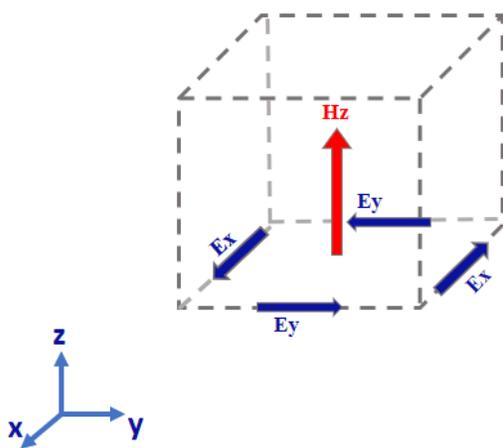


Figura 4 Celda de Yee
Fuente: Elaboración Propia

De forma continua, la celda de Yee se puede replicar varias veces dentro de la región de cálculo para formar un mallado en el cual se pueda analizar el comportamiento electromagnético en cada una de las celdas o de forma conjunta. En la figura 5 se muestra un ejemplo del mallado de la región de cálculo.

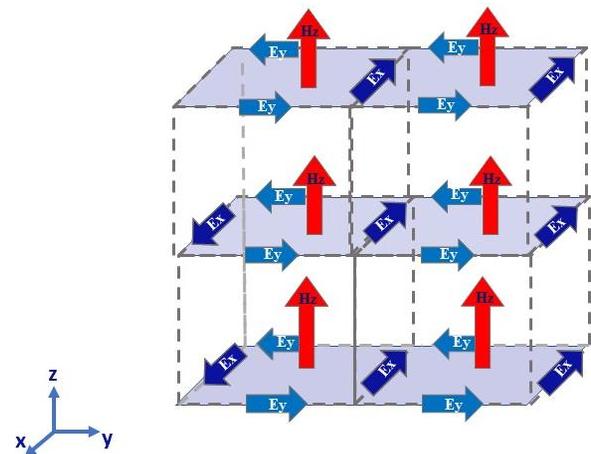


Figura 5 Mallado de las celdas de Yee para formar la región de cálculo
Fuente: Elaboración Propia

Aplicando los conceptos vistos en el apartado introductorio del método de diferencias finitas en el dominio del tiempo se puede obtener una formulación en diferencia finita central de las ecuaciones rotacionales de Maxwell (ecuaciones 14 y 15).

Apoyándose en la figura 5, se realiza la sustitución de las ecuaciones diferenciales centrales por las derivadas espacio-temporal evaluadas en el punto central de la tabla 1.

Para la ecuación: $\varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \nabla \times \vec{H} - \sigma \vec{E} - \vec{J}_{source}$	
Componente	Punto central de evaluación
$\varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} = \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) - \sigma E_x - \vec{J}_{source_x}$	$F^n_{(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2})}$
$\varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t} = \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) - \sigma E_y - \vec{J}_{source_y}$	$F^n_{(i-\frac{1}{2},j+1,k+\frac{1}{2})}$
$\varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} = \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) - \sigma E_z - \vec{J}_{source_z}$	$F^n_{(i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k+1)}$
Para la ecuación: $\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\nabla \times \vec{E} - \sigma^* \vec{H} - \vec{M}_{source}$	
Componente	Punto central de evaluación
$\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} = \left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \right) - \sigma^* H_x - \vec{M}_{source_x}$	$F^{n+\frac{1}{2}}_{(i-\frac{1}{2},j+1,k+1)}$
$\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) - \sigma^* H_y - \vec{M}_{source_y}$	$F^{n+\frac{1}{2}}_{(i,j+\frac{1}{2},k+1)}$
$\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} = \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) - \sigma^* H_z - \vec{M}_{source_z}$	$F^{n+\frac{1}{2}}_{(i,j+1,k+\frac{1}{2})}$

Tabla 1 Punto central de evaluación en diferencia finita central
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la tabla 2 se muestra la gráfica de la posición de cada punto central para las componentes de la tabla 1, cabe mencionar que esta representación gráfica es simplemente para ubicar el contexto espacial de los puntos centrales en el espacio.

