



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

## Intercambiador De Calor Aplicando El Filtrado Kalman Con Desvanecimiento Adaptativo En El Espacio

Víctor Ciro Flores Reyes, Miguel Ángel Ruiz Jaimes. Universidad Politécnica Del Estado De Guerrero  
En Coordinación Con El Centro Nacional De Investigación Y Desarrollo Tecnológico

---

### Resumen

El diseño del filtrado de Kalman permite observar los cambios de temperatura en espacio y tiempo, pero en esta ocasión solo lo haremos enfocado al espacio, además de tomar en cuenta los flujos a contracorriente dentro de su diseño, gracias a su dependencia de las propiedades físicas como la viscosidad, densidad, capacidad termina y coeficiente de conducción nos permiten observar los cambio que sufre el flujo a lo largo del intercambiador.

Para ello se tendrá que implementar una aplicación para la obtención de tales propiedades, permitiendo tener un dinamismo dentro del intercambiador, se utilizaran presiones muy bajas para tener como resultado cambios de fase.

La aplicación será programada en el software Labview por si sencillez en proporcionar una interfaz práctica y rápida para su simulación, además de utilizar una configuración de compatibilidad con Matlab para la facilitación de código matemático.

Teniendo en total la aplicación se podrá comparar con una base de datos para su comprobación además de observar la fidelidad de modelo Kalman utilizando valores en simulación en comparación con datos reales.

*Keywords: Labview, Matlab, Observador, XSteam, Scripts, programación de bloques, evaporador, contracorriente, concéntricos*

---

### Antecedentes



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

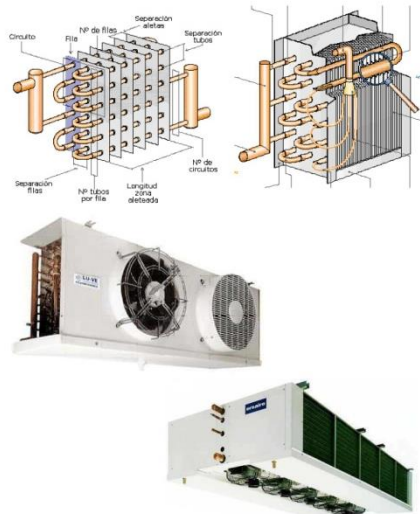
**1.-Introducción**

El proceso en cual dos fluidos de diferente temperatura intercambian energía separador por una pared solida y el dispositivo encargado de realizar tal tarea es denominado intercambiador de calor, entre las diferentes aplicaciones específicas en las cuales puede utilizarse se encuentran: calefacción de locales y acondicionamientos de aire, producción de potencia, recuperación de calor y algunos procesos químicos.

Tales intercambiadores se clasifican según el proceso de transferencia (Contacto directo e indirecto), su construcción (tubular, flujo cruzado, espiral, placas, superficie aleteada, regenerativo estático y dinámico), la compacidad (compactos y no compactos), la disposición de flujos (Equicorrientes, Contracorrientes, cruzado), el mecanismo de transferencia (Convección/convección, Convección/cambio de fase, cambio de fase/cambio de fase, convección/radiación) y la aplicación de este como economizadores, pre calentadores, recuperadores, hornos, generadores de vapor, evaporadores, condensadores, torre de

refrigeración, colector solar y heat-pipe. (1)

Gracias a los intercambiadores se crean equipos de transferencia de calor que se definen por las funciones desempeña en un proceso, los intercambiadores tienen la tarea de recuperar el calor entre dos corrientes, los calentadores se usan principalmente para la calentar fluidos de proceso donde la salida e generalmente vapor, los enfriadores se emplean para enfriar fluidos de proceso, los hervidores tienen el propósito de suplir los requerimientos de calor en los proceso como calor latente, los evaporadores se emplean para la concentración de solución para evaporación de agua u otro fluido.





