



Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 2674			
Título del proyecto: "IDENTIFICACION, MODELADO Y CONTROL DEL PROCESO PLANTA PILOTO DE DESTILACION PARA PRODUCCION DE ALCOHOL CARBURANTE"			
Facultad o Instituto Académico: Ingeniería			
Departamento o Escuela: Eléctrica y Electrónica; Ingeniería Química			
Grupo (s) de investigación: Control Industrial GICI; GAOX			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Jesús Alberto González	10h/s	10 h/s
Coinvestigadores	Fiderman Machuca	5 h/s	5 h/s
	Edinson Franco Mejía	5 h/s	5 h/s
Otros participantes	Jairo Andrés Acevedo	20 h/	20 h/s
	Diego Fernando Franco	20 h/s	20h/s
	Erick Salomón Espítia Serrato	20 h/s	20/s
	Julián Ramiro de la Cruz Cerón	20 h/s	20 h/s

1. Resumen ejecutivo:

El proceso de producción de alcohol carburante de la región demanda grandes retos desde el punto de vista de la automatización; las exigencias de altos consumos de energía requieren el estudio de estrategias de control avanzadas que a pesar de existir información de investigaciones para columnas de destilación, no se encuentran implementadas en las plantas de producción de alcohol carburante de la región.

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

Para obtener estrategias de control es necesario disponer de buenos modelos que reflejen todos los modos dinámicos, para tal efecto en este proyecto se procede a estudiar y diseñar los experimentos para realizar la identificación de la planta a partir de datos experimentales. Simultáneamente se estudian las estrategias de control las cuales son verificadas mediante corridas de simulación.

La investigación se desarrolla alrededor de una planta de destilación binaria (PDB) de etanol y agua existente en el Laboratorio de Procesos Químicos de la Facultad de Ingeniería; aquí, la separación de la mezcla etanol-agua se realiza en una columna de platos perforados, la cual es un cilindro vertical en el que se lleva a cabo la ebullición de los componentes de la mezcla.

La investigación se orientó al modelado, identificación y simulación, aplicado a la PDB, se analizó el comportamiento estático y dinámico de diferentes variables físico-químicas que intervienen en el proceso, se analizaron las estrategias o configuraciones para el control de las columnas de destilación binaria, se realizó un análisis de sensibilidad, se diseñaron controladores por desacople para las tres configuraciones más relevantes, se analizó el consumo energético para cada uno de los escenarios, se diseñaron las señales de prueba para la identificación fuera de línea, se mejoró el sensado, transmisión y actuación de la planta, se instaló el software de mando y control, un Controlador Lógico Programable y el sistema Scada.

Por falta de presupuesto no fue posible la Automatización al 100%, lo que imposibilitó la implementación de muchas de las investigaciones desarrolladas en este proyecto. Sin embargo, los resultados alcanzados permitieron establecer estrategias para ser consideradas en las plantas de destilación de la región. Con la divulgación de los resultados obtenidos al sector productivo se espera fortalecer el acercamiento entre la universidad y los ingenios productores de alcohol, para establecer lazos de cooperación técnica y científica.

Abstract

The process of fuel ethanol production in the region demand great challenges from the automation, the demands of high energy consumption require the study of advanced control strategies that despite the existence of research information for distillation columns are not implemented in the regional fuel ethanol production plants.

For control strategies is necessary to have good models that reflect all the dynamic modes for the purpose of this project is to study and design experiments to identify the plant from experimental data. Simultaneously control strategies which are verified by simulation runs are studied.

The research is performed around a binary distillation plant (PDB) of ethanol and water in the Chemical Processes Laboratory, Faculty of Engineering, here, the separation of the ethanol-water mixture is carried out in a sieve plate column, which is a vertical cylinder in which is carried out by boiling the components in the mixture.

The study focused on modeling, identification and simulation, applied to PDB, the static and dynamic behavior of different physicochemical variables involved in the process was analyzed, as well strategies or control settings for binary distillation column were analyzed, a sensitivity analysis was performed, drivers were design by decoupling for the three most relevant configurations, the energy consumption for each outlined was analyzed, the test signals for identifying off-line was designed, the measure, transmission and performance of the plant were improved, a command and control software, a Programmable Logic Controller and SCADA system was installed.

