



# Utilización del microcontrolador 8031 en el control de la potencia reactiva del generador asincrónico

Mercedes Canasí  
Alejandro Ganzó  
Carlos Pérez

Diciembre de 1999

## Resumen / Abstract

En el trabajo se describe el circuito de control del reactivo de un generador asincrónico como parte de una instalación eólica aislada. El sistema se basa en un microcontrolador 8031 que gobierna la entrada y salida de un banco de capacitores controlado por tiristores siempre coincidiendo con los picos máximos de la onda de voltaje con el fin de evitar altas corrientes transitorias.

Palabras clave: microcontroladores, energía eólica, electrónica de potencia

*This paper describes the reactive power control scheme of wind-driven induction generator. This system is based on a 8031 microcontroller that switches on and off a capacitor bank fed by thyristors coinciding always with the peak voltage value in order to reduce the transient current surges.*

*Key words: microcontroller, eolic energy, power electronic*

## INTRODUCCIÓN

Al Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL) se le asignó la tarea de diseñar y poner en marcha una instalación de conversión de energía eólica a eléctrica aislada para una carga máxima de 10 kW que contribuya a fomentar el turismo ecológico.

Este trabajo lo desarrolla un grupo multidisciplinario que a partir de la bibliografía sobre el tema, decide emplear como elemento inicial en la conversión una máquina asincrónica trifásica trabajando como generador.<sup>1</sup> En este tipo de régimen la máquina es incapaz de producir por sí sola potencia reactiva, por el contrario, consume este tipo de potencia para la creación del flujo magnético, por eso, debe ser

conectada a una fuente externa de potencia reactiva, por ejemplo, un banco de capacitores.

En condiciones de explotación dentro de un margen de variación de la velocidad del viento y la carga, el voltaje de salida fluctúa debiendo variar el intercambio de potencia reactiva.

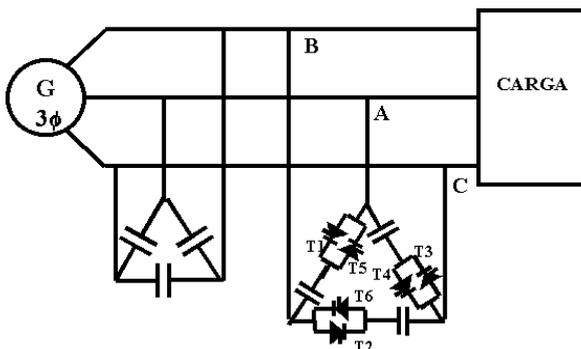
Uno de los métodos utilizados para la compensación de reactivo, el capacitor conmutado por tiristores no presenta variación del ángulo de disparo, sino que el control se realiza por tiempo de conexión de los capacitores, por lo que no aporta armónicos al sistema.

A partir de este criterio se trabaja para montar una instalación experimental de un generador asincrónico

con capacitores conmutados por tiristores sobre la base de un control digital a microcontroladores.

### CARACTERÍSTICAS Y DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

Debido a la presencia de elementos semiconductores en el sistema, se hace necesario que exista una correcta sincronización entre la fuerza y el control,<sup>2</sup> o sea, que dichos elementos sean disparados en el momento adecuado, es por ello que se toma una muestra del voltaje de fase del generador. Sin embargo, está dada una contradicción ya que para que los capacitores puedan aportar reactivo habría que disparar los tiristores que los gobiernan, y estos no pueden ser disparados sin que a ellos esté aplicado un voltaje ánodo-cátodo, voltaje que no ha podido ser alcanzado aún puesto que la máquina no ha logrado elevar su voltaje. Debido a esto se utilizan dos bancos independientes, uno fijo para alcanzar el voltaje nominal en sus terminales en vacío, y otro controlado, que suplirá las variaciones del sistema tal como se muestra en la figura 1.



Circuito de fuerza.

1

Para lograr que la corriente transitoria sea lo más pequeña posible, los tiristores se disparan solamente cuando la señal de alterna es igual o muy cercana al pico máximo (positivo o negativo) de la onda de voltaje,<sup>3</sup> en ese momento la corriente por el capacitor es aproximadamente cero, esto sucede una vez por período para cada tiristor.

