



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness
*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

EQUIPO MECATRÓNICO DIDÁCTICO BASADO EN EL ENFOQUE GEMMA/GRAF CET PARA LA ENSEÑANZA DE LA AUTOMATIZACIÓN

Jovanny Rafael Duque

Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico
Soledad, Colombia

Resumen

Este trabajo documenta el diseño de un equipo mecatrónico didáctico usado para la implementación programada de la Guía GEMMA basada en GRAFCET, a fin de comprobar el potencial de estos dos modelos gráficos en la automatización de equipos industriales. El modelo jerárquico propuesto por GEMMA se basa en un enfoque *top-down*, ofreciendo una visión global de como los Grafcet's parciales se integran entre ellos por medio de reglas de forzado, de jerarquía, de coordinación vertical y horizontal, siendo la aplicación de esta metodología apropiada al control de sistemas con múltiples modos de marchas y paradas.

Palabras clave: diseño estructurado de sistemas automatizados; innovación en la enseñanza de la automatización; GRAFCET; GEMMA; HMI

Abstract

This paper documents the design of a mechatronics equipment used for implementation of the guide GEMMA based on SFC, in order to reveal the potential of these two graphical models in automation of industrial equipment. The hierarchical model proposed by GEMMA is based on a top-down approach, offering a global vision of how the partial SFC's are link between them by rules of forced hierarchy, vertical coordination and horizontal coordination, being the application of this methodology best suited to control systems with multiple modes of marches and stops.

Keywords: structured design of automated systems; innovation in teaching automation; GRAFCET; GEMMA; HMI

1. Introducción

Se ha creado un equipo que permite al estudiante o al diseñador de sistemas automatizados, abordar en forma estructurada la automatización de una máquina genérica, en la cual fuese posible implementar completamente la Guía GEMMA basada en GRAFCET, y pasar del mero entendimiento de estos modelos al desarrollo de una metodología de programación gráfica que los entrelace sinérgicamente, superando la gran generalidad de estos dos modelos, exponiendo su potencial como eficaces herramientas de diseños en controladores industriales de eventos discretos.

Ante la complejidad de los modernos equipos de manufactura, el diseño de sus sistemas de control, debe asegurar la selección metódica de los modos de marchas y paradas que se requieren según las especificaciones del proyecto desde la etapa inicial de planificación; de no hacerlo, esta situación suele causar largas y costosas modificaciones al proyecto después de su realización. Desde la definición de las especificaciones del sistema, hasta la implementación y pruebas, el programador necesita utilizar modelos y herramientas complementarias que le guíen en todos los pasos, siendo capaz de utilizar estos formalismos en forma combinada para alcanzar el comportamiento deseado del sistema.

Se integró la guía GEMMA (*Guide d'Étude des Modes de Marches et Arrêts*) y el GRAFCET (*Grphe Fonctionnel de Commande Etapes-Transitions*) por ser dos modelos gráficos creados para complementarse, GEMMA contiene todos los posibles estados en los que puede estar el automatismo de una máquina y sus caminos de evolución, desde el estado de emergencia dotado de un nivel jerárquico superior sobre el Grafcet de Modos de Marchas y sobre cada uno de los Grafcet asociados a las 16 tareas de la GEMMA. Esta coordinación entre programas se realiza a través de los criterios de coordinación vertical, horizontal, reglas de jerarquía y de forzado.

2. Desarrollo del equipo

Se describen las herramientas de software/hardware y métodos usados en el proyecto para el diseño estructurado del sistema automatizado bajo un enfoque gráfico GEMMA/GRAFSET.

El GRAFCET es un potente lenguaje gráfico de programación para autómatas, evolucionado a partir de las redes de Petri [1], que permite representar los sistemas secuenciales de eventos discretos. Es resultado de las investigaciones hechas por la AFCET (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique) y reconocido como norma internacional IEC-848 (Preparation of function charts for control systems) en 2002 [2].

El GRAFCET se compone de etapas interconectadas con transiciones. Fig. 1. La sintaxis del gráfico debe ser tal que al recorrer el programa, por cualquier camino posible, deben alternarse siempre una etapa y una única transición. Sin importar la complejidad del sistema secuencial, este puede ser modelado como una combinación de tres estructuras básicas: Estructura lineal, divergencia y convergencia en <<O>> (subprocesos alternativos), divergencia y convergencia en <<Y>> (subprocesos simultáneos) [3].

