Científica

ISSN 1665-0654

Precio $70.00 ▪ Volumen 18 Número 4 ▪ edición trimestral: octubre-diciembre 2014 ▪ *Científica: The Mexican Journal of Electromechanical Engineering* ▪ México ▪ ISSN 1665-0654

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
«La Técnica al Servicio de la Patria»

Instituto Politécnico Nacional
México
Escuela Superior de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica
Sección de Estudios de
Posgrado e Investigación

Revista Científica
ISSN 1665-0654

volumen 18, número 4,
octubre-diciembre 2014

La Revista Mexicana
de Ingeniería
Electromecánica

The Mexican Journal of
Electromechanical
Engineering

DIRECTORIO

Guillermo
Urriolagoitia
Calderón
Editor en Jefe

Alma Vicenta
Miranda
Godínez
**Coordinación
Editorial**

Cuauhtémoc
Jiménez
Pérez
**Edición
Técnica**

Miguel Ángel
Tenorio
Trejo
**Producción
Editorial**

Margarita
Sam
Rodríguez
Revisión

Contenido

Modelación de sistemas productivos esbeltos con redes de Petri: una metodología sistémica
Lean Production Systems Modelling with Petri Nets: A Systemic Methodology
Alberto **Morales-Varela**, Jorge **Rojas-Ramírez**, Idalia **Flores de la Mota**, Ricardo **Tejeida-Padilla**, Luis Manuel **Hernández-Simón**.
México 117-129

Automatización de una sierra ingletadora para la fabricación de disipadores de calor modelo TUC37644-2
A Miter Saw Automation for Manufacturing Heat Sinks Model TUC37644-2
Ricardo **Regis-Aguilar**
México 131-134

Análisis numérico de esfuerzos térmico-mecánico en la placa bipolar de una celda de combustible tipo PEM
Numerical Analysis of Thermal and Mechanical Stresses on a PEM Fuel Cell's Bipolar Plate
Adolfo **López-Liévano**, Daniel Ramón **López Liévano**.
México 135-139

Material de construcción para hornos de secado de madera
Building Material for Wood Drying Kilns
Edgar **Hernández-Palafox**
México 141-145

Indizada en:

Latindex: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica:
Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.
http://www.dgbiblio.unam.mx/
http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=PER01

Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información Científica Redalyc.
redalyc.org

Comité Editorial

Guillermo Urriolagoitia Calderón
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Alexander Balankin
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jesús del Castillo
Instituto Venezolano de Investigación Científica (VENEZUELA)

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester (REINO UNIDO)

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid (ESPAÑA)

Marco Ceccarelli
University of Cassino (ITALIA)

Héctor Pérez Meana
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jinhui Shao
University of Shuo (JAPÓN)

Editores Asociados

Apolinar Reinoso Hernández
Centro de Investigación y de Estudios Superiores de Ensenada (MÉXICO)

Baltasar Mena Inesta
Universidad Nacional Autónoma de México (MÉXICO)

Édgar Sánchez Sinencio
Texas A&M University College Station (ESTADOS UNIDOS)

Francisco Sánchez Sesma
Universidad Nacional Autónoma de México (MÉXICO)

Garret Sautis
University de Shieffield (REINO UNIDO)

Guillermo Urriolagoitia Sosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Hidilberto Jardón Aguilar
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Israel Sauceda Meza
Universidad de Baja California (MÉXICO)

Joaquín Fernández Valdivia
Universidad de Sevilla (ESPAÑA)

Jorge Sosa Pedroza
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

José de Jesús Álvarez Ramírez
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Luis del Río Correa
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Manuel de la Rosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Juan Alfonso Beltrán Fernández
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Luis Héctor Hernández Gómez
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Luis Niño de Rivera y Oyarzábal
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Mariko Nakano Miyatake
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Manuel A. Duarte Marmoud
Universidad de Chile (CHILE)

Michael Shapiro Fihman
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Miguel Ángel Rodríguez Díaz
Instituto de Física de Cantabria (ESPAÑA)

Miguel Castro Fernández
Centro de Investigación y Pruebas Electromagnéticas de Cuba (CUBA)

Miguel Cruz Irisson
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Pablo Rogelio Hernández Rodríguez
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Patricia Camarena Gallardo
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Rafael Castro Linares
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Régulo López Callejas
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (MÉXICO)

Valery Kontorovich
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Víctor Champac Vilela
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (MÉXICO)

Victor Kravchenko
Moscow Institute of Physics and Technology (FEDERACIÓN RUSA)

Vladislav Kravchenko
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados Querétaro (MÉXICO)

Volodymir Ponomaryov
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

Revista Científica
ISSN 1665-0654

volumen 18, número 4, octubre-diciembre 2014

La Revista Mexicana de Ingeniería Electromecánica

The Mexican Journal of Electromechanical Engineering

Revista **Científica** ESIME, ISSN 1665-0654, **Volumen 18**, **Número 4**, octubre-diciembre de 2014. Revista trimestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Edificio 5, 1er piso, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI-ESIME Zacatenco), Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, México, DF, Tel. 5729 6000 ext. 54518. correo electrónico: revistacientifipn@yahoo.com.mx. Página en Internet: www.cientifica.esimez.ipn.mx. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo. Reserva: 04-2004-053109300500-102, 31-V-06. Certificado de Licitud de Contenido 7611, 10-I-00. Certificado de Licitud de Título 10962,10-I-06. Suscripción anual: $ 400.00 (pesos). Annual fee including airmail charges US $ 50.00 (fifty US Dollar). El contenido de los artículos firmados es responsabilidad del autor. Impresión: Talleres Gráficos de la Dirección de Publicaciones del IPN, Tresguerras 27, Centro Histórico, México, DF. Tiraje 500 ejemplares. Imagen en portada: *Grúa auxiliar diseñada con la finalidad de facilitar el traslado de pacientes con problemas de movilidad dentro de hospitales*, Juan Alfonso Beltrán-Fernández, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación.

EDITORIAL

Científica, en su último trimestre del volumen 18, publica artículos de investigación que cubren las disciplinas que le competen y le invita, además, a consultar los artículos y números completos en línea (desde 2005) en su página electrónica www.cientifica.esimez.ipn.mx.

En la primera investigación que se publica, se plantea la estructura de la ciencia de sistemas aplicada a sistemas productivos. Considerando que la variedad, la interacción, la autoorganización, la comunicación e información, la dinámica y la complejidad son conceptos característicos de sistemas industriales, se presenta un enfoque de investigación capaz de incluir la observación y la acción. Uno de los objetivos que se busca al integrar el pensamiento sistémico en el estudio de sistemas productivos es apoyar el proceso de toma de decisiones y definir procesos de mejora continua. Para lograr esto se propone la metodología de redes de Petri, la cual por su naturaleza permite el desarrollo de modelos formales y tiene la capacidad de modelar sistemas de eventos discretos. Los modelos desarrollados tienen la capacidad de representar fases específicas que el paradigma de producción esbelta sugiere como oportunidades de mejora continua, a través de la eliminación de los desperdicios (muda, en japonés) del proceso productivo, que no aportan valor al producto. Para ejemplificar se presenta un modelo kanban, el cuál a través de su análisis permite describir el comportamiento de un conjunto de fenómenos.

El siguiente trabajo escrito presenta la automatización del proceso de corte con la sierra ingletadora, dentro del proceso de manufactura de disipadores de calor para televisores modelo TUC37644-2. En el documento se encuentran desde la identificación del problema, la justificación y objetivos específicos hasta las metas, a las cuales se llegaron con dicha automatización. También se puede apreciar, dentro del contenido del documento, el plan de trabajo que se siguió para el desarrollo de la automatización de la sierra ingletadora, así mismo encontraremos el marco de referencia con las bases teóricas necesarias para sobrellevar dicho proyecto.

En el tercer artículo, se lleva a cabo la evaluación de los esfuerzos mecánicos y térmicos que se generan en una placa bipolar de una celda tipo PEM de aplicación automotriz. Para tal efecto, se aborda el estudio considerando dos esquemas de carga: 1) expansión térmica y 2) acción conjunta de la presión externa de ensamble y de la expansión térmica. Se toma en cuenta una temperatura máxima de operación de 100°C y que está sometida a una presión externa de ensamble de 544 kPa. Se generó la geometría de la placa bipolar en un programa CAD para posteriormente importarlo al programa de elementos finitos ANSYS, para llevar a cabo la parte más importante del caso de estudio, el análisis estructural de la placa. Esto se realizó con apoyo del elemento solid187, que tiene la capacidad de adoptar el comportamiento mecánico y térmico de la placa bipolar. Se aplicó la teoría de Mohr para el análisis de falla. Para el caso 1, se encontró un esfuerzo principal máximo de 17.8 MPa y para el caso 2, un esfuerzo principal máximo de 18.9 MPa. Representando, respectivamente, el 29.66 % y 31.5 % del esfuerzo último a la tensión de 60 MPa del grafito, validando que no existe riesgo de daño estructural. Sin embargo, se observó que los esfuerzos de mayor intensidad son los generados por la expansión térmica del material.

El estudio de los procesos de transferencia de calor aplicados a los hornos para el secado de madera en la región de la Sierra Norte de Puebla son de suma importancia, ya que permiten controlar el consumo de combustible y obviamente la energía necesaria para el correcto funcionamiento de los hornos. Los materiales que constituyen las paredes de los hornos para el secado de madera juegan un papel muy importante en su diseño, debido a que una correcta selección del material, permite disminuir las pérdidas de energía por transferencia de calor, e incrementa el tiempo de secado de la madera, y el ahorro del combustible que se utiliza para el funcionamiento de los hornos. El objetivo de este trabajo es diseñar pequeños módulos con paredes de igual material a los hornos de secado de madera industriales, para analizar el comportamiento de la transferencia de calor por conducción y determinar que material es más viable para utilizarlo como aislante térmico.

Científica agradece su preferencia y le invita a participar con sus aportaciones en las áreas de la ingeniería que difunde: ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica, ingeniería en telecomunicaciones, ingeniería en sistemas y temas sobre educación en ingeniería.

Científica, vol.18, núm. 4, pp. 117-129, octubre-diciembre 2014.
ISSN 1665-0654, ESIME Instituto Politécnico Nacional MÉXICO

Modelación de sistemas productivos esbeltos con redes de Petri: una metodología sistémica

Alberto **Morales-Varela**[1]
Jorge **Rojas-Ramírez**[1]
Idalia **Flores de la Mota**[2]
Ricardo **Tejeida-Padilla**[3]
Luis Manuel **Hernández-Simón**[1]

Instituto Politécnico Nacional,
[1]Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación,
Edificio 5, 3er piso, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, México, DF.
[3]Escuela Superior de Turismo,
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación,
México, DF.
MÉXICO.

[2]Universidad Nacional Autónoma de México,
Facultad de Ingeniería,
Posgrado en Ingeniería de Sistemas,
Ciudad Universitaria, México DF.
MÉXICO.

Teléfono[1]: (55) 5729-6000 ext. 54805/55736

correo electrónico (email):
am_varela@prodigy.com.mx/jrojasr@ipn.mx
idalia@servidor.unam.mx/rtejeidap@ipn.mx
lmhernan10@hotmail.com

Recibido 12-02-2013, aceptado 28-08-2013.

Resumen

En esta investigación se plantea la estructura de la ciencia de sistemas aplicada a sistemas productivos. Considerando que la variedad, la interacción, la autoorganización, la comunicación e información, la dinámica y la complejidad son conceptos característicos de sistemas industriales, se presenta un enfoque de investigación capaz de incluir la observación y la acción.

Uno de los objetivos que se busca al integrar el pensamiento sistémico en el estudio de sistemas productivos es apoyar el proceso de toma de decisiones y definir procesos de mejora continua. Para lograr esto se propone la metodología de redes de Petri, la cual por su naturaleza permite el desarrollo de modelos formales y tiene la capacidad de modelar sistemas de eventos discretos.

Los modelos desarrollados tienen la capacidad de representar fases específicas que el paradigma de producción esbelta sugiere como oportunidades de mejora continua, a través de la eliminación de los desperdicios (muda, en japonés) del proceso productivo, que no aportan valor al producto. Para ejemplificar se presenta un modelo kanban, el cuál a través de su análisis permite describir el comportamiento de un conjunto de fenómenos.

Palabras clave: modelación, dinámica, eventos discretos, pensamiento sistémico, redes de Petri.

Abstract (Lean Production Systems Modelling with Petri Nets: A Systemic Methodology)

In this research, the structure of systems science applied to production systems is proposed. Considering that the variety, interaction, self-organization, communication and information, the dynamics and complexity are characteristic concepts of industrial systems, a research approach which can include observation and action is proposed. One of the objectives it seeks to integrate systems thinking in the study of production systems is to support the process of decision making and defining continuous improvement processes. To accomplish this, the methodology of Petri nets is proposed, which by its nature allows the development of formal models and has the ability to model discrete event systems.

The developed models are capable of representing specific phases that the lean production paradigm suggests as opportunities for continuous improvement through the elimination of waste (muda in Japanese) of the production process that do not add value to the product. To illustrate, a kanban model is presented, whose analysis allows to describe the behavior of a set of phenomena.

Key words: modelling, dynamics, discrete events, systems thinking, Petri nets.

1. Introducción

Empresas altamente rentables como Toyota y Honda han demostrado a lo largo de los últimos años, que toda ventaja competitiva es temporal y deben someterse a un constante proceso de adaptación por parte de todos los miembros de la red de valor. Ante esto, se ha de considerar a la competitividad como un sistema de complejidad dinámica que resulta de la constante evolución del entorno, en donde las organizaciones están obligadas a consolidar sus competencias a través de enfoques de análisis y una visión sistémica, para comprender las interacciones de los elementos que constituyen los sistemas.

En la realidad, es un hecho que gran número de investigadores, profesores y estudiantes no se preocupan por cuestiones epistemológicas y siguen, por inercia, las formas de investigar e implementar soluciones de otros estudiosos. Esto no es una buena práctica si se considera que la concepción epistemológica de la persona influye sobre el desarrollo de sus análisis. En este sentido, es importante que cada analista conozca la perspectiva epistemológica que adopta para el desarrollo de sus soluciones.

Contrario a la lógica analítica, donde se razona una problemática mediante su división en partes más pequeñas para entender el todo, la lógica sistémica tiene un enfoque de análisis global donde el comportamiento de cada elemento depende de su interacción con el resto. El comportamiento de un sistema en su conjunto es diferente a la suma de sus comportamientos aislados de cada uno de los elementos que lo componen.

Un camino de conocer la realidad es a través de la construcción de modelos, réplicas de la realidad. La metodología sistémica a través del análisis sistémico, como paso previo a la construcción del modelo, permite conocer un sistema y los fenómenos futuros que pueda producir. Cuanto más exacto sea el modelo, con más aproximación lo predecirá.

Para guiar la investigación se emplea la estructura de la ciencia contemporánea de sistemas [1]. Los principales componentes, mutuamente interrelacionados de dicha estructura son:

- El dominio de la ciencia de sistemas.
- El espacio conceptual y el lenguaje de la ciencia de sistemas.
- Las relaciones teóricas dentro de la ciencia de sistemas.
- Los métodos de la ciencia de sistemas.

