Congr. Int. en Ing. Electrónica. Mem. ELECTRO, Vol. 39, pp. 1-5, Oct 2017, Chihuahua, Chih. , México
http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2017.zip
ISSN 1405-2172

ACOPLAMIENTO DEBIL ENTRE UN SISTEMA INFORMATICO DE CONTROL DE PRODUCCIÓN Y EQUIPOS DE FABRICACION DE UNA PLANTA QUIMICA

Ontiveros R., C.I. **Acosta C., J E.**
Universidad Autónoma de Chihuahua **Instituto Tecnológico de Chihuahua**
Facultad de Ingeniería **División Posgrado e Investigación**

p245322@uach.mx jacosta@itchihuahua.edu.mx

RESUMEN.

Se presenta el desarrollo de un sistema informático capaz de adaptarse flexiblemente a los cambios de un piso de producción sin un esfuerzo considerable de acoplamiento y de monitorear el rendimiento de los equipos. El objetivo fue implementar el sistema en distintos ambientes de producción e integrar distintos equipos así como calcular el métrico de desempeño OEE de los mismos. El sistema fue validado en un ambiente de producción discreta con equipos que realizan operaciones automáticas y en una fábrica de productos químicos donde los equipos no son automáticos y se requieren operadores que interactúen con el sistema de forma manual, con esta validación se logró acoplar flexiblemente nuevos equipos al sistema y se realizaron monitoreos que ayudan a medir la eficiencia de los equipos con lo cual se concluye que el sistema es capaz de adaptarse rápidamente a distintos entornos sin requerir grandes esfuerzos de reconfiguración.

Palabras Clave: Sistema informático, acoplamiento débil, OEE.

ABSTRACT.

A flexible computer system is shown capable for adapting through loose coupling to shop floor equipment changes. The system is oriented to monitor the production equipment performance. The objective is to implement a generic software system for production environments. That is the system must be applied in a production environment where processes and equipment set were not explicitly specified at software design time. The main functions of the system are order dispatcher and measurement of the OEE (overall equipment efficiency) performance of the production equipment set. The system was validated in a discrete production environment with equipment that performs automatic operations and also in chemical plant where the equipment is manually operated and operators are required to interact with the system. Based on the validation process it is possible to assert the flexibility of the system that may be coupled to new equipment set and monitoring its efficiency. It is concluded that the system is able to adapt different environments without requiring major reconfiguration efforts.

Key words: Computer system, weak coupling, OEE.

1. INTRODUCCIÓN

La turbulencia en el mercado que implica entre otras cosas cambios frecuentes en la demanda de los clientes ha obligado a las empresas a desarrollar aplicaciones informáticas de control flexibles capaces de adaptarse rápidamente a los cambios que ocurren en el piso de producción, así como aplicar técnicas para medir el rendimiento de los equipos para responder a las demandas de los clientes en el menor tiempo posible. En la solución a tal problemática se identifica como requerimiento la integración flexible entre equipo de producción y sistema informático de control.

Existen técnicas que facilitan el análisis y diseño de sistemas de producción, como son las redes de Petri usadas originalmente como herramienta para modelar el comportamiento de sistemas concurrentes, distribuidos y paralelos [1], [2], [3]; Otras técnicas como IDEF0 [4], SFC [5] y Grafcet [6] describen las funciones de sistemas complejos usando gráficos simples que muestran las relaciones entre los procesos donde es posible generar código para un PLC con base en el modelo gráfico. La técnica de modelado iMRP (Integrador Modular de Recursos de Producción) abstrae características específicas y particularidades del sistema de producción tal como equipos, operaciones y secuencia de las actividades, además resulta fácilmente interpretable por un sistema informático [7].

En el control de los procesos de producción se utilizan sistemas informáticos, sin embargo, ante la dificultad de contar con un estándar de sistema de control, dichos sistemas son creados y modificados sobre la marcha conforme a las necesidades o problemáticas que van surgiendo en el piso de producción requiriendo esfuerzos considerables para reconfigurar y adaptar el sistema a las nuevas necesidades. Tal adaptación implica grandes pérdidas económicas y de tiempo.

El reto de crear un sistema informático de control de producción flexible capaz de adaptarse cambios en el piso de producción ocasionados por cambios en el mercado, implica la necesidad de integrar nuevos equipos de producción sin

requerir un esfuerzo considerable de acoplamiento. La solución a tal requerimiento resulta compleja tomando en cuenta la gran variedad de equipos, fabricantes, modelos, protocolos de comunicación y plataformas de programación existentes.

