

# DISEÑO DE DESACOPLADORES PARA COLUMNAS DE DESTILACION

EMIRO PEREZ \*  
Ingeniero Químico

WILLIAM VILLANUEVA \*  
Ingeniero Químico

CARMELO FUENTES LOZANO \*\*  
Ingeniero Químico, MSc, PhD

## RESUMEN

Presentamos un estudio cuantitativo de tres tipos de elementos desacopladores para una columna de destilación que separa una mezcla binaria de metanol-agua. Los desacopladores ideales producen resultados no aceptables, los desacopladores simplificados trabajan satisfactoriamente, pero los mejores resultados se obtienen con los desacopladores simplificados retroalimentados. También se obtienen resultados aceptables con desacopladores simplificados parciales.

## INTRODUCCION

De los muchos problemas existentes en el control de columnas de destilación, uno de los más importantes y aun no resuelto es el control simultáneo de ambas composiciones, debido a la interacción de los lazos de control.

La interacción ocurre porque la acción del controlador del fondo afecta la composición del destilado y de la misma manera la acción del controlador del destilado afecta la composición del fondo. Este fenómeno de la interacción entre los dos lazos de control de composición puede ser tan severo que hace imposible el control simultáneo de ambas composiciones en muchos casos.

Varias técnicas se han propuesto para aliviar los efectos de la interacción sobre la estabilidad de los lazos de control en columnas de destilación cuando se controlan ambas composiciones terminales.

\* Tesis de Grado de Ingeniero Químico, 1989.

\*\* Profesor de la Universidad Industrial de Santander

La más primitiva es la de sintonizar finamente un controlador, el de la composición del producto más importante, pero no el otro. En este caso se sacrifica el control de una de las composiciones terminales, la menos significativa, pero el sistema de control no presenta problemas de estabilidad.

Otro modo de enfrentar los problemas de control que surgen de la interacción en columnas de destilación es por medio de estructuras favorables de control, que pueden teóricamente predecirse por medio de técnicas que aplican el concepto de la ganancia relativa desarrollada por Bristol (1) y aplicada a columnas de destilación por Shinskey (6) y McAcroy (5) principalmente.

Por último también se recomienda el uso de desacopladores, estudiados en detalle por Buckley (2) y Luyben (4). Esta última técnica es la utilizada en este estudio para aliviar los efectos negativos que tiene la interacción en el control de ambas composiciones terminales de una columna de destilación.

## SISTEMA ESTUDIADO

El sistema estudiado es una columna atmosférica de destilación binaria que separa una mezcla de metanol-agua, con una composición del alimento de 0.5 fracción molar, en productos terminales del fondo y del destilado de 0.01 y 0.99 respectivamente. El modelo matemático de la torre se desarrolló con pocas simplificaciones, las más significativas se describen a continuación:

- a. Se consideró presión constante en toda la columna.
- b. Se omitió la dinámica de la fase vapor por ser una columna que trabaja a baja presión.
- c. Los platos, el condensador total de reflujo y el rehervidor parcial del fondo exhiben mezcla perfecta.
- d. Los platos son teóricos o sea que presentan una eficiencia del 100%
- e. Se despreciaron las pérdidas de calor en los platos y no se tuvo en cuenta la capacidad térmica de los platos o de la torre.
- f. La hidráulica de los platos está dada por la fórmula de Francis para vertederos.
- g. Tanto el alimento como el reflujo entran a la torre como líquidos saturados.
- h. Se usó un analizador con un tiempo muerto de dos minutos.

Las propiedades termodinámicas de la mezcla binaria como entalpías de líquido y vapor, volatilidad relativa y densidad, así como la dependencia de la temperatura con la composición de la fase líquida se representaron por medio de expresiones polinómicas que se obtuvieron por medio del ajuste de datos experimentales.

Como características especiales de este sistema podemos mencionar la gran diferencia de volatilidades relativas en el fondo (mayor que 7) y en el tope (alrededor de 2), contraflujo no equimolar y moderada pureza. De acuerdo a lo anterior esta columna podría clasificarse como moderadamente no lineal, bastante rápida en el fondo y relativamente lenta en los platos superiores.

Los datos de diseño de esta columna y los valores de variables de interés están dados por Pérez y Villanueva (8), así mismo se pueden encontrar los aspectos teóricos del desarrollo del modelo matemático de esta columna de destilación binaria y las ecuaciones para el cálculo de propiedades termodinámicas como entalpías, densidades y volatilidades relativas.

## ORIGEN DE LA INTERACCION

La Figura 1 y la Figura 2 nos permiten gráficamente y lucidamente observar la naturaleza de la interacción. La Figura 1, que representa la columna de destilación en lazo abierto, nos muestra que la composición del destilado  $X_{D1}$  depende tanto del reflujo  $R$ , a través de la función de transferencia  $P_{12}$ , como del calor dado por el rehervidor

$Q_R$ , a través de la función de transferencia  $P_{14}$ . De igual manera, la composición del fondo  $X_D$ , depende del reflujo por medio de  $P_{23}$  y del calor del rehervidor  $Q_R$ , por medio de  $P_{21}$ .

Si al sistema anterior se le instalan los controladores de las composiciones terminales  $X_B$  y  $X_D$ , como se muestra en la Figura 2, se puede notar que cualquier cambio en  $X_D$ , o en su señal de referencia, causará la acción del controlador de  $X_D$  y la consiguiente variación del reflujo, esto originará cambios en la composición del fondo  $X_B$  a través de  $P_{23}$ . Al alterarse  $X_B$ , el controlador del fondo actuará y a su vez cambiará  $Q_R$ , afectando la composición del tope  $X_D$ , a través de  $P_{14}$ . Se puede esperar un comportamiento similar si se varía la composición del fondo o su señal de referencia.

De la anterior discusión puede intuirse que si los controladores no están bien diseñados para lograr la atenuación de estas señales interactuantes, el sistema anterior podría oscilar indefinidamente y éste es en realidad el comportamiento observado en muchos casos industriales.

De las varias técnicas sugeridas para evitar o aliviar los efectos negativos de la interacción en columnas de destilación hemos escogido el desacoplamiento de los lazos de control, por su facilidad de implementación. En algunos casos un desacoplador puede resultar tan sencillo como un controlador proporcional. Se han estudiado varios tipos de desacopladores que desarrollaremos a continuación.

### DESACOPLADORES IDEALES

Con este tipo de desacopladores se quiere lograr que la acción de cada controlador sea igual a la que se obtendría si el otro estuviera desconectado o manual. En columnas de moderada pureza este tipo de desacopladores no operan satisfactoriamente debido a una gran retroalimentación positiva que se manifiesta por unas ganancias de desacopladores relativamente grandes Luyben (4). Sin embargo, como vamos a analizar los distintos tipos de desacopladores, se incluye en este artículo el desarrollo de los desacopladores ideales y los resultados obtenidos con ellos.

Como se mencionó anteriormente, la idea básica detrás de los desacopladores ideales es lograr que cada controlador de composición actúe como si el otro no existiera. Para lograr lo anterior se necesita de cuatro desacopladores  $D_{11}$ ,  $D_{12}$ ,  $D_{21}$  y  $D_{22}$  para compensar la interacción entre los lazos de control. Ver Figura 3. Para implementar físicamente los desacopladores se tiene que encontrar sus funciones de transferencia en la forma que se indica a continuación.

