

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA **electrónica 7**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES. JULIO 2012. EDICIÓN 1

**TELECOMU-  
NICACIONES**

**ENERGIAS  
RENOVABLES**

**AVANCES  
TECNOLÓGICOS**

**AUTOS  
HIBRIDOS**



**Proyectos de Investigación  
Proyectos de Fin de Módulo  
Artículos de Docentes**



**CARRERA:** Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

**WEB:** [www.unl.edu.ec](http://www.unl.edu.ec)

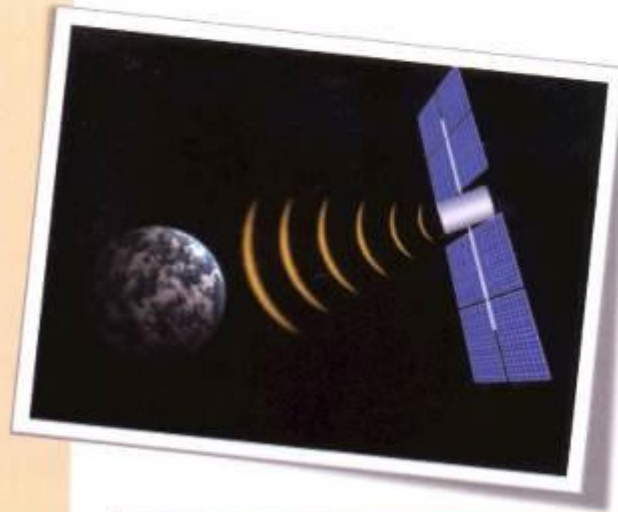
[aeirnr.unl.edu.ec/cieyt](http://aeirnr.unl.edu.ec/cieyt)

**E-MAIL:** [ing\\_electronica@unl.edu.ec](mailto:ing_electronica@unl.edu.ec)

# Índice

Revista de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

- Bienvenida
- Misión y Visión de la Carrera
- Sistema de Adquisición y Monitoreo Inalámbrico de la Actividad Eléctrica del Corazón.
- Fundamentos de Formación de Imágenes Médicas por Resonancia Magnética
- Modelado de caja negra, Análisis y Diseño del Sistema de Control de Temperatura del Invernadero para Orquídeas del jardín Botánico "Reinaldo Espinoza"
- Enseñanza de la Matemática en las Ingenierías
- Beneficios del Estandar IMS en Operadores Móviles
- Análisis de Métodos Heurísticos de Reconfiguración de Sistemas de Distribución para la Reducción de Pérdidas de Potencia
- Campos Eléctricos y Magnéticos Producidos por Líneas de Alta y Media Tensión
- Autos Híbridos Costo Beneficio



## MISIÓN

Formar profesionales en el campo de la Electrónica y las Telecomunicaciones con sólida base científica-técnica, alta pertinencia social y valores, para cubrir las necesidades del entorno regional y nacional.

## VISIÓN

Formar profesionales en el campo de la Electrónica y las Telecomunicaciones con sólida base científica-técnica, alta pertinencia social y valores, para cubrir las necesidades del entorno regional y nacional.

Logo Ganador del Concurso





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

## MISIÓN

*La formación académica y profesional de calidad en el marco del SAMOT, con sólidas bases científicas y técnicas, pertinencia social y valores; la producción y aplicación de conocimientos científicos, tecnológicos y técnicos, que aporten a la ciencia universal y a la solución de los problemas específicos del entorno; la generación de pensamiento; la promoción, desarrollo y difusión de los saberes y culturas; la oferta de servicios especializados; y, la gestión participativa e innovadora, con personal idóneo, comprometido institucional y socialmente.*

## VISIÓN

*La Universidad Nacional de Loja es una institución de educación superior pública y laica, abierta a todas las corrientes del pensamiento, orientadora de la conciencia social; referente fundamental para el desarrollo de la Región Sur y del País; con altos niveles de calidad, pertinencia y compromiso, reconocido prestigio nacional e internacional, por el accionar de sus profesionales en respuesta a las exigencias sociales, la generación y aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos, el reconocimiento de los saberes y prácticas ancestrales y su permanente interacción con los sectores sociales.*



## Carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones



# Bienvenida

Por: Ing. Andy Vega León (Coordinador de la Carrera de Ing. en Electrónica y Telecomunicaciones)

Han transcurrido ya cinco años desde que la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones vio la luz frente a los desafíos de la universidad ecuatoriana. Desde el principio, un entusiasmado grupo de docentes con el respaldo de sus autoridades han venido trabajando en el desarrollo académico de sus estudiantes con en el afán de contribuir al surgimiento de la electrónica y las telecomunicaciones en la Región sur y el resto del Ecuador. Los sólidos cimientos impuestos desde sus inicios, se han enriquecido ahora con los diferentes aportes del carisma y talento humano de nuevos docentes y estudiantes.

Un abundante aporte a la universidad ecuatoriana dependerá de cómo el espíritu y los valores de nuestra comunidad universitaria orienten a una dimensión de desarrollo de la ciencia y tecnología y, su efectivo aporte a la sociedad. De ahí que, la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones en plena concordancia con la actual normativa de desarrollo establecida en la Ley de Educación Superior ha emprendido en una serie de actividades mancomunadas que buscan privilegiar el trabajo universitario en un ambiente de respeto al derecho que tiene cada estudiante de recibir la formación y los servicios a los que se comprometió matriculó en la carrera. Invito a que nos colaboren a generar un ambiente de entendimiento y de trabajo académico propicio para que cada miembro de nuestra comunidad cumpla sus sueños, llegando a ser lo que su vocación le pide.

El cambio sustancial derivado de las nuevas exigencias de la universidad ecuatoriana ha sido tomada con toda responsabilidad por cada uno de los docentes y estudiantes; un arduo proceso con fines de acreditación se encuentra en marcha; de pie, motivados y convencidos en llegar hacer una carrera de excelencia ofrecemos a la comunidad regional y nacional nuestra primera edición de la revista académica, la misma que ha sido construida en base a los aportes de docentes y estudiantes que día a día se involucran en el desarrollo, avances y quehacer cotidiano de la electrónica y las telecomunicaciones.

La Carrera y cada uno de sus integrantes; directivos, docentes, administrativos, trabajadores y estudiantes estamos llamados a cumplir una misión, donde ¡nadie más lo hará por nosotros! Invito entonces a no perder de vista el motivo que los llevó a formar parte de la carrera de ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, también los invito a que nos apoyemos mutuamente, y a pensar siempre que todos somos una gran familia, donde el diálogo continuo y el trabajo constante sea nuestra herramienta para alcanzar la excelencia académica.

Como coordinador agradezco a toda la comunidad electrónica por confiar en la carrera y en esta prestigiosa institución.

**!!! Vamos a llegar a la meta y el éxito académico será nuestra recompensa!!!**

## MODELADO DE CAJA NEGRA, ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA DEL INVERNADERO PARA ORQUIDEAS DEL JARDÍN BOTÁNICO "REINALDO ESPINOZA"; UTILIZANDO MATLAB.

Por: Ing. Juan Pablo Cabrera\*, Julio C. Escobar†, Edgar E. Gonzalez, Franklin G. Jimenez, Luis Zapata\*\*.  
 \*Universidad Nacional de Loja, A.E.I.R.T.E.N.R. Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Grupo de Control Automático, Ciudad Universitaria, Gualea Blanca, Ecuador, "La Angélica", Loja, Ecuador.  
 \*\*CIEE, correo electrónico: jpcabrera2@hotmail.com, www.ciee.org



Ing. Electrónica y Telecomunicaciones, graduado en la Universidad Técnica Particular de Loja  
 Maestrante en Electromecánica, convenio Universidad Nacional de Loja, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Cuba  
 Responsable de la Unidad de Eficiencia Energética del Centro de Investigaciones de Energías Renovables y Eficiencia.