2. La ciencia de sistemas

La Teoría General de Sistemas (TGS) puede entenderse como una forma ordenada y científica de aproximación y representación del mundo real, y simultáneamente, como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo transdisciplinario; se distingue por su perspectiva integradora, donde se considera importante la interacción y los conjuntos que a partir de ella emergen [2] [3] [4].

La ciencia de sistemas observa totalidades, fenómenos, isomorfismos y causalidades circulares. En consecuencia un sistema es un agregado de entidades, viviente, no viviente o ambas, integradas por un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo, se caracterizan por recibir entradas (datos, energía o materia del ambiente) y proveer salidas (información, energía o materia). Puede pertenecer a un sistema mayor, por lo tanto puede estar formado por subsistemas y partes y, a la vez, puede ser parte de un suprasistema. [5] [6].

En realidad, adoptar un enfoque sistémico es aplicar un procedimiento metodológico que busca, en vez de estudiar separadamente las diferentes partes de un problema, entender de manera global el conjunto de componentes de un sistema, dando especial atención a relaciones e interacciones entre componentes. Se trata también de comprender cómo cada elemento contribuye a la finalidad del sistema, al mismo tiempo que preserva su propia identidad.

Para comprender un sistema industrial es crucial apoyarse en el contexto en el que se ubica. En consecuencia, es obligada la determinación del conjunto de factores con los cuales el problema tiene relación, con el fin de poder mejorar el desempeño global y el de cada uno de los elementos del sistema en estudio.

Es a través de analogías con las características de los sistemas vivos y particularmente con los sistemas vivos complejos, que el enfoque sistémico aplicado a la ingeniería tiene sus mejores resultados [7], ya que éstos presentan las siguientes características: abiertos, relacionales, englobantes, variados y autoorganizados.

Cada ciencia individual debe tener un campo, objeto o dominio de estudio, un conjunto de conceptos definidos por lenguaje especializado, un método propio y una teoría. Asimis-

mo, los objetivos de la ciencia tradicional son clasificar, explicar, predecir e intervenir en el objeto de estudio.

Ante este contexto en la Figura 1 se muestra la estructura de la ciencia de sistemas y su aplicación a sistemas de producción, en esta se identifican de forma general un conjunto de conceptos relevantes, un conjunto de teorías y la metodología que se propone en este artículo, con el objetivo de alcanzar los objetivos planteados.

3. Marco teórico

3.1 Sistema de producción

Un sistema puede ser abierto o cerrado. Los sistemas de producción son sistemas completamente abiertos, importan recursos a través de sus entradas, procesan y transforman esos recursos y exportan el resultado de ese procesamiento y transformación de regreso al ambiente a través de sus salidas. La relación entradas/salidas indica la eficiencia del sistema [8]. Un sistema productivo, al ser un sistema abierto, intercambia elementos e información en un entorno, del cual recibe influencia que condiciona su actividad, comportamiento y resultados (véase Figura 2).

Los parámetros principales de un sistema productivo se definen a continuación:

- Entradas.
- Salidas.
- Procesamiento o transformación.
- Retroalimentación.
- Ambiente.

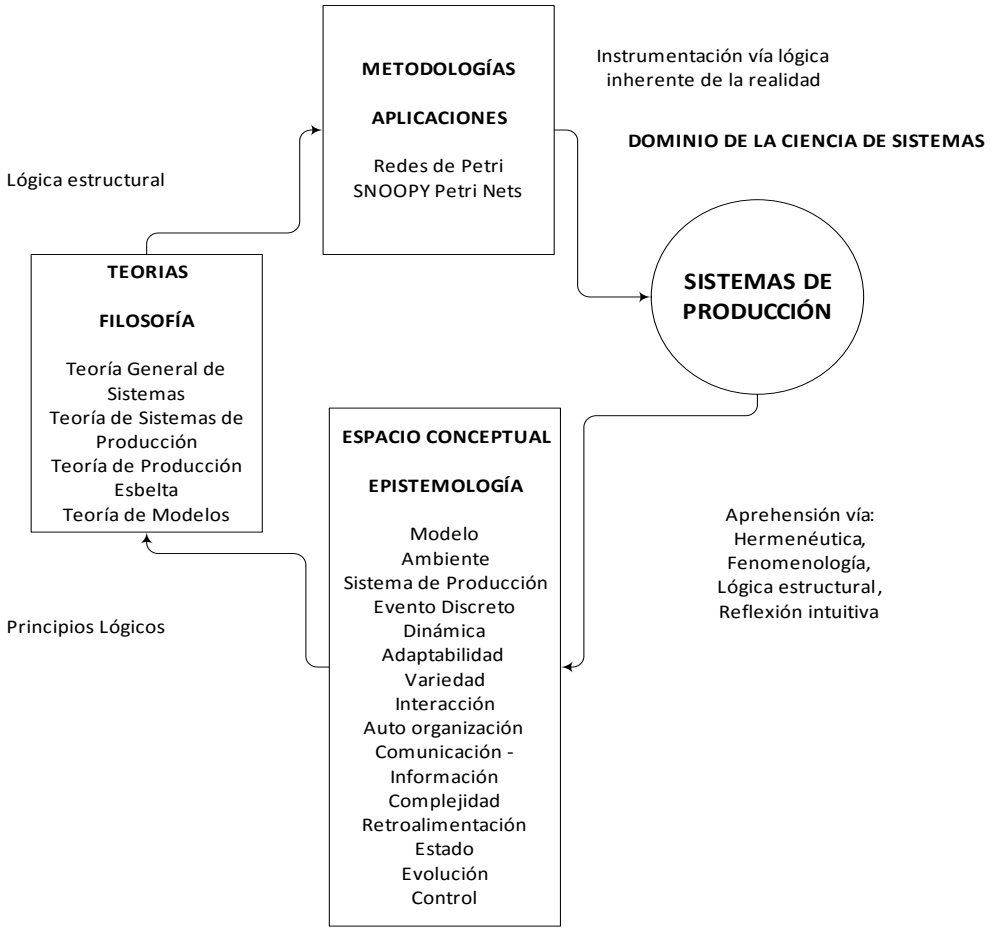

Fig. 1. Aplicación de la estructura de la ciencia de sistema a Sistemas de Producción (Adaptación de [1]).

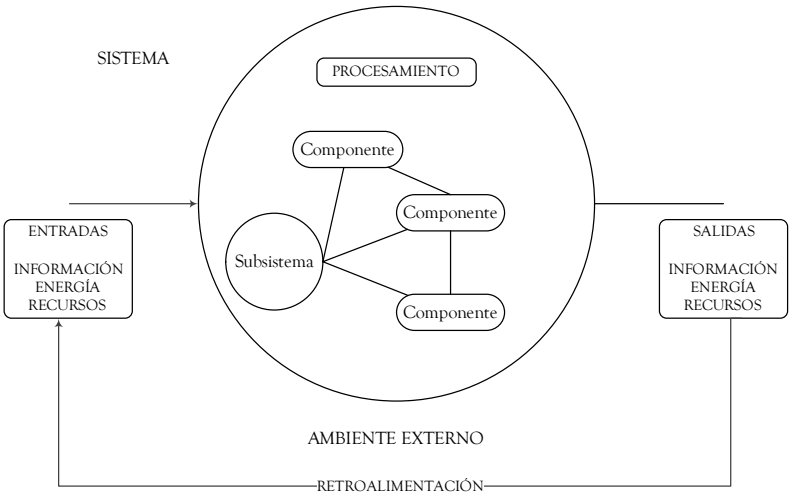

Fig. 2. Estructura de un sistema de producción.

3.2 Teoría de producción esbelta

El paradigma de producción esbelta está basado en su totalidad en el Sistema de Producción de Toyota (TPS), nació en Japón y fue concebido por los grandes gurús, entre ellos: Sakichi Toyoda, Kiichiro Toyoda, Eiji Toyoda, Taiichi Ohno, Shigeo Shingo y W. Edwards Deming [9]. Desde entonces, el TPS no ha dejado de evolucionar y de mejorar. En 1990 James P. Womack, Daniel T. Jones y Daniel Roos, del Massachusetts Institute of Technology (MIT) analizaron la evolución de los sistemas de gestión de producción, en particular, lo que sucedió durante los últimos 50 años del siglo veinte en la industria automotriz mundial, y a través de esto definieron un conjunto de principios y conceptualizaron el paradigma de producción esbelta [10].

La producción esbelta es un paradigma que tiene como base un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio, entendida como desperdicio toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero sí costo y trabajo. Establece una filosofía de gestión enfocada a la creación de valor, para poder entregar el máximo valor para los clientes, utilizando para ello los mínimos recursos necesarios.

Esta eliminación sistemática se lleva a cabo mediante trabajo con equipos de personas bien organizados y capacitados [11]. La creación de valor se focaliza en la reducción de los siete tipos de desperdicios en productos manufacturados eliminando el desperdicio, mejorando la calidad y se reduciendo el tiempo de producción y el costo [12].

Toyota ha identificado siete tipos de desperdicios, que no agregan valor al proceso de manufactura. Éstos son: sobreproducción, inventarios, rechazos, movimientos, transportes o procesamientos innecesarios y esperas. Adicionalmente, se considera un octavo tipo: el desperdicio del talento humano [13] [14].

En la Tabla 1 se resumen los métodos, herramientas y técnicas que se proponen en la teoría de Producción Esbelta, con el objetivo de eliminar los desperdicios mencionados [15].

Es importante destacar que no todas las metodologías, técnicas y herramientas utilizadas en pro-

Tabla 1. Metodologías, herramientas y técnicas en producción esbelta.

Herramientas básicas	Kaizen VSM (Value Stream Mapping) 5 S´s Andon
Herramientas para mejorar la efectividad	TPM (Total Productive Maintenance) Manufactura Celular SMED
Herramientas para mejorar la calidad	Herramientas de Calidad (Herramientas Estadísticas) Soifuku Poka Yoke Jidoka 8 D´s Six Sigma
Herramientas para el control de materiales y producción	Kanban Heijunka Takt Time Shojinka

ducción esbelta tendrán el mismo éxito al ser implantadas; dependerá en gran medida de diferentes factores como pueden ser factores sociales, económicos, culturales, políticos, tipo de industria y en forma muy particular en cómo se estudie, analice e implemente el paradigma [16].

3.3 Modelación de eventos discretos

Los modelos de eventos discretos son modelos dinámicos, estocásticos y discretos en los que las variables de estado cambian de valor en instantes no periódicos del tiempo. Estos instantes de tiempo se corresponden con la ocurrencia de un evento. Un evento se define como una acción instantánea que puede cambiar el estado de un modelo [17].

4. Metodología

Un sistema productivo cuenta con aspectos fundamentales como son: dinámica, evolución y adaptabilidad. En función de esto se presenta un formalismo de modelación que permite representar de forma natural un sistema de eventos discretos: redes de Petri.

Las redes de Petri permiten tener un estudio y análisis del comportamiento de un sistema. Para el caso de estudio (sistemas productivos), el formalismo de redes de Petri es una herramienta de alto de nivel que da solución a una de las fases de un proyecto de simulación: la construcción del modelo. Las fases de un proyecto de simulación se listan a continuación [17] [18]:

1. Formulación del problema.
2. Diseño del modelo conceptual.
3. Recolección de datos.
4. Construcción del modelo.
5. Verificación y Validación del modelo.
6. Experimentación y análisis.
7. Documentación.
8. Implementación.

4.1 Bases de las redes de Petri

Las Redes de Petri (RdP) son una teoría matemática postulada por el alemán Carl Adam Petri, que surge en 1962 con el desarrollo del trabajo de tesis doctoral titulada "Comunicación con autómatas". Las RdP tienen un alto potencial descriptivo y permiten una representación clara de sistemas cuya dinámica se caracteriza por la concurrencia, sincronización, exclusión mutua y conflictos, facilitando con ello la descripción y la elaboración de modelos, así como la posterior implantación de sistemas. Como herramienta gráfica, las RdP son empleadas como una representación de los sistemas, utilizando marcas para simular la dinámica y las operaciones concurrentes; como herramienta matemática, las RdP permiten obtener modelos gobernados por el comportamiento del sistema [18] [19].

4.2 Definición de red de Petri

Una red de Petri generalizada es una cuádrupla $R=<P, T, \alpha, \beta>$ tal que [20]:

P es un conjunto finito y no vacío de lugares.
T es un conjunto finito y no vacío de transiciones.
$P \cap T = \Phi$; es decir, lugares y transiciones son conjuntos disjuntos.
α: $P \times T \varepsilon N$ es la función de incidencia previa.
β: $T \times P \varepsilon N$ es la función de incidencia posterior

4.3 Definición gráfica

Una RdP se representa esquemáticamente por lugares y transiciones en un grafo orientado. Tal como se observa en la Figura 3, los lugares se representan por circunferencias y las transiciones por barras. Existe un arco que va del lugar p_i a la transición t_j si y sólo si $\alpha(p_i, t_j) \neq 0$. Análogamente, existe un arco que va de la transición t_k al lugar p_i si y sólo si $\beta(t_k, p_i) \neq 0$.

Cada arco se etiqueta con un entero natural, $\alpha(p,t)$ $\beta(t,p)$, que se denomina ponderación del arco. Por convención, un arco no etiquetado posee una ponderación unitaria [21].

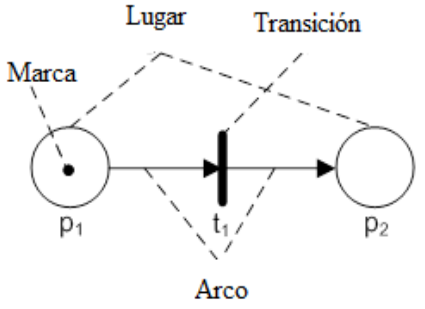

Fig. 3. Identificación de componentes en una red de Petri.

4.4 Definición formal

Una RdP se representa matricialmente por las relaciones entre los lugares y las transiciones. Si n es el número de lugares de la red y m el de transiciones de la misma, la matriz será de dimensión $n \times m$. En su interior, un elemento coordenado c_{ij} toma un valor en función de la relación entre el lugar p_i y la transición t_j relacionados, ya sea la existencia de un arco de lugar a transición (−1), un arco en el otro sentido (+1), o la ausencia de tal arco (0). Se encuentra definida matricialmente por medio de dos matrices. Sea $|P| = n$ (número de lugares de la red) y sea $|T| = m$ (número de transiciones de la red), la matriz de incidencia $C = [c_{ij}]n \times m$ es una matriz de enteros y su entrada está definida por [22]:

$$C = C^{+} - C^{-} \tag{1}$$

La matriz de incidencia representa los lugares de entrada con valores negativos, y los valores positivos representan salidas.

$$C_{previa} = C^{-} = [c_{ij}^{-}]n \times m, \text{ en el que } c_{ij}^{-} = \alpha(p_i, t_i) \tag{2}$$

$$C_{posterior} = C^{+} = [c_{ij}^{+}]n \times m, \text{ en el que } c_{ij}^{+} = \beta(t_i, p_i) \tag{3}$$

5. Modelo de Kanban con RdP

Uno de los objetivos de este artículo es mostrar la capacidad y la visión sistémicas que mantienen las redes de Petri para modelar sistemas de producción. Para lograr esto, en la fase de construcción del modelo, se presenta una RdP que modela una herramienta esbelta para el control de materiales y producción, Kanban.