De la Figura 3, es claro que la composición del destilado  $X_D$ , está dada por

$$X_D = P_{14}Q_R + P_{13}R \quad (1)$$

pero 
$$Q_R = D_{21}R^* + Q_R^*D_{22} \quad (2)$$

y 
$$R = D_{32}Q_R^* + D_{11}R^* \quad (3)$$

Reemplazando las ecuaciones (2) y (3) en (1) se obtiene que

$$X_D = Q_R^*(D_{12}P_{13} + P_{14}D_{22}) + R^*(D_{11}P_{13} + D_{21}P_{14}) \quad (4)$$

Por la acción de los controladores, se tiene que:

$$Q_R^* = B_2(X_D^{ref} - X_D) \quad (5)$$

$$y \quad R^* = B_1(X_D^{ref} - X_D) \quad (6)$$

Reemplazando (5) y (6) en (4) obtenemos:

$$\begin{aligned} X_D &= B_2(X_B^{ref} - X_B)(D_{12}P_{13} + D_{22}P_{14}) + \\ &B_1(X_D^{ref} - X_D)(D_{11}P_{13} + P_{14}D_{21}) \end{aligned} \quad (7)$$

Como se requiere que cada controlador funcione como si el otro no existiera, se debe cumplir que:

$$D_{12}P_{13} + P_{14}D_{21} = 0 \quad (8)$$

y por tanto

$$\frac{X_D}{X_D^{ref}} = \frac{B_1(D_{11}P_{13} + D_{21}P_{14})}{1 + B_1(D_{11}P_{13} + D_{21}P_{14})} \quad (9)$$

Si el controlador de  $X_D$  opera solo su función de transferencia es:

$$\frac{X_D}{X_D^{ref}} = \frac{B_1P_{13}}{1 + B_1P_{13}} \quad (10)$$

Por las condiciones impuestas a los desacopladores ideales, las expresiones dadas por (9) y (10) tienen que ser iguales y nos queda entonces que:

$$D_{11}P_{13} + P_{14}D_{21} = P_{13} \quad (11)$$

De manera similar se tiene que para el controlador del fondo

$$X_B = P_{23}R + P_{24}Q_R \quad (12)$$

$$R = D_{11}R^* + D_{13}Q_R^* \quad (3)$$

$$Q_R = D_{21}R^* + D_{22}Q_R^* \quad (2)$$

Utilizando las expresiones para  $R^*$  y  $Q_R^*$  dadas por las ecuaciones (5) y (6), obtenemos finalmente que  $X_B$  viene dada por

$$\begin{aligned} X_B &= B_1(X_D^{ref} - X_D)(D_{11}P_{23} + P_{24}D_{21}) + \\ &B_2(X_B^{ref} - X_B)(D_{12}P_{23} + P_{24}D_{22}) \end{aligned} \quad (13)$$

Como el controlador de  $X_B$  debe operar como si el otro estuviera inactivo, se debe cumplir que:

$$D_{11}P_{23} + P_{24}D_{21} = 0 \quad (14)$$

Y por tanto

$$\frac{X_B}{X_B^{ref}} = \frac{B_2(D_{12}P_{23} + D_{22}P_{21})}{1 + B_2(D_{12}P_{23} + P_{24}D_{22})} \quad (15)$$

Si el controlador de  $X_B$  operara sin desacoplamiento y con el otro lazo de control desconectado, se debe cumplir que:

$$\frac{X_B}{X_B^{ref}} = \frac{B_2P_{24}}{1 + B_2P_{24}} \quad (16)$$

Obviamente se debe cumplir la igualdad de las ecuaciones (15) y (16) y por consiguiente:

$$D_{12}P_{23} + D_{22}P_{24} = P_{24} \quad (17)$$

Tenemos entonces el siguiente sistema de ecuaciones para los desacopladores ideales

$$D_{12}P_{13} + D_{22}P_{14} = 0 \quad (8)$$

$$D_{11}P_{13} + D_{21}P_{14} = P_{13} \quad (11)$$

$$D_{11}P_{23} + D_{21}P_{24} = 0 \quad (14)$$

$$D_{12}P_{23} + D_{22}P_{24} = P_{24} \quad (17)$$

Utilizando las ecuaciones (8) y (17) obtenemos que

$$D_{21} = -\frac{P_{13}P_{23}}{P_{13}P_{24} - P_{14}P_{23}} \quad (18)$$

$$D_{22} = \frac{P_{13}P_{21}}{P_{13}P_{24} - P_{14}P_{23}} \quad (19)$$

De manera similar se obtiene combinando las expresiones (11) y (14) que:

$$D_{12} = -\frac{P_{14}P_{24}}{P_{13}P_{24} - P_{14}P_{23}} \quad (20)$$

$$D_{11} = D_{22} \quad (21)$$

Las ecuaciones (18) a (21) constituyen entonces las funciones de los desacopladores ideales. Para la determinación de estas funciones de transferencia se necesitan conocer las funciones de transferencia del proceso a saber  $P_{13}$ ,  $P_{14}$ ,  $P_{23}$  y  $P_{24}$ , que se obtuvieron por medio de la técnica del escalonamiento progresivo, desarrollada por Rippin y Lamb (3) y aplicada al modelo linealizado del sistema. Para mayores detalles, el lector puede consultar a Shunta y Luyben (7) o a Zúñiga (9).

Las funciones de transferencia del proceso y la de los desacopladores se dan en la Tabla 3.

Antes de verificar la acción de estos desacopladores ideales en el control de la columna de destilación, se comprobó si había interacción en la columna. Con este fin se diseñaron controladores proporcional integral para las composiciones del fondo y del destilado, de acuerdo a las reglas de Ziegler-Nichols. Los resultados de la simulación que se dan en la Figura 4 y Figura 5 evidencian que los valores de sintonización dados por las reglas de Ziegler-Nichols no son adecuados ni siquiera para el control de una sola composición. Por ejemplo, para un cambio escalón de -0.005 en la señal de referencia de  $X_D$  o para un cambio escalón de +0.005 en la señal de referencia de  $X_B$ .

De estos resultados se puede inferir que la naturaleza no lineal de la columna es una posible causa de este comportamiento ya que para cambios en dirección contraria, o sea, disminución en la señal de referencia de  $X_D$  o para un aumento en la señal de referencia de  $X_B$ , el comportamiento puede considerarse satisfactorio.

Puede anticiparse de los anteriores resultados, que el control simultáneo de ambas composiciones será desastroso y presentará severas interacciones, derivadas de lo inadecuado que resultan las reglas de Ziegler-Nichols cuando se aplican a este sistema. En realidad, éste fue el comportamiento observado. Ambas composiciones oscilaban sin atenuación para perturbaciones del tipo escalón en el flujo del alimento o en las señales de referencia de las composiciones del fondo y del destilado. En consecuencia se procedió a encontrar empíricamente mejores valores de sintonización para los controladores, estos valores se dan en la Tabla 4.

Con estos valores de sintonización se simuló el control simultáneo de ambas composiciones, con los resultados que se dan en las Figuras 6 a 9, para perturbaciones escalón de 10% en el flujo de alimentación y de 0.005 fracción molar en las señales de referencia de  $X_D$  o  $X_B$ . Los resultados mostrados son bastante satisfactorios. Solamente se observa una moderada interacción para perturbaciones en la señal de referencia de  $X_D$ .

A pesar de los buenos resultados obtenidos con estos valores de sintonización para los controladores proporcional integral sin desacoplamiento, los resultados mostrados en las Figura 10, muestran que la introducción de los desacopladores simplificados deteriora completamente la controlabilidad del sistema. Los resultados mostrados en las Figuras 10-a y 10-b, muestran ciclos límites y el sistema no muestra señales de estabilizarse. Un comportamiento similar, aunque con algo de atenuación ocurre cuando la señal de referencia de  $X_B$  sufre una perturbación escalón de +0.005 fracción molar. El comportamiento para una disminución negativa en la señal de referencia de  $X_B$  puede considerarse aceptable.

Las razones para explicar el pésimo comportamiento de los desacopladores simplificados se deben buscar no solo en la naturaleza no lineal del sistema, si no también en la exigencia demasiado rigurosa que se está imponiendo a este tipo de controladores. Otra posible explicación que ya ha sido expuesta por Luyben se debe a la alta retroalimentación negativa en columnas de alta pureza.

Los resultados obtenidos con los desacopladores ideales son de todos modos desalentadores para éste tipo de columnas. Lo anterior no excluye que los desacopladores ideales puedan exhibir resultados satisfactorios para otro tipo de columna. A pesar de todo, su uso en este sistema fué descartado por completo.