Para la ecuación: $\epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \nabla \times \vec{H} - \sigma \vec{E} - \vec{J}_{source}$	
Componente	Punto central de evaluación
$\epsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} = \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) - \sigma E_x - \vec{J}_{source_x}$	
$\epsilon \frac{\partial E_y}{\partial t} = \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) - \sigma E_y - \vec{J}_{source_y}$	
$\epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} = \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) - \sigma E_z - \vec{J}_{source_z}$	

Para la ecuación: $\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\nabla \times \vec{E} - \sigma^* \vec{H} - \vec{M}_{source}$	
Componente	Punto central de evaluación
$\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} = \left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \right) - \sigma^* H_x - \vec{M}_{source_x}$	
$\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) - \sigma^* H_y - \vec{M}_{source_y}$	
$\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} = \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) - \sigma^* H_z - \vec{M}_{source_z}$	

Tabla 2 Gráfica del punto central de las ecuaciones

De la misma forma, para la representación temporal se aplica el mismo método con el punto central temporal indicado en la tabla 1. Esto se representa a continuación en las figuras 6 y 7.

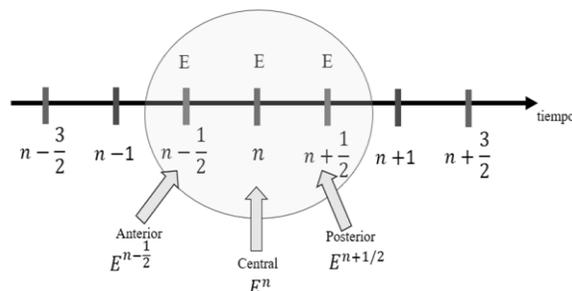


Figura 6 Referencia de la diferencia central temporal para el campo eléctrico

Fuente: Elaboración Propia

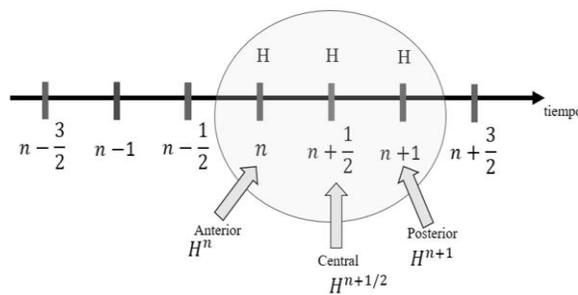


Figura 7 Referencia de la diferencia central temporal para el campo magnético

Fuente: Elaboración Propia

A partir de estas aproximaciones, se puede encontrar un sistema de ecuaciones en diferencia finita central, donde un nuevo valor de campo electromagnético en cualquier punto de la malla depende únicamente de su valor previo, los valores previos de las componentes de campo en los puntos adyacentes y de las fuentes y consumos de corriente eléctrica y magnética conocidas.

A continuación, en la ecuación 16 se muestra a manera de ejemplo, la ecuación por diferencias finitas de la componente Ex.

$$E_x \left|_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{\left(1 - \frac{\sigma_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}} \Delta t}{2\epsilon_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}}\right)}{\left(1 + \frac{\sigma_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}} \Delta t}{2\epsilon_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}}\right)} E_x \left|_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}^{n-\frac{1}{2}} + \frac{\Delta t}{\left(1 + \frac{\sigma_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}} \Delta t}{2\epsilon_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}}\right)} \left(\frac{H_z \left|_{i,j+1,k+\frac{1}{2}}^n - H_z \left|_{i,j,k+\frac{1}{2}}^n \right. - H_y \left|_{i,j+\frac{1}{2},k+1}^n - H_z \left|_{i,j+\frac{1}{2},k}^n \right. \right)}{\Delta y} - \frac{H_y \left|_{i,j+\frac{1}{2},k+1}^n - H_z \left|_{i,j+\frac{1}{2},k}^n \right. \right)}{\Delta z} \right. \quad (16)$$

Condición de frontera de absorción PML

Actualmente se han desarrollado varias técnicas para implementar condiciones de frontera absorbentes en el método FDTD, la condición de frontera de absorción de Capas Perfectamente Acopladas (PML, por sus siglas en inglés) se caracteriza por la descomposición del campo transversal a la dirección de propagación en sus proyecciones rectangulares, y el empleo de conductividad tanto eléctrica como magnética en las capas numéricas para la absorción de los campos electromagnéticos. [Benavides, 2012]