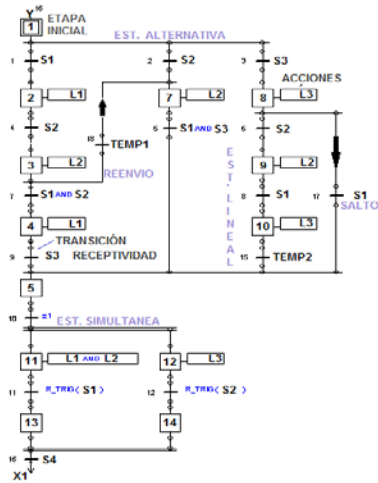


Figura 1. Estructuras y elementos del GRAFCET

De otra parte la guía GEMMA [4] es producto de la investigación desarrollada durante dos años por la Agencia Nacional Francesa para el Desarrollo de la Producción Aplicada a la Industria para representar gráficamente, todos los posibles estados en los que puede estar la Parte de Mando de una máquina (PM), así como sus posibles evoluciones de un estado a otro. Fig. 2. Su implementación incluye los estados de funcionamiento normal, tanto manual, automático o test (Grupo F), el funcionamiento en estado de defecto o deteriorado ante anomalías o fallos (Grupo D), los procedimientos de paro o parada solicitada (Grupo A), los procesos de rearme, puesta en marcha y el tratamiento de situaciones de emergencia en previsión de posibles daños humanos o materiales.

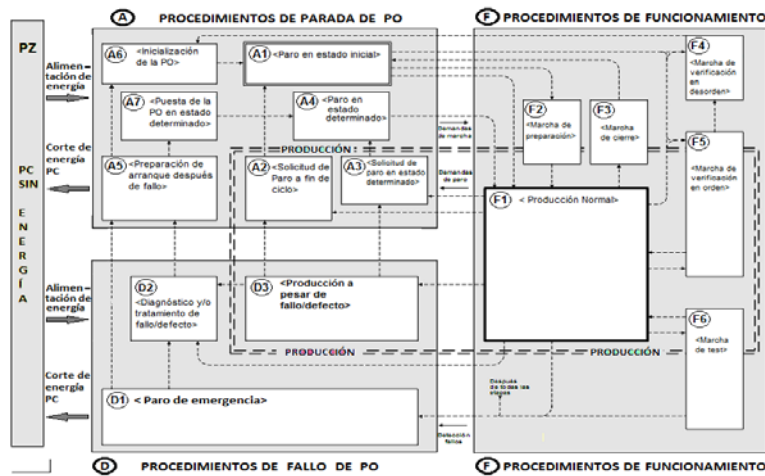


Figura 2. La guía GEMMA

Para verificar la validez de la metodología, se diseñó el hardware de un sistema mecatrónico portátil, Fig. 3, que recrea el ciclo de trabajo de una prensa dobladora electropneumática de láminas de metal, dotado con tablero de operación, guía GEMMA señalizada y autómatas programables, que permite desde la Parte de Mando (PM) implementar la totalidad de los estados de la máquina, ofreciendo al operario la posibilidad de intervenir en el automatismo en cualquier momento.



Figura 3. Equipo construido para implementar la guía GEMMA programada en GRAFCET

En cada ciclo de operación se deben ejecutar los movimientos descritos en el diagrama Espacio-Fase de la Fig. 4.

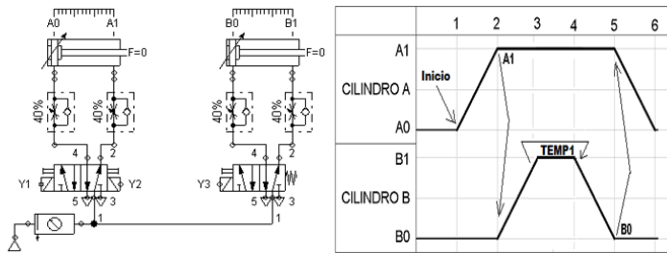


Figura 4. Circuito electroneumático y diagrama Espacio-Fase

Una vez definidos los Modos de Marcha y Paro para la máquina, la guía GEMMA se utiliza para precisar las señales de accionamiento que componen el pupitre de mando, con las que interactúa el operario para conducir el proceso de un estado a otro [11].