## DESACOPLADORES SIMPLIFICADOS

La idea de los desacopladores simplificados se debe a Buckley (2). Su sugerencia bastante llamativa y sencilla, consiste en insertar dos compensadores de interacción que actúen en forma similar a controladores anticipatorios, de manera que se cancele el efecto directo de una variable manipulable, sobre una composición de los productos mediante el cambio adecuado en la otra variable manipulable, tal como se muestra en la Figura 11.

El desarrollo de las ecuaciones de diseño de los desacopladores simplificados se dá a continuación

De la Figura 11, es claro que un cambio en  $X_D$  está dado por

$$X_D = P_{13}R + P_{14}Q_R \quad (1)$$

si se omiten los cambios en  $F$  o  $X_r$ .

Ahora bien, si  $X_D$  está en su valor de diseño y  $Q_R$  cambia, es natural esperar que  $X_D$  cambiará si no se toma ninguna acción. Sin embargo, si  $R$  cambia en la cantidad adecuada para cancelar el efecto de  $Q_R$  en  $X_D$ , ésta permanecerá constante. Para lograr lo anterior se requiere que  $X_D = 0$ , o sea que

$$X_D = P_{13}R + P_{14}Q_R = 0 \quad (22)$$

De aquí obtenemos la función de transferencia del desacoplador que está dada por

$$D_1(s) = \frac{R}{Q_R} = -\frac{P_{14}}{P_{13}} \quad (23)$$

$D_1(s)$  es la función de transferencia del compensador de interacción entre  $R$  y  $Q_R$ , que opera de tal modo que si  $Q_R$  varía, se origina un cambio en  $R$ , debido a su acción, de tal manera que  $X_D$  no cambie.

De manera similar se puede hallar la función de transferencia  $D_2(s)$  de un compensador de interacción entre  $Q_R$  y  $R$ , de modo que si  $R$  cambia,  $Q_R$  cambie en la cantidad adecuada de tal manera que  $X_B$  permanezca en su valor de diseño. Para lograr lo anterior se requiere que:

$$X_B = P_{23}R + P_{24}Q_R = 0 \quad (24)$$

o sea que

$$\frac{Q_R}{R} = -\frac{P_{23}}{P_{24}} = D_2(s) \quad (25)$$

Las ecuaciones (23) y (25), representan las ecuaciones de diseño de los desacopladores simplificados. El diagrama de bloques para el control simultáneo de ambas composiciones se dá en la Figura 11. Notese que solamente se necesitan de dos elementos dinámicos en este esquema, en comparación con los cuatro elementos dinámicos que se necesitan para implementar los desacopladores simplificados.

Las funciones de transferencia de las composiciones terminales a sus respectivas señales de referencia están dadas por

$$\frac{X_B}{X_B^{ref}} = \frac{B_2 \frac{(P_{13}P_{24} - P_{14}P_{23})}{P_{24}}}{1 + B_2 \frac{(P_{13}P_{24} - P_{14}P_{23})}{P_{24}}} \quad (26)$$

y

$$\frac{X_D}{X_D^{ref}} = \frac{B_1 \frac{(P_{13}P_{24} - P_{14}P_{23})}{P_{13}}}{1 + B_1 \frac{(P_{13}P_{21} - P_{14}P_{23})}{P_{13}}}$$

Los resultados de la simulación del sistema de control con la incorporación de los desacopladores simplificados se muestran en las Figuras 12 a 15.

En la Figuras 16 a 19 comparamos el comportamiento de sistemas de control sin desacopladores con el del sistema que usa desacopladores simplificados para perturbaciones en la señal de referencia de  $X_D$ . Puede observarse la mejoría notable en el comportamiento de  $X_B$ , que se debe a la acción del desacoplador del fondo que origina una corrección en  $Q_R$  que se adelanta al cambio en  $R$  ocasionado por las variaciones en la señal de referencia de  $X_D$ . Con este comportamiento se explica la poca variación de  $X_B$  para los dos casos mostrados.

Para cambios en la señal de referencia de  $X_B$  no hay una diferencia apreciable entre los sistemas desacoplados y sin desacoplar. Igual conclusión se obtiene para perturbaciones del diez por ciento en el flujo de alimentación. Entre otras cosas el sistema no desacoplado exhibe un mejor comportamiento dinámico.

## DESACOPLADORES SIMPLIFICADOS PARCIALES

Alguna información encontrada en la literatura permite suponer que en algunas columnas de destilación no hay necesidad de usar los dos desacopladores simplificados porque el desacoplamiento de un solo lazo de control permite obtener buenos resultados con el consiguiente ahorro en costos y en complejidad. En este caso se usa un desacoplador simplificado bien para el fondo o bien para el destilado.

Los resultados obtenidos para el desacoplamiento parcial del controlador del destilado fueron desastrosos. Sin embargo, el desacoplamiento parcial del controlador del fondo produce resultados tan buenos o mejores que los obtenidos con ambos lazos desacoplados.

La mejoría se observa para perturbación de +0.005 fracción molar en la señal de referencia de  $X_D$ , tal como se muestra en la figura 20. Para los demás casos el comportamiento es parecido al observado con ambos desacopladores en acción y no se presentan en este artículo. El lector interesado puede encontrar ésta información en la tesis de grado de Pérez y Villanueva (8).

## DESACOPLADORES SIMPLIFICADOS RETROALIMENTADOS

Este modo de desacoplamiento también requiere únicamente el uso de dos desacopladores. La idea básica en este caso es que la corrección que se hace a la variable manipulable correspondiente provenga de una señal ya corregida, la que va directamente a la válvula, tal como se muestra en la Figura 21. Podría esperarse un mejor comportamiento dinámico ya que se actúa sobre una señal ya corregida.

El diseño de los controladores simplificados retroalimentados se da a continuación:

De las ecuaciones (1) y (12) tenemos que

$$X_D = P_{13}R + P_{14}Q_R \quad (1)$$

$$y \quad X_B = P_{23}R + P_{24}Q_R \quad (12)$$

A la salida de los sumadores se tiene que:

$$R' + Q_R D_2 = R \quad (28)$$

$$Q_R = Q_R' + R D_1 \quad (29)$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores obtenemos que

$$R = \frac{R' + D_2 Q_R'}{1 - D_1 D_2} \quad (30)$$

$$y \quad Q_R = \frac{Q_R' + D_1 R'}{1 - D_1 D_2} \quad (31)$$

Reemplazando las ecuaciones (30) y (31) en (1) y (12) se obtiene que

$$X_D = \frac{R'(P_{13} + P_{14} D_1) + Q_R'(P_{14} + P_{13} D_2)}{1 - D_1 D_2} \quad (32)$$

y de

$$X_B = \frac{R'(P_{23} + P_{24} D_1) + Q_R'(P_{24} + P_{23} D_2)}{1 - D_1 D_2} \quad (33)$$

Para que no haya interacción entre los lazos de control se requiere que

$$P_{13} D_2 + P_{14} = 0 \quad (34)$$

$$P_{21}D_1 + P_{22} = 0 \quad (35)$$

De estas dos últimas ecuaciones se obtiene que:

$$D_1 = \frac{P_{21}}{P_{22}} \quad (36)$$

y

$$D_2 = \frac{P_{14}}{P_{13}} \quad (37)$$

Como puede observarse, las funciones de transferencia de los desacopladores simplificados retroalimentados es la misma que la de los desacopladores simplificados, pero con el uso de los desacopladores simplificados retroalimentados, se obtienen las siguientes expresiones para las funciones de transferencia de las composiciones terminales a sus respectivas señales de referencia,

$$\frac{X_D}{X_D^{ref}} = \frac{B_1 P_{13}}{1 + B_1 P_{13}} \quad (10)$$

y

$$\frac{X_B}{X_B^{ref}} = \frac{B_2 P_{24}}{1 + B_2 P_{24}} \quad (16)$$

O sea que los controladores simplificados permiten la sintonización independiente de cada lazo de control, como si el otro estuviera en manual, pero solamente se necesitan de dos desacopladores. Los resultados de las simulaciones que se dan a continuación se obtuvieron con los controladores sintonizados independientemente el uno del otro.

