Congr. Int. en Ing. Electrónica. Mem. ELECTRO, Vol. 39, pp. 27-31, Oct 2017, Chihuahua, Chih. , México
http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2017.zip
ISSN 1405-2172

SISTEMA INFORMÁTICO DE CONTROL DE PRODUCCIÓN BASADO EN OPERACIÓN DIRIGIDA POR MODELO

González Hidalgo Miguel Angel[1]

[1]Facultad de Ingeniería, UACH

p244719@uach.mx

Acosta Cano de los Ríos, José Eduardo[2]

[2]Instituto Tecnológico de Chihuahua
División de Posgrado e Investigación
jacosta@itchihuahua.edu.mx

RESUMEN.

Se presenta el desarrollo de un sistema informático de control para el lanzamiento de ordenes en un área de producción por lotes, adaptando la técnica iMRP para el modelado del proceso y la aplicación del concepto de operación dirigida por modelo. El sistema se realiza con base en la arquitectura de referencia ArquiTAM para obtener una flexibilidad de adaptarse a cambios en la receta, procesos o equipo de producción. Se plantea utilizar la técnica para el modelado del proceso llamada iMRP (acrónimo de integrador modular de recursos de producción). En esta técnica se abstraen los productos, equipos y operaciones que realiza el área de producción, para ser interpretado por un sistema informático de control y así aplicar el concepto operación dirigida por modelo y analizar el manejo de la información que se genera en el piso aplicando módulos de simulación del proceso, así como de planificación de las tareas que se generan al realizar los productos. En el documento se muestran los resultados obtenidos al implementar la metodología iMRP para la operación dirigida por modelo, basándose en el esquema referencia de ArquiTAM en el desarrollo del sistema informático de control aplicados en un proceso de producción por lotes en una empresa real.

Palabras Clave: Modelado de sistemas iMRP, Arquitectura de referencia ArquiTAM, Operación dirigida por modelo, Administración de proyectos MS Project, Sistemas informáticos de control flexible.

ABSTRACT.

The development of a control computer system for the dispatching orders in a batch production area is presented, adapting the iMRP technique for the modeling of the process and the application of the of model-driven operation concept. The system is based on the ArquiTAM reference architecture in order to provide flexibility to the production system required to be adapted for changes in the recipe, processes or production equipment. It is proposed to use the technique for process modelling called iMRP (acronym of modular integrator of production resources). This technique abstracts the floor shop specific information such as products, equipment and operations carried out by the production area, information to be interpreted by a computer control system which in turn applies the model-driven operation concept and manages the information generated in the floor. Modules for online process simulations and task programming are also described. Results are shown of system application in the development of the control computer system applied in a real batch production process.

Keywords: Modeling of systems iMRP, ArquiTAM reference architecture, Model-driven operation, Project management MS Project, Flexible control computer systems.

1. INTRODUCCIÓN

La acelerada evolución de los sistemas industriales en las últimas décadas ha conducido a la necesidad de automatizar los procesos, ya que no es suficiente y en ocasiones tampoco es factible el uso de recurso humano para la producción. En los sistemas industriales en general y en las plantas de fabricación por lotes en particular, el control del piso de producción y en particular el de la información que se requerida en el piso resulta una tarea compleja.

Para manejar la información del proceso de producción es necesario abstraer o modelar el sistema, tomando en cuenta los productos que se pueden hacer en el mismo, las maquinas que se necesitan y las operaciones que se realizan para su fabricación. Para modelar el comportamiento de los sistemas de producción se encuentran diferentes técnicas como son redes de Petri, GRAFCET, SFC, PFC, IDEF0, iMRP, [1] [2] [3] [4] [5] [6] entre otras. Una aplicación interesante del modelo del sistema es su uso como guía para la operación del sistema, es decir, el modelo es interpretado por el sistema informático en tiempo de ejecución para dirigir o controlar la célula o línea de manufactura. Concepto conocido como operación dirigida por modelo, planteado en el área de manufactura en la década de los noventa, [7], sin mayor éxito que los resultados presentados en reportes en la literatura [8], en donde se pone de manifiesto la complejidad para su implementación. Un factor importante origen del alto nivel de complejidad inherente al concepto de operación dirigida por modelo es la falta de una técnica de modelado que facilite la interpretación del modelo por el sistema informático de control de producción.

El objetivo del presente artículo es la aplicación del concepto de operación dirigida por modelo mediante la técnica de modelado identificada como iMRP en un sistema de producción por lotes. En tal técnica se abstraen los productos, equipos y operaciones del área de producción, como parte del modelo a interpretar durante la operación dirigida por modelo por el sistema de control de procesos de producción.