La herramienta kanban está enfocada a crear un sistema de producción más efectivo y eficiente, enfocándose principalmente en los campos de la producción y la logística.

El sistema jalar (*pull system*) es un sistema de comunicación que permite controlar la producción, sincronizar los procesos de manufactura con los requerimientos del cliente y apoyar fuertemente la programación de la producción [9].

Se puede decir que existen dos tipos de kanban, uno de retiro y otro de producción. El kanban de retiro especifica la clase y la cantidad de producto que un proceso debe retirar del anterior, y el kanban de producción especifica la clase y la cantidad de producto que un proceso debe manufacturar [23].

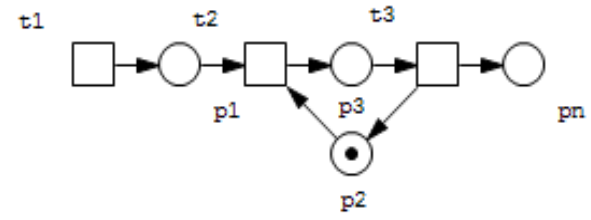

Fig. 4. RdP de una operación elemental en espera.

5.1 Construcción del modelo

A continuación se propone la representación de un proceso de producción elemental, constituido por una sola operación. Esta representación es descrita de forma breve y es la base para definir la RdP de un sistema kanban.

En la figura 4, la RdP corresponde a la ejecución de una operación. Existe una transición al inicio, t_1, en espera de ser habilitada externamente, con la generación de señales para iniciar la operación.

Después del disparo de t_1, el marcaje de la red cambia, como se indica en la figura 5, al ser ocupado por una marca el lugar p_1.

Es posible entonces que la red evolucione hacia la activación de p_3 (una marca en este lugar), puesto que t_2 está habilitada, ya que también hay una marca en p_2. Ésta señala la disponibilidad de la máquina para la operación. Entonces, de acuerdo con la regla de disparo, cambia el marcaje de la RdP: las marcas de p_1 y

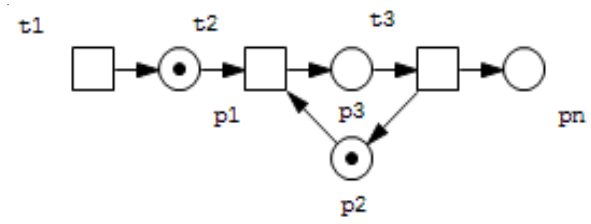

Fig. 5. Inicio de operación elemental.

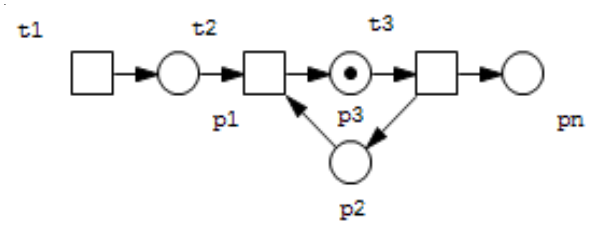

Fig. 6. RdP de una operación elemental en ejecución.

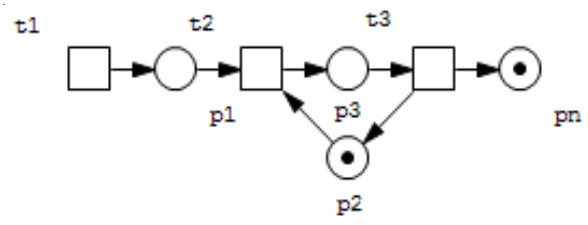

Fig. 7. RdP de una operación elemental al finalizar.

p_2 desaparecen, para aparecer una en p_3, como se observa en la Figura 6. La ausencia de marca en p_2 indica que ahora la máquina ya no está libre para nuevas solicitudes de operación.

El fin de la operación está regido por la temporización de la transición t_3. Terminada su duración, desaparece la marca de p_3, vuelve a aparecer una marca en p_2 (indicando la disponibilidad del recurso) y se genera una marca en el lugar de salida pn, como se muestra en la Figura 7. El flujo puede volver a iniciarse en t_1, para la ejecución de un nuevo ciclo.

Mediante el análisis de las figuras anteriores, se puede establecer que el comportamiento de muchos sistemas se describe en términos de los estados del sistema y sus cambios. En las RdP, para simular el comportamiento dinámico de un sistema, un estado o marca de la red cambia de acuerdo con las siguientes reglas de transición:

a) Los arcos conectan un lugar a una transición así como una transición a un lugar.
b) No puede haber arcos entre lugares ni entre transiciones.
c) Los lugares contienen un número finito o infinito contable de marcas.
d) Se dice que una transición t está habilitada si cada lugar p de entrada de t tiene al menos $w(p,t)$ marcas, donde $w(p,t)$ es el peso del arco de p a t.
e) Una transición habilitada puede o no dispararse (dependiendo en que evento tome o no el lugar).
f) Un disparo de una transición habilitada t remueve w(p,t) marcas de cada lugar de entrada p de t, y agrega un w(t,p) marcas por cada lugar de salida p de , donde w(t,p) es el peso del arco de t a p.

Las transiciones que no tienen lugares de entrada se les llaman transiciones fuente. Una transición fuente siempre está habilitada. Por otro lado una transición sin lugares de salida consume marcas pero no las produce.

Para la siguiente fase del ejemplo, se agregan a la red un conjunto de lugares y transiciones, la marca en el lugar p_4 indica el inventario en almacén, el lugar p_6 indica que existe una parte o subproducto en fase de transporte, mientras la marca en el lugar p_5 indica que existe un transporte disponible. Esta estructura se integra con el objetivo de transportar las partes que se está procesando y así éstas continúen el flujo a la siguiente etapa del proceso (véase figura 8).

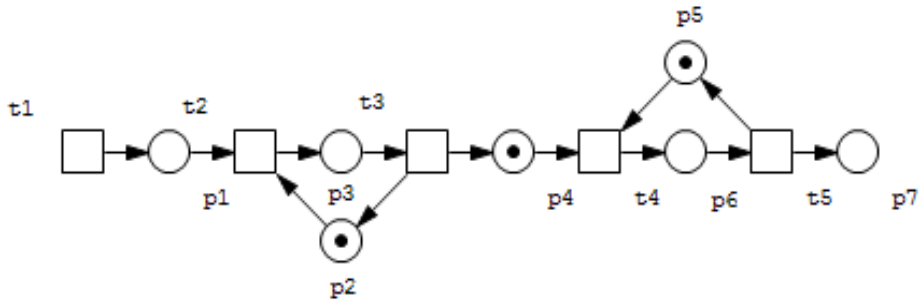

Fig. 8. RdP de una operación elemental, almacén y transporte.

Posteriormente en la figura 9 se muestra la RdP que representa a

un sistema kanban, la red se compone por cuatro estructuras similares a la descrita en la figura 8, en ella se muestra sus operaciones elementales, almacenes y transportes en una línea de manufactura.

La evolución del marcaje comienza cuando el sistema recibe una orden de kanban de retiro a través del lugar p_{22}, en caso de existir inventario en el lugar p_9 la orden es atendida, al mismo tiempo se envía una orden de kanban de producción a través de los lugares p_{19}, p_{20} y p_{21}, para dar inicio a los procesos de manufactura, en caso de no existir producto en inventario, se envía una orden directamente al inicio del proceso para comenzar producción.

El sistema kanban tiene el objetivo de atender a la producción con base en la demanda y no a pronósticos, obteniendo con ello grandes beneficios.

En la figura 10 se muestra en ejecución la fase de kanban de retiro a través del lugar p_{22}, mientras que en la figura 11 se

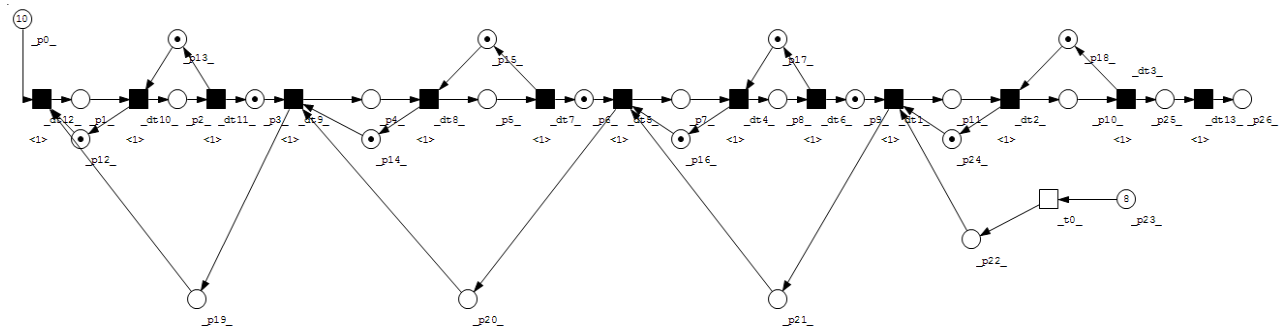

Fig. 9. RdP de un sistema kanban.

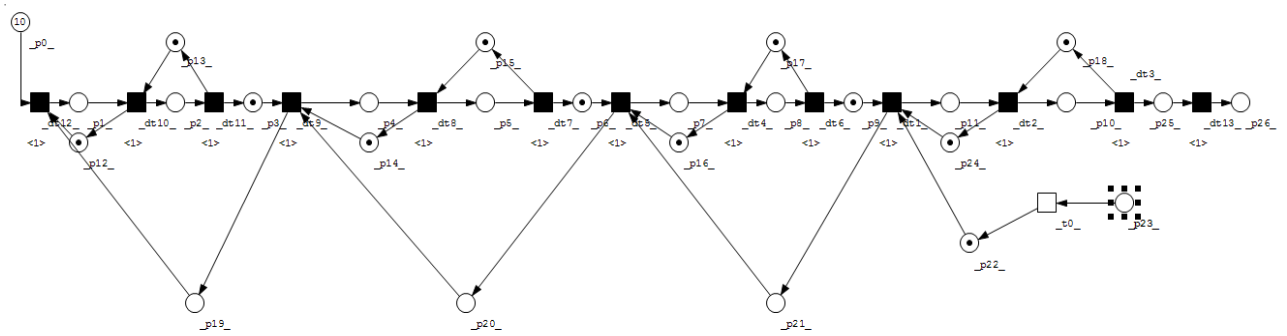

Fig. 10. RdP ejecución de la fase de kanban de retiro.

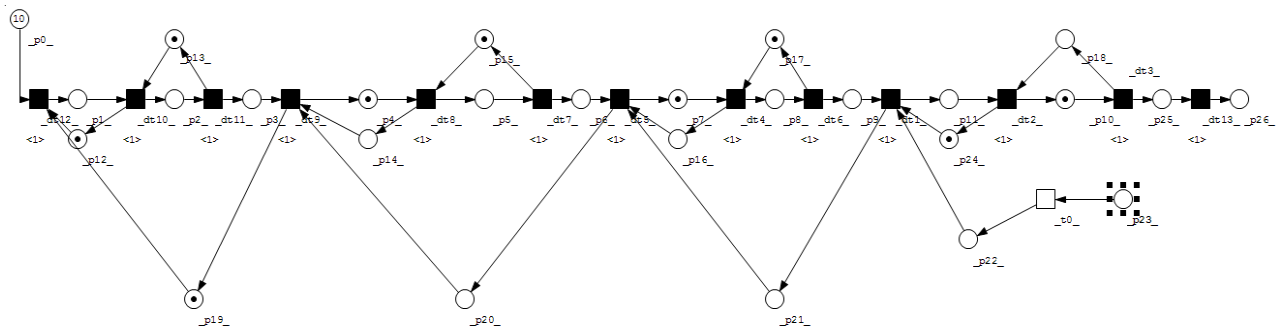

Fig. 11. RdP ejecución de la fase de kanban de producción.

muestra en ejecución la fase de kanban de producción a través del lugar p_{19}.

La red de Petri $R_1 = (P, t, F, W, M_0)$ queda definida por un conjunto de 27 lugares, 14 transiciones, incidencias y un marcaje inicial que a continuación se muestra [24].

$$P = \{p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}, p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{25}, p_{26}\}$$

$$t = \{t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}\}$$

$$M_0 = (x, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, x, 1, 0, 0)$$

Tabla 2. Lugares de la RdP, estructura Kanban.

Lugar	Función
p_0	Suministro (Inventario)
p_1	Operación de Transporte
p_2	Operación de Manufactura
p_3	Almacén
p_4	Operación de Transporte
p_5	Operación de Manufactura
p_6	Almacén
p_7	Operación de Transporte
p_8	Operación de Manufactura
p_9	Almacén
p_{10}	Operación de Manufactura
p_{11}	Operación de Transporte
p_{12}	Flujo de Pieza
p_{13}	Transporte Disponible
p_{14}	Máquina Disponible
p_{15}	Transporte Disponible
p_{16}	Máquina Disponible
p_{17}	Transporte Disponible
p_{18}	Máquina Disponible
p_{19}	Máquina Disponible
p_{20}	Orden de Kanban de Producción
p_{21}	Orden de Kanban de Producción
p_{22}	Orden de Kanban de Producción
p_{23}	Orden de Kanban de Retiro
p_{24}	Demanda Determinística
p_{25}	Transporte Disponible
p_{26}	Subproducto

Los lugares y transiciones se definen en las tablas 2 y 3, en ella se establece cada elemento y la función que este representa.

El análisis del sistema a través de un modelo permite comenzar a definir estándares dentro de los subsistemas del sistema productivo total. Para el caso del sistema kanban se establece que:

1. No se debe mandar producto defectuoso a los procesos subsecuentes.

2. Los procesos subsecuentes requerirán solo de lo que es necesario. Esto significa que el proceso subsiguiente pedirá el material que necesita al proceso anterior, en la cantidad necesaria y en el momento adecuado.

3. Producir solamente la cantidad exacta requerida por el proceso subsiguiente. Esto permite mantener inventarios al mínimo.

4. Balancear la producción. De manera en que se pueda producir solamente la cantidad necesaria requerida por el procesos subsecuentes, se hace necesario para todos los procesos mantener el equipo y a los trabajadores de tal manera que pueda producir materiales en el momento necesario y en la cantidad necesaria.

Tabla 3. Transiciones de la RdP, estructura Kanban.

Lugar	Función
t_0	Demanda Estocástica
t_1	Retiro de Subproducto de Almacén
t_2	Inicio de Operación de Manufactura en P_{10}
t_3	Fin de Operación de Manufactura en P_{10}
t_4	Inicio de Operación de Manufactura en P_8
t_5	Retiro de Subproducto de Almacén
t_6	Fin de Operación de Manufactura en P_8
t_7	Fin de Operación de Manufactura en P_5
t_8	Inicio de Operación de Manufactura en P_5
t_9	Retiro de Subproducto de Almacén
t_{10}	Inicio de Operación de Manufactura en P_2
t_{11}	Fin de Operación de Manufactura en P_2
t_{12}	Retiro de Materia Prima de Inventario
t_{13}	Indicador de Producto Terminado

5. Kanban es un medio para evitar especulaciones. De manera que para los trabajadores, kanban, se convierte en su fuente de información para producción y transportación.