La Figura 23 que compara el comportamiento de los desacopladores retroalimentados con el de los simplificados normales permite observar que el control de  $X_B$  mejora notablemente con el uso de los desacopladores retroalimentados y además, para todos los fines se ha eliminado la interacción.

Para una disminución en la señal de referencia de  $X_D$ , que se muestra en la Figura 23, solamente se observa una leve mejoría con el uso de los desacopladores simplificados retroalimentados. Los mismos comentarios se pueden hacer para perturbaciones en la señal de referencia de  $X_B$ , mostrados en la Figura 23.

El comportamiento para perturbaciones en el flujo del alimento exhibe un comportamiento muy superior con los desacopladores simplificados retroalimentados, tal como se observa en la Figura 24. Los mismos comentarios pueden hacerse para perturbaciones en la composición del alimento que se muestran en la Figura 25.

Por último se probó un esquema de control desacoplando el fondo únicamente con un desacoplador simplificado retroalimentado. los resultados que se dan en las Figuras 26 y 27 nos indican que el uso de un solo desacoplador, el del lazo del fondo permite obtener tan buenos resultados o mejores, que con el uso de dos desacopladores simplificados. Para este sistema se recomienda entonces, el uso de un solo desacoplador simplificado del tipo retroalimentado.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este trabajo podemos inferir que mediante el uso de desacopladores se logra aminorar el efecto adverso que tiene la interacción sobre la controlabilidad de columnas de destilación. El uso de desacopladores ideales para este sistema debe descartarse de plano. Los desacopladores simplificados producen resultados aceptables. En algunos casos los resultados son muy superiores a los que se obtienen por medio de los controladores convencionales sin ningún tipo de desacopladores, pero en otros casos no. Sin embargo, los controladores simplificados retroalimentados si presentan mejor comportamiento para todos los tipos de perturbación y por su facilidad de implementación es la recomendación mas aceptable, sería la de utilizar un desacoplador simplificado retroalimentado para el fondo unicamente. Todos los desacopladores están orientados unicamente para cambios en la señal de referencia no en las condiciones de la alimentación.

## BIBLIOGRAFIA

1. BRISTOL, E.H., "On a new Measure of Interaction for Multivariable Systems". IEEE Transactions on Automatic Control, January 1966.
2. BUCKLEY, P.S., Chemical Engineering Seminar presented at Ohio University, Nov 20 1967.
3. LAMB, D.E. and D.W. Rippin, Paper presented at the 53 Annual Meeting, Am. Institute of Ch. Eng., Washington D.C., 1960.
4. LUYBEN, W.L., Distillation Decoupling, AIChEJ, March 1970, Vol. 16, pp 198.
5. McAVOY T.S., Interaction Analysis, ISA Monograph, Chapter 2, 1983.
6. SHINSKEY, F.G., Distillation Control for Productivity and Energy Conservation, McGraw Hill, New York, 1977.
7. SHUNTA J.P. and Luyben, W.L., Dynamic Effects of Temperature Control Tray Location in Distillation Columns, AIChEJ, January 1970, pp 91-96.
8. PEREZE M. y W.R. VILLANUEVA, Diseño y Simulación de Desacopladores para Control de Composición en Columnas de Destilación, Tesis de Grado de Ingeniero Químico, Universidad del Atlántico, 1989.
9. ZUÑIGA S., y CERA A., Uso de la Técnica del Pulso en Columnas de Destilación, Tesis de Ingeniero Químico: Universidad del Atlántico 1982.

## ABSTRACT

A quantitative study of three types of decoupling elements is presented for a distillation column separating a binary mixture of methanol-water. Ideal decouplers produced unacceptable results and were discarded. Simplified decouplers produced satisfactory results and the best results were obtained with back simplified decouplers. Acceptable results can also be obtained with partial simplified decouplers.

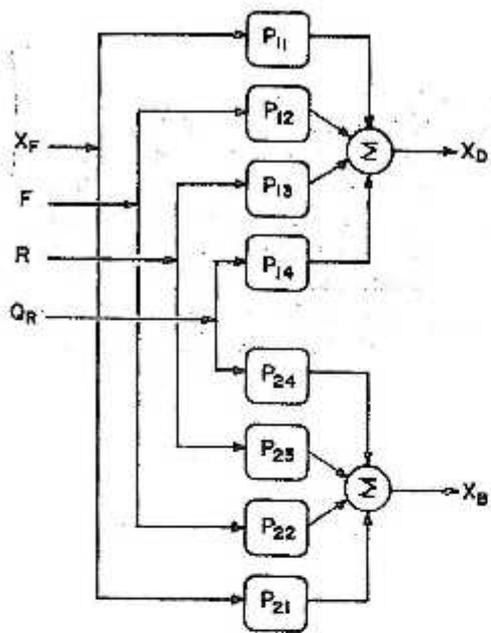


FIGURA 1. Diagrama de bloques de la columna sin controladores.

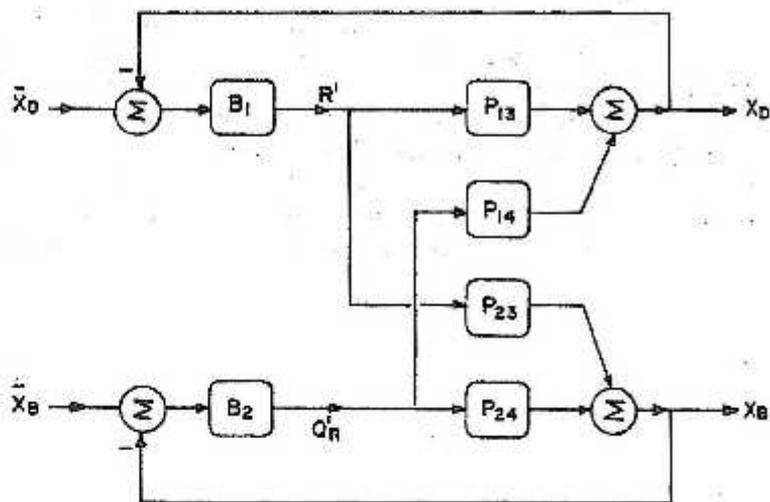


FIGURA 2. Diagrama de bloques de la columna con ambos controladores de composición en operación.

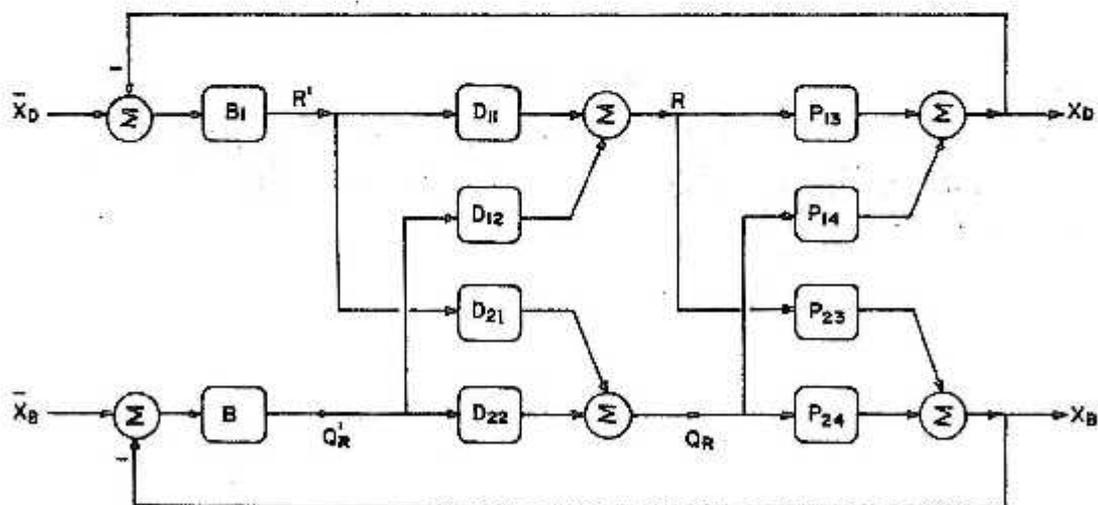


FIGURA 3. Diagrama de bloques del sistema de desacoplamiento ideal en la columna.