# “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Los condensadores son enfriadores cuyo propósito es eliminar calor latente (Cuando en un sistema su temperatura no cambia cuando se suministra energía en forma de calor. Durante el suministro de energía en forma de calor el fluido cambia de fase.) (2) En lugar de calor sensible (Cuando en un sistema su

temperatura aumenta debido a un suministro de energía en forma de calor) (2); el cambio de fase se refiere al cambio de estado de la materia al exponerse a ciertas temperaturas, pasando del estado sólido al líquido y del líquido al gaseoso, aun aumentar la energía suministrada, y al disminuir la energía sufre el proceso inverso.

### ***Nomenclatura***

- Cp Capacidad Terminada
- D Diámetro
- F Flujo Volumétrico
- h Entalpia
- m masa
- p Presión
- s Entropía
- S Sección
- T Temperatura
- t Tiempo
- v Velocidad
- V Volumen
- u Viscosidad
- X Fracción de vapor

### **Letras Griegas**

- $\Lambda$  Coeficiente de conductividad
- $\mu$  Viscosidad
- $\rho$  Densidad

### **Subíndices**

- 0 Inicial
- c Frio (Cold)
- f Final
- h Caliente (Hot)
- i Posición Actual

## ***2.- Filtro Kalman***

El filtro de Kalman consiste en un algoritmo que proporciona estimaciones de la ecuación de estado a partir de la información disponible hasta el momento t



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

(“condicionada” a la información disponible en  $t$ ) y de la ecuación de medida, para posteriormente, corregir las estimaciones conforme se amplía la información disponible. (3)

De esta forma dado los valores actuales se puede determinar el paso siguiente, de esta forma la ecuación del filtro nos permite estimar los valores del estado siguiente teniendo los datos de actuales en  $t$ , y un desplazamiento en el espacio.

Dado que el filtro calcula el paso siguiente debemos considerar todas las propiedades físicas que influyan en el filtro como dinámicas, de esta forma al igual que en cada ciclo se estima el paso siguiente con estos datos se deberán actualizar las propiedades físicas según los resultados estimados para más claro observemos:

$t=0 \rightarrow T=T_0 \rightarrow$  Propiedades físicas en función de la temperatura inicial y a presión constante.

$t=0 + a \rightarrow T=T_{0+a} \rightarrow$  Propiedades físicas en función de la temperatura siguiente y a presión constante.

Donde  $a = \Delta x$ .

De manera observamos que necesitamos calcular a cada paso dichas propiedades y la simplificación de este proceso será necesario usar una función que dados los parámetros de temperatura y presión determine los valores de cada propiedad utilizada los cuales serán:

1. Viscosidad
2. Densidad
3. Capacidad Térmica
4. Coeficiente de Conductividad térmica



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

### ***3.- Intercambiador De Calor De Filtrado Kalman Con Dinámica Del Proceso De Reconocimiento***

El antecedente primario es el Intercambiador De Calor De Filtrado Kalman Con Dinámica Del Proceso De Reconocimiento, en el cual se usa un observador para la predicción de estado de un intercambiador a contracorriente, basado en la aproximación de temperaturas a lo largo del proceso por el orden dinámico del modelos y tal proceso podría ser aplicado cuando el intercambiador es solicitado por el cambio de flujos, con una validación experimental (4).

### ***4.- Relación Flujo Volumétrico y Flujo Másico por Densidad***

El flujo másico es la masa de fluido entrante o saliente que atraviesa una sección dada por unidad de tiempo (5)

$$Q = \frac{dm}{dt} = \rho \cdot S \cdot v \rightarrow \frac{kg}{m^3} \cdot m^2 \cdot \frac{m}{s} \rightarrow \frac{kg}{s}$$

El flujo volumétrico es el volumen del fluido entrante o saliente que atraviesa una sección dada por unidad de tiempo. (5)

$$F = \frac{dV}{dt} = S \cdot v \rightarrow m^2 \cdot \frac{m}{s} \rightarrow \frac{m^3}{s}$$

Por lo tanto obtenemos que:

$$F \cdot \rho = Q \rightarrow \frac{dV}{dt} \cdot \rho \frac{dm}{dt} \rightarrow (S \cdot v) \cdot \rho = (\rho \cdot S \cdot v)$$

