Ladrillo Rojo: Aplicación de Redes de Petri a un Proceso Milenario

Carlos Marín[1], Obed Cortés[1], Rafael Rojas[1]

[1] Universidad Politécnica de Puebla, Mecatrónica, Tercer Carril del Ejido "Serrano" San Mateo Cuanalá s/n. Juan C. Bonilla, Puebla, Pue., México
{croman, obedc, rrojas}@uppuebla.edu.mx

Resumen. Durante mucho tiempo, la zona productora de ladrillo rojo en el Estado de Puebla se ha visto marcada por un problema que involucra pobreza y contaminación relacionadas de tal forma que pocos han intentado abordar el problema. En el presente artículo se presenta uno de los puntos por los cuales, La Universidad Politécnica de Puebla, inicia una propuesta para abordar la solución a dicho tema. El objetivo del presente es ofrecer una visión general de la industria ladrillera en la región de Cholula Puebla, destacando áreas de oportunidad para la automatización del proceso mediante técnicas avanzadas de optimización. Se muestra en primer lugar una introducción general del desarrollo de este proceso a lo largo de la historia para posteriormente tratar la automatización por medio de redes de Petri. Finalmente se muestran las conclusiones al ejemplo de aplicación a una de las partes del proceso con el propósito de evolucionar a un proceso que pueda adaptarse a las demandas actuales del mercado.

Palabras clave: ladrillo rojo, proceso, automatización, redes de Petri.

1 Introducción

Desde hace unos 9,000 años el ladrillo ha constituido el principal material en la construcción de las antiguas Mesopotamia y Palestina, lugares en donde apenas se disponía de madera y piedras. En lo que respecta a nuestro continente, para los indígenas americanos de las civilizaciones prehispánicas, se consolidó como elemento indispensable para la construcción de las grandes pirámides como las Olmecas y Mayas.

En la actualidad un ladrillo es una pieza cerámica ortoédrica elaborada de arcillas compuestas principalmente de sílice, alúmina, agua y cantidades variables de óxidos de hierro y otros materiales alcalinos, como los óxidos de calcio y los óxidos de magnesio. El ladrillo rojo se distingue de su predecesor, el adobe, por sufrir cambios físico-químicos al someterse a altas temperaturas. Sin embargo es ésta parte del proceso y su evolución, lo que hace polémica su construcción hoy en día.

M.A Cruz-Chávez, J.C Zavala Díaz(Eds):CICos2009, ISBN:978-607-00-1970-8, pp. 386 - 395, 2009.

2 Generalidades

2.1 Situación Actual

Una de las actividades distintivas de la región de Cholula, Puebla es la construcción de ladrillo rojo y sus derivados. Es aquí en donde se concentra la mayor cantidad de productores de ladrillo rojo del País, 8000 familias que se encuentran en comunidades como San Diego Cuachayotla, San Cristóbal Tepontla, San Mateo Cuanalá, Santa María Coronango y Santa María Zacatepec, por mencionar algunas, ubicadas en los municipios de San Pedro Cholula, San Andrés Cholula, Juan C. Bonilla y Coronango.

Si bien es cierto que el proceso de fabricación de ladrillo ha tenido avances notables desde la utilización de combustible en lugar de leña, el proceso de fabricación prácticamente se ha mantenido intacto desde el 200 d. de C.

Este hecho tiene repercusiones importantes en la sociedad, la economía y la ecología de la región. Una familia productora de ladrillo que manufactura a mano 1100 piezas diarias, en la actualidad obtiene una ganancia neta de 0.08 pesos por cada una estas, lo cual pone en riesgo la integridad de cada uno de sus integrantes. Por otra parte, de a cuerdo a con la red de monitoreo ambiental (el rema) del gobierno del Estado de Puebla, la región de 3 kilómetros cuadrados, donde se concentran 322 hornos tradicionales para el cocimiento de este tipo de alfarería, genera anualmente 808 toneladas de contaminantes. Esto repercute en la calidad del aire el cual es contaminado por partículas de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, hidrocarburos aromáticos policíclicos, bifenilos, policlorados y dioxinas.

Fig. 1: En esta figura se muestra el combustible utilizado para el proceso de cocción. Los barriles contienen combustóleo (*fuel oil*) que es uno de los residuos del proceso de la destilación fraccionada del petróleo.

Fig. 2: En esta figura se muestra los vapores emanados por uno de los hornos de producción de ladrillo rojo en la región de Cholula, Puebla. No existe acondicionamiento alguno para su deposición a la atmósfera.