For lack of funds was not possible 100% automation, making it impossible to implement many of the research developed in this project. However, the results allowed to establish strategies to be considered in distillation plants in the region. With the release of the results to the productive sector is expected to strengthen the rapprochement between the university and the fuel ethanol production plants, to establish ties of technical and scientific cooperation.

2. Síntesis del proyecto:

2.1 Tema

La investigación se orientó hacia los aspectos de la ingeniería de control relacionados con el modelado, identificación y control del proceso de destilación binaria en la planta piloto de la Escuela de Ingeniería Química.

2.2 Objetivos

General:

Realizar el modelado y control de columnas de destilación utilizadas en la producción de alcohol carburante.

Objetivos:

Objetivo 1: Estudio de la dinámica de proceso mediante la aplicación de técnicas de identificación.

Objetivo 2: Validación de modelos de dinámica de proceso mediante datos experimentales obtenidos en unidad piloto.

Objetivo 3: Análisis de sensibilidad de parámetros de operación en el uso de modelos dinámicos.

Objetivo 4: Análisis y verificación de las estrategias de control de la planta piloto de experimentación para la producción de alcohol carburante.

Objetivo 5: Validar y ajustar los lazos de control propuestos con una planta piloto de experimentación para la producción de alcohol carburante.

2.3 Metodología

Para la ejecución de la investigación se adopta la metodología para el desarrollo de proyectos de control (analítica-experimental); primero se analiza el sistema a controlar, identificando y conociendo el proceso de la planta piloto para definir el problema de control, las variables de interés y las necesidades de instrumentación (sensores y actuadores); posteriormente se plantean las especificaciones de funcionamiento deseadas para el sistema (por parte de los ingenieros de proceso que conocen el funcionamiento de la planta) para el desempeño del

control, los modos de control, interfaces hombre máquina, entradas, salidas y conectividad.

En la identificación del proceso se diseñan los experimentos y se programan las señales a aplicar para este propósito. Se implementa en el simulador Aspen® la configuración de la planta piloto, se analizan las configuraciones para el control de las columnas de destilación binaria, se diseñan controladores por desacople para las tres configuraciones más relevantes, se analiza el consumo energético para cada uno de los escenarios y se diseñan los controladores a partir de los modelos obtenidos.

2.4 Resultados obtenidos

2.4.1 Objetivo 1: Estudio de la dinámica de proceso mediante la aplicación de técnicas de identificación.

Esta sección del informe es escrita con base en los reportes del Proyecto de Investigación del estudiante de Maestría en Ingeniería con énfasis en Automática, Jairo Andrés Acevedo.

Se realizó el estudio de la dinámica de proceso mediante la aplicación de técnicas de identificación, para ello se analizaron las dinámicas de las variables involucradas en el proceso de destilación binaria de la PDB; se diseñaron las señales de prueba a aplicar al proceso, para ello se emplearon señales binarias pseudo-aleatorias (PRSB); se implementaron simulaciones usando el software Matlab® y ASPEN DYNAMICS® (Ver ANEXO 1).

2.4.2 Objetivo 2: Validación de modelos de dinámica de proceso mediante datos experimentales obtenidos en unidad piloto.

A partir de las características de operación unitaria y constructivas de la PDB, apoyados en el software ASPEN PLUS, ASPEN DYNAMICS®, se realizó: estudio de señales del proceso, estudio de las configuraciones de control, la caracterización estática de las variables de proceso en función de las concentraciones de productos de fondo y de destilado, análisis de sensibilidad de las variables de proceso, el estudio del comportamiento dinámico de las variables de proceso, obtención de los modelos (2x2) en función de transferencia para tres de las configuraciones de control, análisis de acoplamiento de las variables para cada una de las tres

configuraciones, diseño de controladores por desacople y simulación (Ver ANEXO 2).

2.4.3 Objetivo 3: Análisis de sensibilidad de parámetros de operación en el uso de modelos dinámicos.

Para conocer más a fondo el comportamiento de las tres estrategias implementadas en Aspen, se procedió a realizar un análisis de sensibilidad de las mismas, el cual nos permitió conocer el rango de frecuencias donde los sistemas son sensibles a variaciones de parámetros o perturbaciones, entre otras características (Ver ANEXO 3).

2.4.4 Objetivo 4: Análisis y verificación de las estrategias de control de la planta piloto de experimentación para la producción de alcohol carburante.