El pupitre de mando de la Fig. 5, sigue las recomendaciones de la normatividad relacionada con el código de colores. Aplicando los criterios de ergonomía en interfaces industriales Hombre-Máquina, se dispone a nivel horizontal de tres niveles conceptuales sobre el panel de mando.

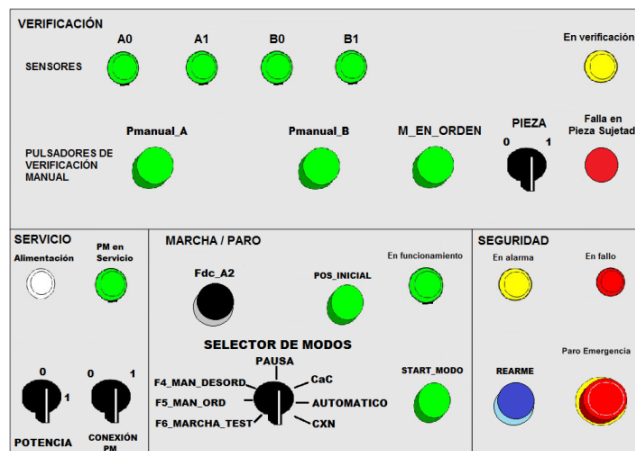


Figura 5. Pupitre de mando

En la programación de cualquier sistema automatizado la jerarquía entre los diversos aspectos del modelo global, viene dada por este orden: seguridad, modos de marcha y funcionamiento normal [8], Es común realizar el diseño de dispositivos de control automático, teniendo en cuenta exclusivamente las necesidades de funcionamiento normal del automatismo, sin otras consideraciones. Sin embargo, las necesidades de altos niveles de automatización en los procesos, así como dedicación especial a tareas de seguridad, vigilancia y autodiagnóstico imponen una complejidad creciente a dichos temas, sobre todo en la fase de concepción y de realización [9]. La estructuración en diversos submodelos permite realizar un diseño más detallado de cada una de las tareas a atender por parte del sistema de control, al tiempo que permite y facilita su representación documentada de forma más comprensible y legible para su posterior mantenimiento.

La programación estructurada se basa en reglas de jerarquía y en una visión completa del sistema, en la que la integración de los GRAFCET's parciales, predomina frente a un enfoque tradicional, que focaliza la atención en un único GRAFCET concreto, Fig. 10.

Según la regla de unidireccionalidad, si un GRAFCET tiene la posibilidad de forzar a otro, este último no tiene ninguna posibilidad de forzar al primero. La regla de unicidad establece que en todo instante un GRAFCET solo puede ser forzado por otro. La primera regla de jerarquía, es indiscutible y resalta el carácter unidireccional del forzado, ya que así se concibe el diseño estructurado del sistema automático. La segunda regla refleja la simpleza de la metodología, en el sentido de que sería problemático que un Grafcet pudiera ser forzado desde diversas fuentes [5].

El Grafcet de Seguridad es jerárquicamente superior a los demás, su activación envía órdenes de forzado de carácter prioritario al Grafcet de Modos de marcha o conducción (GMC) y de Producción, Fig. 6, ubicándolos en sus estados iniciales e impidiendo que puedan ser ejecutados mientras permanezca activa la situación de emergencia. [9].

Para implementar en forma programada la guía GEMMA, todo proyecto de automatización debe partir de la obtención del Grafcet de producción automática (F1), que describe la tarea para el que fue concebido y posteriormente la elaboración del GMC.

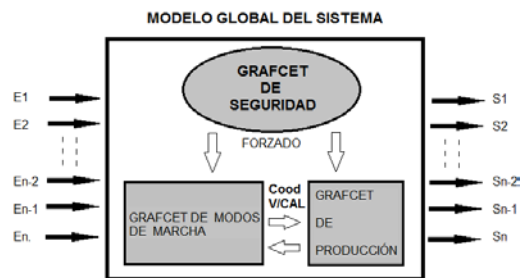


Figura 6. Jerarquía entre los diversos aspectos del modelo

Los estados de la guía GEMMA a implementar son un boceto de GRAFCET de nivel superior del cual se desprende directamente el GMC como se aprecia en la Fig. 7. Así mismo los saltos entre estados se implementarán mediante transiciones entre las etapas [8]. En condiciones normales de funcionamiento, el GMC es quien domina la activación de los GRAFCET's parciales de producción mediante una coordinación vertical, donde una y solo una etapa debe estar activa en todo momento.[10].