### RESUMEN

El cambio de las condiciones atmosféricas durante los ciclos climáticos hace necesario utilizar invernaderos para proteger ciertos cultivos. Los invernaderos son estructuras cerradas en las que se mantienen microambientes que son adecuados para un buen desarrollo de plantas. El control efectivo de algunas variables de clima dentro de invernadero es posible con el auxilio de modelos matemáticos. Se presenta un procedimiento para obtener un modelo dinámico lineal de autoregresión con variables exógenas aleatorias (BJ, BOX-JENKINS) para predecir el comportamiento de la temperatura en el interior de un invernadero. Los BJ son modelos matemáticos dinámicos derivados de la teoría de Identificación

de Sistemas. La variable de entrada del modelo fue la radiación solar. La variable de respuesta fue la temperatura interna del invernadero. Se tomaron muestras de la variable de entrada y de salida del modelo cada minuto durante varios días con condiciones climáticas diferentes. Para determinar la estructura del mejor modelo, se evaluaron cada modelo disponible en el toolbox SYSTEM IDENTIFICATION TOOL de Matlab. Las técnicas de control clásico empleadas en el proyecto aseguran que la estructura elegida predice en forma adecuada el comportamiento de la temperatura dentro del invernadero.

**Palabras claves.** Modelos BJ, modelo dinámico lineal de autoregresión, SYSTEM IDENTIFICATION TOOL, temperatura interna del invernadero.

### Introducción

Una experiencia frecuente entre los cultivadores a cielo abierto es la amenaza constante de las variaciones de condiciones climáticas. Como ejemplo se tiene variaciones atípicas en la temperatura, la falta o exceso de lluvia, los cambios fuertes en la humedad ambiental, entre otras. Una forma de hacer frente a los retos que impone la naturaleza es mediante el uso de invernaderos.

El uso eficiente de invernaderos es tema actual de estudio en la literatura internacional. Uno de los temas de gran importancia consiste en el control de la temperatura, la cual es responsable, en buena medida, del crecimiento y desarrollo de plantas. En este sentido se hace necesario el uso de técnicas de control automático, y esto a su vez motiva la necesidad de contar con un modelo del clima dentro del invernadero.

Una herramienta para mejorar el manejo de los invernaderos son los modelos matemáticos precisos y simples para predecir el comportamiento de las variables atmosféricas (variables del invernadero). En los últimos 20 años se ha estudiado el clima del invernadero usando modelos matemáticos, físicos o mecanicistas, o modelos empíricos del tipo caja negra, como los de autoregresión (BOX-JENKINS, ARMAX, ARX y OE) con variables exógenas. El desarrollo de modelos basados en el balance de masa y energía del ambiente en un invernadero requiere tiempo, ya que deben ser calibrados y validados antes de su optimización y control. Los modelos autoregresivos tienen la ventaja de ser generados rápidamente, ya que se obtienen experimentalmente al establecer la relación entrada-salida del sistema mediante técnicas de identificación de parámetros. Los modelos de regresión también tienen que ser validados.

### Metodología

#### Materiales y Métodos.

##### Caja Negra

Es un sistema muy complejo en el que los datos son procesados de acuerdo a reglas determinadas. Al usuario no le interesa conocer la estructura interna del proceso propiamente dicho, sino sus resultados. La teoría de identificación de sistemas define a la Caja Negra como una entidad reconocible a la cual llegan diferentes entradas y de la cual salen una o varias salidas. El funcionamiento de ésta consiste en que la entrada que llega sea procesada dentro de la caja, y la salida que proporcione sea la transformación de dicha entrada. Esto significa que no nos preocupamos por lo que sucede dentro del sistema, por la

forma en que operan los mecanismos y procesos internos del sistema mediante los cuales se producen esas salidas.