En general las técnicas de condiciones de frontera absorbentes son empleadas según la naturaleza del problema y el nivel de precisión que se desea. El autor de la referencia 1 realiza un análisis comparativo de estas técnicas e incluso, propone un conjunto de ecuaciones reducidas para la condición de frontera de absorción PML. Comenta que las ecuaciones PML pueden reducirse a tres tipos de medios: conductor, espacio libre y absorbente²

Se propone utilizar ecuaciones divididas en la región FDTD para representar 3 medios distintos (C. Calderón, et. al):

- Un medio sin pérdidas especificando que $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 0$ y $\sigma_x^* = \sigma_y^* = \sigma_z^* = 0$,
- Un medio eléctricamente conductor si $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \sigma$ y $\sigma_x^* = \sigma_y^* = \sigma_z^* = 0$,
- Un medio absorbente PML si se hace que $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \sigma$ y $\sigma_x^* = \sigma_y^* = \sigma_z^* = \sigma^*$.

El esquema de implementación de la condición de frontera de absorción de capa perfectamente acoplada propuesta por el autor se muestra en la figura 2.9.

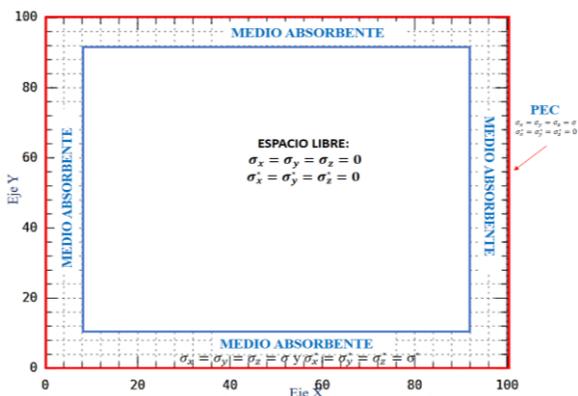


Figura 9 Esquema de implementación de la condición de frontera de absorción en una malla FDTD bidimensional
Fuente: Elaboración Propia

Como resultado se obtiene el siguiente conjunto de cuatro ecuaciones (ecuaciones 17 a 20) que describen el comportamiento de los campos electromagnéticos. [Benavides, 2012]

$$\mu \frac{\partial}{\partial t} H_{zy} + \sigma_y^* H_{zy} = \frac{\partial}{\partial y} E_x \tag{17}$$

$$\mu \frac{\partial}{\partial t} H_{zx} + \sigma_x^* H_{zx} = -\frac{\partial}{\partial x} E_y \tag{18}$$

$$\varepsilon \frac{\partial}{\partial t} E_x + \sigma_y^* E_x = \frac{\partial}{\partial y} (H_{zx} + H_{zy}) \tag{19}$$

$$\varepsilon \frac{\partial}{\partial t} E_y + \sigma_x^* E_y = -\frac{\partial}{\partial x} (H_{zx} + H_{zy}) \tag{20}$$

Cabe hacer notar que el tipo de medio se asigna de manera predeterminada asignando valores de conductividad eléctrica y magnética equivalente, permitividad y permeabilidad a cada una de las ecuaciones según su posición en la región. Debido a que se trata del mismo conjunto de ecuaciones no hay necesidad de utilizar condiciones de conexión en la interfase de la región de análisis con la región de absorción PML, lo que proporciona una transición natural en la interfase.

Resultados

A continuación, en la tabla número 3 se muestra una comparación del comportamiento del campo electromagnético dentro de la región de cálculo sin las condiciones de frontera de absorción y con ella. Se observa en forma comparativa, las dos simulaciones comienzan perfectamente iguales, sin embargo, en la tercera gráfica de ambos casos se ve que llega a la periferia de la región de cálculo, casillas ocupadas en la región de cálculo para las capas de absorción perfectamente acopladas, recordando que son 24 filas en cada uno de los bordes de la región de cálculo.