El objetivo es la creación de un sistema modular con base en el concepto de acoplamiento débil propuesto en la arquitectura de referencia ArquiTAM [7]; que sea capaz de adaptarse a los cambios que ocurren en el piso de producción sin requerir grandes esfuerzos de reconfiguración y permita monitorear las actividades de los equipos con la finalidad de medir el desempeño de los mismos. Este tipo de sistemas es de utilidad en empresas de manufactura discreta así como también en empresas del giro de producción por lotes.

2. ACOPLAMIENTO DÉBIL

El acoplamiento débil se puede plantear como una relación autónoma entre un sistema de control y los equipos de producción en un piso de fabricación, es decir, el sistema debe ser capaz de integrar nuevos equipos de producción sin requerir un esfuerzo considerable de configuración y de establecer una comunicación flexible con ellos para enviarles órdenes de operación existiendo una autonomía entre las intenciones del sistema y los medios para la realización de las acciones por el equipo.

Con base en el concepto de acoplamiento débil [7] originalmente planteado en el área de diseño organizacional [8], se plantea una manera de acoplar un sistema informático con equipos de producción, reduciendo a cuatro la gran variedad de tipos de equipos de producción: procesamiento, manipulación, transporte y almacenamiento/retiro.

3. ESTRUCTURA DEL SISTEMA.

En la figura 1 se muestra la estructura de un sistema modular diseñado bajo los conceptos de la arquitectura de referencia ArquiTAM, con acoplamiento débil y operación dirigida por modelo, dicho sistema está compuesto por dos módulos principales, el módulo de control propuesto en [9], el cual es una aplicación que se encarga de interpretar un modelo grafico iMRP abstraído en un formato XML, así como, crear objetos software representantes de equipo y de enviar ordenes de operación. Por otra parte, el modulo envoltura es una aplicación instalada en una computadora distinta al módulo de control generalmente ubicada remotamente en el piso de producción. El objeto envoltura es el responsable de establecer comunicación entre el sistema de control y equipo de producción (a través del objeto representante respectivo), y a la vez indicar a los objetos representantes los eventos que ocurren en el equipo tales como fin de operación o paros de emergencia. El objeto envoltura incluye al objeto driver en el cual están contenidas las instrucciones específicas del protocolo de comunicación aceptado por el equipo físico. En la estructura propuesta se incluye una base de datos conectada a través del objeto envoltura, para registrar los eventos de cada equipo tales como duración de operación y duración de tiempos muertos, con la finalidad de poder calcular el métrico de desempeño OEE de cada equipo.

Cuando los equipos de producción cuentan con un controlador automático, los objetos envoltura son diseñados para enviar y recibir mensajes a través del objeto driver, sin embargo, es común que los equipos del piso no cuenten con un controlador (equipos manuales) que les permita recibir las órdenes de operación y enviar de manera automática el estado en que se encuentra el equipo al sistema envoltura. En tal caso, se pueden implementar controladores manuales para indicar al objeto envoltura el estado de los equipos, y el objeto envoltura a su vez se encargue de desplegar en una pantalla las operaciones que debe realizar el operador del piso y de recibir señales que indiquen el estado del equipo a través del controlador manual.

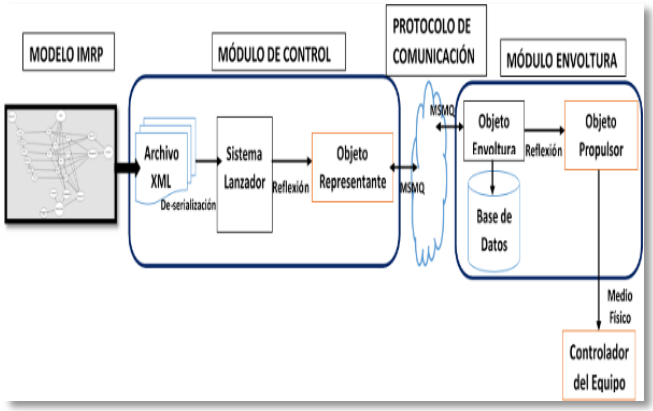

Figura 1. Módulos del Sistema de control

4. DESARROLLO DEL SISTEMA ENVOLTURA

El desarrollo de la aplicación envoltura consiste en una aplicación de escritorio Windows Form capaz de integrar el objeto driver o propulsor (el cual es un archivo .DLL) de manera dinámica en tiempo de ejecución utilizando la técnica de reflexión que ofrece el Framework de .NET, así como establecer conexión con una base de datos SQL Server utilizando la tecnología Entity Framework de .NET y registrar los tiempos en que se ejecuta cada operación, además de leer un archivo de texto en el cual están contenidas las instrucciones a enviar al equipo de producción.