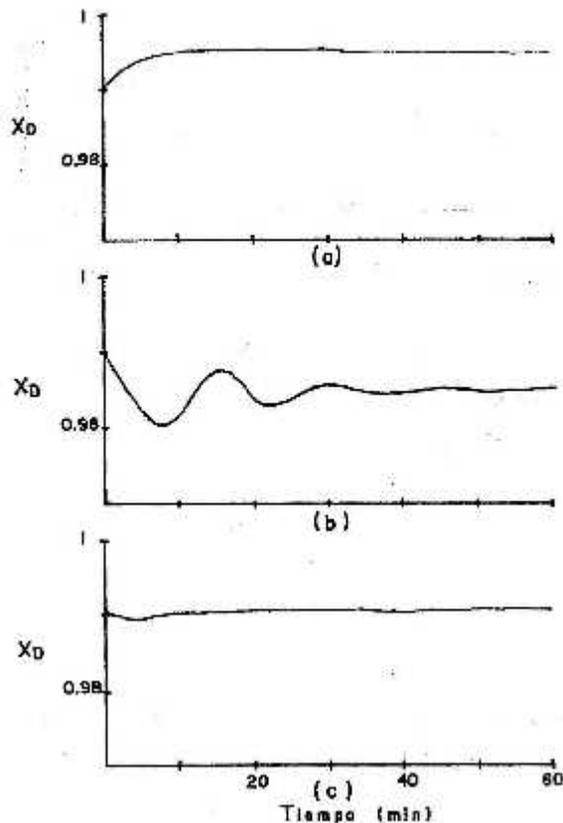


FIGURA 4. Control de la composición del destilado con los valores de la sintonía de Ziegler-Nicholls. (a) y (b). Perturbación en  $X_D^{ref}$ . (c) Perturbación en  $\pm F_0$ .

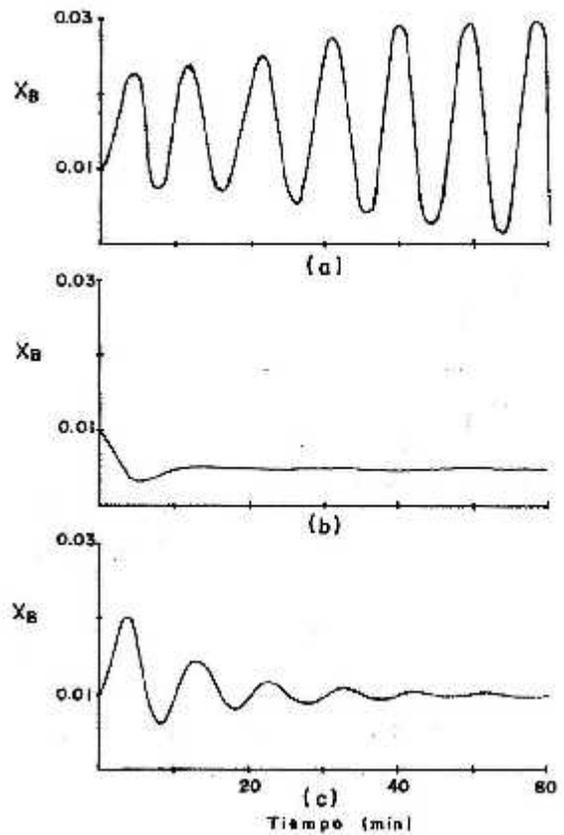


FIGURA 5. Control de la composición de fondo con los valores de sintonía de Z-N. (a) y (b) Perturbación en  $X_B^{ref}$ . (c) Perturbación en  $\pm F_0$ .

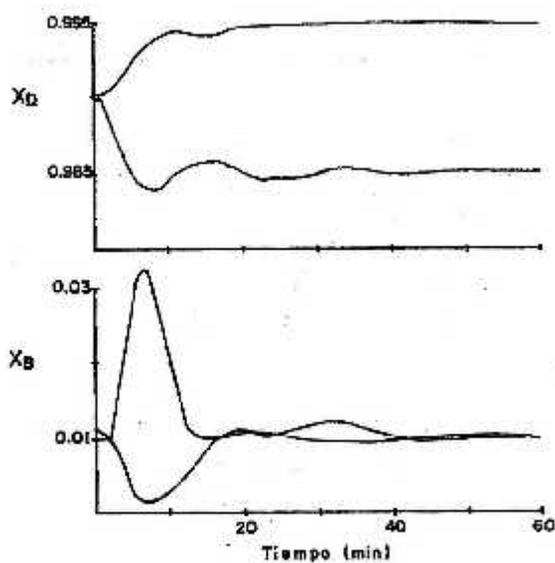


FIGURA 6. Respuesta dinámica para el control PI Perturbación en  $X_D^{ref}$ .

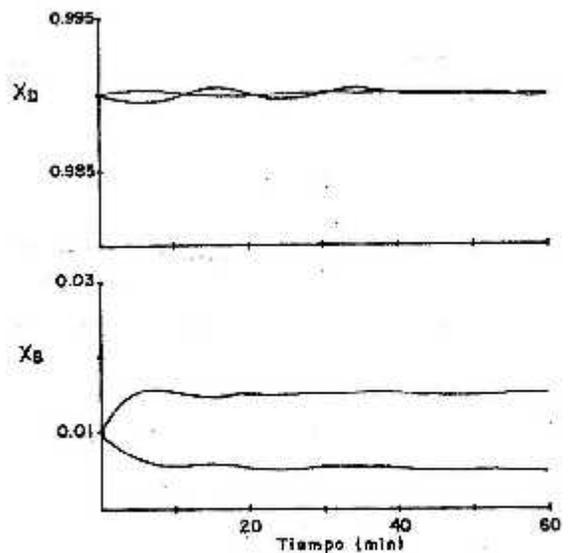


FIGURA 7. Respuesta dinámica para el control PI Perturbación en  $X_B^{ref}$ .

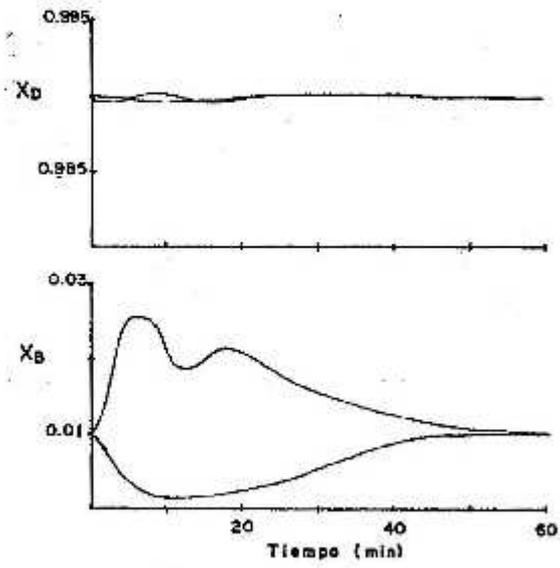


FIGURA 8. Respuesta dinámica para el control PI  
Perturbación en  $F_0$ .

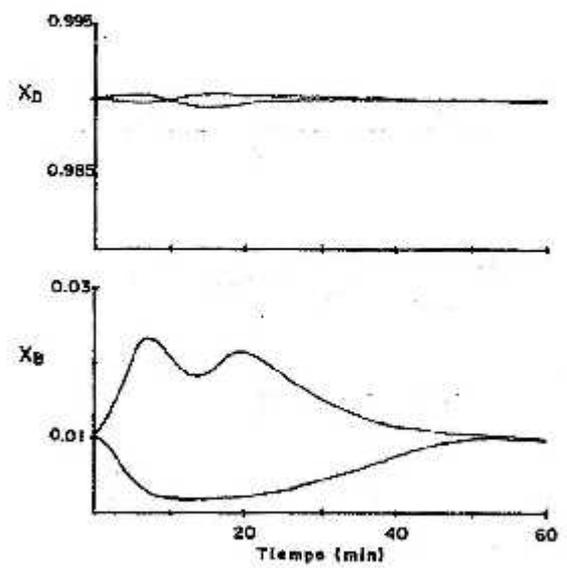


FIGURA 9. Respuesta dinámica para el control PI  
Perturbación en  $X_r$ .