En las gráficas de la cuarta posición (1350 iteraciones) se logra ver de forma clara y precisa el instante en el que llega la onda a la periferia de la región de cálculo, hasta esta iteración, las capas PML aún no han realizado la absorción de la onda incidente. A partir de ésta iteración, se muestra el efecto que tienen las capas PML dentro de la región de cálculo, pues mientras que en la gráfica sin PML ha reflejado por completo toda la onda electromagnética, generando interferencia en la región de cálculo en la región que tiene implementado las capas PML la ha absorbido prácticamente por completo.

De tal manera que en la última comparación de las gráficas (2350 iteraciones) se logra observar el impacto que han tenido las capas PML en la región mostrada en la gráfica de la derecha, mientras que en la gráfica de la izquierda, la reflexión de la onda incidente generó interferencia con la onda reflejada generando así complejidad en la medición de los parámetros en la región de cálculo. [Cruz, 2018]

Conclusiones

Se logra diseñar e implementar el Método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo (FDTD) de forma correcta en la región de cálculo, empleando las técnicas para definir e implementar la región de capas perfectamente acopladas (PML). En las gráficas mostradas en el apartado de resultado, se logra apreciar la importancia de estas capas en la región de cálculo, pues sin estas regiones sería difícil definir con claridad los parámetros encontrados en la región debido a la interferencia que se genera entre la onda incidente y la onda reflejada por el perímetro de la región sin capas PML.

Referencias

Calderón Ramón, C. M. (2015). Análisis y modelado electromagnético de un arreglo circular de antenas con cuerpos opacos discretizados en su interior, utilizando el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo. (1, Trad.) Ciudad de México: Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 5 de Agosto de 2019

Cruz Orduña, M. I. (2018). Desarrollo de un sistema computacional para el modelado de tejido maligno utilizando el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (Vol. 1). Ciudad de México, México: Tesis doctoral del Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 5 de Agosto de 2019

Cruz, A. M. (2012). Análisis y modelado de la interacción de campo electromagnético con estructuras nanométricas utilizando técnicas de electromagnetismo computacional (Vol. 1). (A.

M. Benavides Cruz, Ed.) Ciudad de México, México: Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 5 de Agosto de 2019