### ***5.- Función XSteam***

Como lo mencionamos será necesario calcular las propiedades físicas de una forma dinámica, y para ello se tendrá que echar mano de un función que nos permita calcularlo,

El proceso conocido como Process Dynamic Acknowledgements (Proceso Dinámico de Reconocimiento) permite que cada iteración se evalúe con los



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

nuevos datos obtenidos, una de las funciones para el cálculo de las propiedades del agua y del vapor está programada en el lenguaje de Matlab, basado en la "Asociación Internacional de las propiedades del agua y de vapor industrial Formulación de 1997 (IAPWS IF-97)" La plena aplicación de la norma SI-97 que proporciona las propiedades de vapor muy preciso y de agua en los rangos de propiedades termodinámicas de 0 a 1.000 bar y 0 a 2000 ° C. (6), dentro su repertorio permite calcular:

- T Temperatura (deg C)
- p Presión (bar)
- h Entalpia (kJ/kg)
- v Volumen Especifico (m<sup>3</sup>/kg)
- rho Densidad
- s Entropía Especifica
- u Energía Interna Especifica
- Cp Capacidad Termina Isobárica Especifica
- Cv Capacidad Térmica Isocorica Especifica
- w Velocidad del Sonido
- my Viscosidad
- tc Conductividad Térmica
- st Tención Superficial
- x Fracción de Vapor
- vx Fracción de Volumen de vapor

Bajo la siguiente configuración de entrada

```
XSteam('fun',In1.[In2])
```

Donde fun es la función a ejecutar, in1 e in2 son los parámetros que necesita la función para ser calculada por ejemplo:

```
XSteam('h_pt',1,20)
```



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Observamos la función ‘h\_pt’  $\rightarrow$  entalpia con parámetros de entrada de presión (in1) y temperatura (in2).

Todas las propiedades se pueden calcular con las entradas, p y T conocidas, p y h conocidas, h y s conocidas y algunos con la presión y la densidad conocidas. X vapor son la aplicación plena de la formulación IF-97 que incluye todas las regiones y todas las funciones atrasados para una buena velocidad de cálculo. El código posee una velocidad optimizada con la presión y la entalpía como insumos para simulaciones dinámicas. (6)

### **6.- Software de Desarrollo**

La selección de software de implementación tendría que poseer aparte de proporcionar una rápida y fácil interfaz de interacción, debería de constar con un las herramientas para simulación en tiempo continuo, además de ser fácil en el entendimiento del software para las futuras modificaciones posibles.

Poseer compatibilidad con tarjetas de captura de datos y fácil lectura de archivos, por ello la herramienta utilizada es “Labview 2011” gracias a su Toolkit (paquete de herramientas) de simulación permite tener procesos de ejecución en tiempo continuo.

Además de tener una Toolkit de compatibilidad con código Matlab para programar y realizar la compatibilidad de la función de Matlab “XSteam”. Además de que la programación por bloques es muy sencilla y fácil de aprender y dominar, de esta forma podremos familiarizarnos con el lenguaje y al interfaz, la cual es fácil de modificar con herramientas muy sencillas para la construcción de una interfaz grafica que proporcione los datos requeridos.

En el Toolkit de simulación posee sentencias y procesos que permiten utilizar integradores ya programados para el sistema en uso durante el proceso de ejecución, es además poder escoger el paso de integración así como el tiempo que tardara en ejecución el sistema.



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

Con estas facilidades podremos escoger que tal rápido deberá ser el proceso de integración utilizando primordialmente el método de integración Euler el cual nos indica que:

$$y_{i+1} = y_i + h[f(x_i, y_i)]$$

Donde  $h$  es el paso de integración y “ $y$ ” es el valor presenten en el subíndice