Para obtener el correcto emparejamiento de las variables, se construyeron las matrices de ganancia relativa (MGR) a partir de estos análisis se diseñaron controladores por desacople, en el ANEXO 4 se muestra el desarrollo para la estrategia L-G; para las otras estrategias, el análisis está consignado en el informe final del trabajo de grado de los estudiantes de pregrado Erick Espitia y Julián de Los Ríos.

2.4.5 Otros resultados.

Otros resultados importantes del proyecto de investigación el rediseño de la instrumentación, actuación y control de la PDB para la Automatización de la columna de destilación bajo estudio (Ver ANEXOS 5 y 6) y el desarrollo de una herramienta de emulación de columnas de destilación (esta última desarrollada por otro el estudiante de Maestría).

En este proceso, además de los investigadores, participaron directamente los estudiantes graduados de pregrado Erick Espitia y Julian de la Cruz (plan de estudios 3744), el estudiante de formación de Maestría en Ingeniería con énfasis en Automática Jairo Andrés Acevedo (plan de estudios 7712) e indirectamente el estudiante Diego Fernando Franco Ocampo (plan de estudios 7712). También se contó con la asesoría del ingeniero Armando Borrero Espinosa de la planta de destilación del Ingenio Providencia. El estudiante Erick Spitia perteneció al programa de formación de semilleros de investigación (Ver ANEXO 7).

Principales conclusiones y/o recomendaciones

Conclusiones

- ✓ La identificación de sistemas dinámicos para sistemas no-lineales y multivariables, es una técnica interesante para diseño de sistemas de control en línea, sin embargo requiere tener el proceso muy bien instrumentado lo que hace costosa la solución.
- ✓ El efecto de un lazo de control sobre el otro en cada una de las estrategias utilizadas y la facilidad de implementación de las mismas, están estrechamente relacionadas con el valor de índice de acoplamiento correspondiente a cada configuración de control. La estrategia D-G presentó el menor índice de acoplamiento, el efecto de un lazo de control sobre el otro fue menor que en las otras estrategias y no fue necesario el diseño de desacoplador para el lazo de control de fondos.
- ✓ Las estrategias de control que manipulan la temperatura en el rehervidor mediante la variación de la energía suministrada al proceso, tuvieron una respuesta con menor sobrepaso pero con mayor tiempo de estabilización debido al comportamiento térmico del sistema. La estrategia L-B presentó un sobrepaso considerable y un tiempo de estabilización corto debido a la rapidez de respuesta de las válvulas en el software y a la estabilidad en los flujos de las corrientes de reflujo y de fondos.
- ✓ En los controladores que manipulan la variable G, el consumo de vapor ante una perturbación en el flujo de alimentación está asociado a la respuesta de estos. El valor de sobrepaso y el tiempo de estabilización son directamente proporcionales a la cantidad de vapor necesaria, puesto que el flujo de este oscila mientras el sistema se estabiliza para lograr la concentración molar deseada en el producto destilado y el producto de fondos, causando mayores o menores consumos según la respuesta dinámica del sistema.
- ✓ Dado que las diferencias de la concentración del destilado en el punto de operación no son significativas para las tres estrategias, es posible comparar las eficiencias. La estrategia L-G presentó el mejor desempeño tanto en la eficiencia energética como en la de destilación, es decir, esta configuración necesita menos vapor de calentamiento por cada litro de etanol producido y realiza mejor la separación de los componentes de la mezcla de alimentación.

Recomendaciones

- ✓ El proyecto ha sido integrador de varias disciplinas, involucrando para su desarrollo dos grupos de investigación de la ingeniería. Por involucrar el desarrollo de implementación tanto de software como de hardware en la planta piloto, tuvo retrasos en su culminación por las demoras institucionales en los procesos de compra y contratación de servicios técnicos.
- ✓ Para la elaboración del proyecto se decidió trabajar con una planta piloto de destilación binaria ubicada en la Escuela de Ingeniería Química de la UNIVERSIDAD DEL VALLE. Es necesario continuar el proceso de instrumentación de la planta, sobre todo del subsistema conocido como fondos; para la identificación completa se requiere sensar y actuar sobre el caudal de vapor de fondos, y sensar la concentración en fondos.