5. VALIDACIÓN DEL SISTEMA ENVOLTURA.

Con el propósito de validar sistema envoltura y el acoplamiento débil entre el sistema informático de control y los equipos de producción, se diseñó e implementó una célula de manufactura a nivel laboratorio donde se integraron equipos que cuentan con controlador automático tal como robots didácticos "Robobuilder", robot industrial Motoman UP-20 y un PLC Allen-Bradlley (control logix), como se muestra en la figura 2. Se utiliza el sistema de control [9], para enviar órdenes de operación con base en el modelo grafico iMRP. Para tal efecto se desarrollaron tres clases de objeto envoltura donde cada una controla la comunicación con el respectivo controlador del equipo. Cada controlador presenta distinto protocolo y medio físico de comunicación (GPIO, RS232, Bluetooth).

El sistema de control se encarga de enviar ordenes de operación a los objetos envoltura utilizando el servicio de colas de mensajes de Windows (MSMQ); los objetos envoltura se encargan de transmitir dichas órdenes a cada equipo enviando comandos específicos al controlador de cada equipo; cada aplicación envoltura recibe automáticamente desde el controlador del equipo el evento de fin de operación y lo comunica al sistema de control.

Posteriormente, con la finalidad de validar la flexibilidad de la estructura y en particular el conjunto de clases envoltura, el sistema se aplicó en el piso de producción de una empresa de productos químicos como se muestra en la figura 3.

En el área de formulación de la empresa, donde fue aplicado el sistema, existen equipos tales como reactores, tanques y depósitos, todos ellos de operación manual, por lo que fue necesario implementar un driver para control manual, y ser integrado en tiempo de ejecución al objeto envoltura (utilizando incorporación dinámica de código). Mediante tal mecanismo, el objeto envoltura es capaz de acoplar nuevos protocolos y medios físicos de comunicación al sistema, sin modificaciones al resto del sistema, situación conocida como "buffering", resultante del acoplamiento débil.

El Sistema de control utilizado, implementado por [9], interpreta un modelo grafico en el cual es abstraída la información de una receta (ingeniería), con base en el modelo se crean objetos que representan virtualmente a los equipos físicos manuales. Por otra parte, en la aplicación envoltura se crean objetos envoltura por cada equipo físico existente en el piso de producción, donde cada objeto envoltura se encarga de comunicarse con el objeto representante en el sistema de control y a su vez se comunica con el controlador físico del equipo.