La implementación de un kanban en un sistema productivo tiende a obtener reducción en los niveles de inventario, reducción en WIP (*Work in Process*), reducción de tiempos muertos, mejora la calidad, información rápida y precisa, mejor manejo de flujo de materiales, evitar sobreproducción y obtener un sistema de producción flexible según la demanda.

5.2 Análisis y resultados

Con el objetivo de sustentar lo antes mencionado, a continuación se muestra un breve análisis de la red de Petri diseñada, de una forma sencilla se muestra como la implementación de una estructura kanban dentro de un sistema productivo ayuda a reducir inventarios y tener un mejor control de materiales.

La figura 12 mantiene el siguiente marcaje:

M_0 = (0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1000, 1, 0, 0)

El lugar p_{23} mantiene un marcaje el cual representa la demanda que existe. La transición t_0 se ve sensibilizada y envía una orden de retiro del almacén p_9, en este escenario no existe inventario disponible; por lo que el sistema es capaz de definir un nivel de respuesta y adaptabilidad, de esta forma envía una orden de producción mediante el lugar p_{21}, como existe un subproducto en el almacén p_6 y una máquina disponible representada por el lugar p_{16}, se da inicio el proceso de manufactura de la fase 3 del proceso. La transición t_5 juega dos roles en esta etapa: la primera dar inicio a la fase de manufactura y la segunda enviar órdenes de producción a las fases anteriores con el objetivo de jalar la producción y satisfacer la demanda.

La figura 13, representa la misma línea de producción bajo un sistema de producción desajustado, la red mantiene el siguiente marcaje:

M_0 = (1000, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 550, 700, 798, 0, 0, 1, 0, 0)

Esta red muestra a través del marcaje de los lugares p_{19}, p_{20} y p_{21}, que existe un ritmo de producción desajustado, lo que tiene como consecuencia obtener niveles de inventarios ma-

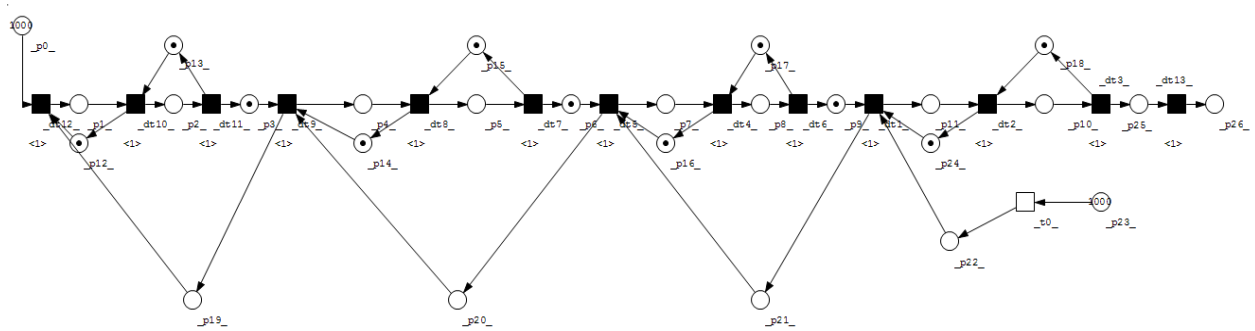

Fig. 12. RdP, operación bajo la herramienta Kanban.

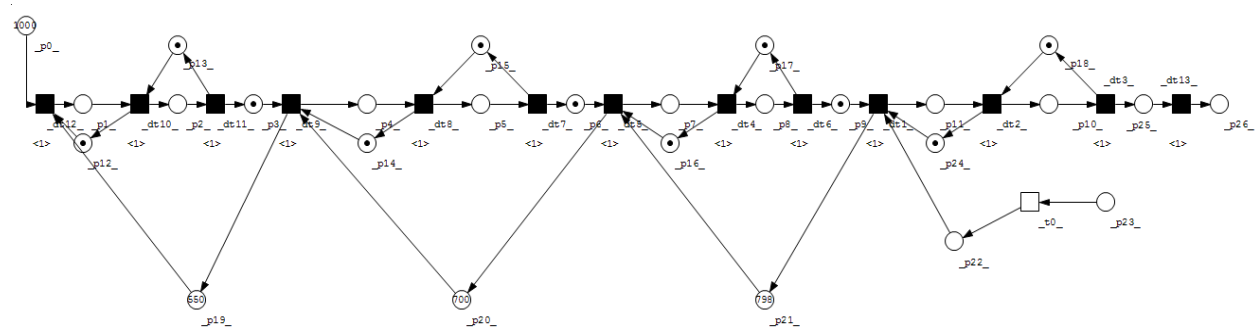

Fig. 13. RdP, operación bajo un contexto de producción tradicional.

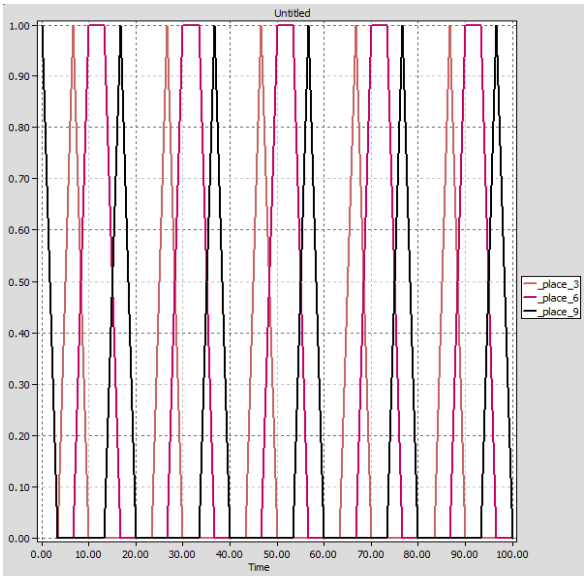

Fig. 14. Tasa de inventarios RdP kanban.

yores en los lugares p_3, p_6 y p_9. Los niveles de inventario altos, traen consigo grandes pérdidas económicas, ya que estos generan otras operaciones dentro del proceso, como pueden ser: transportes, mantenimiento y almacenamiento.

En la figura 14 se muestra la tasa de inventarios que se tienen en los lugares p_3, p_6 y p_9 en una red kanban, en ella se observa

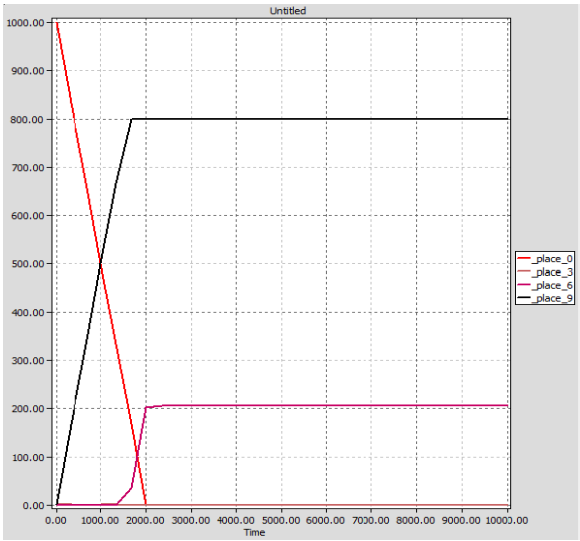

Fig. 15. Tasa de inventarios RdP desajustada.

Tabla 4. Transiciones de la RdP, estructura Kanban.

	p_3	p_6	p_9
0	1	1	1
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1

que la tasa de inventarios en los lugares mencionados es unitaria y no existe un acumulamiento. Mientras que en la figura 15 se observa que la tasa de inventarios aumenta y se mantiene constante durante un periodo de tiempo.

Finalmente la tabla 4 muestra los datos de la tasa de inventarios obtenida durante el proceso de simulación aplicando el sistema kanban y la tabla 5 muestra los datos de la tasa de inventarios obtenida en la línea de producción desajustada. Mediante la obtención de estos datos, se valida la interpretación dada a través de las figuras 14 y 15, donde se afirma que un sistema kanban mantiene niveles de inventarios bajos.

Tabla 5. Transiciones de la RdP, estructura Kanban.

	p_3	p_6	p_9
0	1	1	1
1	1	274	226
2	225	551	226
3	226	551	226
4	226	551	226
5	226	551	226
6	226	551	226
7	226	551	226
8	226	551	226
9	226	551	226
10	226	551	226

6. Conclusiones

El análisis sistémico es un enfoque metodológico que permite al administrador de un sistema productivo identificar rápidamente los elementos esenciales de una problemática en un entorno complejo. De esta manera se puede comprender el comportamiento global de un fenómeno, identificando las interrelaciones entre los diferentes elementos.

Como resultado, la modelación sistémica es fundamental en los procesos de toma de decisiones y mejora continua en un sistema productivo, al tener éste una naturaleza compleja y dinámica.

Cuando el objetivo es conocer la evolución de un sistema, con apoyo de un modelo, las redes de Petri muestran ser una poderosa herramienta gráfica y formal que, a través de la simulación de una estructura definida por lugares, transiciones, arcos y marcas, logran analizar las causas estructurales que originan el comportamiento del sistema estudiado.

Las redes de Petri proporcionan una herramienta que permite una descripción fácilmente comprensible de un sistema, para modelar comportamientos que incluyen secuencias, concurrencia, paralelismo y toma de decisiones.

A través del diseño de la red kanban se logra la representación de un conjunto de operaciones dentro de una línea de manufactura y, a través de ella, se muestra la interdisciplinariedad entre la ciencia de sistemas, la modelación de eventos discretos y la teoría de producción esbelta. Se ha validado a través de una red kanban, que la implementación de herramientas esbeltas en una línea de producción, tienen como resultado grandes ventajas, como fue el caso del ejemplo, una tasa de inventarios menores.

Este trabajo es un ejemplo de que las alternativas de operación en sistemas de producción que pueden ser modeladas a través de redes de Petri son bastante extensas y descriptivas, y que son una herramienta de alto nivel en el proceso de diseño de estructuras productivas.

El trabajo futuro consiste en la representación de los ocho desperdicios identificados en la teoría de producción esbelta, el establecimiento de un conjunto de parámetros para su validación y la simulación de la red, con el objetivo de comenzar a definir procesos de mejora continua en el sistema productivo en donde se lleve a cabo su aplicación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México y a la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del IPN por el apoyo recibido para esta investigación. Un agradecimiento especial al Departamento de Ciencias de Computación de la Universidad de Tecnología de Brandeburgo en Cottbus por las facilidades brindadas para el uso del software Snoopy Petri Nets.

Referencias

[1] I. Badillo, "Fundamentos Epistemológicos y Tendencias de la Ciencia de Sistemas", Tesis de Doctor en Ingeniería de Sistemas, México: Instituto Politécnico Nacional, 2011.

[2] R. Ashby, "General System Theory as a New Discipline", *General Systems*, vol. 3, pp. 1-6, 1958.

[3] D. Chen and W. Stroup, "General System Theory: Toward a Conceptual Framework for Science and Technology Education for All", *Journal of Science Education and Technology*, vol. 2, pp. 447-459, 1993.

[4] L. von Bertalanffy, *Teoría general de los sistemas*. México: Fondo de Cultura Económica, 2006.

[5] R. L. Ackoff, *Ackoff´s Best: His Classic Writings on Management*. New York: Wiley, 1999.

[6] J. P. van Gigch, *Teoría general de sistemas*. México: Trillas, 2006.

[7] J. G. Miller, *Living Systems*. New York: McGraw Hill, 1978.

[8] R. Chase F. R. Jacobs y N. J. Aquilano, *Administración de operaciones: producción y cadena de suministros.* México: McGraw Hill, 2009.

[9] Y. Sugimori, K. Kusunoki, F. Cho and S. Uchikawa, "Toyota Production System and Kanban System Materialization of Just in Time and Respect for Human System", *International Journal of Production Research*, vol. 15, pp. 553-564, 2007.

[10] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Ross, *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production.* New York: Free Press, 2007.

[11] M. Zhang, P. Zhao, Y. Zhang, and Y. Fei, "Application of Lean Production in Company K", *Advanced Materials Research*, vol. 655-657, pp. 2367-2370, 2013.

[12] J. Pettersen, "Defining Lean Production : Some Conceptual and Practical Issues", *The TQM Journal*, vol. 21, pp. 127-142, 2009.

[13] Y. Monden, *El sistema de producción de Toyota*. Buenos Aires: Macchi, 1990.

[14] J. Lia, "Continuous Improvement at Toyota Manufacturing Plant: Applications of Production Systems Engineering Methods", *International Journal of Production Research*, vol. 51, pp. 7235-7249, 2013.

[15] A. Morales, J. Rojas, L. H. Hernández, A. Morales, L. M. Hernández, and M. Y. Jiménez, "Modelación de la Dinámica de Sistemas: Un Enfoque de Redes de Petri", *Dyna Management*, vol. 2, 2014.

[16] A. Morales, A. Morales, J. Rojas, and L. H. Hernández, "Modelación de Parámetros de Mejora Esbelta para la Simulación de Cadenas de Suministro", XIV Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, México, 2013.

[17] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, and D. M. Nicol, *Discrete Event System Simulation. Upper Saddle River* NJ: Prentice Hall, 2009.

[18] I. Flores, J. Figueras, A. Guasch, M. Narciso, and M. A. Piera, *Modelos de Simulación usando Simio y Redes de Petri*. México: UNAM Facultad de Ingeniería, 2013.

[19] M. Silva, *Las redes de Petri en la automática y la informática*. Madrid: Editorial AC, 2002.

[20] G. Franceschinis and K. Wolf, "Applications and Theory of Petri Nets", in 30th International Conference, Petri Nets 2009, Paris, 2009.

[21] R. David and H. Alla, *Discrete, Continuous and Hybrid Petri Nets*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.

[22] M. Díaz, *Petri Nets: Fundamentals Models, Verification and Applications*. London: John Wiley and Sons, 2010.

[23] D. Asay and L. Wisdom, *Kanban for the Shopfloor*. New York: Productivity Press, 2002.

[24] M. Heiner, M. Herajy, F. Liu, C. Rohr, and M. Schwarick, "Snoopy: A Unifying Petri Net Tool", *Applications and Theory of Petri Nets*, vol. 7347, pp. 398-407, 2012.

DOAJ

Directory of Open Access Journals

DOAJ is an online directory that indexes and provides access to high quality, open access, peer-reviewed journals.

http://www.doaj.org

Científica

indizada en

Latindex
Sistema Regional de Información en Línea
para Revistas Científicas de América Latina,
el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica
Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.
http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-
0&local_base=PER01

Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina
y el Caribe, España y Portugal.
Sistema de Información Científica Redalyc.
www.redalyc.org

Científica, vol.18, núm. 4, pp. 131-134, octubre-diciembre 2014.
ISSN 1665-0654, ESIME Instituto Politécnico Nacional MÉXICO

Automatización de una sierra ingletadora para la fabricación de disipadores de calor modelo TUC37644-2

Ricardo **Regis-Aguilar**

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Culhuacán, Av. Santa Ana 1000, Coyoacán, Col. San Francisco Culhuacán, CP 04430, Ciudad de México.
MÉXICO.

correo electrónico (email): r.regis91@gmail.com

Recibido 14-12-2013, aceptado 31-05-2014.