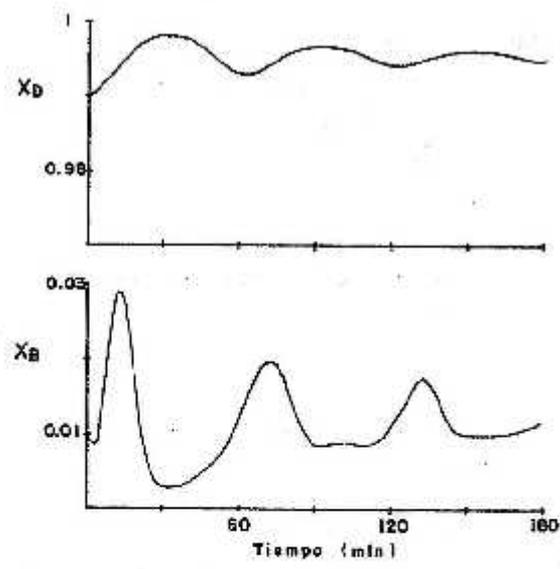


FIGURA 10a. Respuesta dinámica para el control  
con desacopladores ideales.  
Perturbación en  $+X_D^{ref}$ .

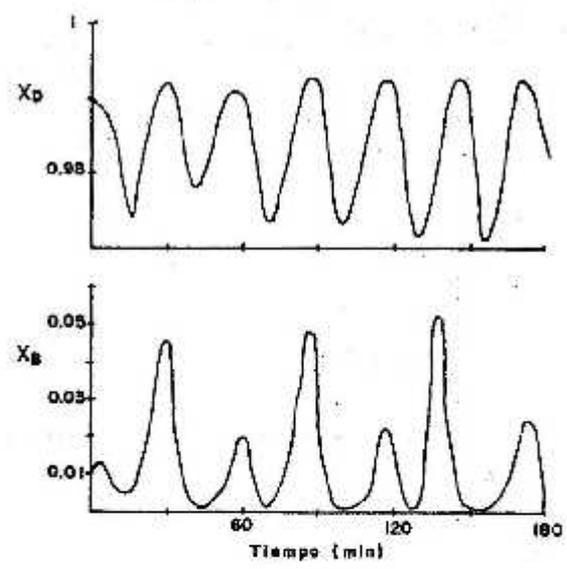


FIGURA 10b. Respuesta dinámica para el control  
con desacopladores ideales.  
Perturbación en  $-X_D^{ref}$ .

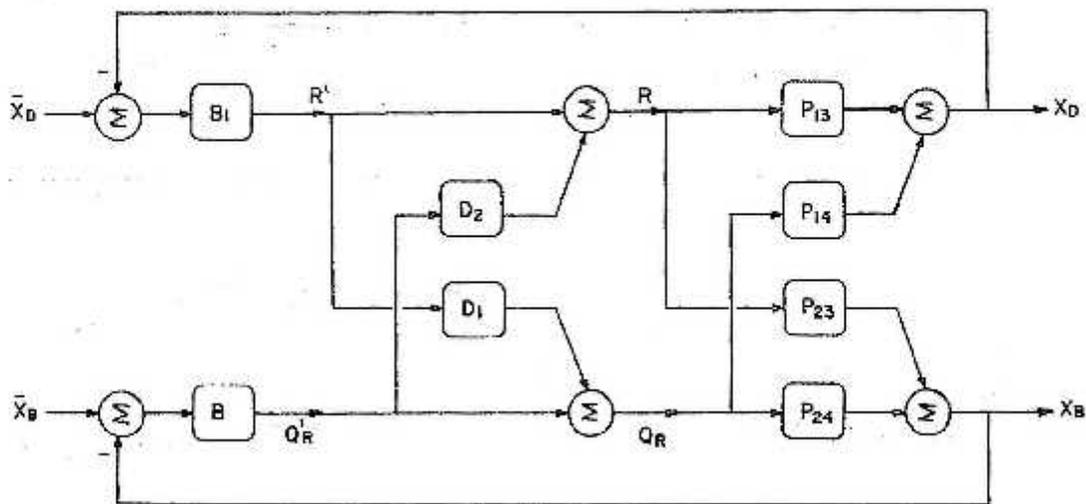


FIGURA 11. Diagrama de bloques del sistema de control con desacoplamiento simplificado.

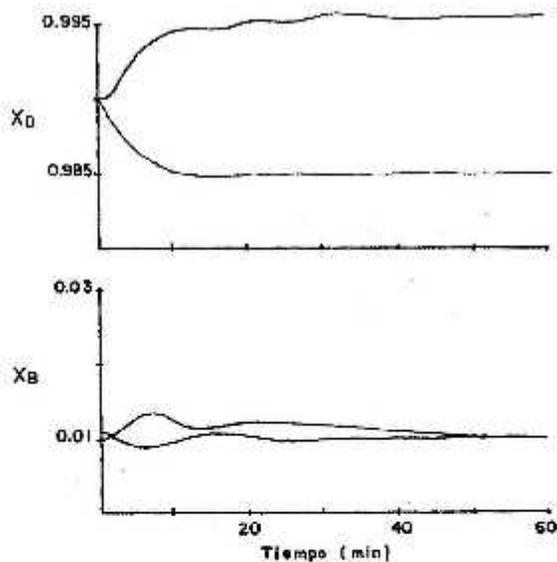


FIGURA 12. Respuesta dinámica para el control con desacopladores simplificados. Perturbación en  $X_D^{ref}$ .

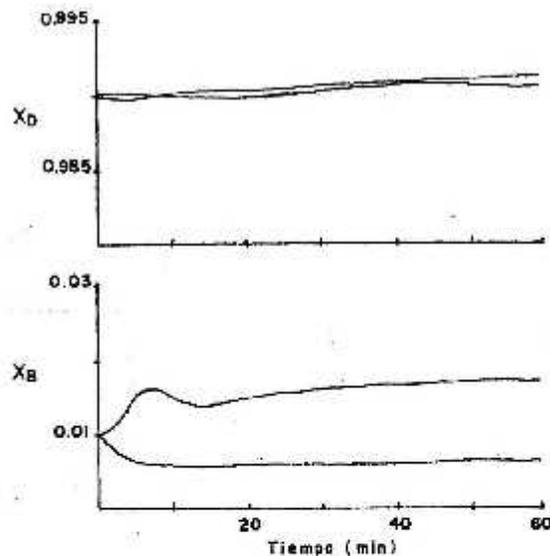


FIGURA 13. Respuesta dinámica para el control con desacopladores simplificados. Perturbación en  $X_B^{ref}$ .

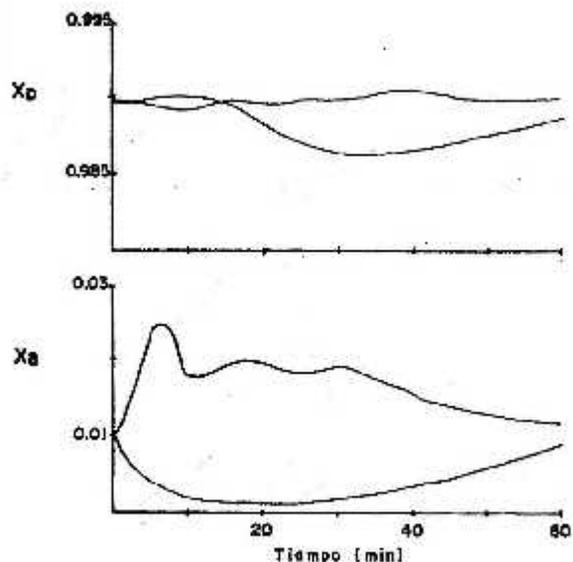


FIGURA 14. Respuesta dinámica para el control con desacopladores simplificados. Perturbación en  $F_o$ .