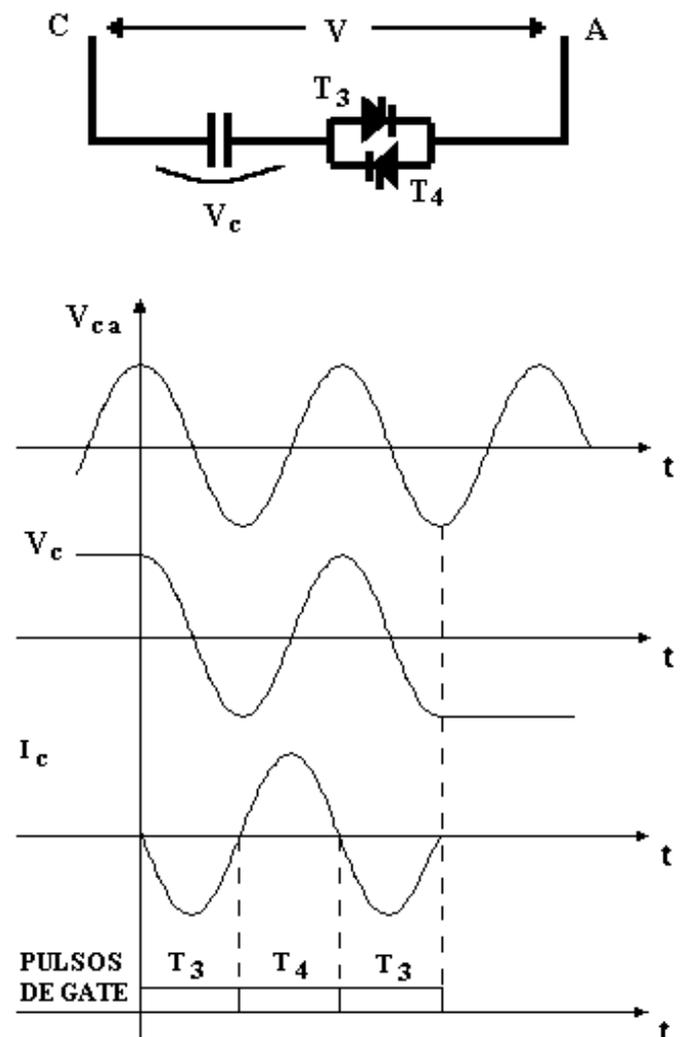
Para una mejor comprensión del principio de funcionamiento del compensador se muestran en la figura 2 las formas de onda de una rama del mismo.

Cuando el voltaje de línea  $V_{ca}$  llegue al máximo positivo, el tiristor  $T_3$  se dispara, a partir de ese momento el voltaje del capacitor sigue la misma forma de onda del voltaje de línea. Cuando el voltaje cruza por cero, la corriente en el capacitor está en su valor máximo, por lo que, a pesar de que el

voltaje aplicado al tiristor invierte su polaridad este no se apaga, ya que la corriente que por él circula es todavía mayor que la de sostenimiento; pero si el valor de los capacitores es pequeño, entonces la corriente podría no ser suficiente para mantenerlo en conducción, y se debe mantener el pulso por el gate durante los  $180^\circ$ .

Al llegar el pico máximo negativo del voltaje, la corriente por el capacitor vuelve a ser cero y se dispara el tiristor  $T_4$  repitiéndose el proceso anterior.

El tiempo mínimo de conexión del banco es medio ciclo, por lo tanto, cada rama puede estar conectada durante un tiempo que es múltiplo entero de medio período exacto de la onda de voltaje.



Principio de funcionamiento del compensador.

2

En el estado de apagado, el capacitor tiene una tensión de precarga igual al pico positivo o negativo de la onda de voltaje, la cual fue retenida de la última vez que fue conectado. Si se deseara volver a conectar el banco, debe hacerse en el momento en que el valor del voltaje sea igual o muy cercano a la tensión de precarga.