El control de procesos de producción por lotes es una tarea compleja debido a la diversidad de productos que generalmente se fabrican en una planta, así como la variedad de elementos

del sistema físico de producción (depósitos, reactores, tuberías, etc.) de posible aplicación para un mismo producto. Al implementar un sistema informático de control en un área de producción por lotes se busca flexibilidad del sistema para adaptarse a cambios en recetas, operaciones o equipo de producción, y obtener de manera ordenada la información que se genera en los procesos de producción. Por tal motivo resulta necesario un sistema informático flexible que permita un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles en el piso de producción, que eventualmente soporte la optimización de recursos en el área de producción.

El objetivo es crear un sistema de control genérico de producción que soporte modificaciones en las características de los procesos de fabricación por lotes, tales como, diferentes recetas, equipos y operaciones; utilizando como concepto básico la operación dirigida por modelo y la técnica de modelado iMRP.

El documento está organizado en las siguientes secciones. La sección II corresponde al marco teórico que incluye conceptos importantes para el desarrollo y comprensión de la solución propuesta. La tercera sección se refiere a la descripción del método y estructura del sistema a implementar. La cuarta sección corresponde al desarrollo del sistema con base en la estructura propuesta. En la sección V describe el ejercicio de validación del sistema en un área de producción por lotes en una empresa real. En la séptima sección se encuentran las conclusiones obtenidas con base en la investigación realizada.

2. MARCO TEORICO

2.1. Técnicas de Modelado.

El modelado de sistemas se utiliza para simplificar la comprensión del comportamiento de un sistema, en el cual se abstrae entre otros aspectos la información sobre la secuencia de operación de las actividades del proceso. En la actualidad existen diferentes técnicas de modelado de utilidad en este tipo de sistemas, que tienen la particularidad de abstraer la información del proceso incluyendo las condiciones de precedencias del mismo.

2.2. Modelo iMRP.

El modelado iMRP (integrador modular de recursos de producción) es un método de modelado del proceso de producción interpretable directamente por un sistema informático de control para coordinar el flujo de los materiales y el procesamiento de pieza, [9]. Esta técnica consiste en la abstracción de características específicas o particularidades del sistema de producción, con base en los constructores nodo y arco. Donde los recursos (productos, equipos de producción, operaciones y tiempo) del sistema de producción son representados por nodos, y la interacción entre ellos es establecida mediante arcos. En la abstracción de particularidades del sistema, iMRP proporciona una manera simple y eficaz para definir las características específicas de una línea de producción y facilitar la aplicación, esto es, la interpretación del modelo. En [6] se describe el modelado iMRP, conceptos básicos y la manera para crear la abstracción del piso de producción mediante nodos y arcos.

2.3. Editor iMRP.

Para crear un modelo iMRP se utiliza un editor de iMRP desarrollado en [10], para crear el modelo. El editor cuenta con funciones que útiles para la edición del modelo, como es la modificación de tamaño, asignación de valor a los atributos de cada nodo y arco, así como su ubicación. La aplicación ofrece la opción de guardar el modelo creado en archivos XML. Una de las principales ventajas del uso de XML en la descripción del modelo, radica en que el sistema de control pueda procesarlo, serializar el archivo con base en las clases nodo y arco del sistema de control y así crear las instancias con la información específica del piso de producción.