Ante tal escenario, la tecnificación del proceso requiere considerar aspectos sociales, económicos y necesariamente ecológicos, todos ellos variables independientes una de otra. Cabe destacar que de todas estas, el aspecto social es el

menos abordado y el más importante y es una de las principales causas por la cual muchos proyectos no han tenido consecución.

2.2 Descripción del Proceso

Las etapas en la que se divide el proceso de fabricación son: mezclado, moldeado, secado y cocido.

En la primera etapa se procede a la mezcla de tres tipos de arcillas y agua en donde la variación de las proporciones utilizadas de dichos materiales es tan particular pues se trata de un proceso aun artesanal, es decir, se trata de "recetas" que han pasado de generación en generación a lo largo de los años. En las familias que cuentan con menos recursos esta parte del proceso se realiza de manera manual amasándola con palos, palas o rastrillos. Los mejor organizados hacen uso del tractor agrícola. Equipado con una herramienta llamada niveladora y las hendiduras propias del dibujo de las llantas, el mezclado consiste en el paso repetido del tractor sobre el material a mezclar.

En cualquiera de los casos el mezclado varía de semana a semana lo que hace dificulta la obtención de un producto de alta calidad.

Fig. 3: En esta figura se muestran los tipos y las condiciones de las arcillas que posteriormente se convertirán en ladrillos y algunos otros productos derivados.

Fig. 4: En esta figura se muestra la mezcla realizada por la ayuda de un tractor. Es de hacer notar la cantidad requerida para poder llenar un horno con 4000 ladrillos así como el área de trabajo

Realizada la mezcla según las características dictaminadas por miembro de la familia con más experiencia, el moldeado debe llevarse a cabo o de lo contrario la mezcla comienza a deshidratarse. Una matriz de 3x2 o como le llaman los locales, "gavera", da forma a los ladrillos. Este bastidor se coloca ras de tierra y se va rellenando por la parte superior con las manos y dedos. El objetivo es hacer una semi-compactación y eliminar el aire al interior del molde antes de eliminar el material sobrante. El producto terminado va consumiendo tanto materia prima como a los mismos productores literalmente. Al secarse la mezcla sobre la piel, hace que esta rompa provocando heridas que pueden llegar a convertirse en agrietamientos severos.

Fig. 5: Aquí se muestra el molde o "gavera" para producir ladrillo.

Fig. 6: Aquí se observa a un productor realizando el moldeo a mano.

Concluida la etapa anterior, se deja secar los ladrillos a la intemperie lo suficiente para poder ser manipulados. Esto limita por consecuencia los periodos de producción tarda entre 15 y 30 días, dependiendo de las condiciones meteorológicas imperantes.

Una vez que la mezcla, ahora en forma de ladrillo, ha perdido la suficiente humedad se procede a la colocación de las piezas en el interior del horno. Esta estructura cuenta con un espacio en su interior para poder cocer de una vez hasta 40,000 piezas. El tiempo de cocción varía principalmente por la cantidad de ladrillos a cocer y la temperatura lograda por la quema de combustóleo el cual es de entre 30 y 48 horas para obtener cocinar todos los ladrillos de su interior a una temperatura que oscila entre los 800 y 110 grados centígrados. Si bien el empleo de este combustible sustituyó la quema de árboles y leña, la cantidad de contaminantes provenientes de su mala combustión suman más de 10,837 toneladas anuales. Diesel, gas LP también son requeridos para poner en funcionamiento la caldera fabricada empíricamente y controlada de la misma forma sin embargo se prefiere el uso del combustóleo por su bajo costo a pesar de su baja calidad. Esta etapa resulta vital para obtener la mejor calidad del producto así como aumentar la gama de estos. Transcurridas las 48hrs, se pasa a una fase de enfriado que dura entre 8 y 10 días, nuevamente al beneplácito de las condiciones climatológicas.

Fig. 7: Aquí se observan algunos ladrillos secados a la intemperie.

Fig. 8: Aquí se observa una caldera rudimentaria ubicada en la base de un horno para la cocción de ladrillos.

Son claras las áreas de oportunidad que las inclemencias del tiempo, cantidades de los ingredientes, tipo de aspersión y el reaprovechamiento del calor generado en el cocimiento, por nombrar solo algunas, se muestran en la breve descripción anterior y que ofrecen la oportunidad de cambiar la calidad de vida de cientos de productores en la región.