Resumen

El siguiente trabajo escrito presenta la automatización del proceso de corte con la Sierra Ingletadora, dentro del proceso de manufactura de disipadores de calor para televisores modelo TUC37644-2. En el documento se encuentran desde la identificación del problema, la justificación y objetivos específicos hasta las metas, a las cuales se llegaron con dicha automatización.

También se puede apreciar, dentro del contenido del documento, el plan de trabajo que se siguió para el desarrollo de la automatización de la sierra ingletadora, así mismo encontraremos el marco de referencia con las bases teóricas necesarias para sobrellevar dicho proyecto.

Palabras clave: automatización, sierra ingletadora, disipadores de calor, proceso de corte, manufactura.

Abstract
(A Miter Saw Automation for Manufacturing Heat Sinks Model TUC37644-2)

The following written work shows the automating process of cutting with the miter saw, within the process of manufacturing of heat sinks for TVs model TUC37644-2. The document includes from the identification of the problem, justification and objectives to the goals which came with this automation.

You can also see, within the content of the document, the work plan that was followed for the development of the miter saw's automation, likewise we will find the frame of reference with the theoretical basis for coping with this project.

Key words: automation, miter saw, heat sinks, cutting process, manufacture.

1. Introducción

La implementación de la automatización industrial ha hecho que más del 50% de las empresas [1] que contaban con procesos mecánicos en su producción, haya aumentado tanto la misma producción de mercancía, como las ganancias que esto conlleva.

Esto ha provocado que medianas empresas dejen de ser rentables, debido a que sus procesos de producción se vuelven lentos por no contar con la automatización de dichos procesos, por este motivo se automatizó un proceso de manufactura de corte con sierra ingletadora, para la empresa Troquelados y Suajados SA de CV (TSI), la cual produce disipadores de calor para televisores de la gama TAU (cabe mencionar que estos televisores son exportados a países con menores recursos económicos que México como: Cuba, Ecuador y Venezuela).

La automatización de la sierra ingletadora que se llevó a cabo, es una necesidad que se presentó en esta microempresa (TSI); ya que se tenía la problemática de la producción del disipador de calor modelo TUC37644-2 que es inferior a la producción solicitada por la empresa Panasonic de México SA de CV.

Por este motivo se propuso la automatización de la sierra ingletadora, ya que pretendía mejorar la producción de disipadores con la finalidad de cubrir las necesidades del cliente y con esto tener una mejor productividad (60,000 pie-

zas de las 50,000 que se entregaban en realidad) y una mejor ganancia respecto al precio de compra en el que se encuentra el producto terminado.

2. Desarrollo

2.1. Procesos de fabricación del disipador de calor modelo TUC37644-2

Los procesos de manufactura (desde que la materia prima, en este caso el extruido de aluminio, llega a la empresa y hasta que el proceso de manufacturado es finalizado) para la producción de los disipadores son:

1. Corte (realizado con la sierra ingletadora con un disco de 100 dientes para corte fino).
2. Cardeado (desprendimiento de exceso de material producido por el corte).
3. Lavado (para manipular mejor el disipador durante el proceso).
4. Troquelado (desprendimiento de material por medio de presión, golpe de 20 toneladas).
5. Remachado (colocación del pin de latón con un golpe de troqueladora de 10 toneladas).
6. Lavado e inspección (el lavado se realiza de nuevo, por todos los procesos mencionados a los que fue expuesto el material).
7. Empacado (el empacado se hace en bolsa).

2.2. Marco referencial

La materia prima (Aluminio A60635-T5) se obtiene por medio de la empresa Metales Díaz SA de CV que envía los perfiles de 3050 mm de largo, ya prediseñados con las especificaciones del cliente.

Cálculo de los parámetros de corte de la sierra ingletadora

Velocidad de corte:

$$V = \frac{D\pi n}{60(1000)}$$

Los datos de la sierra son:
$D = 254$ mm
$n = 1460$ rpm
$V = 194.171$ m/s

Avance por diente:

$$S_z = \frac{S(1000)}{nz}$$

$S_z = 0{,}08$ mm.
$z = 100$ dientes
$n = 1460$ rpm
$S = 26{,}88$ m/min

Velocidad de avance:

$$S = \frac{S_z zn}{(1000)}$$

$S_z = 0{,}08$ mm
$z = 100$ dientes
$n = 1460$ rpm
$S = 11.68$ m/min

Mecanismo biela-manivela

Al considerar este mecanismo, con frecuencia es necesario calcular el desplazamiento (x) de la corredera, su velocidad (V) y aceleración (A) correspondientes.

$$x = R(1 - \cos\theta) + \frac{R^2}{2L}\,\mathrm{sen}^2\theta$$

$$V = \frac{dx}{dt} = Rw\left[\mathrm{sen}\theta + \frac{R}{2L}\,\mathrm{sen}2\theta\right]$$

Fig. 1. Sierra ingletadora (original).

$$A = \frac{d^2x}{dt^2} = Rw^2 \left[\cos\theta + \frac{R}{L} \cos 2\theta \right]$$

Para nuestro diseño se muestran los datos correspondientes en la Tabla 1.

El mecanismo se impulsa con un motor eléctrico, con una potencia de ¾ HP y se controla con un variador de frecuencia y un motor-reductor la velocidad de este.

El motor-reductor utilizado cuenta con un par de engranes *A* y *B* de 4 y 16 cm, respectivamente. Por lo tanto nuestra relación es la siguiente:

$$Relación = \frac{Diámetro\ de\ B}{Diámetro\ de\ A} = \frac{120}{2} = 60$$

Por lo que tenemos una relación 60:1.

La alimentación de la sierra ingletadora se realizó con ayuda de cilindros neumáticos, con sus respectivas electroválvulas 5/2. Teniendo control de sus accionamientos mediante un PLC.

"Las válvulas de vía se designan según el número de las vías controladas y el de las posiciones de maniobra posibles" [2].

Por lo que las válvulas que utilizaron son de 5 vías, dos posiciones. En la figura 2 se muestra su diagrama y simbología.

2.3. Evolución del proyecto

Se trabajó en el diseño asistido por computadora del mecanismo biela-manivela que nos entregaría el corte de la sierra de una manera automática, esto con ayuda de un motor-reductor.

Tabla 1. Datos del mecanismo.

Mecanismo biela-manivela			
R [m]	0.11	*w* [rad/s]	0.08727
L [m]	0.52	*rpm*	30.00000

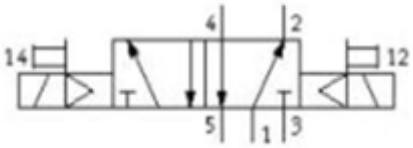

Fig. 2. Electroválvula 5/2 (FESTO).

Se realizó la selección del motor-reductor (¾ HP con una relación 60:1) y del variador de frecuencia (para motor de CA de ¾ HP) para tener la velocidad deseada de corte del aluminio para la fabricación de los disipadores de calor.

Para la alimentación del extruído del aluminio a la sierra ingletadora se seleccionó el cilindro neumático a utilizar el cual es de 3 pulgadas de 400 kgf el cual se utilizará para conducir el material de corte a la Sierra Ingletadora.

Después se seleccionaron las electroválvulas (5/2 a 24v) y otros elementos como: unidad FRL 1/4, manguera neumática de poliuretano de 8 mm, PLC siemens de 6 entradas.

Una vez obtenidos los planos se comenzó con la manufactura de los elementos de la automatización de la sierra en el siguiente orden:

1. Elaboración de la base del motor-reductor.
2. Elaboración del mecanismo biela-manivela.
3. Elaboración de los elementos de sujeción del mecanismo biela-manivela al brazo trasero de la sierra ingletadora.
4. Elaboración del riel que conduce el extruído de aluminio a la Sierra Ingletadora.
5. Elaboración de los caballetes que sostienen al riel.
6. Elaboración de la mordaza que contendrá los 4 cilindros (1" de diámetro) utilizados para la sujeción del material.
7. Elaboración de los cilindros que se colocarán en la mordaza de sujeción.
8. Elaboración de la base del cilindro neumático (3" de diámetro) que moverá dicha mordaza de sujeción.
9. Elaboración del gabinete de la sierra ingletadora el cual contiene el arrancador y el variador de frecuencia.
10. Lijado de la sierra ingletadora.
11. Limpieza de la sierra ingletadora.
12. Dar Pintura a todos los elementos de la Sierra Ingletadora incluyéndola.

Finalizados todos los puntos anteriores se comenzó a trabajar en la instalación neumática, para obtener la alimentación automatizada.

3. Conclusiones

Al analizar los siguientes datos podemos observar que en realidad al automatizar el proceso de corte con la sierra ingletadora se aumentó la producción de los disipadores de calor y se logró cumplir con los pedidos de los clientes, lo cual conlleva a obtener una mayor ganancia.

De igual manera observamos que la automatización facilitó el corte de los perfiles de aluminio, ya que anteriormente resultaba complicado para el operario y llevaba mucho más tiempo realizar dicha actividad.

por corte
Antes: 6 perfiles por corte
duración del proceso: 60 segundos.
Ahora: 5 perfiles por corte
duración del proceso: 40 segundos.

al día (7 hrs)
Antes: 360 perfiles por hora Por día: 2520 perfiles
Ahora: 450 perfiles por hora Por día: 3150 perfiles

al mes (20 días hábiles)
Antes: 50,400 perfiles mensuales.
Ahora: 63,000 perfiles mensuales.

Con la automatización de la sierra ingletadora se produce un promedio de 12,600 disipadores más por mes, si por cada disipador se obtiene una ganancia de $1.04 pesos, al final se obtiene un monto extra de $13,104 pesos por mes.

Fig. 3. Sierra ingletadora completamente automatizada.

Referencias

[1] Pere Ponsa, A. G. (s.f.). *Diseño y automatizacion industrial*. Universidad Politécnica de Catalunya.

[2] Deppert, W. (2004). *Dispositivos neumáticos*. México: Alfaomega.

[3] FESTO. (s.f.). Recuperado el 01 de septiembre de 2013, de http://www.festo-didactic.com/int-es/servicios/simbolos/tecnica-de-fluidos-neumatica/valvulas/valvulas-de-vias-electrovalvula-biestable-de-5-2-vias,accioanmiento-en-ambos-lados-con-bobina-y-servopilotaje,accionamiento-manual-auxiliar. htm?fbid=aW50LmVzLjU1

[4] Mabie, H. H. (1996). *Mecanismos y dinámica de maquinaria*. México: Limusa .

Latindex

Sistema Regional en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

http://www.latindex.unam.mx

Científica, vol.18, núm. 4, pp. 135-139, octubre-diciembre 2014.
ISSN 1665-0654, ESIME Instituto Politécnico Nacional MÉXICO

Análisis numérico de esfuerzos térmico-mecánico en la placa bipolar de una celda de combustible tipo PEM

Adolfo **López-Liévano**
Daniel Ramón **López Liévano**

Universidad Veracruzana
Facultad de ingeniería.
Av Universidad Veracruzana Km 7.5, Paraiso
Coatzacoalcos, 96538 Coatzacoalcos, Veracruz.
MÉXICO.

correo electrónico (email):): k_lievano@hotmail.com
derive82@hotmail.com

Recibido 18-10-2013, aceptado 23-05-2014.

Resumen

En el presente trabajo, se lleva a cabo la evaluación de los esfuerzos mecánicos y térmicos que se generan en una placa bipolar de una celda tipo PEM de aplicación automotriz. Para tal efecto, se aborda el estudio considerando dos esquemas de carga: 1) expansión térmica y 2) acción conjunta de la presión externa de ensamble y de la expansión térmica. Se toma en cuenta una temperatura máxima de operación de 100°C y que está sometida a una presión externa de ensamble de 544 kPa.

Se generó la geometría de la placa bipolar en un programa CAD para posteriormente importarlo al programa de elementos finitos ANSYS, para llevar a cabo la parte más importante del caso de estudio, el análisis estructural de la placa. Esto se realizó con apoyo del elemento solid 187, que tiene la capacidad de adoptar el comportamiento mecánico y térmico de la placa bipolar.

Se aplicó la teoría de Mohr para el análisis de falla. Para el caso 1, se encontró un esfuerzo principal máximo σ_1 de 17.8 MPa y para el caso 2, un esfuerzo principal máximo σ_1 de 18.9 MPa. Representando, respectivamente, el 29.66 % y 31.5 % del esfuerzo último a la tensión de 60 MPa del grafito, validando que no existe riesgo de daño estructural. Sin embargo, se observó que los esfuerzos de mayor intensidad son los generados por la expansión térmica del material.

Palabras clave: expansión térmica, elemento finito, celda de combustible, placa bipolar.

Abstract
(Numerical Analysis of Thermal and Mechanical Stresses on a PEM Fuel Cell's Bipolar Plate)

This work, was focus on the evaluation of the mechanical integrity of the bipolar plate of a fuel cell with a Proton Exchange Membrane (PEM) for automotive application. Themechanical and thermal stresses were evaluated. In consequence, the loading cases addressed were: 1) thermal expansion and 2) internal pressure and thermal expansion. 100° c was assumed as a temperature of operation. Besides, it is under an internal pressure of 544 kPa.

The geometry of the plate was obtained with a CAD code. This information was imported to ANSYS code. The finite element model was developed with a 187 element type. This element can be used for thermal and mechanical analysis.

Mohr failure analysis was used in the evaluation of the structural integrity. The material of the plate is graphite. Its ultimate stress was 60 MPa. In the case of the thermal analysis, the maximum principal stress σ_1 was 17.8 MPa, which is 29.66% of the ultimate stress. Regarding the thermal and mechanical analysis, the maximum principal stress σ_1 was 18.9 MPa. This is 31.5% of the ultimate stress. Therefore, the risk of structural damage is reduced. The results show that most critical stresses are those produced by thermal expansion of the material.

Key words: thermal expansion, finite element, fuel cell, bipolar plate.

1. Introducción

De acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos (*Department of Energy*, DOE por sus siglas en inglés), las celdas tipo PEM "son el candidato número uno para vehículos de trabajo ligero, para edificios y potencialmente para muchas aplicaciones pequeñas tal como reemplazo de baterías" [1]. Además, no producen contaminación, ya que sus productos de desecho son agua y calor.

Por lo antes mencionado, se están realizando diversos estudios en cuanto a la aplicabilidad y eficiencia de las celdas tipo PEM. A pesar de ello, poco se ha estudiado acerca de su comportamiento mecánico. Esto, debido a que por sus pequeñas dimensiones, erróneamente se asume que no existirán problemas de esta naturaleza. Sin embargo, tomando en cuenta que las temperaturas de operación llegan hasta 100°C es esencial tomar en cuenta que se desarrollan expansiones térmicas, principalmente en la placa bipolar, que generalmente está construida de grafito, desarrollándose esfuerzos térmicos de importante magnitud [2][3].