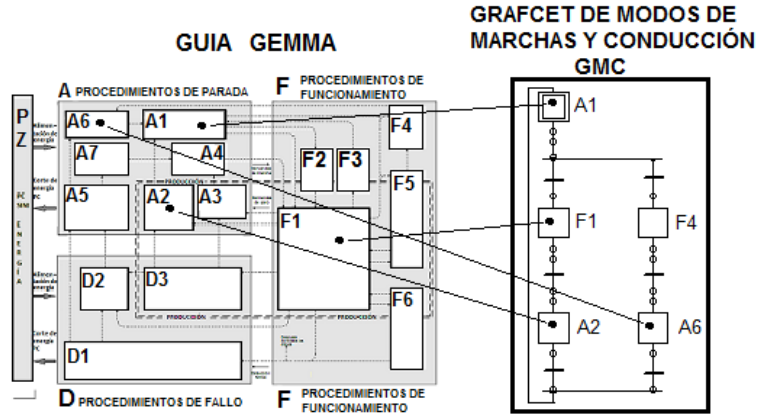


Figura 7. El GRAFCET de Modos de Marchas se desprende directamente de la Guía GEMMA

La metodología de estructuración por tareas plantea la integración de cada modo de GEMMA en un "grafo contenedor" de secuencias, debido a que muchos de ellos exigen un proceso similar o de mayor complejidad que el de producción normal (F1). Fig. 8.

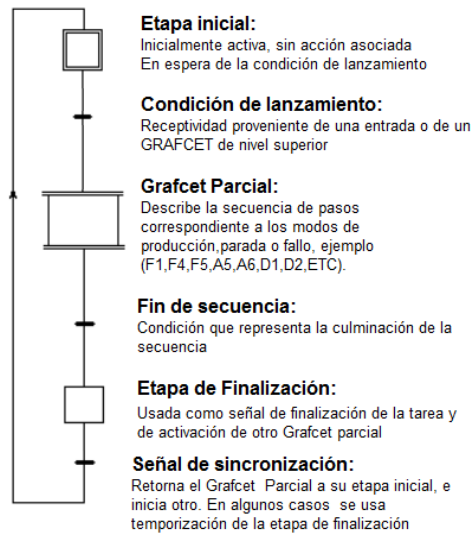


Figura 8. Estructura de un GRAFCET parcial

Las etapas del GMC representan las condiciones de lanzamiento de los Grafcet's de nivel jerárquico inferior como se observa en la figura 9.

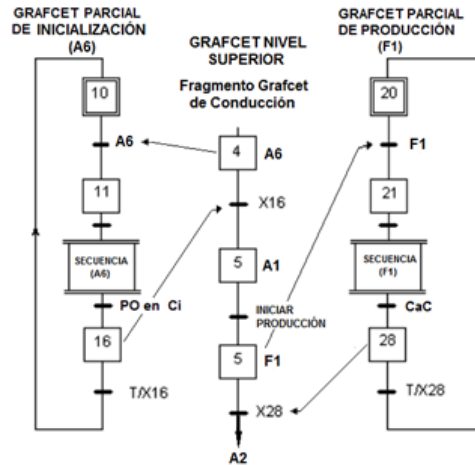


Figura 9. Coordinación vertical entre el GRAFCET de Conducción y los GRAFCET parciales

Esta forma de organizar las tareas en el Autómata ofrece al programador, una visión global y a la vez detallada del estado que está ejecutando el sistema. Realizar un diseño estructurado del sistema automatizado consiste en realizar, en la medida de lo posible, una representación separada de los diversos aspectos del modelo, tales como: funcionamiento normal de producción, distintos modos de marchas, paradas de emergencia asociadas a la seguridad, etc. La creación de GRAFCET's parciales, describe en forma exhaustiva cada estado de comportamiento del sistema, sin perder la legibilidad global del programa. Fig. 10.