3 Redes de Petri para la Automatización

Siendo esta una época en donde se hace un gran énfasis en la competitividad y en la lucha por el acceso a los mercados, la brecha económica que resulta de un trabajo artesanal a uno realizado mediante un proceso mecanizado es diametralmente opuesto, lo que deja fuera de la contienda a miles de pequeños productores de la región. La tendencia de globalización se refleja en los mercados, productos, economía y otros aspectos con los que tratamos a diario, sin embargo la región de Cholula, parece no haber sido notificada de esta realidad desde ya varios siglos lo que ha menoscabado su economía. Si agregamos a esto que los procesos industriales automáticos vienen evolucionando desde hace décadas se obtiene un escenario poco alentador para el desarrollo de esta actividad. Sin embargo existe la posibilidad de iniciar avances a este respecto mediante la adaptación de sus instalaciones actuales a las nuevas tecnologías de automatización con el objetivo de conseguir un sistema de producción más moderno y eficaz, y si fuese posible sin excesivos recursos adicionales. Es por tal motivo que se debe tener especial cuidado en realizar la adaptación de una manera coherente y previsora, intentando buscar no solamente la consecución del objetivo, la automatización del proceso, sino también una realización clara, estructurada y sistemática que condicione lo menos posible la adaptación de las futuras innovaciones que haya que aplicar, hecho poco frecuente en la industria pequeña y mediana en donde reina la solución rápida del problema antes que una solución a futuro.

A tal respecto se propone el uso de las redes de Petri (rdP) como una herramienta para el modelado y el diseño de automatizaciones. Si bien poseen una base teórica extensa que las avale en todos aquellos campos en que son empleadas, y es amplia la producción científica que se produce alrededor suyo, en este caso se ocuparán como herramientas para investigar sobre una de las partes del proceso de producción de ladrillo rojo, no como el objeto de la investigación.

3.1 Definiciones Básicas

Para ubicarnos en el contexto, una red de Petri es un grafo orientado en el que intervienen dos clases de nudos, los lugares representados frecuentemente por circunferencias, y las transiciones, que son representadas por pequeños segmentos rectilíneos unidos alternativamente por arcos. Un arco une un lugar con una transición (o viceversa) pero no puede unir dos transiciones o dos lugares. Un lugar puede contener un número positivo o nulo de marcas. Una marca es representada por un punto en el interior del círculo que representa al lugar. El conjunto de marcas

asociadas a cada uno de los lugares en un instante dado constituye lo que se denomina un marcado de la rdP.

Reducido un sistema en un grafo, su representación se realiza mediante el conjunto de estados totales en los que tal sistema se pueda encontrar. En una rdP el estado está representado por el marcado. Como el marcado puede contener varios lugares marcados simultáneamente, el estado está definido por un conjunto de sub-estados (locales o parciales) del sistema. Esto es indicio de su eficiencia para la descripción de evoluciones simultáneas.

Matricialmente una rdP se representa mediante dos matrices. Sea $|P| = n$ (número de lugares de la red) y sea $|T| = m$ (número de transiciones de la red). Se denomina matiz de incidencia previa a la matriz $C^- = |C_{ij}^-|_{nxm}$, en la que $c_{ij}^- = \alpha(p_i, t_j)$. Se denomina matriz de incidencia posterior a la matriz $C^+ = |C_{ij}^+|_{nxm}$ en la que $c_{ij}^+ = \beta(t_j, p_i)$.

La clasificación de las redes de Petri se realiza en tres niveles. En el nivel uno las rdP se caracterizan por tener lugares en los que se pueden representar valores booleanos. El segundo nivel se caracteriza por lugares que puedes representar valores enteros. Por último, el tercer nivel se caracteriza por lugares que representan valores de altas prestaciones.

Es importante mencionar que la utilización de GRAFCET a rdP es más común en la automatización industrial debido a las rdP son más desconocidas. De hecho los GRAFCET se pueden implementar con un subconjunto de las rdP lo que permite referir a ambas herramientas de forma genérica como rdP.

3.2 Aplicación de las rdP

Para aprovechar las ventajas de las rdP, su potencia y su simplicidad, se realiza junto a la simulación del proceso productivo, la simulación de la red de Petri que define su funcionamiento, ya sea lo que se ha empleado para el desarrollo del programa autómata o una que modelizar tal desarrollo. Con esto, tenemos en el proceso de monitoreo toda la información del estado del sistema, ya que con al visualización de la planta tan sólo tenemos información de las entradas y salidas, lo cual no es suficiente en los sistemas secuenciales. Además así podemos emplear todas las posibilidades de análisis, optimización y detección de errores, ampliamente estudiadas en las rdP, para mejorar el proceso, y de una manera clara, estructurada y sistemática, para facilitar posteriores modificaciones o ampliaciones.