**Estructura BOX-JENKINS**

Este método permite identificar claramente las entradas y salidas y estudiar las relaciones que existen entre ellas, permitiendo así maximizar la eficiencia de los sistemas sin tener que introducirnos en los procesos complejos que se encuentran dentro. Excepcionalmente cuando se presentan problemas es decir cuando hay anomalías en las relaciones entre entrada y salida, entonces nos vemos obligados a abrir la Caja Negra y estudiar ese subsistema en forma más precisa. Este método tiene su razón de ser, pues, la mayoría de las personas dan prioridad a los resultados, pero destruye la saludable curiosidad de saber el funcionamiento y el porqué de las cosas. En la Figura 1 se define la forma de la Caja Negra.



Figura 1 Diagrama de bloques Caja Negra.

Los modelos de pronóstico de la Box-Jenkins se basan en conceptos y principios estadísticos, y son capaces de modelar un amplio espectro de comportamiento de series de tiempo. Posee diferentes clases de modelos para escoger además de un acercamiento sistemático para elegir el modelo correcto.

Incluye tanto pruebas estadísticas para la validación de modelos, así como también mediciones estadísticas para pronosticar incertidumbre. En contraste, los modelos de pronóstico tradicionales ofrecen un número limitado de modelos relativos debido al comportamiento complejo de muchas series de tiempo, con escasas pautas y pruebas estadísticas para la verificación de la validez del modelo seleccionado.



Figura 2 Proceso estimación BOX-JENKINS

Se investigan generalmente tres patrones: autoregresión, promedios móviles y tendencias. También pueden existir observaciones erráticas ocasionales, o "disturbios" que deben ser eliminados o corregidos. El procedimiento requiere una secuencia de cuatro pasos, gráficamente se presentan en la Figura 2:

- I. Identificación, en el que se ensayan los diferentes modelos citados.
- II. Estimación, en el que se registran en una secuencia temporal los valores estimados de los coeficientes.
- III. Diagnóstico, en el que se verifica la conveniencia del ajuste para ver si es el adecuado. Si es insuficiente, el procedimiento se vuelve a comenzar.
- IV. Generación de pronósticos.

**Estructura del Controlador PID**

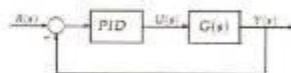


Figura 3 Diagrama de bloques de un controlador PID

En la Figura 3 se presenta el diagrama simplificado de un controlador PID, donde R(s) es la entrada del sistema, G(s) representa la función de transferencia de la planta, U(s) la señal de control y Y(s) la salida del sistema o respuesta del sistema. Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional(P), integral (I) y derivativa (D).

PID: acción de control proporcional-integral-derivativa.

Esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante la Ecuación 1:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Ecuación 1 Controlador PID

y su función de transferencia resulta la Ecuación 2:

$$C_{PID}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Ecuación 2 Coeficientes del controlador PID

**Identificación del Sistema.**

**Caso de Estudio.**

Invernadero del tipo capilla; dimensiones: 11 metros de longitud, 3,5 metros de ancho y 3,5 metros de altura. El material de la cubierta es plástico UV #10, colocada malla poisombra. El cultivo que se genera en este invernadero son orquídeas cuya densidad por metro cuadrado es en promedio 10 plantas.

**Censado**

Como primer paso en el desarrollo del proyecto se realizó el censado de las variables que inciden en el comportamiento del invernadero, se utilizó un piranómetro para la radiación solar y un Data-logger de temperatura de 5 puntos. Se obtuvo 421 mediciones de radiación y temperatura, respectivamente, que corresponden a los valores adquiridos cada minuto entre las nueve de la mañana y las dieciséis horas, que resulta ser el horario con mayor incidencia de radiación solar. Se organizan los datos obtenidos en una hoja electrónica.

**Resultados y Discusión**

**Estimación de Parámetros y Pre-procesamiento**

Se eliminaron gráficamente los datos que presentaban errores, para ambos vectores se recortó las mediciones que no seguían una tendencia producto de errores

en el registro de los datos, luego se interpolaron los datos eliminados, se utilizaron dos métodos de interpolación: LINEAL y ZOH.