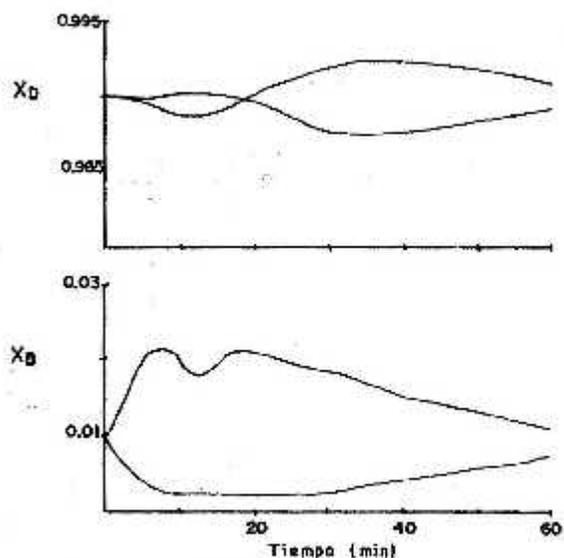


FIGURA 15. Respuesta dinámica para el control con desacopladores simplificados. Perturbación en  $X_F$ .

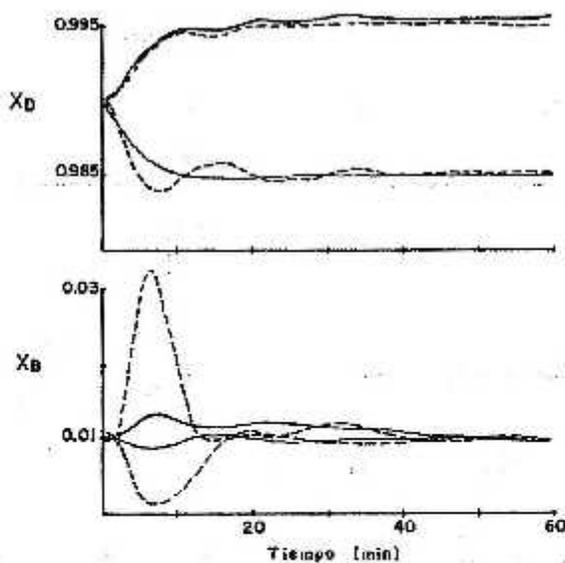


FIGURA 16. Comparación del sistema convencional con el sistema desacoplado para perturbaciones en  $X_D^{ref}$ .

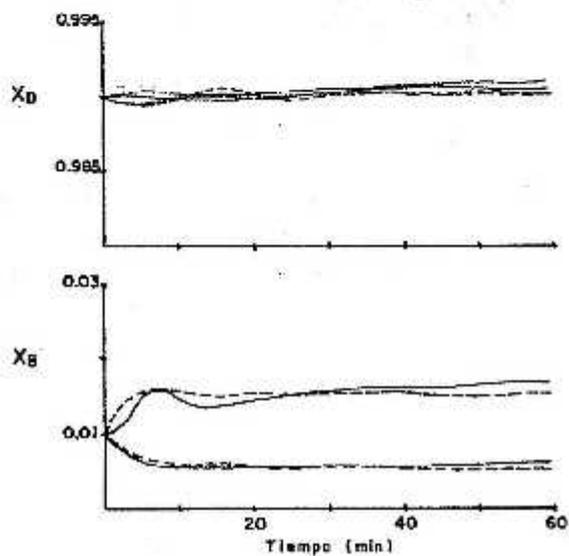


FIGURA 17. Comparación del sistema convencional con el sistema desacoplado para perturbaciones en  $X_B^{ref}$ .

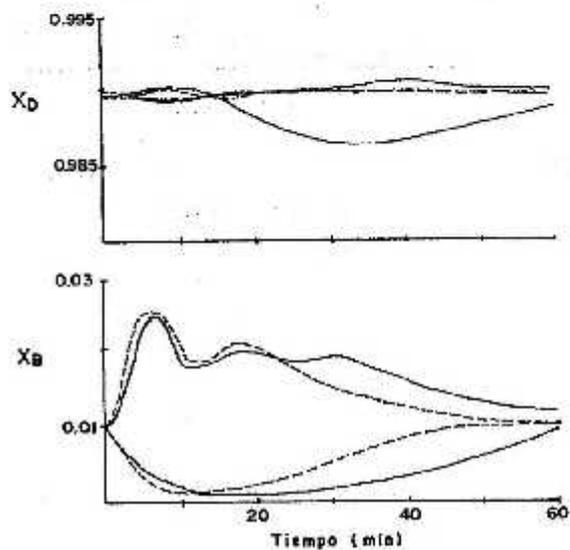


FIGURA 18. Comparación del sistema convencional con el sistema desacoplado para perturbaciones en  $F_0$ .

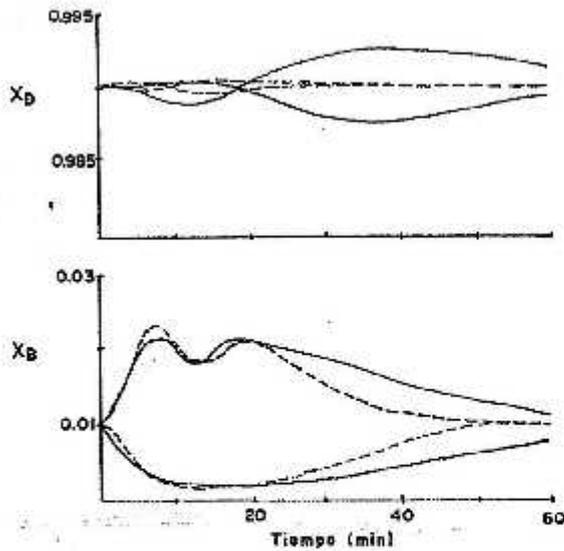


FIGURA 19. Comparación del sistema convencional con el sistema desacoplado para perturbaciones en  $X_D$ .

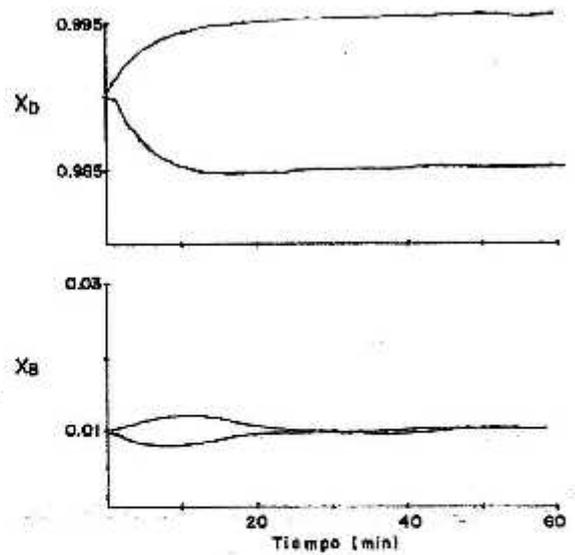


FIGURA 20. Respuesta dinámica para el control con desacopladores simplificados, desacoplando fondo únicamente. Perturbación en  $X_D^{raf}$ .

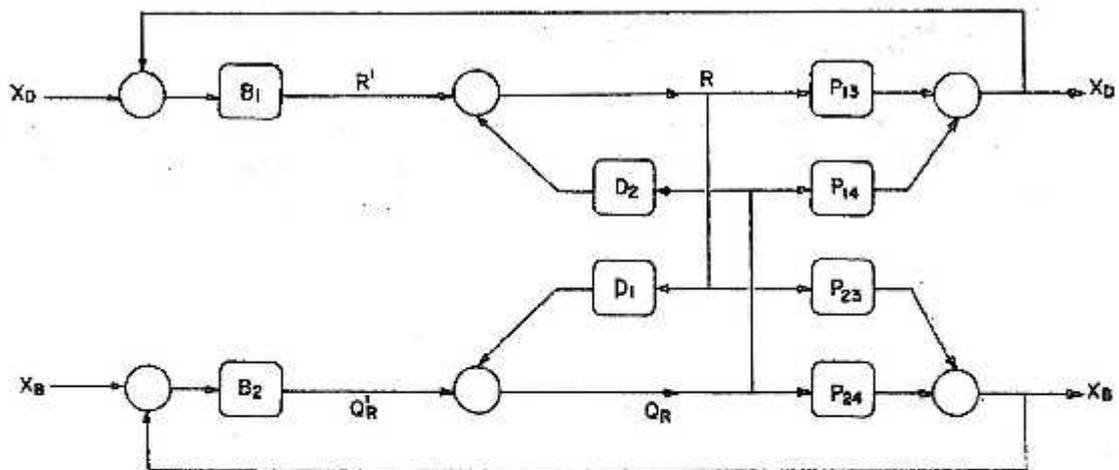


FIGURA 21. Diagrama de bloques del sistema de control con desacoplamiento simplificado (Back).