Así, la modelización de un sistema que pudiera llegar a presentar recursos compartidos, concurrencias, autorizaciones memorizadas, sincronizaciones mutuas con evoluciones simultáneas o con desactivación de subsistemas, es una labor muy simple de realizar mediante rdP y sin embargo puede resultar sumamente compleja de programar directamente en leguaje escalera para un control lógico programable (PLC).

Para modelar el proceso de producción de ladrillo rojo se debe iniciar con la representación de cómo van a evolucionar las salidas de algunas partes que lo integran en función de la secuencia de salidas deseadas, teniendo en cuenta que el estado

interno evoluciona en función de las entradas. Una vez que se a realizado el modelo se procede a su implementación de manera que ante las respuestas del sistema y las incógnitas que le proporcione el usuario, se produzca las correspondientes órdenes al sistema para que éste evolucione como interesa. Habitualmente la automatización es secuencial teniendo su estado interno que identifica su comportamiento en cada momento frente a las entradas, de manera que la información del estado del sistema puede estar contenida dentro de dicho estado interno de la automatización o también puede recibirse del propio sistema como parte de la respuesta.

3.3 Propuesta de Automatización

Como ejemplo de la utilización de las rdP, propongamos la automatización de una cinta para trasportar ladrillos crudos. Se propone la utilización de dos sensores capacitivos en los extremos de la cinta la cual tiene que avanzar hasta que haya un ladrillo en el extremo final para que pueda ser ingresado al siguiente paso automatizado. Para esto, primero debemos identificar tanto las entradas (sensores) como las salidas (avance) lo cual permite identificar inmediatamente una automatización sin consigna. De aquí también es claro identificar que la capacidad máxima de nuestra cinta no es recibida como entrada al sistema lo que implica la generación y almacenamiento de dicha información en el estado interno de la automatización la cual se muestra en la figura 1.

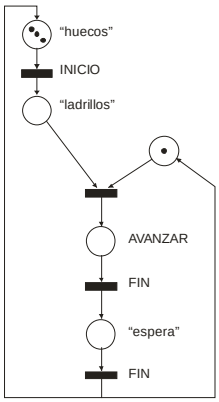

Fig. 9: rdP de la cita trasportadora [Jiménez, E, p.106]

Automatizada la cinta, se procede a la simulación del sistema que para este caso solo serán los sensores. Hay que tener en cuenta que las salidas del sistema se activarán en función de las órdenes procedentes de la automatización y de los eventos externos que son parte del proceso de fabricación como pueden ser eventos procedentes de otras máquinas, PLC, actuadores. Así, para la simulación tendremos como entrada los ladrillos producidos los ladrillos entregados y el avance, mientras que para las salidas solo los sensores de inicio y fin. La rdP generada se muestra la figura 2.

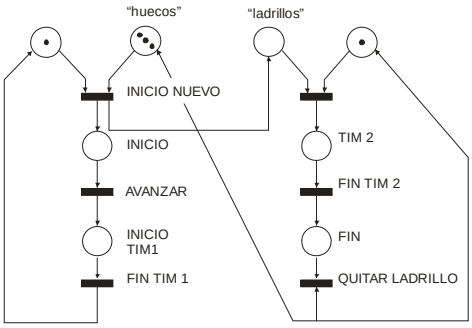

Fig. 10: rdP generada para la simulación [Jiménez, E, p.107]

Cabe aclarar que el sistema parte de que la cita no tiene previamente cargado ningún ladrillo dejando esta acción al evento externo "ladrillo nuevo" que da pie a la simulación del comportamiento del sensor "inicio". Activado este, mediante un temporizador se simula el tiempo que permanece el sensor activado por el paso del ladrillo mientras la cinta se encuentra en marcha. Si en la cinta se encuentra algún ladrillo, de igual forma se controla el tiempo que tardaría el ladrillo en recorrer la cinta hasta la activación del sensor "fin". Llegado el ladrillo al final de la cinta, este se retira mediante el evento externo "quitar ladrillo". Independiente mente del número de ladrillos que se encuentran sobre la cinta o del tiempo que hayan estado avanzando sin llegar hasta el final, es de observarse que siempre tardarán el mismo tiempo en recorrer la cinta desde su puesta en marcha hasta que llegue el primero. Esto no caracteriza precisamente a un modelo exacto pero para nuestros propósitos es lo necesario.