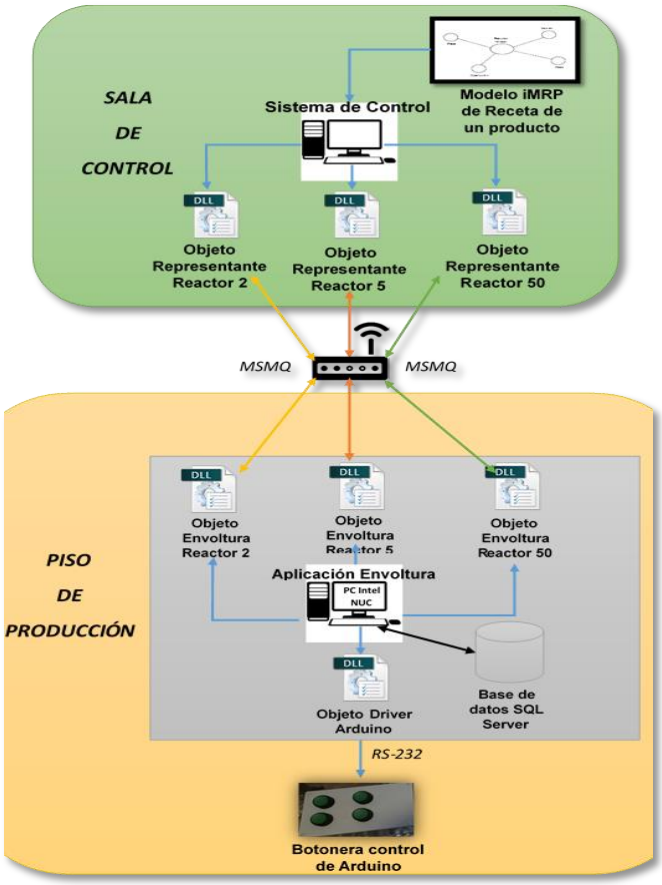

Figura 3. Validación del sistema en empresa de productos químicos

El controlador manual es implementado con base en una placa arduino controlada por una botonera la cual es conectada con el objeto driver del sistema envoltura a través del protocolo RS-232, como se muestra en la figura 4. Tal control permite retroalimentar el evento de fin de operación o el paro de emergencia de todos los equipos de manera manual el cual es controlado a través de botones que activan las entradas del mismo y envían señales al sistema envoltura.

En las pruebas de validación, el sistema desarrollado operó en paralelo con el sistema (informal) de control de la empresa para conducir los procesos que se realizan en la fabricación de un producto (receta); en este caso en particular se implementó una sola clase envoltura debido a que los eventos de todos los equipos (manuales) son comunicados al objeto envoltura a través de un controlador manual utilizando un solo medio de comunicación (RS-232).

Figura 4. Controlador Manual Arduino (Botonera)

El sistema de control envía a través de los objetos representantes el nombre y la ubicación de un archivo de texto (con las instrucciones de operación) al sistema envoltura. El sistema envoltura se encarga de leer el archivo de texto en el cual se encuentran cada una de las fases e instrucciones de la receta a realizar por el operador. Dichas instrucciones son desplegadas en la pantalla de la aplicación envoltura (remota) para que el operador las realice. Además en la pantalla se despliega el nombre del equipo y del operador, así como también la fase a realizar, y algunas otras características como la temperatura, el pH, entre otros factores, tal como se muestra en la figura 5.

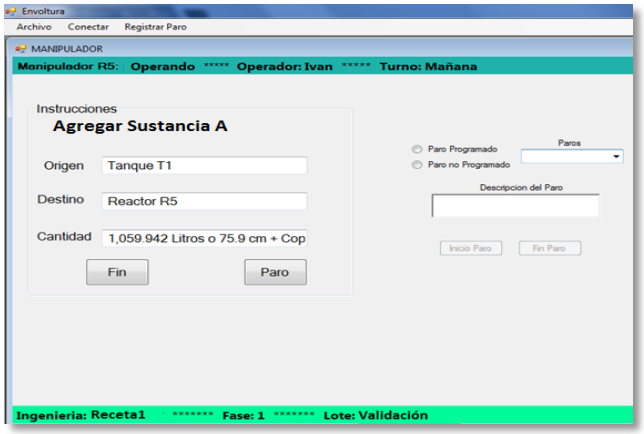

Figura 5. Pantalla envoltura desplegando instrucciones de operación

Por otra parte, la aplicación envoltura recibe instrucciones provenientes del sistema de control e inserta en la base de datos la hora y la fecha del inicio de operación del equipo, así como también recibe señales desde el controlador manual e inserta en la base de datos la fecha y hora que indican un final de operación o un inicio de paro de emergencia.

Con la información almacenada en la base de datos se generaron reportes y cálculos del métrico de desempeño OEE de cada equipo, a través de una segunda aplicación (módulo) informática. Tal aplicación se conecta a la base de datos y realiza consultas Linq (Language Integrated Query) para extraer información de las tablas o para ejecutar procedimientos almacenados y de esta manera generar reportes gráficos como en la figura 6 que despliegan información relevante a cerca de los tiempos muertos ocasionados por los equipos, operadores o ingenierías (recetas). Los reportes se generan con base en el intervalo de fechas seleccionado por el usuario.

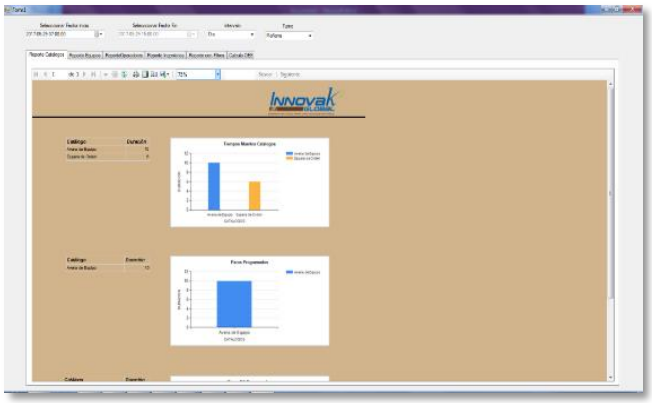

Figura 6. Reportes de tiempos muertos

La aplicación mencionada en el párrafo anterior permite calcular el parámetro OEE de cada equipo, en forma gráfica, incluyendo el detalle de cada tiempo muerto del mismo, figura 7.