Un daño en la integridad mecánica de la placa bipolar, debida a esfuerzos excesivos puede causar variaciones en los parámetros de operación de la celda, que afectan directamente su funcionamiento y, por lo tanto, su eficiencia [4].

Por lo anterior expuesto, este trabajo se enfoca al análisis de los esfuerzos en la placa bipolar. Estos esfuerzos son de tipo térmico ocasionados por la temperatura de trabajo, la cual es de 100°C; y de origen mecánico, debido a los elementos de sujeción que mantiene a la celda compactada. Se hace uso de herramientas de ingeniería que se encuentran en la frontera del conocimiento, tal como lo es el programa ANSYS que se fundamenta en el Método del Elemento Finito.

2. Materiales y métodos

2.1. Propiedades del grafito

El material que se elige por excelencia en el diseño de las celdas de combustible con membrana de intercambio protónico es el grafito, ya que es un material muy ligero, impermeable al gas, fácil de maquinar, es un excelente conductor de electrones, resistente a la corrosión comparado con algunos metales, y es el material más común para la fabricación de placas bipolares [5].

Tabla 1. Propiedades mecánicas del grafito de la marca POCO.

Propiedades	Unidad	Magnitud
Expansión térmica	$\mu mm^{-1}K^{-1}$	7.9
Resistencia a la tensión	MPa	60
Resistencia a la compresión	MPa	145
Módulo de Young	GPa	10
Relación de Poisson	adimensional	0.25

2.2. Generación del modelo de la placa bipolar

La geometría de la placa bipolar se obtuvo con la ayuda del programa de diseño asistido por computadora AutoCAD 2013. Una vez que ha sido creada la geometría, se exportó al programa ANSYS. La figura 1 muestra el modelo sólido virtual del elemento que se va a analizar, el cual es la placa bipolar.

2.3. Malla

Se generaron 121765 nodos y 79961 elementos del tipo tetraédrico, con el elemento Solid 187 (véase figura 2).

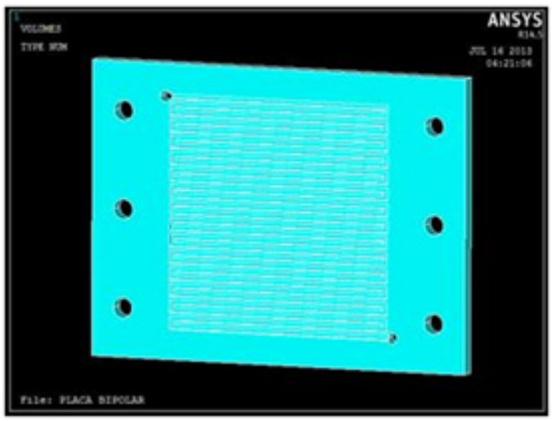

Fig. 1. Modelo sólido virtual de la placa bipolar.

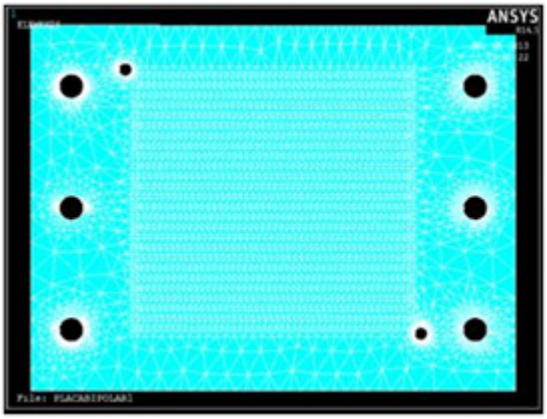

Fig. 2. Malla de la placa bipolar en elementos finitos.

Debido a que, a través de los barrenos se alojan los tornillos de sujeción del *stack* de celdas, dando lugar a una restricción, es en esa zona donde se realiza un refinamiento del mallado (véase figura 3).

Los tornillos que atraviesan el conjunto de placas bipolares restringen su libre expansión. Por tanto, se prevé la imposibilidad de desplazamiento en las direcciones *x*, *y* y *z*.

Las cargas a considerar son: a) *cargas mecánicas*: debida a la presión externa causada por el apriete de los pernos y las

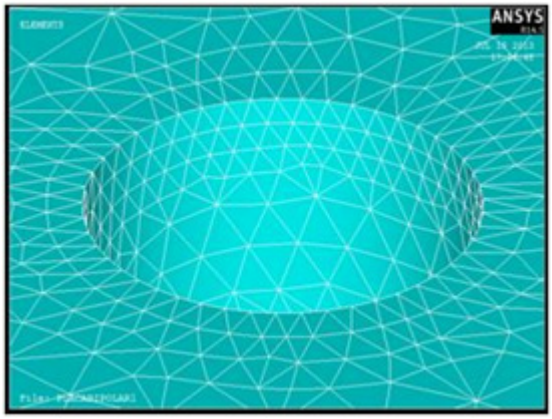

Fig. 3. Refinado de la malla en la zona de los barrenos
2.4 Cargas y condiciones de frontera.

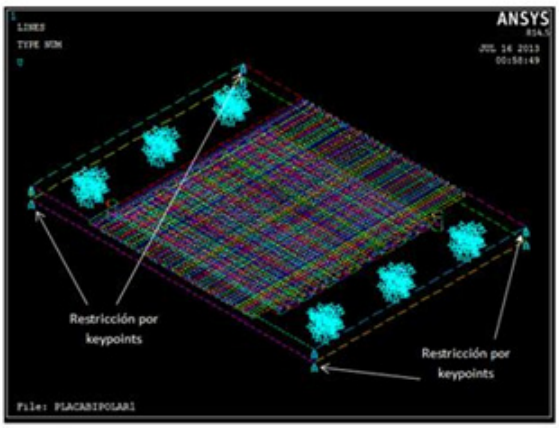

Fig. 4. Restricciones de la placa bipolar.

placas de presion que conforman el stack, la cual se establece de 544KPa [7] (véase figura 5); b) *cargas térmicas*: causadas por el fenómeno de expansión térmica. Esta se ve restringida por los pernos que unen a las celdas del stack para darle rigidez, teniendo como resultado la aparición de esfuerzos en los barrenos de la placa.

3. Análisis y evaluación de resultados

3.1. Análisis numérico

Caso 1. Esfuerzos generados por la expansión térmica a 100°C. El esfuerzo principal σ_1, es de 17.8 MPa (véase figura 6).

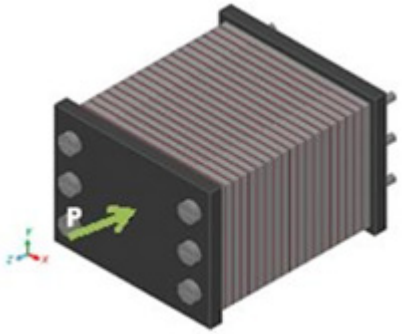

Fig. 5. Cargas mecánicas debido a la presión de apriete.

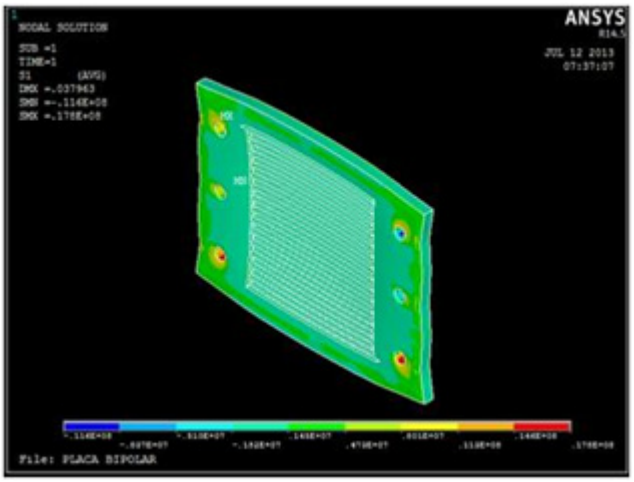

Fig. 6. Distribución del esfuerzo principal σ_1 debido a la temperatura.

Caso 2. Análisis de esfuerzos debido a la temperatura y a la presión (544 kPa) [8]. Para este caso, el esfuerzo principal σ_1, es de 18.9 MPa (véase figura 7).

El análisis de esfuerzos se realiza tomando en cuenta la condición real de operación del sistema. Esto es, bajo la acción combinada de los esfuerzos ocasionados por las dos cargas siguientes: 1) expansión térmica y 2) acción conjunta de la presión externa de ensamble y de la expansión térmica.

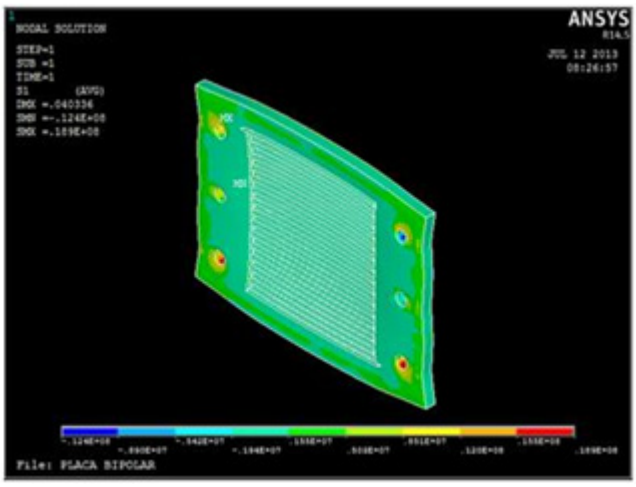

Fig. 7. Concentración del esfuerzo principal σ_1 debido a la acción simultanea de presión y temperatura.

3.2. Análisis de resultados

El esfuerzo principal máximo σ_1 de 17.8 MPa que se genera en la placa debido a la temperatura representa el 29.66 % del esfuerzo último a la tensión que es obtenido en un ensayo mecánico. Los valores de σ_2 y σ_3 pueden despreciarse, ya que son valores poco significativos.

Respecto a los esfuerzos generados por la acción conjunta de la presión de ensamble y la temperatura se tiene que el esfuerzo principal máximo es de 18.9 MPa, correspondiente a σ_1 . Este valor es el 31.5 % del esfuerzo admisible a la tensión de la placa bipolar.

Por lo tanto, se puede afirmar que en cualquiera de los dos esquemas de carga, 1) temperatura y 2) presión y temperatura, los tres esfuerzos principales σ_1 , σ_2 y σ_3 no causarán la falla frágil en la placa bipolar.

Más allá de la cercanía o de la lejanía que tengan los esfuerzos principales con el valor admisible, resulta aún más importante notar que la diferencia entre el esfuerzo principal máximo generado por la temperatura (17.8 MPa) y el generado por la combinación de presión y temperatura (18.9 MPa) es de solo 1.1 MPa. Esto es el 1.83 % del esfuerzo permisible del material de la placa. Por lo tanto, resulta evidente que el efecto de la presión de ensamble de los elementos de la celda es prácticamente despreciable. Esto quiere decir que los esfuerzos de origen térmico son el tipo de esfuerzos a considerar durante el diseño de una celda de mayor capacidad, considerando que actualmente existen celdas que trabajan con temperaturas de hasta 250°C [10].

Debe enfatizarse que los esfuerzos principales máximos en los dos casos estudiados, se originaron en puntos cercanos a los barrenos de la placa. En ese punto la expansión queda imposibilitada, debido a que los tornillos de ensamble actúan como restricciones (véase figura 8).

4. Conclusiones

Las celdas tipo PEM para aplicación automotriz ameritan un análisis de su comportamiento mecánico, debido al servicio continuo al que son sometidas. Los esfuerzos de origen térmico son los de mayor importancia, ya que al realizar la corrida de cargas combinadas, se observó que aportan la mayor cantidad de esfuerzos generados en la placa bipolar de la celda. Por

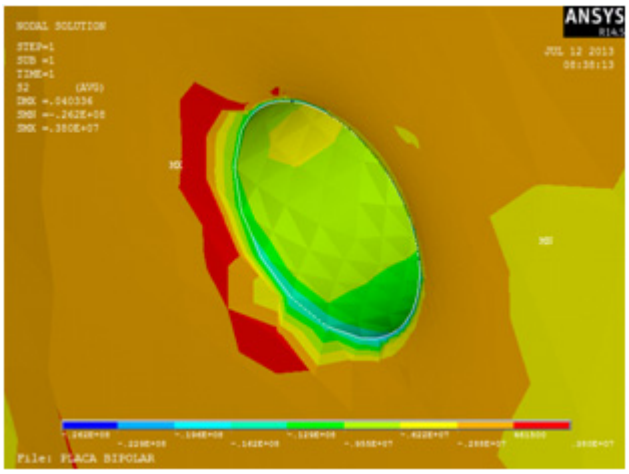

Fig. 8. Campo de esfuerzos principales en las cercanías de los barrenos de la placa bipolar.

consiguiente, deben de ser considerados obligatoriamente en el proceso de diseño. Los esfuerzos térmicos se ven intensificados por la presencia de restricciones propias de la estructura de la celda. Estas son representadas por los tornillos de sujeción y ensamble de los elementos que la constituyen.

La importancia de los análisis de esta naturaleza cobra mayor relevancia al saber que si se presenta algún daño de la placa bipolar en plena operación de la celda, se pueden presentar fugas de los gases reactantes o mezcla de ellos. Esto podría ocasionar una reacción antes de tiempo, por lo que los electrones obtenidos no se podrían aprovechar en toda su plenitud.

Evidentemente el coeficiente de expansión térmica del material, juega un rol esencial en el comportamiento mecánico [9]. En este caso en particular, un material con un coeficiente mayor sería perjudicial ya que permitiría expansiones térmicas cada vez más restringidas. Esto se traduce en esfuerzos muy elevados.

Referencias

[1] Subramaniam, S., *Fuel Cells: From Fundamentals to Applications*, Springer, New York, 2006.

[2] Y. Devrim, A. Albostan, "Enhancement of PEM fuel cell performance at higher temperatures and lower humidities by high performance membrane electrode assembly based on Nafion/zeolite membrane", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40 (2015), pp. 15328-15335.

[3] D. Nur Ozen, B. Timurkutluk, K. Altinisik, "Effects of operation temperature and reactant gas humidity levels on performance of PEM fuel cells", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59 (2016), pp. 1298-1306.

[4] H.S. Lee, H.J. Kim, S.G. Kim, S.H. Ahn, "Evaluation of graphite composite bipolar plate for PEM (proton exchange membrane) fuel cell: Electrical, mechanical, and molding properties", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 187-188 (2007), pp. 425-428.

[5] C. Turan, Ö. Necati Cora, K. Muammer, "Contact resistance characteristics of coated metallic bipolar plates for PEM fuel cells - investigations on the effect of manufacturing", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 37 (2012), pp. 18187-18204.

[6] Barbir F., *Fuel Cells-Theory and Practice*, 2a ed., Elsevier, San Diego, California, 2005.

[7] Jiujun Z., Jifeng W., Huamin Z., *PEM Fuel Cell Testing and Diagnosis*, Elsevier, Oxford, 2013.