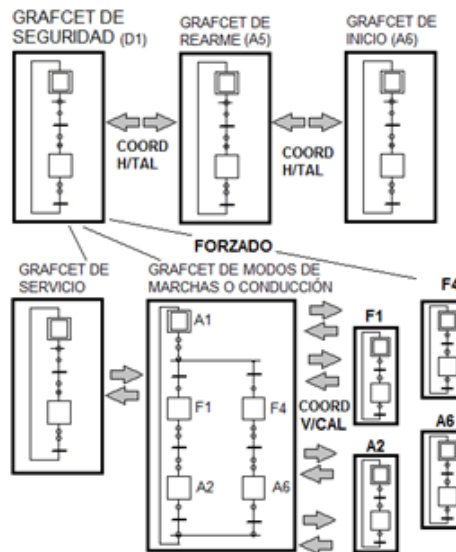


Figura 10. Coordinación jerarquizada de la Guía GEMMA

La secuencia de acciones desencadenadas por el GRAFCET de seguridad es un buen ejemplo de coordinación horizontal entre GRAFCET's. En el momento que el operario acciona el Paro de Emergencia, se activa el estado D1, Fig. 11, forzando los GMC, servicio y de producción a sus etapas iniciales, quedando estos inhabilitados y prevaleciendo sólo las reglas de evolución en el GRAFCET de seguridad. El estado D1 puede requerir de una secuencia de emergencia, constituida por una o más etapas, cuyas acciones están orientadas a situar al operador y a la máquina en las mejores condiciones posibles, para evitar o limitar las

consecuencias debidas a los fallos. Sólo cuando el operario valora la gravedad de la situación y corrige los incidentes más urgentes, puede proceder a desenclavar el botón de paro de emergencia, haciendo que GEMMA evolucione al estado A5, donde se procede a realizar las operaciones de limpieza, desbloques y/o reposicionamientos requeridos para el arranque después de un fallo. Estas operaciones se realizan en el GRAFCET de Rearme (A5), finalizada estas actividades, el operario puede acceder al estado (A6) o GRAFCET de inicialización de la GEMMA accionando el pulsador de REARME, terminando este con la ubicación del sistema en su posición inicial correspondiente al estado (A1), condición que determina la finalización del protocolo de Seguridad, permitiendo que el sistema pueda volver a su funcionamiento normal activando el GRAFCET de servicio. El uso combinado entre el interruptor de Paro de Emergencia y Pulsador de Rearme garantiza un protocolo eficaz y ordenado en situaciones de emergencia.

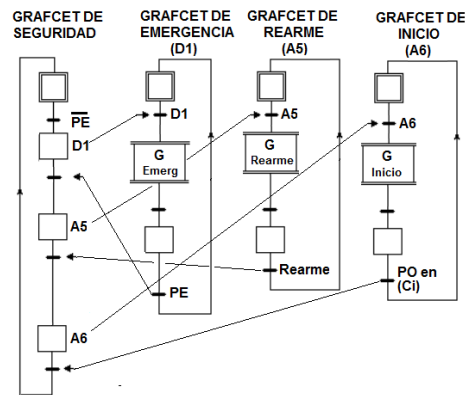


Figura 11. Coordinación horizontal de GRAFCET's en el protocolo de seguridad

El sistema de control requirió la elaboración de diez (10) GRAFCET's independientes relacionados con el tratamiento secuencial, el tratamiento previo, el tratamiento posterior y de ocho (8) programas auxiliares que permitió llevar la Parte Operativa de la máquina por los siguientes bucles: A1-F1-A2-A1; A1-F1-A3-A4-F1; A1-F4-A1; A1-F1-F4-A1; A1-F1-F5-F1; A1-F1-F5-F4-A1; A1-F1-F6-F1; A1-F1-D1-A2-A5-A6-A1; A1-F1-D1-A5-A7-A4; F1-D3-D2-A5-A6-A1; A1-F1-D3-A2-A1; Desde PZ a los procedimientos F-A-D; Desde los procedimientos F-A-D a PZ; Desde cualquier modo a D1.

La Fig. 12 presenta el proceso de pruebas y puesta a punto del equipo en los bucles de control (A1-F1-A2-A1) y (A1-F4-A1), correspondiente a los estados de producción normal (F1) y verificación manual en desorden (F4).