**7.-Método de Integración de Euler**

Consiste en dividir los intervalos que va de  $x_0$  a  $x_f$ , en  $n$ , subíntalos de ancho  $h$ ; o sea:

$$h = \frac{x_f - x_0}{n}$$

De manera que se obtiene un conjunto discreto de  $n+1$  puntos:  $\{X_0, X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , del intervalo de interés  $[X_0, X_f]$ . Para cualquiera de estos puntos se cumple que:

$$x_i = x_0 + ih, 0 < i < n$$

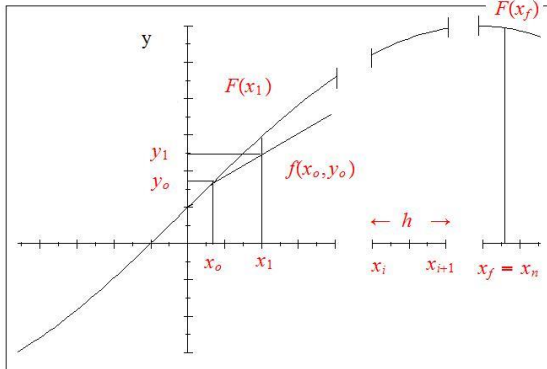
La condición inicial  $y(x_0) = y_0$  representa el punto  $P_0 = (x_0, y_0)$ , por donde pasa la curva solución de la ecuación del planteamiento inicial, la cual se denotará como  $F(x) = y$ .

Ya teniendo el punto  $P_0$ , se puede evaluar la primera derivada de  $F(x)$ , en ese punto; por lo tanto:

$$F'(x) = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{P_0} = f(x_0, y_0)$$



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635



Gráfica A (7)

Con esta información se traza una recta, aquella que pasa por  $P_0$ , y de pendiente  $f(x_0, y_0)$ . Esta recta aproxima  $F(x)$ , en una vecindad de  $X_0$ , Tómese la recta como reemplazo de  $F(x)$ , y localícese en ella (la recta) el valor de  $y$  correspondiente a  $X_1$ , Entonces, podemos deducir según la Gráfica A:

$$\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} = f(x_0, y_0)$$

Se resuelve para  $y_1$

$$y_1 = y_0 + (x_1 - x_0)f(x_0, y_0) = y_0 + h f(x_0, y_0)$$

Es evidente que la ordenada  $y_1$ , calculada de esta manera no es igual a  $F(x)$ , pues existe un pequeño error. Sin embargo, el valor  $y_1$ , sirve para que se aproxime  $F'(x)$ , en el punto  $P_1 = (x_1, y_1)$  y repetir el procedimiento anterior a fin de generar la sucesión de aproximaciones siguiente:

$$y_1 = y_0 + h f(x_0, y_0)$$

$$y_2 = y_1 + h f(x_1, y_1)$$

⋮

$$y_{i+1} = y_i + h f(x_i, y_i)$$

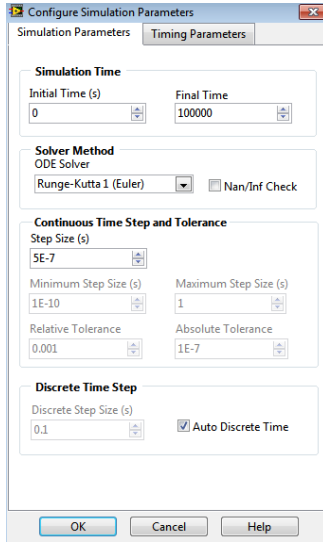
⋮



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

$$y_n = y_{n-1} + h f(x_{n-1}, y_{n-1})$$

### 8.- Configuración inicial



Dentro de las diferentes estructuras de Labview se encuentra la estructura llamada simulación y control, la cual nos permitirá configurar los parámetros de una simulación, dando doble click izquierdo sobre la parte superior izquierda de la estructura o con click derecho >> propiedades aparezca una ventana como la siguiente:

En esta sección configuramos los parámetros de inicio y fin de la simulación en segundos el cual determina cuanto durara y para este caso consideramos un tiempo que nos alcance para toda la simulación de la base datos, de la misma forma configuramos paso de integración el cual determinara

de cuanto será el incremento, esto a su vez afectara la duración por lo que estamos configurando según la imagen es que:

$$0(s) \rightarrow 100,000(s) \text{ con un } \Delta \text{ de } 5e^{-7}$$

Además Se puede seleccionar si el tiempo que se toma en cuenta es continuo o discreto, el campo de método de solución se refiere al tipo de solución que se implementara en el sistema, En este caso se usara el método de integración de Euler consiste en:

$$y_{i+1} = y_i + h[f(x_i, y_i)]$$

Donde  $h$  es el paso de integración y “ $y$ ” es el valor presente en el subíndice

### 9.- Consideraciones de Hardware

Cabe mencionar que para la resolución del proyecto se usara un equipo de cómputo Toshiba NB505 con las siguientes características.