[8] Lee W. K., The effects of compression and gas diffusion layers on the performance of a PEM fuel cell, *Journal of Power Sources* 84 (1999), pp. 45-51

[9] Hetnarski R. B., *Thermal Stresses Advanced Theory and Applications*, New York, Springer, 2009.

[10] G. Michael Waller, R. Mark Walluk, A.Thomas Trabold, "Performance of high temperature PEM fuel cell materials. Part 1: Effects of temperature, pressure and anode dilution", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.41 (2016), pp. 2944-2954.

Red de Revistas Científicas de América Latina
y el Caribe, España y Portugal
www.redalyc.org

Instituto Politécnico Nacional

Científica

La Revista Mexicana
de Ingeniería Electromecánica

Número de artículos descargados por región (2007-2012):

México
54 024

América Latina y el Caribe
40 194

Estados Unidos y Canadá
13 254

Europa
15 967

Asia, África y Oceanía
6 025

Fuente: Sistema de Información Científica Redalyc
http://redalyc.uaemex.mx/

Científica, vol.18, núm. 4, pp. 141-145, octubre-diciembre 2014.
ISSN 1665-0654, ESIME Instituto Politécnico Nacional MÉXICO

Material de construcción para hornos de secado de madera

Edgar **Hernández-Palafox**

Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla (ITSSNP),
División de Ingeniería Electromecánica.
Av. José Luis Martínez Vázquez No. 2000, Jicolapa, Zacatlán Puebla, CP73310,
MÉXICO.

Tel. (797) 97 51694

correo electrónico (email):
edgarhpalafox@hotmail.com

Recibido 10-09-2013, aceptado 02-04-2014.

Resumen

El estudio de los procesos de transferencia de calor aplicados a los hornos para el secado de madera en la región de la Sierra Norte de Puebla son de suma importancia, ya que permiten controlar el consumo de combustible y obviamente la energía necesaria para el correcto funcionamiento de los hornos. Los materiales que constituyen las paredes de los hornos para el secado de madera juegan un papel muy importante en su diseño, debido a que una correcta selección del material, permite disminuir las pérdidas de energía por transferencia de calor, e incrementa el tiempo de secado de la madera, y el ahorro del combustible que se utiliza para el funcionamiento de los hornos. El objetivo de este trabajo es diseñar pequeños módulos con paredes de igual material a los hornos de secado de madera industriales, para analizar el comportamiento de la transferencia de calor por conducción y determinar que material es más viable para utilizarlo como aislante térmico.

Palabras clave: hornos de secado de madera, conductividad térmica, flujo de calor.

Abstract
(Building Material for Wood Drying Kilns)

The study of heat transfer processes applied to kilns for drying wood in the region of the Sierra Norte de Puebla is very important, because it's able to control the consumption of fuel and obviously energy necessary for the proper functioning of ovens. The materials making up the walls of the ovens for drying wood play an important role in this design, because the right choice of material helps to reduce energy losses by heat transfer and increases the drying time wood, and saving of fuel used for the operation of the furnaces. The aim of this work is to design small modules with walls based on the same material to the drying ovens industrial wood, to analyze the behavior of heat transfer by conduction and determine what material is most viable for use as thermal insulation.

Key words: wood drying kilns, thermal conductivity, thermal insulation.

1. Introducción

La industria de la transformación de especies coníferas (pinos, abetos, ayacahuite) está constituida por una gran cantidad de aserraderos en el estado de Puebla, de los cuales la mayoría se encuentran en la región de la Sierre Norte de Puebla, específicamente en las ciudades de Tetela de Ocampo, Chignahupan, Zacatlán, Huachinango, Xicotepec de Juárez, entre otros.

Los aserraderos son industrias que se dedican al aserrado de madera en diferentes dimensiones. Este proceso culmina con el secado de la madera en cámaras térmicas o como comúnmente se llaman *hornos de secado de madera*.

El secado de madera en los hornos depende de tres factores principales, que son la velocidad del aire, la humedad relativa y la temperatura del aire que rodea al horno de secado.

La principal problemática que se presenta en los hornos de secado de madera de los aserraderos de la región, es el alto consumo de combustible (como diesel, gasolina, la propia madera, etc.) para realizar el proceso. Esto se debe en gran magnitud a la pérdida de energía calorífica que se genera en las paredes de los hornos, provocando una disminución en la temperatura del aire que los rodea.

La pérdida de energía que se genera en los hornos de secado de madera depende, en gran medida, del tipo de material que estén constituidos. Estos materiales van desde ladrillo común, ladrillo refractario, lámina, concreto, entre otros.

Esta problemática permite generar la siguiente pregunta: ¿se puede analizar el comportamiento de la transferencia de calor por medio del desarrollo de módulos didácticos, diseñados con los materiales que se utilizan en los hornos de los aserraderos de la región?

El objetivo de este trabajo es diseñar pequeños módulos con paredes de igual material a los hornos de secado de madera industriales, para analizar el comportamiento de la transferencia de calor por conducción y determinar que material es más viable para utilizarlo como aislante térmico.

2. Desarrollo

2.1. Proceso de secado de madera

Los procesos de secado de madera se pueden realizar de varias formas, las más comunes son:

Secado al aire libre. Consiste en colocar la madera convenientemente al aire libre, para que con el tiempo dicha madera alcance la humedad de equilibrio higroscópico del aire que la rodea. Este proceso no es muy conveniente, ya que tarda mucho tiempo en secar la madera [1].

Secadero de deshumidificación o bomba de calor. Se basa fundamentalmente en crear una atmósfera seca alrededor de la madera. Este tipo de secado es mucho más lento, se necesitan varias semanas o meses para completar el secado [1].

Secado artificial. Consiste en crear alrededor de la madera unas condiciones ambientales artificiales de presión, temperatura y humedad, muy por debajo de la humedad de equilibrio de la madera, lo que proporciona su secado rápido, (véase Figura 1, [1]).

Fig. 1. Horno artificial para madera, empresa PREMAC.

Las ventajas de este secado son las siguientes:
- Se puede llegar al grado de secado que se requiera.
- El tiempo de secado es mucho más corto.
- No hay peligro de azulado o pudrición [1].

2.2. Visita a aserraderos de la región

Se realizaron visitas a los aserraderos que tienen hornos de secado artificial, los cuales se enlistan a continuación:

- Productos Madereros Forestales SA de CV, ubicado sobre la carretera desviación a Tetela de Ocampo km 14; Lomalta Chignahuapan, Puebla (véase Figura 2).

Fig. 2. Horno artificial para madera. Productos Madereros Forestales S.A. de C.V.

Fig. 3. Horno artificial, Aserradero García SA de CV.

2.3 Construcción de los módulos de transferencia de calor

Los módulos de transferencia de calor están construidos con los materiales ya designados y las dimensiones de las paredes son de 0.5 x 0.5 x 0.5 m, con el objetivo de que todas las paredes tengan la misma área (véase Figura 4).

Ambos módulos de transferencia de calor cuentan con una hornilla para gas LP. Esto es con la finalidad de incrementar el nivel de temperatura en su interior y, así, poder realizar el análisis de transferencia de calor en cada una de las paredes y determinar que material se comporta mejor como aislante térmico (véase Figura 5).

- Aserradero García S.A. de C.V., ubicado en el municipio de Llano Verde, en la ciudad de Chignahupan (véase Figura 3).

- Cajas y Empaques Industriales de Madera SA de CV, localizado en el km 51 carretera Apizaco-Zacatlán, Lomalta Alta, Chignahuapan, Puebla.

- Aserradero Hernández, localizado a 120 metros de la carretera Chignahuapan - Tlaxco, en domicilio conocido Aquiles Serdán Chignahuapan, Puebla.

- Industria Forestal Ejidal de la Sierra Norte, S.P.R. R.I. de C.V., Ubicada sobre la carretera federal Chignahuapan-Zacatlán, km 3.0 Chignahuapan, Puebla.

Estas empresas dedicadas a la transformación de la madera, realizan el secado de la misma por medio de hornos artificiales. Estos están construidos de diferentes tipos de materiales, los cuales se describen en la Tabla 1.

Los materiales presentados en la Tabla 1 son los utilizados en la construcción de los pequeños módulos para el análisis de la transferencia de calor por conducción.

Tabla 1. Relación de materiiales que están construidos los hornos artificiales de secado de madera de la región.

Partes del horno	Aserradero	Material	Conductividad térmica [W/m-k]
Paredes	Madereros Forestales S.A de C.V.	Ladrillo estructural Vintex 6	0.218
Techo	Aserradero García S.A. de C.V.	Ladrillo común	0.800
Piso	Cajas y Empaques Industriales de Madera S.A. de C.V.	Ladrillo recocido con recubrimiento de cemento	0.47-1.05
Puerta	Aserradero Hernández	Block de arena comprimida	0.7-0.9
	Todos los aserraderos	Cemento y graba	1.40
	Todos los aserraderos	Cemento y graba	1.40
	Todos los aserraderos	Lámina de acero glavanizado	43-58.
		Tabla roca	0.81
		Lámina de fibra de madera	045

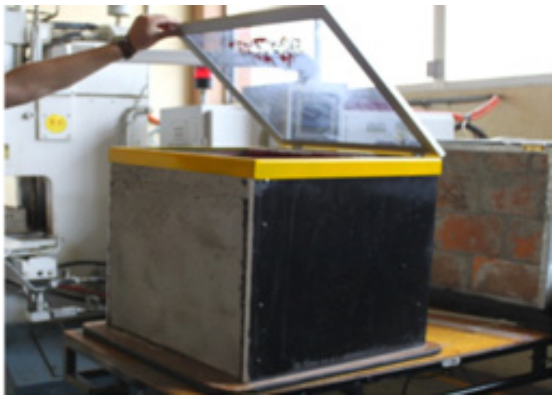

Fig. 4. Módulos de transferencia de calor, construidos con los mismos materiales de los hornos industriales para el secado de la madera.

2.4. Análisis de la transferencia de calor por conducción

El fenómeno de transferencia de calor por conducción constituye un proceso de propagación de energía en un medio sólido, líquido o gaseoso mediante la comunicación molecular directa cuando existe un gradiente de temperatura.

Tomando como referencia la ecuación para el flujo de calor por conducción (1), y la expresión del flujo de calor por conducción unidimensional en estado estable (2). Se determina la cantidad de energía transferida por las paredes de los módulos de transferencia de calor [2].

Fig. 5. Los módulos de transferencia de calor cuentan con una hornilla para gas LP.

$$q = \frac{KA\,(T_1 - T_2)}{L} \tag{1}$$

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\dfrac{L_A}{K_A A} + \dfrac{L_B}{K_B A}} \tag{2}$$

Donde q = denota el flujo de calor por unidad de área, K = la conductividad térmica del material (W/mK), T_1 y T_2 son el gradiente de temperatura (°C), L = espesor de la pared, A = área de la superficie que se está analizando [2].

3. Resultados

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la intensidad del flujo de calor por cada una de las paredes de los módulos de transferencia de calor. Además, de la misma Tabla 2 se puede observar que el aserradero Productos Madereros Forestales SA de CV, que utiliza ladrillo estructural Vintex 6 en sus paredes, tiene una cantidad de transferencia de calor por conducción de 27.48W. Haciendo el contraste de esto, el Aserradero García SA de CV genera un flujo de calor de 116W, debido a sus paredes de ladrillo común.

Todos los hornos de secado para madera que se visitaron, tienen techo de cemento y graba, la cual genera un flujo de calor de 203W. En el caso de la puerta se tiene una intensidad de 560 666W, una cantidad muy elevada ya que todos emplean lamina galvanizada. Este material tiene una conductividad térmica de 43 a 58 W/m-K, lo que permite la fluidez del calor en su espesor.

De esta manera se demuestra que el material más adecuado para la construcción de los hornos en el secado artificial de madera es el ladrillo estructural Vintex 6, debido a que se opone más al flujo de calor.

4. Conclusiones

La visita a los aserraderos de la región ha proporcionado una visión más amplia sobre el funcionamiento de los hornos de secado de madera y en especial sobre los diferentes materiales que se emplean para la construcción de las paredes de los hor-

Tabla 2. Resultados de la cantidad de energía transferida en las paredes de los módulos de transferencia de calor.

Partes del horno	Aserradero	Material	Q (Watts)
Paredes	Madereros Forestales S.A de C.V.	Ladrillo estructural Vintex 6	27.48
	Aserradero García S.A. de C.V.	Ladrillo común	116.0
	Cajas y Empaques Industriales de Madera S.A. de C.V.	Ladrillo recocido con recubrimiento de cemento	73.9
	Aserradero Hernández	Block de arena comprimida	87.0
Techo	Todos los aserraderos	Cemento y graba	203.0
Piso	Todos los aserraderos	Cemento y graba	203.0
Puerta	Todos los aserraderos	Lámina de acero glavanizado	560 666.6
		Tabla roca	32.3
		Lámina de fibra de madera	187.5

nos. A su vez la información teórica proporcionó la línea para realizar el análisis sobre la transferencia de calor y la selección de los materiales para la construcción de los módulos de transferencia de calor existentes. Esta información permitió el análisis matemático para determinar la cantidad de energía calorífica que pasa por cada una de las paredes de los módulos de transferencia de calor y, así , determinar el material más adecuado para utilizar en las paredes de los hornos de secado de madera.

Referencias

[1] Santiago Vignote Peña, I. M. *Tecnología de la madera*, 3a ed., Vol. 3, Madrid: Mundi-Prensa, 2005.

[2] Manrique, J. Á. *Transferencia de calor*, 2a ed., México: Oxford, 2005.

[3] CORPACERO, Corporación de Acero (productor), *Lámina galvanizada lista calidad comercial*. Recuperado el 24 de marzo de 2012 de www.lamina galvanizada.com.

[4] Gálvez, R. F. Análisis de la industria de la madera aserrada en México. *Madera y Bosques* , Vol. 1, Núm. 1, pp. 100, 2007.

[5] Kreith/Bohn.*Principios de transferencia de calor* (Vol. 6). (P. d. Rosales, Ed.) Denver Colorado, USA: Thomson, 2001.

[6] Mill, R. H. *Proceso de secado para evitar defectos en la madera verde*. (L. S. Center, Ed.) 5, 24.

[7] Santander, L. *Ladrillera santander*. Recuperado el 2012, de www.ladrillerasantander .com

[8] Viscarra, S. *Guía para el secado de la madera en hornos*. 64, agosto de 2000.

DOAJ

Directory of Open Access Journals

20% of peer-reviewed articles are now freely available

http://www.doaj.org

Instituto Politécnico Nacional

Científica

La Revista Mexicana de Ingeniería Electromecánica

Promedio de descargas mensuales de artículos:

2007	2 571
2008	2 864
2009	3 651
2010	**4 916**

121 artículos descargados por día en 2009

163 artículos descargados por día en 2010

Fuente: Sistema de Información Científica Redalyc
http://redalyc.uaemex.mx/

Instituto Politécnico Nacional

Científica

La Revista Mexicana de Ingeniería Electromecánica

Países de los autores que han publicado:

Cuba
Brasil
Colombia
Egipto
España
Japón
Marruecos
Perú
Portugal
Rusia
Reino unido
Ucrania
Venezuela

Fuente: Sistema de Información Científica Redalyc
www.redalyc.org

Indicaciones para los colaboradores que deseen publicar en la revista Científica

La revista *Científica* es una publicación trimestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México, que presenta trabajos de investigación y propuestas originales e inéditas de la Ingeniería Eléctrica, Mecánica, en Sistemas, Electrónica, en Telecomunicaciones y de la Educación en Ingeniería.