**Linealización del Sistema.**

Las gráficas de la temperatura en función de tiempo y radiación en función del tiempo, tanto para los datos de identificación como para validación, se presentan a continuación en la Figura 4:

Definimos una estructura para linealizar el modelo. Una estructura BJ con coeficientes nb= 2; nc= 2; nd= 1; nf= 2; nk= 1; el coeficiente de reproducibilidad es también del 80.08% con una función de pérdida de 0.00493386 y un factor de error de 0.005125.

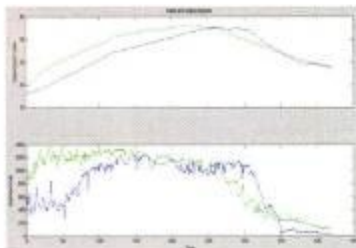


Figura 4 Verdad: Identificación; Azul: Validación.

La estructura del modelo BJ es:

$$y(t) = \left[ \frac{B(q)}{F(q)} \right] u(t) + \left[ \frac{C(q)}{D(q)} \right] e(t)$$

Ecuación 3 Modelo BJ

**Función de Transferencia de la Planta.**

La función de transferencia de la planta está determinada por la ecuación 4:

$$G(s) = \frac{1.424 \times 10^{-5}s + 1.62 \times 10^{-9}}{s^2 + 0.0017s + 2.87 \times 10^{-8}}$$

Ecuación 4 Función de Transferencia de la Planta

**Estabilidad del Sistema.**

El sistema es de tipo estable, puesto que los polos de la función de transferencia se encuentran en el semiplano negativo, como se muestra en la figura 5.



Figura 5 Raíces de la función de transferencia G.

**Sistema de Control con Retroalimentación Negativa.**

La característica principal de los sistemas de control automático es el lazo de retroalimentación que se le da a la función de transferencia de la planta, al realizar este proceso en Matlab obtenemos la ecuación 5:

$$M(s) = \frac{1.424 \times 10^{-5}s + 1.62 \times 10^{-9}}{s^2 + 0.001802s + 3.036 \times 10^{-8}}$$

Ecuación 5 Función de Transferencia de la Planta en Lazo cerrado.

**Respuesta del Sistema a una Entrada Tipo Escalón Unitario.**

La señal de entrada más utilizada para validar y calcular un controlador en los sistemas de control es la entrada escalón unitario, la figura 6 muestra la respuesta del sistema a este tipo de entrada, en la cual notamos que tiene un valor en estado estable bastante bajo (inferior a 1), por lo tanto es necesario el cálculo del controlador que mejore la respuesta del sistema.

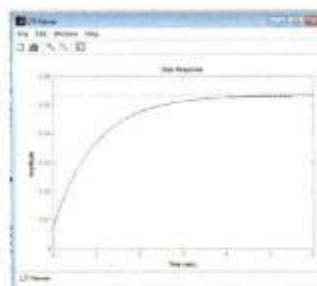


Figura 6 Respuesta del sistema a una entrada escalón unitario sin controlador.

**Calculo del Controlador Mediante SISO TOOL de Matlab.**

La función de transferencia del controlador PID que utilizamos en el presente trabajo es la ecuación 6:

$$C(s) = \frac{As^2 + Bs + C}{s(s + D)}$$

Ecuación 6 Función de Transferencia del Controlador PID

Es la función de transferencia para la cual se obtendrán los parámetros A, B, C y D a través del SISO TOOL de Matlab donde se obtenga la mejor respuesta de sistema y posteriormente calcular el controlador analógico.

Notamos que la respuesta del sistema con el controlador PID ha mejorado, pero se presentan algunos inconvenientes en su tiempo de estabilización que es de 5610 segundos (76.83 minutos), es decir, el sistema es demasiado lento y además presenta un sobre impulso del 49.9%, el cual es necesario disminuir. Para lograr optimizar estos parámetros utilizamos el método del lugar geométrico de la raíces de la función de transferencia del controlador hasta lograr el mejor comportamiento del sistema. Al realizar este cambio logramos un tiempo de estabilización de 286 segundos (4.7 min.) y un sobre impulso del 41%, ver figura 8.