El circuito de control asociado a la conmutación de los tiristores se basa en un microcontrolador de 8 bits de la familia MCS-51. La arquitectura de esta familia está optimizada para aplicaciones orientadas al control de procesos industriales en tiempo real de pequeña y mediana envergadura.<sup>4</sup>

Para el diseño del hardware se parte del sistema de desarrollo Fenix-51 con la configuración que aparece en la tabla I.

Por los elementos dados anteriormente se requiere que el circuito de control envíe pulsos de disparo a los tiristores sincronizados con los valores máximos de los voltajes de línea. El cruce por cero de cada voltaje de fase se corresponde con el valor máximo de determinado voltaje de línea, de ahí que se utilice una circuitería adicional que conforma una señal que solicita interrupción al microcontrolador cada 60° coincidente con los valores picos de los voltajes aplicados a cada rama del compensador.

El programa ejecutado por el 8031 a partir del reconocimiento de cada interrupción es capaz de

enviar una señal de disparo al semiconductor de potencia que le corresponde, para cuya decisión toma una muestra de los voltajes del sistema, a través de los detectores de cruce por cero.

La señal que envía el microcontrolador por su puerto de salida es necesario amplificarla con el objetivo de que los pulsos de disparo tengan la potencia necesaria para lograr un encendido efectivo de los tiristores.

El diagrama de bloques de la figura 3 representa un esquema simplificado del hardware del sistema. La figura 4 representa las formas de onda que detallan cómo se conforma la señal de interrupción al microcontrolador.

#### SOFTWARE DEL SISTEMA

Durante un ciclo de la onda de voltaje existen seis combinaciones posibles de las señales digitales provenientes de los detectores de cruce por cero (DCC). Cada una de estas combinaciones se utilizan para determinar el tiristor que debe entrar en conducción, para esto por el puerto C del 8255#1 se reciben estas señales a través de los bits B0, B1, B2. Por consiguiente, al leer cada 60° este puerto, se procesan las señales de los DCC y esta lectura constituirá el byte bajo de la dirección de una tabla donde el byte alto es un número fijo. El contenido de esta tabla será el código correspondiente a los tiristores que deben ser disparados.

|                      |              |                 |
|----------------------|--------------|-----------------|
| CPU                  | 8031         |                 |
| EPROM                | 27256 (32 k) | 0000 H - 7FFF H |
| RAM                  | 6264 (8 k)   | 8000 H - 9FFF H |
| Puertos programables | 8255 #1      | FB00 H - FB03 H |
|                      | 8255 #2      | FD00 H - FD03 H |
| Interrupciones       | Into         | 8000 H          |
|                      | Timero       | 8003 H          |
|                      | Inti         | 8006 H          |
|                      | Timeri       | 8009 H          |
|                      | Puerto serie | 800C H          |

La señal de disparo de los tiristores se envía por el puerto A del 8255#1 habilitado como puerto de salida, quedando configurado de la manera siguiente:

```

B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1 B0
X  X  T6 T5 T4 T3 T2 T1

```

El pulso por el gate se mantiene durante 180° a partir del momento en que entra en conducción, y como las interrupciones que provocan los disparos ocurren cada 60°, entonces cada elemento será encendido tres veces consecutivas para completar los 180°, aspecto que se tiene en cuenta en la tabla.

Para realizar la tabla se consideró que el primer disparo fuera del tiristor T1 cuando el voltaje de línea  $U_{ab}$  está en su valor máximo positivo, para que esto suceda la primera interrupción que se debe atender es la que se corresponde con la lectura del puerto C igual a 05H, con la cual no se dispara ningún tiristor, solo se recoge en la tabla el valor que se debe sacar por el puerto A para encender a T1 con la próxima interrupción.

La tabla 2 relaciona el valor leído en el puerto C con los semiconductores a disparar y tiene en cuenta los aspectos anteriores.