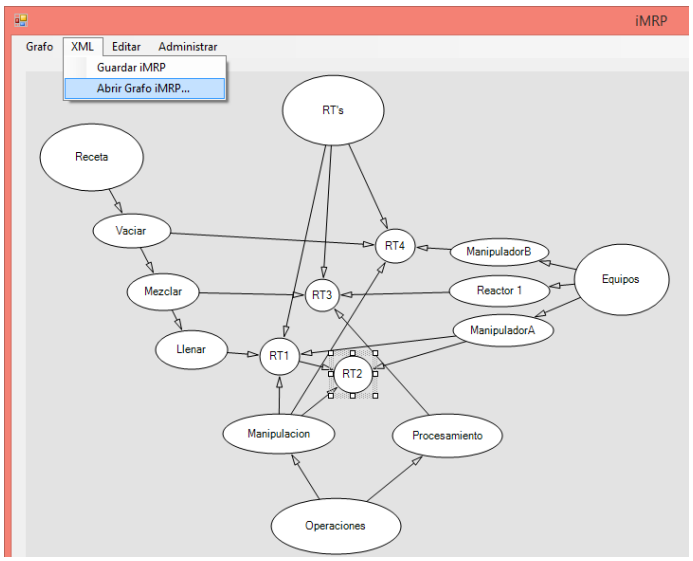

Figura 1.- Editor iMRP

3. DESCRIPCION DEL METODO

3.1. Estructura del Sistema.

La estructura del sistema se muestra en forma de diagrama de bloques en la Figura 2, consiste en un sistema informático de control que utiliza el modelo iMRP del piso de producción para la planificación de proyectos, lanzamiento de órdenes a los equipos, así como la creación de un entorno de simulación (emulación) de operación del piso de producción.

El modelo iMRP abstrae las particularidades de los equipos y procesos que se realizan en un piso de producción específico para fabricar un determinado producto; de manera interpretable por los diferentes módulos del sistema de control.

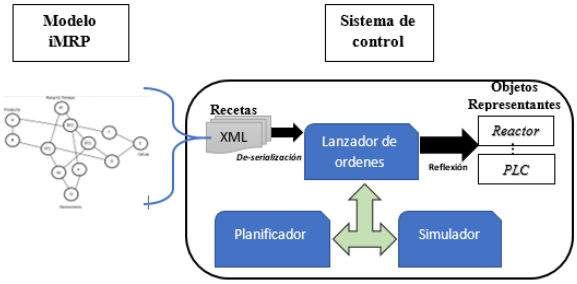

Figura 2.- Estructura del sistema Informático de Control.

El modelo del producto o receta es abstraída en iMRP y transformada en archivo XML (modelo iMRP), para ser interpretado por el sistema informático de control en tiempo de ejecución para el lanzamiento de tareas a los equipos. La abstracción de recursos en iMRP así como la precedencia de las operaciones facilita la aplicación de técnicas de programación de tareas. En el presente proyecto se agregó un módulo planificador de tares con base en una técnica heurística para generar el programa de tareas. Así mismo, este módulo permite hacer seguimiento de las tareas indicando aquellas que se han terminado, que se encuentran pendientes de realizar, las que se están realizando y mostrar los estados que ocurren al realizar las operaciones descritas por tareas. El módulo lanzador de órdenes se encarga de analizar la precedencia de las tareas y estados de los equipos para enviar la operación de los mismos. El módulo de simulación despliega en forma animada el estado de cada uno de los equipos en el piso de producción específico descrito en las recetas al momento de realizar las tareas indicadas. Un aspecto de relevancia en la operación del sistema consiste en la integración del mismo con el controlador de cada uno de los equipos reales de producción. El objeto (software) representante tiene como finalidad establecer la comunicación con el equipo de producción físico, así como representar los eventos y estados que suceden en mismo equipo.

4. DESARROLLO

4.1. Consideraciones en el desarrollo.

El sistema se desarrolló con base en el paradigma orientado a objetos utilizando el lenguaje de programación Visual Basic® en el ambiente .NET. En el sistema se utiliza la creación de objetos por reflexión en tiempo de ejecución (incorporación dinámica de código), esto ofrece una flexibilidad y acoplamiento débil a los cambios que se generen en su entorno. Así mismo se utiliza la aplicación Microsoft Office Project® para mostrar la función de planificación, en donde se encuentra de una manera organizada las tareas que se realizan, las realizadas y las pendientes, en un área de producción.

4.2. Interpretación del Modelo iMRP.

Para la interpretación del modelo iMRP por el sistema informático es necesario contar con las clases genéricas de arcos y nodos, con los atributos que se muestran en la Tabla 1 [6]. Después se clasifican por tipo de recurso (producto, operación, equipo y recurso tiempo) para que el sistema interprete la información contenida en sus atributos. Y así poder aplicar el concepto de operación dirigida por modelo para comandar la ejecución de las diferentes tareas que contienen las recetas tomando en cuenta la disponibilidad del equipo y otras variables del proceso.