Los manuscritos pueden estar escritos en español o en inglés y se reciben en formato electrónico (copia adjunta del archivo digital del trabajo), por medio del correo electrónico revistacientifipn@yahoo.com.mx con atención al Comité Editorial (Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Edificio 5, 1er Piso, oficina de la revista *Científica*; Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, ciudad de México, DF, México).

Los trabajos recibidos son revisados por el Comité Editorial quienes designan a un Editor Asociado (éste desconoce tanto la autoría y procedencia de los manuscritos) de acuerdo a la disciplina que cubren los artículos. El Editor Asociado selecciona dos árbitros para que evalúen el escrito (pares ciegos), él mismo recibe las observaciones de éstos e informa al Comité sobre los resultados de la revisión. Los trabajos pueden ser aceptados para su publicación, aceptados si se realizan modificaciones necesarias o rechazados. La aceptación está sujeta a la aprobación, en todos los casos, de dos revisores; cuando no hay consenso entre los dos primeros revisores el Editor Asociado resuelve el dictamen. Los trabajos deben ser investigaciones o propuestas originales inéditas, sin excepción, sobre las áreas mencionadas y no pueden estar sujetas a revisión en ninguna otra publicación de forma simultánea; además, el resultado del proceso de arbitraje es inapelable y se sujeta, estrictamente, a las políticas dictadas por el Comité Editorial en funciones. Una vez aceptado un artículo, el autor o autores transfieren los derechos de publicación a la institución editora que está representada por el Editor en Jefe de la revista.

Estructura de los artículos

Los manuscritos se deben ajustar a los lineamientos editoriales expuestos en este apartado.

Dentro del artículo se numeran, solamente, las secciones desde la introducción hasta las conclusiones y debe contener los siguientes elementos: *resumen* (con palabras clave en español), *abstract* (con palabras clave en inglés, «keywords»), *introducción*, *desarrollo* (con sus apartados correspondientes), *conclusiones* y *referencias*.

Título

El título debe ser lo más corto posible (sin utilizar abreviaturas de preferencia) y no exceder de tres líneas.

Datos del autor

Éstos muestran el o los nombres completos de los autores (los apellidos unidos por un guión), la dirección postal de la institución a la cual pertenecen, país, el teléfono (con la clave internacional de su país), fax y correo electrónico. En el caso de dos autores o más (de diversas instituciones), se deben mencionar los datos completos de cada uno.

Resumen

Debe contener 250 palabras como máximo. Consiste en una pequeña descripción de la investigación y una breve información de los resultados del trabajo que permite a los lectores identificar con rapidez los aspectos fundamentales del artículo y discernir la relevancia de éste.

Abstract

Se incluye un resumen en inglés.

Palabras clave y *keywords*

Se deben incluir de tres a cinco descriptores del trabajo con, al menos, dos de ellos pertenecientes al tesauro del IEEE, éste se puede obtener enviando un correo electrónico en blanco a keywords@ieee.org y de manera automática se recibe la lista *official keyword list from IEEE*.

Introducción

Expresa los antecedentes, límites, alcances y relevancia del problema. Plantea las premisas del mismo, y expresa el objetivo del trabajo. Se sugiere no extenderla como si fuera una exposición analítica.

Desarrollo

Se refiere al desarrollo del tema que puede ser teórico, experimental, teórico-experimental o la descripción de un nuevo diseño.

Conclusiones

Se establece la respuesta global del problema, son los objetivos alcanzados, las hipótesis comprobadas, modificadas o rechazadas.

Referencias

Es la lista de fuentes bibliográficas: libros, artículos, manuales, memorias, etcétera. Deben aparecer en el orden en el cual se mencionan dentro del artículo, señalándose con el número entre corchetes, con las siguientes especificaciones:

Artículo de revista científica:

[1] Autor, "Nombre del artículo", *Revista*, volumen, número, páginas, mes(es), año.

Ejemplo:

[1] S. A. Boggs, y N. Fujimoto, "Techniques and instrumentation for measurement of transients in gas-insulated switchgear", *IEEE Transactions on Electrical Installation*, vol. 19, núm. 2, pp. 87-92, abril, 2004.

Artículo de revista científica en línea:

[2] Autor, "nombre del artículo", *Revista*, volumen, número, páginas, mes(es), año, disponible en: 'dirección en Internet'

Ejemplo:

[2] J. A. Posada-Duque, y C. A. Cardona-Alzate, "Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel", *Ing. Univ. Bogotá*, vol. 14, núm. 1, pp. 9-27, enero-junio, 2010, disponible en: http://www.javeriana.edu.co/Facultades/ingenieria/revista/Iy UVol14N1/Biodiesel.pdf

Libro:

[3] Autor, *título*, número de edición, lugar de edición (ciudad): editorial, año.

Ejemplo:

[3] W. M. Kays, y M. E. Crawford, *Convection Heat and Mass Transfer*, 2ª ed., New York: McGraw-Hill,1993.

Tesis:

[4] Autor, "título de la tesis", grado, disciplina, institución, ciudad de la institución, país, año.

Ejemplo:

[4] N. Kawasaki, "Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow", tesis de maestría, Ingeniería Electrónica, Universidad de Osaka, Osaka, Japón, 1993.

Anexos

Los agradecimientos, simbología, notación y otros anexos, se consideran dentro del cuerpo del artículo y se dejan a consideración del autor. Se debe indicar si el trabajo ha sido previamente presentado en alguna institución científica o realizado con la ayuda de una subvención o fondo especial.

Consideraciones técnicas sobre el archivo electrónico

Para obtener la mejor calidad al realizar la edición de los manuscritos en el formato de la revista, se recomienda que:

a) El trabajo se capture en un procesador de textos (*word*) con páginas en tamaño 'carta';

b) El tipo de letra del texto sea 'Times New Roman' de 10 puntos, en una página con márgenes superior e inferior de 3 cm, márgenes izquierdo y derecho de 2 cm a dos columnas con espaciamiento de 0.6 cm entre ellas, interlineado sencillo y espacio entre párrafos sin sangría (párrafo moderno);

c) Las ecuaciones y fórmulas numeradas para mayor claridad, acrónimos y abreviaciones deben definirse la primera vez que sean usados en el texto;

d) Los pies de las figuras deben estar debajo de éstas con la indicación 'Fig. 1'; además, el título de los ejes en figuras a menudo es causa de confusión, por lo que se sugiere usar palabras en lugar de símbolos. Los encabezados de las tablas deben estar arriba de éstas. Se requiere el uso, en todo caso, de símbolos (SI) en lugar de abreviaturas;

e) Las figuras y tablas en el documento deben aparecer en el cuerpo del manuscrito y, además, entregarse en archivos por separado (.tif, .jpeg), es importante que al pasar cualquier imagen por un escáner debe hacerlo con una resolución de 300 ppp (puntos por pulgada). Se debe evitar el uso de colores en las figuras que señalen detalles o diferencias.

Científica considera que el material utilizado por los autores para su publicación está debidamente autorizado para tal propósito y le corresponde a los autores, no a *Científica*, obtener los permisos correspondientes para dicho material. La revista *Científica* se reserva el derecho de hacer modificaciones editoriales para el diseño de los manuscritos en el formato vigente. Cualquier duda o comentario se puede enviar a edicion.tecnica.cjp@gmail.com, de antemano gracias.

Científica ISSN 1665-0654
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Instituto Politécnico Nacional, México.
Edificio 5, 1er Piso, Oficina de la revista *Científica*,
Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, México, DF, MÉXICO.
Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518,
www.cientifica.esimez.ipn.mx revistacientifipn@yahoo.com.mx.

Information for Authors Submitting Papers to Científica Journal

Científica is a quartely Journal sponsored by the Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) of Instituto Politécnico Nacional Mexico, it publishes theoretical and experimental research on Electromechanical and Electronics Engineering, Computer Engineering, Telecommunications, and also Education in Engineering.

Manuscripts could be written in English and sent by email to revistacientifipn@yahoo.com.mx addressed to the Editorial Board [Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, Mexico City, DF, Mexico].

Papers are reviewed by the Editorial Board and sent to an Associate Editor (AE doesn't know authors and their affiliations), he chooses two referees (blind peer review) selected for their expertise in a given field and reports to the Editorial Board the results. Authors should only submit original work that has neither appeared elsewhere for publication, nor which is under review for another refereed journal. Author accepts sending his/her paper the Editorial Board Policies. Once a manuscript has received the final approval of the reviewers and Editor-in-Chief, the author will be notified and sent a copyright form, in any event, authors must transfer copyright to *Científica*.

Manuscripts

The manuscript must be prepared in a *Word* format with the sections, starting with an abstract, as shown below:

- **Abstract**
- **Resumen (Spanish abstract)**
- **Introduction**
- **Body of the manuscript**
- **Conclusions**
- **References**

Title

Must be concise and no longer than 3 lines using capital and lower case letters.

Authors' Name and Affiliations

The authors' name must be written below the title using a one column format staring with the given name followed by one or two family names, if two family names applies, they should be joined by a hyfen. Below the authors names must be written the affiliation including the address quality, fax, telephone number and email.

Abstract

The abstract with about 250 words must give a brief description about the research including some comments about the experimental or simulation results and conclusion.

Resumen (Spanish abstract)

It is desirable that, if it is possible, a Spanish abstract be provided.

Key words (*palabras clave*)

All papers must contain index terms as provided by the authors. A list of keywords is available by sending a blank email to keywords@ieee.org. They must be incorporated in Spanish too.

Body of the Manuscript

The body of the manuscript must include an introduction in which the relevance of the research must be explained. A review of related research works by either, the same or another authors must be included. The body of the manuscript also must include the theoretical aspects of the research, as well as experimental or simulation results if any, together with a Conclusions Section.

Reference

A numbered list of references must be provided at the end of the paper. The list should be arranged in the order of citation in text, not in alphabetical order. List only one reference per reference number. It is not necessary to mention the authors of a reference unless such mention is relevant to the text.

Sample correct formats for various types of references are as follows.

Journal:

[1] Author, "Paper", *Journal*, volume, number, pages, month(s), year.

Example:

[1] S. A. Boggs & N. Fujimoto, "Techniques and instrumentation for measurement of transients in gas-insulated switchgear", *IEEE Transactions on Electrical Installation*, vol. 19, no. 2, pp. 87-92, April, 2004.

Journal on line:

[2] Author, "Paper", *Journal*, volume, number, pages, month(s), year, available: 'URL'

Example:

[2] J. A. Posada-Duque & C. A. Cardona-Alzate, "Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel". *Ing. Univ. Bogotá*, vol. 14, no. 1, pp. 9-27, January-June, 2010, available: http://www.javeriana.edu.co/Facultades/ingenieria/revista/IyUVol14N1/Biodiesel.pdf

Books:

[3] Author, *Title*, edition, city: editorial, year, pages (if any).

Example:

[3] W. M. Kays & M. E. Crawford, *Convection Heat and Mass Transfer*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill,1993.

Thesis:

[4] Author, "Thesis", degree, area, institution, city, country, year.

Example:

[4] N. Kawasaki, "Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow", Master Degree, Electronic Engineering, University of Osaka, Osaka, Japan, 1993.

Preparation for publication

The following is a list of general guidelines for the submission of electronic media by prospective authors:

a) The operating system and word processing software used to produce your document should be noted on your e-mail (postscript and Adobe Acrobat PDF files are not acceptable because the files cannot be edited);

b) Text in 'Times New Roman' at 10, margins of page in 3 cm top and bottom and 2 cm on the sides, two-column text, single spacing without paragraph indent;

c) Check that your files are complete. Include: abstract, index terms, text, references and figure captions;

d) Figures comments must be below them and tables comments above. It is necessary to use the International Systems of Units not abbreviations;

e) In order to achieve the highest quality of reproduction, resolutions of 600 dpi (1 bit/sample) at final printed size for line art (graphs, charts or drawing) and 300 dpi (8 bits/sample) at final printed size for photographs and other grayscale images are required;

Científica assumes that material submitted to its publication is properly available for general dissemination for the readership of this publication. It is the responsibility of the authors, not *Científica*, to determine whether disclosure of their material requires the prior consent of other parties and, if so, to obtain that consent. If an author uses charts, photographs, or other graphics from previously printed material, he/she is responsible for obtaining written permission from the publisher to use the material in his/her manuscript.

Científica does not provide drafting or art services. Thus, the better the quality of the material submitted, the better the published result. Try to adhere to the accepted style as much as possible. Of particular importance here is the reference list. Questions about preparation for publication can be sent to edicion.tecnica.cjp@gmail.com.

Científica
ISSN 1665-0654
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Instituto Politécnico Nacional, México.
Edificio 5, 1er Piso, Oficina de la revista Científica,
Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos,
CP 07738, México, DF, MÉXICO.
Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518.

www.cientifica.esimez.ipn.mx
revistacientifipn@yahoo.com.mx.

Instituto Politécnico Nacional, México
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

Revista
Científica
ISSN 1665-0654

volumen 18, número 4, octubre-diciembre 2014

Comité Editorial

Guillermo Urriolagoitia Calderón
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Alexander Balankin
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Jesús del Castillo
Instituto Venezolano de Investigación Científica
VENEZUELA

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester
REINO UNIDO

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid
ESPAÑA

Marco Ceccarelli
University of Cassino
ITALIA

Héctor Pérez Meana
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Jinhui Shao
University of Shuo
JAPÓN

Indizada en:

Latindex: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica:
Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.
http://www.dgbiblio.unam.mx/
http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=PER01

Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información Científica Redalyc.
redalyc.org.

Contenido

Modelación de sistemas productivos esbeltos con redes de Petri: una metodología sistémica
Lean Production Systems Modelling with Petri Nets: A Systemic Methodology
Alberto **Morales-Varela**, Jorge **Rojas-Ramírez**, Idalia **Flores de la Mota**, Ricardo **Tejeida-Padilla**, Luis Manuel **Hernández-Simón**.
México 117-129

Automatización de una sierra ingletadora para la fabricación de disipadores de calor modelo TUC37644-2
A Miter Saw Automation for Manufacturing Heat Sinks Model TUC37644-2
Ricardo **Regis-Aguilar**
México 131-134

Análisis numérico de esfuerzos térmico-mecánico en la placa bipolar de una celda de combustible tipo PEM
Numerical Analysis of Thermal and Mechanical Stresses on a PEM Fuel Cell's Bipolar Plate
Adolfo **López-Liévano**, Daniel Ramón **López Liévano**.
México 135-139

Material de construcción para hornos de secado de madera
Building Material for Wood Drying Kilns
Edgar **Hernández-Palafox**
México 141-145

Equipo Editorial
Guillermo Urriolagoitia Calderón, **Editor en Jefe**
Alma Vicenta Miranda Godínez, **Coordinadora Editorial**
Cuauhtémoc Jiménez Pérez, **Editor Técnico**
Margarita Sam Rodríguez, **Revisora**