La respuesta del sistema con el controlador PID sin estimación de parámetros se observa en la figura 7.

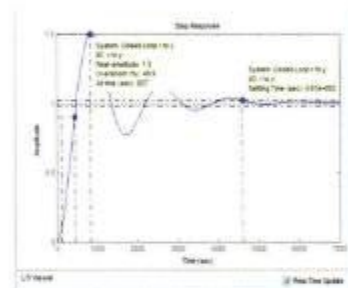


Figura 7 Respuesta del sistema con un controlador PID.



**CONCLUSIONES**

- Se analizó la relación en el comportamiento que existe entre la radiación solar que incide en el invernadero (variable de entrada) y la temperatura medida en el mismo (variable de salida).
- Se logró obtener la mejor estructura de linealización del sistema la cual nos permitió obtener la mayor y mejor reproducibilidad del mismo.
- Se logró calcular y desarrollar la mejor propuesta de controlador para la función de transferencia de la planta, la cual nos permitió obtener la respuesta más eficiente del sistema.
- El método de caja negra nos permitió obtener la función de transferencia de la planta a partir únicamente de los datos censados y el análisis posterior de su relación entrada salida, este es un método regresivo ya que no se parte de ecuaciones que describan el comportamiento del sistema, sino de los resultados del sistema ante ciertos cambios en su entrada.
- La estructura BJ(Box-Jenkins) nos dio la mejor reproducibilidad del sistema con un coeficiente del 80.08, con el cual se obtuvo una función de transferencia de orden dos, por lo que fue la mejor elección para el control del sistema.
- El controlador PID nos permitió obtener el mejor lazo de control para nuestra aplicación, estableciendo una respuesta eficiente y ajustada a los requerimientos de nuestro diseño.

**BIBLIOGRAFÍA**

- BENJAMIN C. KUO (1996). Sistemas de Control Automático. Séptima Edición. Prentice Hall (Prentice Hall es una editorial autorizada por Pearson Educación).
- OGATA K. (1984) Ingeniera de Control Moderna. La Habana, Cuba. Edición Revolucionaria.
- COUGHLIN, Robert F. (1999) Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. Quinta edición. Prentice Hall, México.
- Descripción matemática de un proceso dinámico mediante la identificación a partir de datos experimentales. Recuperado el 11 de febrero del 2011 en : [http://compuequipos.com.co/yahoo\\_site\\_admin/assets/docs/Identificaci%C3%B3nSistemas.19493018.pdf](http://compuequipos.com.co/yahoo_site_admin/assets/docs/Identificaci%C3%B3nSistemas.19493018.pdf).
- Irineo L. López-Cruz.(2006). Modelos arx para predecir la temperatura del aire de un invernadero. Recuperado el 11 de febrero del 2011 en: <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2007/feb-mar/art-6.pdf>.
- Jim McLellan. (2004). Using Matlab and the System Identification Toolbox to Estimate Time Series Models. Recuperado el 11 de febrero del 2011 en :

En nuestra ciudad se encuentra en periodo de construcción el parque eólico a cargo de la empresa china XinjiangGold-windScience and Tefchnology Co. Ltda.

El parque constará de 11 aerogeneradores, cada uno de 1.5 megavatios de potencia; para una producción total de 16.5 megavatios. Cada torre medirá 70 metros de altura. El costo de la obra bordea los 40.500.000 de dólares.

Este proyecto constituye el cambio de matriz energética en el país, que en un futuro no muy lejano contará con energía limpia; dejará en cambio la generación de las centrales termoeléctricas, altamente contaminantes por el uso de diésel. "Villonaco le ahorrará 13.000.000 de dólares al año al Ecuador", enfatizó.

El proyecto Villonaco complementará el suministro del Sistema Nacional Interconectado, será el primer complejo de producción eólica que se construya en el territorio continental ecuatoriano. Galápagos yacuenta con uno.