Tabla 1.- Clases genéricas del marco de trabajo

Clase Grafo	Clase Nodo	Clase Arco
idGrafo	Id	id
Nombre	Nombre	Origen
Fecha	Index	Destino
Tipo	idGrafo	idGrafo
Arreglo de Nodos	Tipo	Cantidad
Arreglo de Arcos	Nivel	Var1
	Var1	Var2
	Var2	Var3

4.3. Módulo de Planificación.

En el desarrollo del presente módulo se utilizó la aplicación Microsoft Project. El módulo de planificación realiza tres funciones principales: creación (objetos software) de los recursos en el piso de producción, creación (programación) de las tareas y despliegue de Diagrama de Gantt. Para la creación de las tareas se interpreta el modelo iMRP donde se encuentra el BOM (estructura del producto) y la información abstraída en los nodos recurso tiempo (RT) de la receta. Antes de crear las tareas se requiere conocer los Recursos a utilizar para realizar las tareas; al interpretar el modelo iMRP se identifican los nodos recurso equipo para asignarlos como Recursos Project. Con la finalidad de enlazar el sistema de control con Microsoft Project, se utiliza el kit de entorno de desarrollo (SDK) de Microsoft Project 2013 que contiene librerías de clases y una referencia para Aplicaciones en Visual Basic (VBA). En [11] y [12] se presentan conceptos, código ejemplo y referencias para ayudar a crear soluciones con Project 2013. Por último, la vista de Diagrama de Gantt en Project, muestra la hoja de tareas en un lado de la vista y las barras graficas correspondientes a las duraciones de las tareas. En esta vista Microsoft Project permite configurar la escala de tiempo al ampliar la resolución visible en un periodo de tiempo, así como también agregar estilos a las barras graficas de las tareas.

4.4. Módulo de Simulación.

En este módulo se implementaron los elementos gráficos requeridos en un piso específico de producción, por lo tanto, se analizaron las operaciones que se realizan en el mismo con la finalidad de mostrarlas mediante animaciones tipo gif, y así desplegar mediante una animación gráfica lo que ocurre en el piso real de producción. Para tales efectos se crean los objetos (representantes) que representan a cada equipo que se encuentra

en el piso de producción, abstraídos en el modelo iMRP en donde se especifica en el atributo "Tipo", la clase y ubicación del objeto que se debe crear (mediante reflexión). Este objeto además sirve para establecer la comunicación –remota- con el objeto envoltura del equipo físico. Para la aplicación del sistema en un entorno de producción por lotes, se identificaron las operaciones básicas de manipulación y procesamiento, con base en la clasificación de las operaciones en un piso de producción propuesta por [9]. La operación de manipulación corresponde en este sistema al manejo de sustancias químicas mediante el uso de una bomba o por el mismo operador, ya sea para carga o descarga del reactor. Por otra parte, la operación de procesamiento corresponde a las operaciones que son realizadas mediante el equipo que se encuentra en el piso de producción por ejemplo el mezclador de un reactor. Para definir estas operaciones de manera gráfica en el simulador se utiliza el atributo "Var3" del arco que se encuentra entre el nodo operación y nodo recurso tiempo, para describir el comportamiento descrito en el método de simulación para determinado recurso de producción.

5. VALIDACIÓN

Con la finalidad de validar el esquema del sistema propuesto y el concepto de operación dirigida por modelo en el sistema informático de control, se implementó el sistema en el área de producción de una empresa de producción por lotes dedicada a la fabricación de productos químicos. Para la validación del sistema, la empresa proporcionó una receta (ingeniería) en donde se describe el proceso asociado para elaborar un producto en un equipo específico. El ejercicio de validación se realizó en conjunto con un sistema de objetos envoltura [13] utilizados para el análisis de desempeño (parámetro OEE) de los equipos en el piso de producción. A continuación, se describen las diferentes etapas del sistema de control y su adaptación al piso de producción de la empresa.

5.1. Abstracción de las recetas.

La primera etapa del proceso de validación del sistema consistió en identificar recetas (ingenierías) de algunos de los productos que se realicen en el área de formulación de la empresa. Posteriormente se aplicó la técnica de modelado con el editor iMRP para abstraer la información necesaria que describa el proceso y las operaciones de la misma ingeniería. En la Figura 3 se muestra el modelo iMRP en el cual se abstrajo la información de la ingeniería de determinado producto. Por razones de confidencialidad los nombres de los componentes del proceso son ficticios.

5.2. Interpretación del modelo iMRP.

El modelo es interpretado por el lanzador de órdenes, se identifican las operaciones descritas en el modelo iMRP y se crean en forma de tareas en Microsoft Project, en donde se muestra de una manera ordenada las tareas que debe realizar cada recurso para cierto producto.