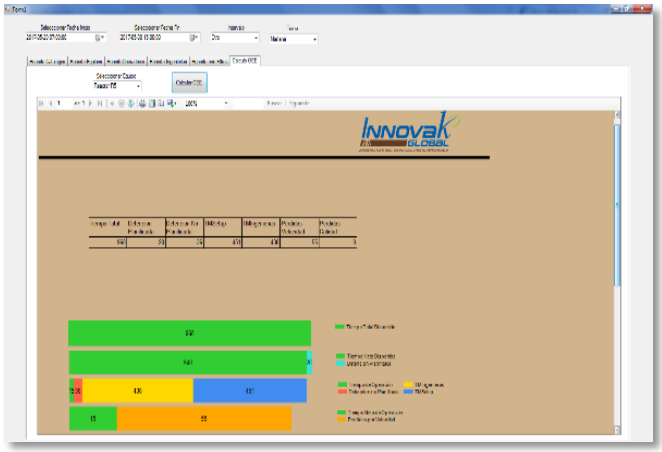

Figura 7. Calculo del OEE

6. CONCLUSIONES

Es posible afirmar que la estructura planteada para la integración sistema informático de control y equipo de producción, bajo el concepto de acoplamiento débil, aporta flexibilidad al sistema, permitiendo la reusabilidad del sistema informático de control, no sólo en cambios de equipo en un mismo piso de producción, sino también en su aplicación en diferente tipo de piso de producción (discreto o producción por lotes). Las ventajas del acoplamiento débil alcanzado son evidentes al aplicar un sistema informático para el control de diferentes conjuntos de equipos, sin la necesidad de reconfigurar el código fuente del sistema de control, frente a cambios en el equipo de diferente tipo y diferentes características como es el medio físico de comunicación o lenguaje utilizado por el controlador. Es importante destacar que el sistema informático de control fue diseñado e implementado sin tomar en cuenta de manera explícita los equipos (cantidad, tipo,…). La estructura se puede adaptar fácilmente a ambientes de fabricación con equipos automáticos o manuales.

La flexibilidad del sistema débilmente acoplado, se extiende no sólo a la integración de equipos de producción sino también al aspecto de flexibilidad funcional, es decir, la capacidad de agregar funciones no explícitamente tomadas en cuenta en tiempo de diseño del sistema, como fue en este caso la incorporación del módulo con la funcionalidad para el cálculo del parámetro de desempeño OEE.

7. REFERENCIAS.

[1] B. Wilfried y R. Wolfgang , «Carl Adam Petri and "Petri Nets",» Springer - Verlag, pp. 369-374, 2006.

[2] K. v. Hee, S. Helen, S. Alexander y S. Natalia, «Adaptive Workflows for Healthcare Information Systems,» Springer, 2008.

[3] A. J. C. d. Aguiar, E. Villani y F. Junqueira, «Petri Coloreadas redes y simulación gráfica para la validación de una célula robótica en la industria aeronáutica,» pp. 929-941, 2011.

[4] 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.

[5] N. Wightkin, U. Buy y H. Darabi, «Formal Modeling of Sequential Function Charts With Time Petri Nets,» IEEE, 2011.

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

[7] J. E. Acosta, «Esquema de Referencia para Acoplamiento Débil en Sistema Informático y Equipo de Producción,» Universidad Politécnica de Madrid, 2016.

[8] J. Orton y K. Weick, «Loosely Coupled Systems: A Reconceptualization,» The Academy of Management Review, 1990.

[9] M. A. González, Aplicación de la técnica iMRP en la operación dirigida por modelo en un área de producción por lotes, CHIHUAHUA, CHIHUAHUA, 2017.

[10] L. Haines y K. Evers, «An IDEF0 representation of the instructional system development (ISD) process-why it works,» de Aerospace and Electronics Conference, IEEE 1990 National, 1990.