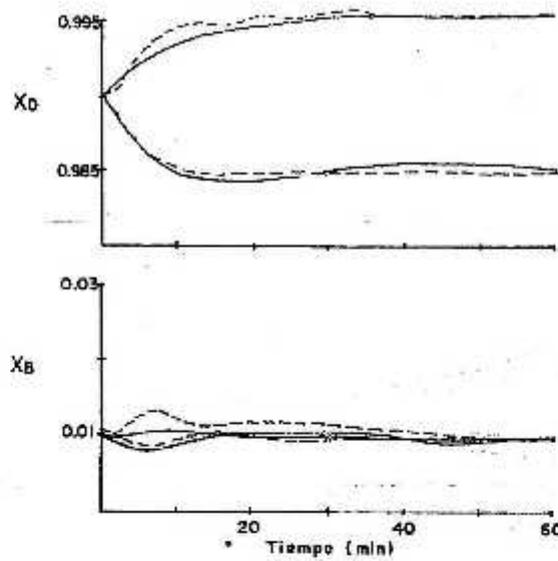


FIGURA 22. Comparación de los desacopladores normales con los desacopladores simplificados retroalimentados para perturbaciones en  $X_D^{ref}$ .

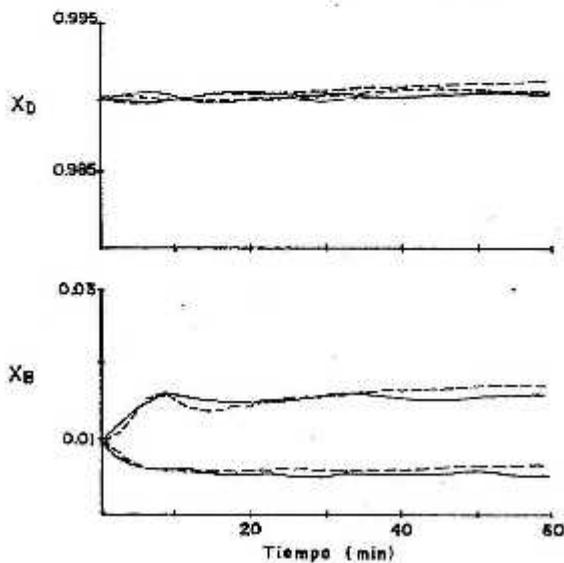


FIGURA 23. Comparación de los desacopladores normales con los desacopladores simplificados retroalimentados para perturbaciones en  $X_B^{ref}$ .

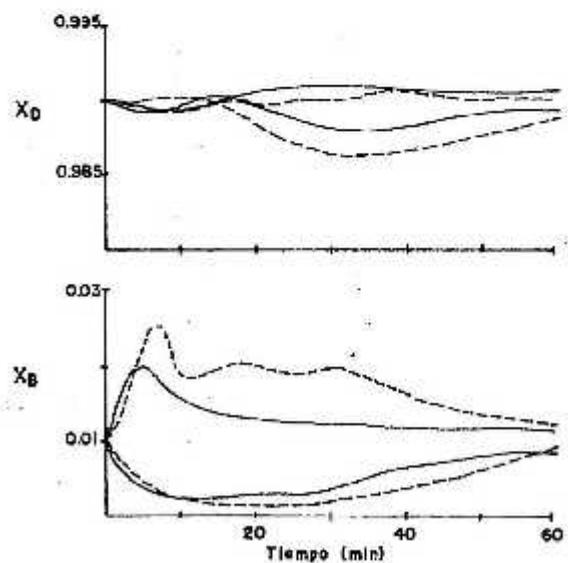


FIGURA 24. Comparación de los desacopladores normales con los desacopladores simplificados retroalimentados para perturbaciones en  $F_0$ .

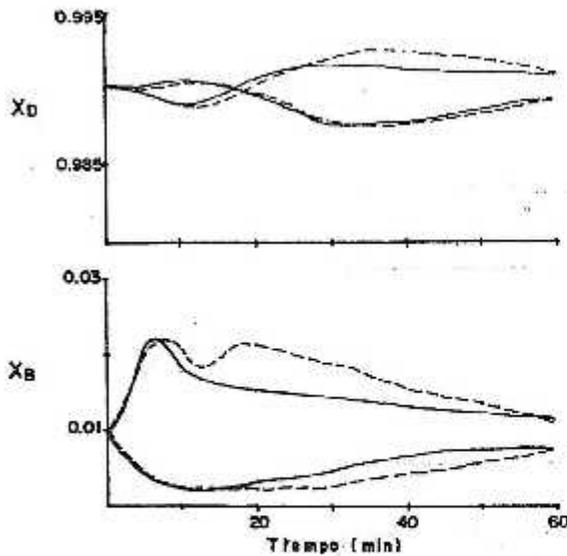


FIGURA 25. Comparación de los desacopladores normales con los desacopladores simplificados retroalimentados para perturbaciones en  $X_r$ .

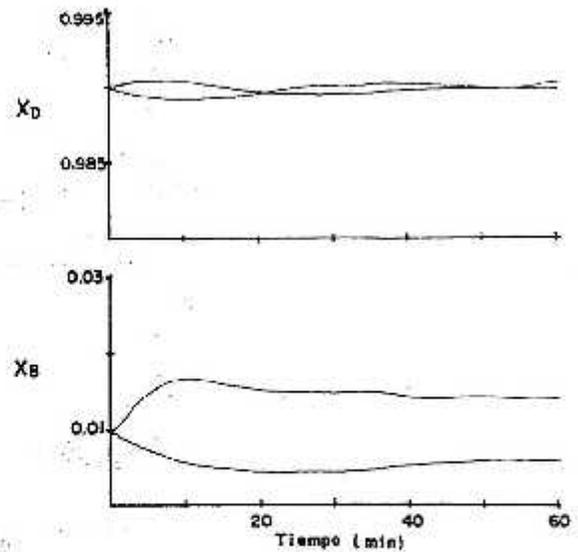


FIGURA 26. Respuesta dinámica para el control con desacopladores simplificados retroalimentados desacoplando fondo únicamente para perturbaciones en  $X_B^{ref}$ .

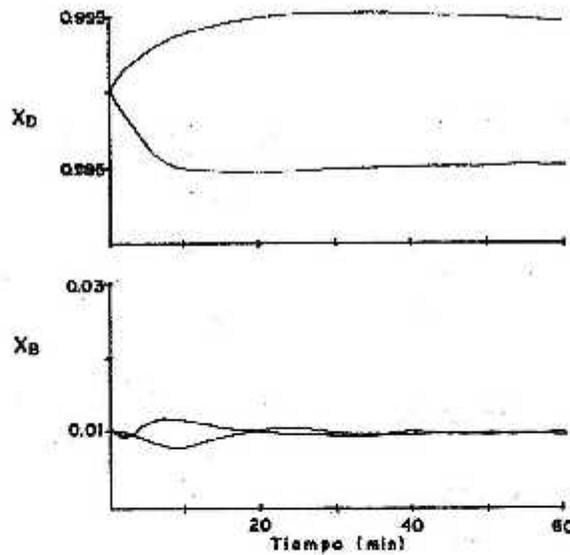


FIGURA 27. Respuesta dinámica para el control con desacopladores simplificados retroalimentados desacoplando fondo únicamente para perturbaciones en  $X_D^{ref}$ .