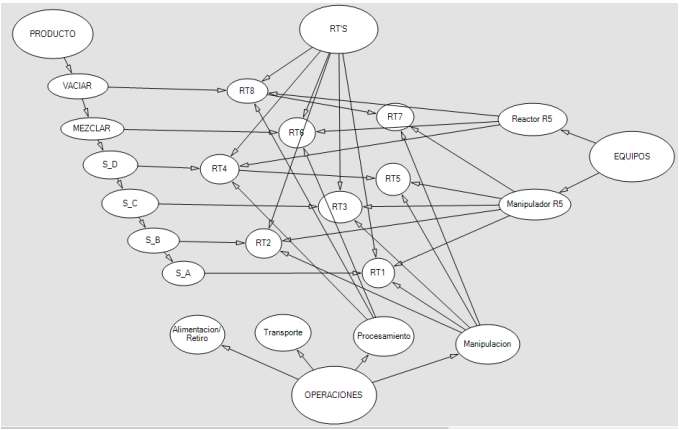

Figura 3.- Modelo iMRP de la receta A1

En la Figura 4 se muestra el diagrama de Gantt que se genera al interpretar el modelo iMRP. También es importante mencionar que los objetos representantes de cada receta se crean en esta etapa para estar disponibles al momento de lanzar órdenes (iniciar operación).

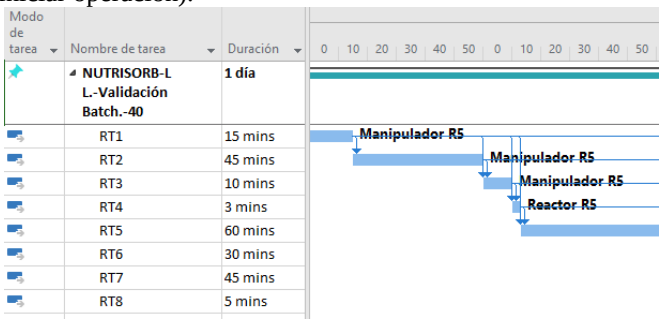

Figura 4.- Diagrama de Gantt de la receta A1

5.3. Lanzamiento de tareas a operar en los equipos.

En la etapa de lanzamiento de órdenes a los equipos por el sistema de control, el módulo lanzador identifica los equipos en el modelo para crear los objetos software representantes de cada equipo físico de producción. Así mismo, utiliza las tareas de la receta abstraídas en el modelo para lanzarlas a operar si el recurso equipo requerido por la tarea se encuentra disponible. El lanzador lee del objeto representante el estado del recurso equipo, para lanzar la tarea a operar en el equipo que corresponda (de acuerdo a las condiciones de precedencia establecidas den el modelo iMRP de la receta). El sistema de control comunica al objeto representante la orden operar la tarea, enviando la información necesaria descrita en el protocolo de comunicación para que el sistema envoltura y el objeto propulsor realicen la función de comandar al equipo físico, [13]. El lanzamiento de las tareas a operar se refleja en el diagrama de Gantt como se muestra en la Figura 5. En el diagrama de Gantt (Microsoft Project) la barra grafica correspondiente cambia de color indicando que la tarea se encuentra en operación por el equipo señalado en el mismo diagrama.

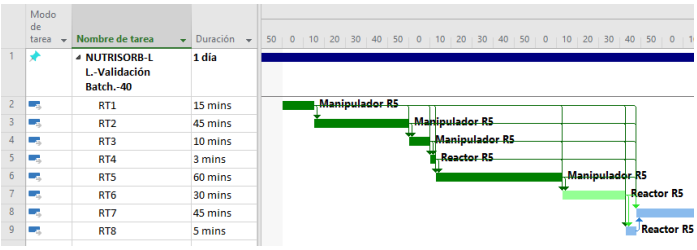

Figura 5.-Modulo planificador en Project

En el proceso de validación se detectó la necesidad de agregar información al modelo iMRP original, para ser utilizado en la simulación de la operación del sistema, información que consistió en especificar las acciones para simular lo que se ejecuta en el piso de producción. Para esto se analizó el piso de producción en el área de formulación de productos químicos en el cual se cuenta con 5 reactores y varias bombas para el llenado o vaciado de los reactores. Los elementos principales del piso de producción (célula) se representan en forma de iconos en la pantalla, que cambian de color de acuerdo a la operación en proceso. En la Figura 6 muestra la simulación de una operación de manipulación en donde se utiliza una bomba para bombear la sustancia desde un tanque al reactor como se muestra en la Figura 6.