De la tabla de arranque y de las formas de onda mostradas anteriormente se puede apreciar que después de la sexta interrupción se vuelve a repetir desde el comienzo el código proporcionado por los DCC. Si se volvieran a recoger los valores contenidos en esta tabla, la conducción de T6 y T5 no duraría 180°, por lo que se confecciona la tabla de trabajo que da continuidad a la de arranque a partir de la séptima interrupción. Esta tabla es la que se repite cíclicamente durante la ejecución del programa.

El software se estructura mediante un programa principal y una subrutina de atención a las interrupciones provenientes del generador de pulsos cada 60°.

Con este criterio se confecciona un programa donde el tiempo de no conexión (*toff*) es fijo y se varía el tiempo de conexión (*ton*). El tiempo *toff* se mide a través de un temporizador del microcontrolador, cuyo arranque se ejecuta por software.

En el programa principal se realizan las siguientes operaciones:

- Se declaran los modos de trabajo del 8255.
- Se bloquea la operación de los tiristores para evitar falsos disparos.
- Se utilizan varios registros como banderas.
- Se define interrupción por flanco de caída.
- Se inicializa el temporizador y se le carga el valor de conteo.
- Se habilitan las interrupciones y el microcontrolador comienza a encuestar la bandera de desbordamiento del temporizador (el arranque se define en la subrutina de interrupción).
- Al finalizar el conteo se repite el proceso.

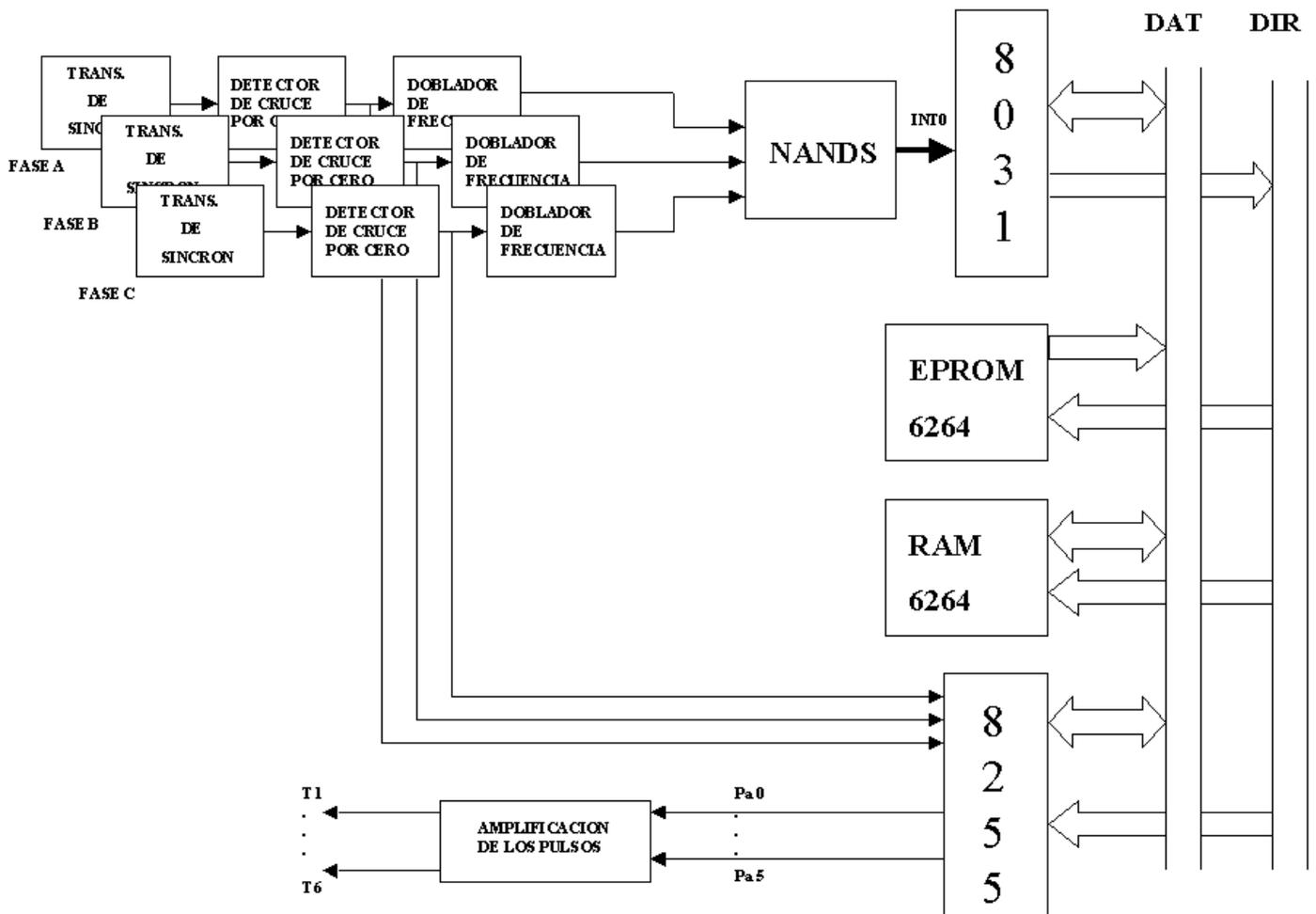
Los registros tienen las siguientes finalidades:

- R1 almacena el código de disparo que inicialmente se mantiene en 00 hasta tanto entre la interrupción que se corresponde con 05H.
- R2 se utiliza como bandera para marcar la llegada del código 05H.
- R3 es el contador que establece cuando se pasa de la tabla de arranque a la de trabajo.
- R4 define los ciclos de conexión.
- R5 permite el acceso a distintos segmentos del programa una vez concluido los ciclos de conexión para que los capacitores queden cargados con la misma tensión que cuando se iniciaron los disparos.

| Número de interrupción | Puerto C |    |    |     | Puerto A |    |    |    |    |    |     |  |
|------------------------|----------|----|----|-----|----------|----|----|----|----|----|-----|--|
|                        | B2       | B1 | B0 | HEX | B5       | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 | HEX |  |
| 1                      | 1        | 0  | 1  | 05  | 0        | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 01  |  |
| 2                      | 1        | 0  | 0  | 04  | 0        | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 09  |  |
| 3                      | 1        | 1  | 0  | 06  | 0        | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0B  |  |
| 4                      | 0        | 1  | 0  | 02  | 0        | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1A  |  |
| 5                      | 0        | 1  | 1  | 03  | 0        | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 16  |  |
| 6                      | 0        | 0  | 1  | 01  | 1        | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 34  |  |

Tabla 3  
Tabla de trabajo

| Número de interrupción | Puerto C |    |    |     | Puerto A |    |    |    |    |    |     |
|------------------------|----------|----|----|-----|----------|----|----|----|----|----|-----|
|                        | B2       | B1 | B0 | HEX | B5       | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 | HEX |
| 7                      | 1        | 0  | 1  | 05  | 1        | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 25  |
| 8                      | 1        | 0  | 0  | 04  | 1        | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 29  |
| 9                      | 1        | 1  | 0  | 06  | 0        | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0B  |
| 10                     | 0        | 1  | 0  | 02  | 0        | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1A  |
| 11                     | 0        | 1  | 1  | 03  | 0        | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 16  |
| 12                     | 0        | 0  | 1  | 01  | 1        | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 34  |