3. Productos:

Tabla No. 2. **Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS	No. de PRODUCTOS PRESENTADOS
Productos de nuevos conocimientos		
Artículo completo publicado en revistas A1 o A2		
Artículo completo publicados en revistas B	1	1
Artículo completo publicados en revistas C		
Libros de autor que publiquen resultados de investigación		

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Capítulos en libros que publican resultados de investigación				
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados				
• Prototipos y patentes	0		1	
• Software	0		1	
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial	1		1	
Normas basadas en resultados de investigación	0		0	
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	1	2	1
Semillero de Investigación	1	0	1	0
Estudiantes de maestría	2	1	2	1
Estudiantes de doctorado	0	0	0	0
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas	0		0	0
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
Propuesta de investigación				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.				

Tabla No. 2. Detalle de productos.

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	N.N.
Nombre Particular:	Automatización, Simulación y control de una columna de destilación binaria piloto para producción de alcohol carburante.
Ciudad y fechas:	(en edición)
Participantes:	Jesús A. González, Fiderman Machuca, Edinson Franco.
Sitio de información:	Centro de Documentación, Grupo de investigación en Control Industrial.

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA UN PROCESO DE DESTILACIÓN BINARIA.
Nombre Particular:	Estudio de configuraciones y modelos para control de columna de destilación binaria piloto para producción de alcohol carburante.
Ciudad y fechas:	(en edición)
Participantes:	Erick Espitia, Julián de la Cruz, Jesús Alberto González, Edinson Franco.
Sitio de información:	Centro de Documentación, Grupo de investigación en Control Industrial.

Tipo de producto:	Trabajo de Investigación
Nombre General:	- Para optar al título de Magister en Ingeniería con énfasis en Automática
Nombre Particular:	Emulación de una columna de destilación binaria continua.
Ciudad y fechas:	Febrero – Junio de 2014
Participantes:	Diego Fernando Franco Ocampo.
Sitio de información:	Biblioteca Central Mario Carvajal; Centro de Documentación, Grupo de investigación en Control Industrial.

Tipo de producto:	Trabajo de Investigación
Nombre General:	- Para optar al título de Magister en Ingeniería con énfasis en Automática
Nombre Particular:	Identificación paramétrica multivariable de una columna de destilación binaria
Ciudad y fechas:	En ejecución.
Participantes:	Jairo Andrés Acevedo.
Sitio de información:	Biblioteca Central Mario Carvajal; Centro de Documentación, Grupo de investigación en Control Industrial.

Tipo de producto:	Trabajo de Grado
Nombre General:	- Para optar al título de Ingeniero Electrónico
Nombre Particular:	DISEÑO Y ANÁLISIS DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA UN PROCESO DE DESTILACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL CARBURANTE EN UNA PLANTA PILOTO DE DESTILACIÓN BINARIA.
Ciudad y fechas:	SANTIAGO DE CALI, MAYO DE 2013
Participantes:	Erick Salomón Espítia , Julián Ramiro de la Cruz
Sitio de información:	Biblioteca Central Mario Carvajal; Centro de Documentación, Grupo de investigación en Control Industrial.

4. Impactos actual o potencial:

El desarrollo de este proyecto permitió recuperar la planta piloto de destilación binaria, logrando mejoras en: el software de manejo de la planta, la interfaz hombre máquina, instrumentación del proceso, señalización y monitoreo de las variables que intervienen en el proceso como son la presión, temperatura y principalmente la medida de la concentración del producto destilado. Con estas adecuaciones y con la reingeniería implementada, se dispone de una planta de proceso que dará apoyo en la docencia y la investigación.

En la docencia en los cursos de pregrado tanto de Ingeniería Química como en las ingenierías Electrónica, Eléctrica y Mecánica; y en los cursos de posgrado en las áreas de la Automatización y de Procesos Químicos. En extensión la planta puede servir de experimentación para evaluar estrategias de control que serán implementadas en procesos de destilación de la región, y para ofrecer cursos de actualización en



automatización y operación de procesos de destilación.

En la investigación queda una infraestructura para hacer trabajos en: modelado de procesos, evaluación de estrategias de control y en procesos de separación.

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

ANEXO 1. Informe de Identificación de la Planta de Destilación Binaria.

ANEXO 2. Validación de modelos de dinámica de proceso mediante datos experimentales obtenidos en unidad piloto.

ANEXO 3. Análisis de sensibilidad de parámetros de operación en el uso de modelos dinámicos.

ANEXO 4. Análisis y verificación de las estrategias de control de la planta piloto de experimentación para la producción de alcohol carburante.

ANEXO 5. Otros resultados

ANEXO 6. Descripción planta de destilación y pruebas de simulación.

ANEXO 7. Certificados