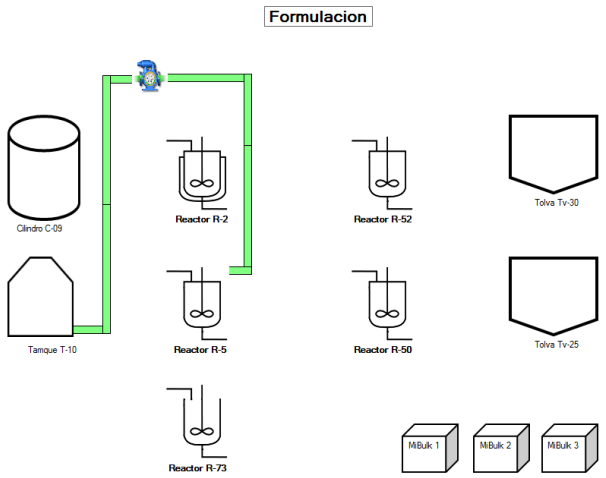

Figura 6.-Simulación del piso de producción con la manipulación de líquidos

6. CONCLUSIONES

El sistema informático de control genérico desarrollado con base en el concepto de operación dirigida por modelo ofrece flexibilidad para adaptarse a los cambios que ocurren en su entorno (productos, operaciones, equipos) sin modificar el sistema(código), debido a que los cambios de sistema de producción o los que ocurran en el sistema ya instalado, son descritos en los modelos iMRP y tomados en cuenta por el sistema de control en tiempo de operación del sistema. Es importante destacar que el sistema informático de control se desarrolló en forma independiente del piso de producción utilizado para la validación. Otro aspecto de relevancia es el soporte aportado por el esquema propuesto para organizar la información que se genera en el piso de producción, la cual es bastante y variada, lo que permite agregar o conectar al sistema de control módulos que realicen diferentes funciones. En el caso de validación mostrado, el sistema ofrece una manera de desplegar lo que sucede en el piso de producción mediante el módulo simulador, así mismo en el módulo planificador se pueden observar las tareas de la(s) receta(s) en proceso ofreciendo una visión en diagrama de Gantt (Project) de la información sobre el piso para el personal administrativo del área de producción. Por lo tanto, la operación dirigida por modelo aporta flexibilidad funcional al sistema informático.

7. REFERENCIAS

[1] J. Desel y W. Reisig, «The concepts of Petri nets,» *Software & Systems Modeling*, 2014.

[2] R. L. Marichal y E. J. González, «ULLSIMGRAF: An educational tool with syntax control for Grafcet notation,» *Computer Applications in Engineering Education*, 2014.

[3] S. Lohmann y S. Engell , «Systematic Logic Controller Design as Sequential Function Chart Starting from Informal Specifications,» *Chinese Journal of Chemical Engineering*, pp. 43-47, 2008.

[4] S.-Z. Liu, H. Shi y Z.-X. Yang, «Research of control recipe for batch plants based on PFC,» *Scopus*, pp. 1079-1082, 2010.

[5] Z. Shang , . C. Qiu y S. Zhu, «A Model of Application System for Man-Machine-Environment System Engineering in Vessels Based on IDEF0,» *Journal of Marine Science and Application*, pp. 347-357, 2011.

[6] J. Acosta y F. Sastrón, «Production Shop Floor System Modeling With Reusability Focus.,» de *Cost Effective Automation in Networked Product Development and Manufacturing*, Monterrey, N. L., 2007.

[7] AMICE, *CIMOSA: Open System Architecture for CIM (2nd ed., Vol. 27)*, Brussels: Springer Verlag, 1993.

[8] G. Berio y F. Vernadat, *Enterprise modelling with CIMOSA: Functional and organizational aspects.*, Production Planning & Control, 2001.

[9] J. E. Acosta, *Esquema de Referencia para Acoplamiento Débil entre Sistema Informático y Equipo de Producción*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2016.

[10] M. Gonzalez, *Sistema de lanzamiento de órdenes de producción para ambientes de fabricación por lotes, bajo el concepto de iMRP basado en el estándar ISA-s*, Chihuahua, 2017.

[11] B. Biafore, Microsoft Project 2013: The Missing Manual, O'Reilly Media, Inc., 2013.

[12] Microsoft Corporation, «Microsoft Project 2013 SDK,» 2013.

[13] C. I. Ontiveros, *Desarrollo de un emulador de un sistema de producción discreta con base en iMRP utilizando la operación dirigida por modelo*, Chihuahua, Chihuahua, 2017.

[14] J. Acosta y B. Sastron, «Schematic Architecture: Reference Architecture / Frameworks / Particular Models for the Shop Floor Environment,» de *32nd Annual Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society*, Paris, Francia, 2006.