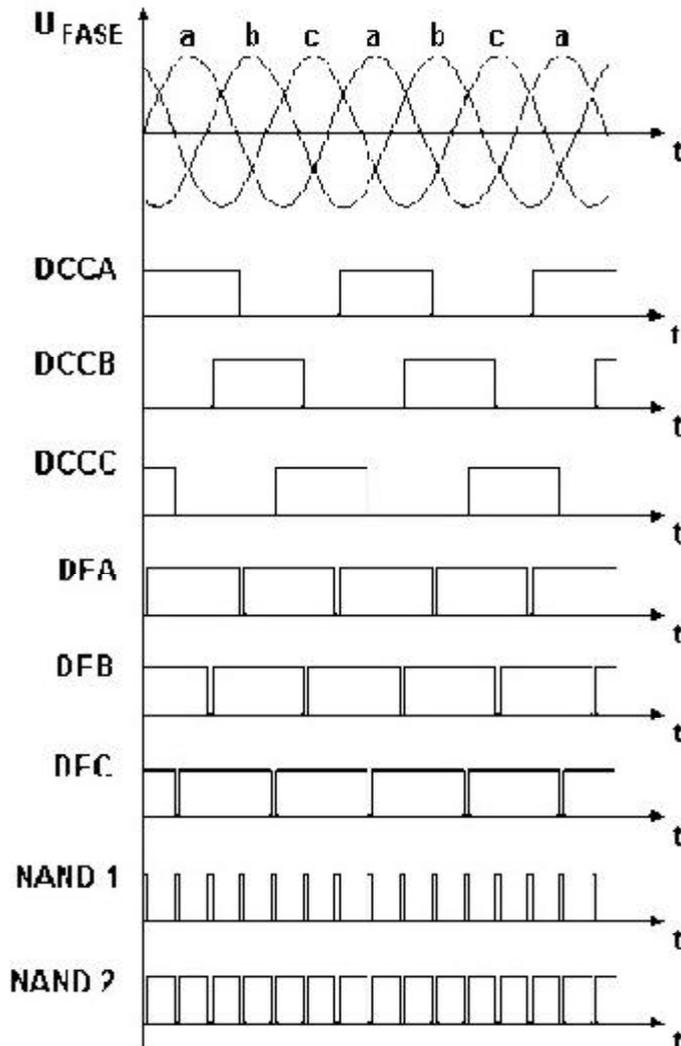


Esquema en bloques del hardware del sistema.

Con cada solicitud de interrupción cada 60° se realizan las siguientes operaciones:

- Se envía la señal de disparo por el puerto.
- Se define la llegada de interrupción 05H.
- Se recoge el código de disparo para la próxima interrupción según corresponda a la tabla de arranque o trabajo.
- Al finalizar el tiempo de conexión del banco se preparan las condiciones para el próximo ciclo de trabajo.
- Se arranca el temporizador para medir el tiempo de no conexión.

Adicionalmente se elabora otro programa con algoritmos similares donde durante un periodo fijo  $T$  se varía el tiempo de conexión de los capacitores  $Ton$ , de manera que  $T = Ton + Toff = \text{constante}$ .



Formas de onda a la salida de cada bloque.

## CONCLUSIONES

Con el funcionamiento de la instalación experimental en la ejecución de los programas se obtuvieron características de trabajo del generador asincrónico con carga. Se comprobó la veracidad del método de compensación trabajando el sistema a lazo abierto.

El circuito digital montado en la práctica sobre la base del microcontrolador 8031 satisface las exigencias planteadas siendo capaz de llevar el control del sistema establemente.

## REFERENCIAS

1. Chapman, S. J.: *Electric Machinery Fundamentals*, USA, 1995.
2. *Power Electronics*, Csaki, Budapest, Hungría, 1983.
3. Moran, Luis: "Analysis and Design of a Three-Phase Current Source Solid State var Compesator", *IEEE, Transactions on Industry Applications*, Vol. 25, No. 2, March-April, 1989.
4. González Vázquez, José Adolfo: *Introducción a los microcontroladores. Hardware, software y aplicaciones*, McGraw, España, 1995.

## AUTORES

Mercedes Canasí Piñero, Ingeniera Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Asistente, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), Ciudad de La Habana

e-mail: mcanasi@cipel.ispjae.edu.cu

Alejandro Ganzó Amador, Ingeniero Electricista, Empresa de Construcciones Militares del Ejército Occidental, Ciudad de La Habana

Carlos Pérez Sierra, Ingeniero Electricista, Empresa Siderúrgica José Martí, Ciudad de La Habana

Una opción para ud.  
**VISITENOS!**

EDICIONES IMPRENTA CUIAE

Calle 127 s/n, Mariano  
Ciudad de La Habana, Cuba  
☎ 200 2118  
e-mail: edicionescuiae@tesla.ispjae.edu.cu  
www.ispjae.edu.cu/ediciones