Siguiendo con la realización del diseño, se procede a la fusión de la automatización y la simulación en el PLC con el fin de detectar anomalías en el funcionamiento y poder eliminarlas. Esta debe realizarse relacionando las rdP con el objetivo de simularlas de forma computacional, como lo muestra la figura 3, de implementarlas una vez traducidas al lenguaje del dispositivo.

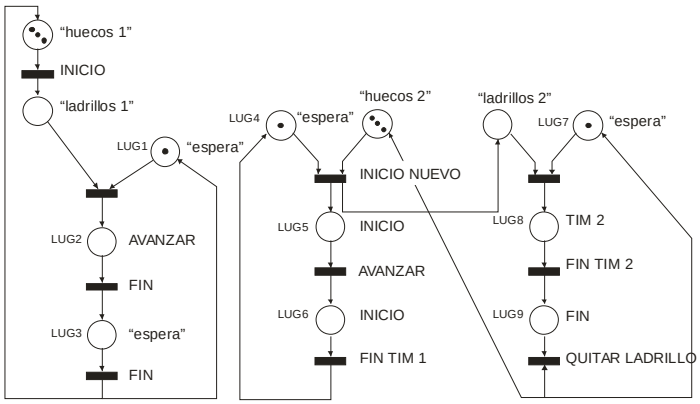

Fig. 11: Implementación [Jiménez, E, p.108]

Así, la automatización y la simulación forman un todo en el que se integran entradas de los eventos externos de “ladillo nuevo” y “quitar ladrillo”.

4 Conclusiones

Modelar un sistema previo a la automatización que tendrán los dispositivos que lo integran, permite tener en cuenta los aspectos más interesantes del sistema y se obvian los que no afectan el funcionamiento global, siendo más complejos incluso que los que realmente interesan permitiendo trabajar con un sistema simplificado.

Realizando el modelo del sistema en un programa de simulación, es posible la confrontación de éste a la de la automatización de manera que podrá conocer si es correcta o no además de realizar un análisis del comportamiento, es decir que podremos ver cómo será idealmente la producción.

Si en un futuro se utilizara un controlador lógico programable (PLC) para implementar el control en alguna de las partes de las etapas que integra el proceso de producción, como por ejemplo el de una banda transportadora, la rdP permitiría realizar la traducción de su comportamiento a lenguaje escalera (o ladder). De esta forma se tendría la simulación en tiempo real dentro del propio dispositivo de control, es decir que ahora en vez de controlar la planta, controla el modelo que tiene introducido de ella. De esta forma no solo se comprobaría si está bien realizada la automatización, sino también el dispositivo de control.

Es importante mencionar que el diseño de la planta debe ser trabajado por a un grupo de profesionales y no solamente por una persona ya que deben de integrarse correlacionando sus conocimientos, con el objetivo de que el diseño pueda implementarse en un espacio y tiempo determinados, al menor costo posible, ofreciendo calidad y duración en lo instalado.

Desde una perspectiva social es importante ubicar que los estilos de vida y costumbres, no son iguales que hace 100 años y que esto es parte de un ciclo continuado al cual deben de adaptarse rápidamente nuestros productores. Esto supone, por tanto el cambio de hábitos productivos y en general hábitos de vida antes de la aplicación de cualquier automatización.

Referencias

1. Jiménez, E: Técnicas de automatización avanzadas en procesos industriales. Universidad de La Rioja, España (2001)
2. Astrom. K.J., B. Wittenmark: Computer contolled systems. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey (1997)
3. Xing KY., Hu BS., Chen HX.: Deadlock avoidance policy fpr Petri-net modeling for flexible manufacturing systems with shared resources. IEEE trans on Automatic Control 1996, 41, 289-294(1996)
4. Falkenhainer B., Forbus K.: Compositional modeling: finding the right model for the job. Artificial Intelligence 51, 95-143 (1991).

5. Gaspar A. : Modelling and Optimization of Single Screw Extrusion, University of Minho, Brazil (1999).
6. Elías X.: Optimización de procesos cerámicos industriales. Universidad Pontificia Boliviana, Medellin (2001).
7. Departamento de ciencias de la computación del Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, http://computacion.cs.cinvestav.mx/~ameneses/pub/tesis/mtesis.
8. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas de la Universidad Michoacana de San Nicolas Hidalgo, http://www.fismat.umich.mx/~crivera/tesis/node25.html.