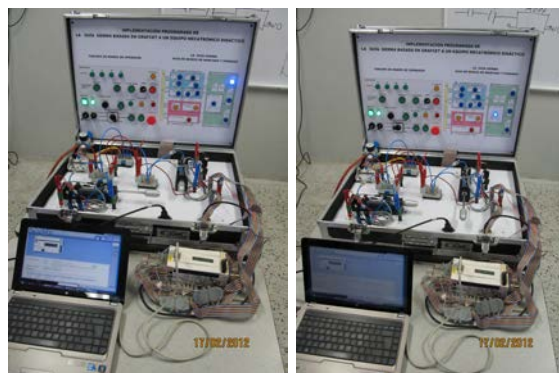


Figura 12. Pruebas finales

3. Conclusiones y recomendaciones

El equipo resultado de la investigación, ha mostrado ser una herramienta didáctica en la formación de técnicos, tecnólogos y estudiantes de ingeniería mecatrónica del ITSA desde su construcción en el año 2011, en los módulos de electroneumática, autómatas programables I y II, sistemas MPS, automatización, sistemas SCADA, entre otras asignaturas, al tener elementos únicos que lo diferencian de las propuestas actuales de Sistemas Modulares de Producción (MPS), por su portabilidad, ergonomía y simplicidad de la parte operativa (pupitre de mando frontal complementado con guía GEMMA y equipo electroneumático), haciéndolo apropiado para la formación académica, en temas avanzados de automatización, tanto a nivel de extensión, pregrado y/o posgrado.

Se expuso los lineamientos claves para la implementación programada de la guía GEMMA, enfocada al caso específico de la automatización de una prensa electroneumática. La automatización del equipo bajo este enfoque, generó un control confiable centrado en el operario, siendo la máquina quien se adapta a las solicitudes impuestas desde una interfaz de mando, que tiene previstas todas las formas de interacción Hombre-Máquina, facilitando al operario la supervisión y control del estado en que se encuentra el proceso, pudiendo este intervenir en cualquier momento en el ciclo de operaciones, a través del módulo de seguridad o el módulo de modos de marcha y paradas.

Los lineamientos metodológicos aplicados en el proyecto para la programación estructurada de autómatas programables son genéricos y produjeron un código fácilmente extrapolable para su aplicación en sistemas más complejos.

La implementación de la guía GEMMA con un lenguaje de programación distinto al GRAFCET representa un reto muy alto para las habilidades de un programador experto.

Referencias

- [1] R. Davis, "Grafcet a powerfull tool for specification of logic controller", IEEE Congress, vol.3, no 3. pp 253 – 267, 1995.
- [2] ADEPA /AFCET. "Le GRAFCET". : Cépaduès. Second edition, Toulouse, 1995.
- [3] J. Bacells and J. Romeral, "Autómatas Programables". 1ª ed. México. Editorial Marcombo, 2000.
- [4] ADEPA. Le GEMMA. "Guide d'tude des Modes de Marches et d'Arrets". Rept. Montrouge: ADEPA, 1981.
- [5] P. Ponsa y R. Vilanova, "Automatización de procesos mediante guía GEMMA", 1ª ed., Barcelona, Ed Edicions UPC, 2005.
- [6] R. Piedrahita Moreno, "Ingeniería de la automatización industrial". 2nd ed. México: Ra-Ma, 2004.
- [7] E. García, F. Morant, J. Salt y A. Correcher, "Herramientas de modelado para el diseño jerárquico de sistemas de automatización industrial", Conferencia en el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, 2005.
- [8] Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Nov. 2008. Disponible en <http://www.ceafiac.es/>
- [9] E. García Moreno, "Automatización de procesos industriales". Valencia. 2nd. Ed. Alfaomega. 2000.

- [10] J. Machado, and E. Seabra, ABCM Symposium Series in Mechatronics-A Systematized Approach to Obtain Dependable Controllers Specifications, vol. 4, pp. 408-417, 2010.
- [11] P. Ponsa, R. Vilanova y M. Diaz, “An Integral Human-Machine System Framework: From Automation to Usability Engineering”, Mem. Symp. HFT Kuala Lumpur, vol. 1, pp. 316 319, 2008.

Sobre el autor

- **Jovanny Rafael Duque**, Ingeniero mecánico, Docente tiempo Completo – ITSA, Magister en Ingeniería de Procesos Industriales, especialista en automatización y mecatrónica. Ponente CIIT 2011 y en AMDM 2012. Miembro-GIIT. Correo electrónico: jduque@itsa.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)