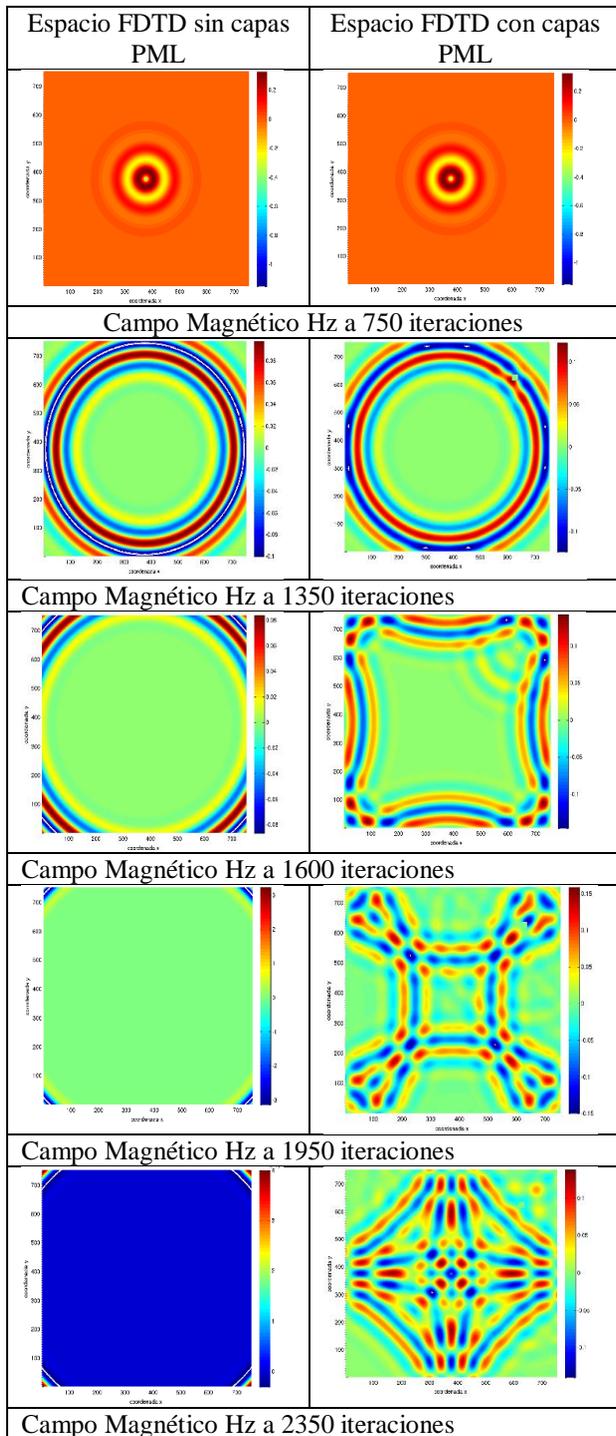


Tabla 3 Comparación de la implementación de capas PML, Fuente: Elaboración Propia

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1^{er} Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2^{do} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2^{do} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Operaciones Tecnológicas. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]

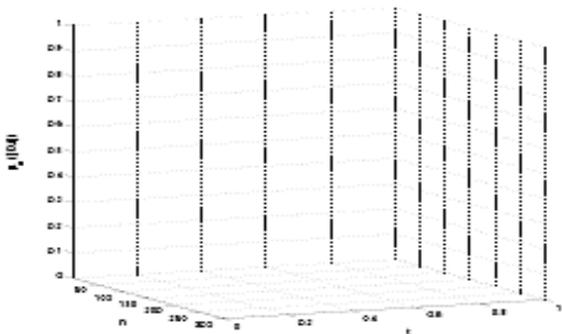


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

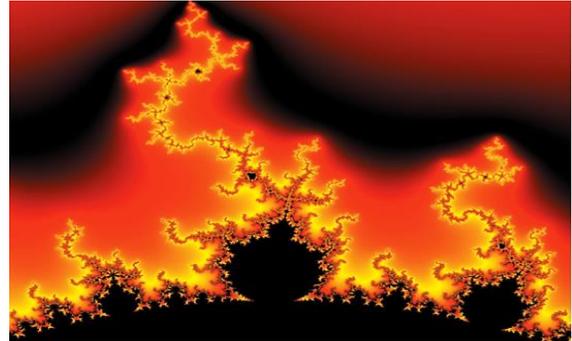


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

Reserva a la Política Editorial

Revista de Operaciones Tecnológicas se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Operaciones Tecnológicas emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-México, S.C en su Holding Taiwan para su Revista de Operaciones Tecnológicas, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN® Taiwan), sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán

Revista de Operaciones Tecnológicas

“Modelado Matemático de un Controlador PID de Ganancia Variable dependiente del Punto de Consigna en la Salida de un PID Convencional”

GARCÍA-CORTÉS, Julio Zenón, CARRILLO-GARCÍA, Francisco Javier, TAMAYO-LOEZA, Erick del Jesus y MAY-CEN, Ivan de Jesus

Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Norte

Instituto Tecnológico Superior Progreso

“Análisis de un sistema eléctrico industrial o comercial”

GONZÁLEZ-ARAGÓN-BARRERA, Enrique, MARQUEZ-CASTILLO, Juan Bautista y ROLÓN-SALAZAR, José Trinidad

Universidad Tecnológica de Tijuana

“Análisis teórico de una chimenea solar con tres canales de flujo de aire”

TLATELPA-BECERRO, Ángel, RICO-MARTÍNEZ, Ramiro, URQUIZA-BELTRÁN, Gustavo y REYNOSO-JARDÓN, Elva Lilia

Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla, UAEM.

Universidad Politécnica de Atlautla, UPA.

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UAEM.

Instituto Tecnológico de Celaya, TECNM.

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UACJ.

“Análisis de capas PML en una región de campo electromagnético utilizando el Método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo”

CRUZ-ORDUÑA, Maria Ines, MORALES-MENDOZA, Luis Javier, CORTEZ-DOMINGUEZ, Cristobal y LAGUNA-CAMACHO, Juan Rodrigo

Universidad Veracruzana