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

Procesador

Intel® Atom™ Processor N455

Sistema Operativo

Windows 7 Starter (32-bit)

Tarjeta Grafica

Intel® Graphics Media Accelerator 3150

Memoria Grafica

0MB-250MB dynamically allocated shared graphics memory

Memoria

2GB memory

Disco Duro

250GB HDD (5400rpm, Serial ATA)

## Objetivos

### *Objetivo General*

- Desarrollar el Modelo de El Filtrado Kalman Con Desvanecimiento Adaptativo En El Espacio para Labview Respecto al Espacio, Considerando las Propiedades físicas de Manera Dinámica y compararlo con los resultados de una base de datos reales:
  - Viscosidad ( $\mu$ )[Kg/m.s]
  - Densidad ( $\rho$ )[Kg/m<sup>3</sup>]



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

- Capacidad Térmica (Cp)[J/Kg.K]
- Coeficiente de Conductividad Térmica [W/m.K]

**Objetivos Específicos**

- Obtener la Grafica con Respecto al Espacio considerando la presión de 0.89 bars para el Flujo Frio (Fc) y 0.3 para el Flujo Caliente (Fh).
- Encontrar las Ganancias adecuadas para el Modelo.
- Adaptar la función XSteam de Matlab a lenguaje de Labview.
- Crear una Base de Datos con todos los Resultados Obtenidos dentro de la simulación.
- Comparar la Base de Datos Simulados Obtenida con la Base de Datos Real Proporcionada por Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas.

**Contenido**

Intercambiador De Calor Aplicando El Filtrado Kalman Con Desvanecimiento Adaptativo En El Espacio ..... 1

    Resumen..... 1

Antecedentes ..... 1

    1.-Introducción..... 2

    Nomenclatura..... 3

        Letras Griegas..... 3

        Subíndices ..... 3



# “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

2.- Filtro Kalman .....	3
3.- Intercambiador De Calor De Filtrado Kalman Con Dinámica Del Proceso De Reconocimiento	5
4.- Función XSteam.....	5
5.- Software de Desarrollo .....	7
6.-Método de Integración de Euler .....	8
Bibliografía. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Bibliografía

1. **Area, Julián Moral Carcedo.** *El Filtro De Kalman: Aplicación Al Estudio Del Ciclo Económico.* Doctorado En Modelización Económica Aplicada.; Instituto L. R. Klein.; Universidad Autónoma De Madrid : s.n.
2. **Cengel, Yunus A., Boles, Michael A.** *Termodinámica.* México : Quinta Edición, 2006.
3. **Gregorio, Delgado Linares.** *Intercambiadores De Calor.* Merida : s.n., Junio De 2001.
4. **F. Bagui, M.A. Abdelghani-Idrissi, H. Chafouk.** *Intercambiador De Calor De Filtrado Kalman Con Dinámica Del Proceso De Reconocimiento.* 2004.
5. **J.W. Kane, M. M. Sternheim.** *Física.* 1989.
6. **Magnus Holmgren, www.x-eng.com.** *X STEAM FOR MATLAB.* 2006-01-20.
7. **Nieves, Antonio.** *Métodos numéricos aplicados a la ingeniería.* s.l. : Grupo editorial Patria, 2007.

1.-TITULO DE TEMA. 2.-ANTECEDENTES. 3.-OBJETIVO GENERAL. 4.-JUSTIFICACIÓN. 5.-PARTE EXPERIMENTAL. 5.1.-METODOLOGÍA. 5.2.-MATERIALES. 5.3.-REACTIVOS. 6.-RESULTADOS.